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

Институт ИНК
Направление подготовки 15.03.01
Кафедра ОТСП

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме

УДК ------

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В21	Радионов И.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Князьков А.Ф.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
		-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
		-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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

Институт Неразрушающегося Контроля
Направление подготовки 15.03.01– «Машиностроение»
Кафедра Оборудования и технологии сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ОиТСП
_____ _____ Киселев А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1В21	Радионову Ивану Игоревичу

Тема работы:

Разработка процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 21.03.2016 г. № 2124/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	Процесс неплавящемся электродом в аргоне на переменном токе.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	1. Анализ состояния сварки сплавов на основе Al и Mg. 2. Разработка модели дуги переменного тока горящей в динамическом режиме. 3. Разработка оборудования. 4. Финансовый Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность. 6. Заключение.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1. Специфика сварки алюминия. 2. Феноменологическая модель. 3. Схема силовая часть системы импульсного питания. 4. Схема управление силовой части. 5. Эпюры тока и напряжения основных элементов системы импульснова питания.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
1-3	Князьков А.Ф.
4	Николаенко В.С.
5	Анищенко Ю.В.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	9.03.2016

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Князьков А.Ф.	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1В21	Радионов Иван Игоревич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 66 с., 6 рис., 19 табл., 9 источников информации.

Ключевые слова: сварка TIG, динамическая дуга, импульсный источник питания, сварка алюминия, кратковременный импульс.

Объектом исследования является: процесс сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме.

Цель работы – разработка процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме.

Проводился анализ специфики сварки сплавов на основе алюминия. По результатам анализа были выделены ряд проблем процесса сварки. Был разработан процесс сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме. А также была разработана установка с импульсным источником питания для данного процесса сварки.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: использование процесса сварки дугой, горящей в динамическом режиме на переменном токе улучшают качества сварки сплавов на основе алюминия. Позволяет варить тонкостенные материалы с высоким качеством сварного шва.

Область применения: машиностроительная.

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

В будущем планируется: внедрить технологию на кафедре ОТСП ИНК ТПУ для обеспечения возможности проведения экспериментальных исследований процесса сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и графическом редакторе Компас V16.

Диск CD-R с графическим материалом на обороте обложки.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы следующие обозначения:

U_K – катодное падение напряжений;

U_A – анодное падение напряжений;

U_C – падение напряжение в столбе дуги;

P_K – энергия, выделяемая в катодной области;

P_A - энергия, выделяемая в анодной области;

W_K – электрическая мощность, затраченная в катодной области;

$W_Э$ – затраченная мощность;

m_e – масса электрода;

u – средняя направленная скорость;

E – напряженность электрического поля;

e – заряд электрона;

j – плотность электронов;

x – степень ионизации;

P – давление газа в столбе дуги;

$T_д$ – температура в ^{0}К;

q_p и q_q – квантовые статические веса состояний молекул и образующихся ионов;

СД – сварочная дуга;

ФЭ – формирующий элемент;

ИФЛ – искусственно – формирующая линия;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 2.702 – 2011 УСДК. Правило выполнение электрических схем.
2. ГОСТ 12.1.003 – 83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требование безопасности.
3. ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. Общие требование.

4. ГОСТ 12.1.005 – 88. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей системы.
5. ГОСТ 12.1.010 – 76. Взрывобезопасность. Общие требование.
6. ГОСТ 12.3.003 – 86. Работы электросварочные. Требование безопасности.
7. ГОСТ 12.4.009 – 83. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещения и обслуживание.
8. ГОСТ 1361 – 79. Щитки и маски для защиты электросварщика. Основные параметры и требование.
9. ГОСТ 9497 – 60. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучения на производстве.
10. СН 2.2 4/2. 1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
11. СНиП 23 – 05 – 95. Естественное и искусственное освещение.
12. ФЗ – 123. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ....9
1 Анализ состояния сварки сплавов на основе Al 11
1.1 Специфика сварки....11
1.1.1 Теплопроводность....11
1.1.2 Наличие окисной пленки....11
1.1.3 Выпрямляющие действие дуги 12
1.1.4 Затруднение зажигания при смене полярности....13
1.1.5 Влияние водорода 15
1.2 Способы сварки и оборудование 16
1.2.1 На переменном токе....16
1.2.2 Вольфрамовый электрод для сварки алюминия. 16
Заключение 18
2 Феноменологическая модель дуги, горящей на перемененном токе в динамическом режиме. 19
2.1 Характеристика сварочной дуги. 19
2.2 Сварочная дуга, как сумма трех источников тепла. 19
2.2 Столб дуги 20
2.3 Особенности строения и физический процессы в анодной области сварочной дуги 22
2.4 Особенности строения и физический процессы в анодной области сварочной дуги. 24
2.5 Разработка феноменологической модели....26
2.5.1 Эпюры тока дуги в динамическом режиме. 26
Вывод 29
3 Разработка оборудования. 30
3.1 Функциональная схема устройства 30
3.2 Принципиальная схема устройства для формирования импульсов сварочного тока 31
Вывод 32
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ....33

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 33
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....34
4.1.3 SWOT – анализ.....34
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований 37
4.3 Планирование научно-исследовательских работ 38
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования 38
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....39
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования 39
4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 43
4.3.5 Расчет материальных затрат НТИ 43
4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ 44
4.3.7 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы 44
4.3.9 Накладные расходы 46
4.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта47
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....47
5 Социальная ответственность.....51
5.1 Введение 51
5.2 Производственная безопасность.....52
5.3 Экологическая безопасность.....58
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 58
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. 59
Заключение 62
Список литературы 63
CD диск в конверте на обороте обложки

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ. Повышение эффективности и улучшение качества производимых металлоконструкций является актуальной задачей на сегодняшний день. Одним из путей ее решения можно обозначить (выделить) – разработку и внедрение оборудования, отвечающего мировым стандартам (автоматизированные и роботизированные системы, гибкость управления), а так же разработку и исследование новых процессов сварки.

Сварка является лидирующим технологическим способом получения неразъемного соединения металлоконструкций различного назначения. Перспективным направлением считается развитие автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом корневого слоя многослойного шва и изделий малых толщин. Данный способ позволяет минимизировать затраты в цеховых или монтажных условиях неразъемные соединения, идентичные основному металлу по химическому составу, механическим и служебным свойствам. По мобильности и экономичности составляет конкуренцию электронно-лучевым и лазерным способам соединения.

Несмотря на хорошие показатели процесса сварки, неплавящимся электродом в аргоне производительность желает оставлять лучшего. Поэтому необходимо разрабатывать мероприятие, повышающие эффективность этого процесса. Известны методы повышения эффективности внутренние и внешние, которые в какой-то степени улучшают процесс и повышают его производительность, но имеется существенные трудности в их практическом применении. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы считается сжатие дуги, за счет перевода ее в динамический режим горения. Данный перевод осуществляется за счет протекания через дуговой промежуток кратковременных мощных униполярных импульсов тока, большого амплитудного значения.

Исследованиями по изучению динамического режима горения дуги в свое время занимались Пентегов И.В., Славин Г.А., Лебедев В.К. и т.д. В их работах

показано влияние динамического режима на геометрические размеры шва, структуру, обоснована длительность импульсов, представлены математические зависимости. Однако не освещены вопросы технической реализации процесса сварки и не составлены технологические рекомендации.

В соответствии с этим в работе проведен анализ современного состояния вопроса сварки дугой, горящей в динамическом режиме. Разработана система питания, позволяющая повысить эффективность сварки неплавящимся электродом в аргоне.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является разработка процесса сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа выполнена на - страницах, содержит - рисунков, - таблиц.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ – Процесс сварки неплавящемся электродом в аргоне на переменном токе.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ –процесс сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА проведенного исследования:

Разработана феноменологическая модель дуги переменного тока с вольфрамовым электродом и защитной среде аргона горящей в динамическом режиме.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.

1.Создана действующая экспериментальная установка для сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме.

1 Анализ состояния сварки сплавов на основе Al

1.1 Специфика сварки

При сварки алюминия необходимо рассмотреть несколько факторов, которые влияют на качество сварки:

- высокая теплопроводность
- окисная пленка
- выпрямляющие действия дуги
- затруднение повторного возбуждение дуги при смене полярности
- влияние водорода на процесс сварки

1.1.1 Теплопроводность

При высоких температурах у алюминия резко снижается прочность. А твердый металл не расплавившейся части кромок может разрушиться под действием массы сварочной ванны. Алюминий обладает высокой жидкотекучестью, что может привести к вытеканию расплавленного металла через корень шва. При нагреве не меняет своего цвета, поэтому во время сварки сложно следить за размерами сварочной ванны. Чтобы избежать прожогов, провалов при однослойной сварке металла или сварке первых слоев многопроходных швов на высокой погонной энергии, используют формирующие подкладки из керамики, стали или графита.

1.1.2 Наличие окисной пленки

Алюминий обладает высокой химической активностью. Он легко вступает во взаимодействие с кислородом, что приводит к образованию тонкой плотной пленки состоящей из оксида алюминия (Al_2O_3). Благодаря этой пленки алюминий обладает высокой коррозийной стойкостью. Температура плавления алюминия - 660 ^{o}с, а температура плавление окисной пленки – 2030 ^{o}с.

Окись алюминия – это керамический материал, твердый и не электропроводный. При расплавлении алюминия растекается крупными каплями, удерживаемыми от слияния окисной пленкой. В случае если частички пленки окажутся в закристаллизовавшемся металле шва, то механические свойства материала ухудшаться. Таким образом, для того чтобы сварить две алюминиевые детали, прежде всего, необходимо разрушить окисную пленку. Это можно выполнить:

- механически (однако, это невозможно, так как после обработки алюминий тут же вступает в связь с кислородом, и новый слой окиси алюминия начинает образовываться. Причем, в условиях дуговой сварки при высокой температуре окисление алюминия и образование окисной пленки происходит еще более интенсивно);

- химической обработкой (довольно сложно и трудоемко), которая проводится в следующем режиме:

- обезжиривание в 5% растворе NaOH или KOH в течение двух минут. Температура раствора – 60-65 градусов.

- промывание в теплой, затем в холодной проточной воде.

- выдерживание в 15% растворе азотной кислоты при температуре 60-65 градусов в течение двух-пяти минут.

- промывка теплой и холодной водой с последующей сушкой.

- сваркой на обратной полярности;

- сваркой на переменном токе.

При сварке на прямой полярности изделию будет передаваться значительное количество тепла, однако пленка разрушаться не будет. Если обратная полярность, то тепла изделию будет передаваться меньше, однако, как только будет возбуждена дуга, окисная пленка начнет разрушаться (происходит, так называемая катодная очистка).

Существует две теории, объясняющие механизм разрушения окисной пленки на обратной полярности.

Катодное пятно, перемещаясь по поверхности сварочной ванны, приводит к испарению окислов алюминия, при этом эмиссия электронов с активных катодных пятен отталкивает фрагменты окисной пленки к краям сварочной ванны, где они формируют тонкие полоски.

Поток ионов обладает достаточной кинетической энергией, чтобы при столкновении с поверхностью катода разрушать окисную пленку. В пользу этой теории говорит тот факт, что чистящий эффект выше при использовании инертных газов с более высоким атомарным весом (аргон)

Однако наряду с этим положительным явлением будут наблюдаться такие отрицательные последствия сварки на обратной полярности как перегрев электрода, на котором будет выделяться слишком много тепла, что приведет к перегреву, и низкое проплавление основного металла.

1.1.3 Выпрямляющие действие дуги

Технологические свойства вольфрамовой дуги во время сварке ухудшаются из-за выпрямления переменного тока и появления в цепи составляющей постоянного тока. Анализ этого явления показывает, зависимость степени выпрямления тока в дуге от различия термических временных постоянных материала электродов (теплоемкости, умноженной на величину, обратную теплопроводности). Следовательно, чем больше разность этих

постоянных, тем больше степень выпрямления тока в дуге. При различных материалах электродов разность их температур во время горения дуги пропорциональна разности термических временных постоянных. Однако различие температур катода в разные полуциклы горения дуги ведет к появлению составляющей постоянного тока. А степень выпрямления оказывается пропорциональной разности термических временных постоянных материалов электродов. В то же время с различием теплофизических свойств электродов на выпрямляющее действие дуги в аргоне сказывается и изменение геометрической формы электродов.

В полупериодах, когда катодное пятно расположено на вольфрамовом электроде, из-за мощной термоэлектронной эмиссии создаются благоприятные условия для возбуждения и горения дуги при низком напряжении. В полупериодах, когда катодное пятно находится на алюминии, катод холодный и термоэлектронная эмиссия затруднена. В этом случае для возбуждения дуги требуются более высокие значения напряжения, а горение дуги будет происходить при большем значении напряжения, чем в предыдущий полупериод. Во время сварки на малых токах возбуждение дуги в полупериоды обратной полярности может не произойти вообще, и дуга станет «выпрямительным вентилем». Это ведет к резкому ухудшению стабильности горения дуги. При наличии постоянной составляющей значительно увеличивается сопротивление магнитопровода трансформатора и понижается мощность, отдаваемая дуге. При уменьшении тока в полупериоде обратной полярности затрудняется катодная очистка свариваемых кромок и поверхности сварочной ванны от тугоплавких окисных пленок. Поэтому установки для сварки вольфрамовой дугой должны содержать специальные устройства: стабилизаторы, импульсные возбудители, батареи конденсаторов, полупроводниковые вентили, либо подавать импульсы в полупериод обратной полярности для облегчения зажигания дуги или частичного подавления возникшей постоянной составляющей тока.

1.1.4 Затруднение зажигания при смене полярности

Дуга переменного тока – дуга в процессе сварки меняющая свое направления тока, что позволяет одному и тому же электроду по переменно быть то катодом, то анодом.

Основная особенность дуги переменного тока, то что при смене полярности происходит гашение дуги и повторное возбуждение. Чтобы получить стабильное горение дуги, рассмотреть характеристики дуги вблизи нуля тока (при смене полярности) с учетом приэлектродных процессов.

Устойчивость горения дуги при сварке на переменном токе ниже, чем на постоянном. Действительно, при частоте переменного напряжения сети 50 Гц

сварочный ток 100 раз в секунду снижается до нуля и меняет направление на обратное, причем после каждого такого обрыва дуга должна возбуждаться снова. Таким образом, при сварке на переменном токе источник должен обладать специфическим свойством обеспечивать многократное повторное зажигание дуги.

Процесс повторного зажигания дуги при переходе тока через нуль рассмотрим по осциллограммам (рисунок1,а). В конце предыдущего полупериода с момента t1напряжение трансформатора становится недостаточным для питания дуги, в результате дуга угасает, а ток резко снижается. С момента угасания t1температура межэлектродного промежутка ТМЭ падает, а его сопротивление RМЭ резко возрастает (рисунок 1,6).

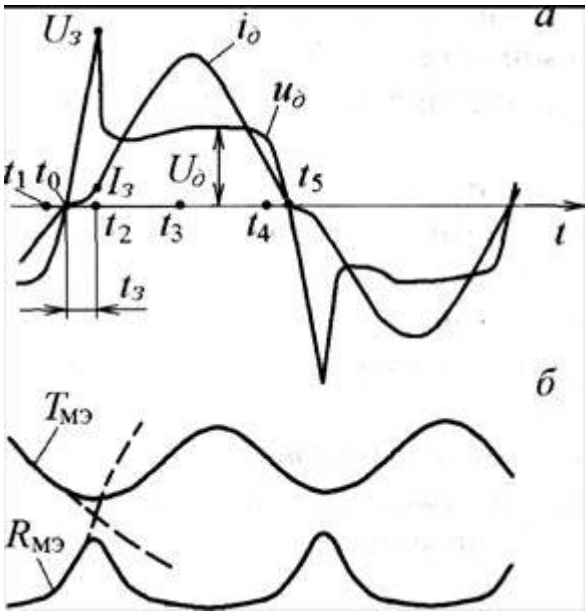

Рисунок №1 Типичные осциллограммы дуги переменного тока: а — сварочные ток $i_д$ и напряжение ид, б — температура $T_{мэ}$ и сопротивление $R_{МЭ}$ межэлектродного промежутка

После перехода тока через нуль в момент t_0 анод и катод меняются местами, т.е. направление тока изменяется на обратное. Дуговой разряд мгновенно в момент t_0 восстановиться не может, для этого мало напряжение источника. Небольшой преддуговой ток, существующий при этом, создается за счет остаточной плазмы межэлектродного промежутка (не более 0,1 мс после угасания дуги) и термоэлектронной эмиссии с не остывшего еще катода (в течение 1-10мс). Таким образом, электрический разряд в переходном периоде t_1–t_2 не является дуговым, поскольку не обеспечивает генерирования заряженных частиц в количестве, достаточном для самостоятельного существования дуги. По мере нарастания напряжения источника растет и преддуговой ток, но скорость его увеличения diд/dt, вплоть до момента t_2, существенно ниже, чем скорость снижения в момент времени t_1. В переходном периоде идут два встречных

процесса: с одной стороны, ионизация межэлектродного газа и его нагрев нарастающим током, с другой стороны, деионизация и охлаждение за счет теплоизлучения и теплоотвода в электрод и изделие. Рассмотрим три варианта развития процессов в зависимости от условий сварки.

При достаточно благоприятных условиях (большой объем и высокая степень ионизации остаточной плазмы, мощная термоэлектронная эмиссия с горячих неплавящихся электродов) из двух процессов существенно преобладает ионизация, поэтому при достижении напряжением источника величины Uд дуговой разряд легко восстанавливается. Менее благоприятные условия повторного зажигания (рисунок 1) наблюдаются в большинстве случаев сварки (покрытыми электродами, под флюсом и т.д.). Термоэлектронная эмиссия со сравнительно холодных плавящихся электродов не обеспечивает необходимого количества заряженных частиц. Поэтому дуга возобновляется только в момент t2 при достижении напряжением источника довольно высокой величины напряжения повторного зажигания U3, достаточной для развития автоэлектронной эмиссии. Наконец, в неблагоприятных условиях (малая мощность дуги, большая ее длина, обдув газовыми потоками) из двух процессов преобладает деионизация, при этом температура Тмэмежэлектродного промежутка резко снижается, а его сопротивление RМЭ также резко возрастает, как показано пунктиром на рисунок 1, б, и дуга обрывается.

1.1.5 Влияние водорода на процесс сварки

При сварки алюминия и его сплавов возникают затруднения не только появлением оксидной пленки, но из-за наличия водорода приводящий к пористости, уменьшающей пластичность и прочность металла. Поры возникают в металле шва, а также у линии сплавления. В связи с этим, чтобы избежать возникновение пор, необходимо выполнять очень тщательную химическую очистку сварочной проволоки и механическую очистку. А обезжиривание свариваемых кромок. При сварке металла большой толщины к снижению пористости приводит предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 150–250°С. В реальных условиях парциальное давление молекулярного водорода в газовой фазе дуги ничтожно мало. Поэтому основным источником водорода, растворяющегося в сварочной ванне, является реакция взаимодействия влаги, содержащейся в окисной пленке с металлом. В результате протекания этой реакции концентрация атомарного водорода в поверхностном слое атмосферы, контактирующей с металлом, может соответствовать большому давлению молекулярного водорода, находящегося в равновесии с металлом. Поэтому при наличии паров воды в зоне ванны концентрация растворенного в металле водорода может оказаться намного больше равновесной. При охлаждении растворенный водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из металла. Пузыри выделяющегося водорода, не успевая

всплыть из ванны, остаются в шве, образуя поры. Поэтому основной мерой борьбы с пористостью при сварке алюминия является снижение концентрации растворенного в нем водорода до предела ниже 0,69—0,7 см3/100 г металла. Основным источником водорода, растворяющегося в металле шва при аргонодуговой сварке, является влага, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав окисной пленки в виде гидратированных окислов. Количество ее определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой.

1.2 Способы сварки и оборудование

1.2.1 На переменном токе

Сварка алюминия осуществляется способом TIG.

Кромки свариваемого изделия и присадочный металл расплавляются дугой, горящей между неплавящимся вольфрамовым электродом и изделием. При этом используется электрод либо из чистого, либо из активированного вольфрама. При необходимости в сварочную ванну добавляется присадочный металл. По мере перемещения дуги расплавленный (жидкий) металл сварочной ванны затвердевает (то есть кристаллизируется), образуя сварной шов, соединяющий кромки деталей. Сварное соединение образуется либо только за счет расплавленного основного металла, либо за счет, как основного металла, так и металла присадочной проволоки. Дуга, сварочная ванна, торцы вольфрамового электрода и присадочной проволоки, а также остывающий шов защищены от воздействия окружающей среды инертным газом (аргоном или гелием), подаваемым в зону сварки горелкой. Сварка выполняется либо постоянным током прямой полярности, когда плюсовая клемма источника питания подключается к изделию, а минусовая – к горелке, либо переменным током (при сварке алюминия).

Область применения сварки TIG.

Этот способ сварки широко применяется в химической, теплоэнергетической, нефтеперерабатывающей, авиационно-космической, пищевой, автомобилестроительной и других отраслях промышленности для сварки практически всех металлов и сплавов: углеродистых, конструкционных и нержавеющих сталей, алюминия и его сплавов, титана, никеля, меди, латуней, кремнистых бронз, а так же разнородных металлов и сплавов; наплавка одних металлов на другие.

1.2.2 Вольфрамовый электрод для сварки алюминия.

Вольфрамовые электроды используются при аргонодуговой сварке, то есть сварке неплавящимся электродом в среде защитного газа аргона.

Температура плавления вольфрама – 3410 °С, температура кипения – 5900 °С. Это самый тугоплавкий из существующих металлов. Вольфрам сохраняет твердость даже при очень высоких температурах. Это позволяет делать из него неплавящиеся электроды. В природе вольфрам встречается, в основном, в виде окисленных соединений — вольфрамита и шеелита. При аргонодуговой сварке дуга горит между свариваемой деталью и вольфрамовым электродом. Электрод находится внутри сварочной горелки. Для сварки в среде защитных газов на переменном токе целесообразно использовать вольфрамовые электроды с легирующими добавками, которые повышают стабильность и устойчивость сварочной дуги.

Для улучшения качества электрода (например, устойчивости к высоким температурам, повышения стабильности горения дуги) в чистый вольфрам вводят в качестве добавки окислы редкоземельных металлов. Существует ряд разновидностей вольфрамовых электродов, в зависимости от содержания этих добавок. Этим определяется марка электрода. Марку электрода в наше время легко запомнить по цвету, в который окрашен один конец. Вольфрамовые электроды делятся на три типа: Постоянного (WT,WY), Переменного (WP, WZ) и Универсальные (WL,WC).

WP (зеленый) — Электрод из чистого вольфрама (содержание не менее 99,5%). Электроды обеспечивают хорошую устойчивость дуги при сварке на переменном токе, сбалансированном или не сбалансированном с непрерывной высокочастотной стабилизацией (с осциллятором). Эти электроды предпочтительны для сварки на переменном синусоидальном токе алюминия, магния и их сплавов, так как они обеспечивают хорошую устойчивость дуги как в аргоновой, так и в гелиевой среде. Из-за ограниченной тепловой нагрузки рабочий конец электрода из чистого вольфрама формируют в виде шарика.

Основные свариваемые материалы: алюминий, магний и их сплавы.

WZ-8 (белый) — Электроды с добавлением оксида циркония предпочтительны для сварки на переменном токе, когда не допускается даже минимальное загрязнение сварочной ванны. Электроды дают чрезвычайно стабильную дугу. Допустимая токовая нагрузка на электрод несколько выше, чем на цериевые, лантановые и ториевые электроды. Рабочий конец электрода при сварке на переменном токе обрабатывается в форме сферы.

WL-20, WL-15 (синий, золотистый) — Электроды из сплава вольфрама с оксидом лантана имеют очень легкий первоначальный запуск дуги, низкую склонность к прожогам, устойчивую дугу и отличную характеристику повторного зажигания дуги. Добавление 1,5% (WL-15) и 2,0% (WL-20) оксида лантана увеличивает максимальный ток, несущая способность электрода примерно на 50% больше

для данного типоразмера при сварке на переменном токе, чем чисто вольфрамового. По сравнению с цериевыми и ториевыми, лантановые электроды имеют меньший износ рабочего конца электрода. Лантановые электроды более долговечны и меньше загрязняют вольфрамом сварной шов. Оксид лантана равномерно распределен по длине электрода, что позволяет длительное время сохранять при сварке первоначальную заточку электрода. Это серьезное преимущество при сварке на постоянном (прямой полярности) или переменном токе от улучшенных источников сварочного тока, сталей и нержавеющих сталей. При сварке на переменном синусоидальном токе рабочий конец электрода должен иметь сферическую форму.

На переменном токе сваривается алюминий, вольфрам при подготовке не затачивают как иглу, а только слегка закругляют. При сварке алюминия важную часть нужно уделить подготовке как материала, так и присадки. Во-первых, поверхность должна быть зачищена и обезжирена. Во-вторых снять фаски, если толщина не позволяет сделать полный провар. К присадке тоже уделяется должное внимание, необходимо грамотно подобрать хим. состав, это может быть чистый AL 99%, AlSi (силумин) или AlMg (дюраль). В остальном нужна только практика.

Заключение

Проанализировав состояния сварки сплавов на основе Al были установлены проблемы, возникающие из – за высокой теплопроводности, затруднения повторного возбуждения дуги при сварке на переменном токе, наличия окисной пленки, выпрямляющего действия сварочной дуги. Для решения данных проблем необходимо концентрированно водить тепло при сварке. Это решается при сварке дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме. На основании этого можно сформулировать цель работы в следующем виде:

Разработать процесса сварки дугой переменного токе в динамическом режиме

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ особенности сварки алюминия

- разработать модель процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме

- разработать функциональной схемы оборудования

- разработка принципиальной схемы оборудования

2 Феноменологическая модель дуги, горящей на перемененном токе в динамическом режиме.

2.1 Характеристика сварочной дуги.

Для разработки феноменологической модели дуги, горящей на переменном токе с импульсным питанием дуги в защитном газе необходимо с начало рассмотреть физические явления, происходящие в приэлектродных областях и в столбе сварочной дуги. Исследуя тепловые воздействия сварочной дуги на основной металл и электрод может быть упрощенно, если сварочную дугу разбить на три основных участка. В настоящее время была принята схема независимого действия трех источников теплоты в дуге: катодная область, анодная область и в столбе дуги. Считая, что теплота, выделяемая в катодной области, поступает только в катод. Теплота, выделяемая в анодной области, только в анод. А теплота, выделяемая в столбе дуги, рассеивается в окружающей среде (происходит тепловое и световое излучение). Основная тепловая энергия выделяется в анодной и катодной области, а роль столба энергии сварочного процесса незначительна.

2.2 Сварочная дуга, как сумма трех источников тепла.

Энергия, выделяемая в катодной области равно:

$$P_K = I[U_K - (\frac{3}{2} \cdot K \cdot T + \varphi)], \quad (1)$$

энергия, выделяемая в анодной области:

$$P_A = I[U_A + (\frac{3}{2} \cdot K \cdot T + \varphi)], \quad (2)$$

где U_K,U_A – катодное и анодное падение напряжений,

$(\frac{3}{2} \cdot K \cdot T + \varphi)]$ – энергия, приносимая электронами на анод.

Выражения в квадратных скобках называются эффективным падением напряжения в катодной и анодной области и обозначаются $U_K^Э$, $U_A^Э$.

Энергия, используемая в катодной области должна быть выше энергии, используемой в анодной области. Следовательно, катодное падение напряжение должно превышать анодное падение напряжение.

Не вся электрическая мощность, затраченная в катодной области $W_K=IU_K$, может быт превращена в теплоту. Часть затраченной мощности равная:

$$W_э = I(\frac{3}{2} \cdot K \cdot T + \varphi), \quad (3)$$

Уходит из катодной области виде внутренней энергии электронов. Следовательно, тепловая мощность катодного источника нагрева равна:

$$P_K = W_K - W_э. \quad (4)$$

Соответственно тепловая мощность анодного источника нагрева равна:

$$P_{\text{А}} = W_K + W_{\text{Э}}. \quad (5)$$

Общая тепловая мощность приэликтроных источников нагрева равна:

$$P_K + P_A = W_K + W_A = IU_{K+A}. \quad (6)$$

Тепловая мощность в столбе дуги равна:

$$P_{\text{С}} = W_{\text{С}}. \quad (7)$$

Общая электрическая мощность, используемая источником питания на поддержание дуги равна:

$$IU_{\text{д}} = IU_K + IU_C + IU_A = W_K + W_C + W_A, \quad (8)$$

где U_K – падение напряжение в катодной области,

U_C – падения напряжение в столбе дуги,

U_A – падение напряжение в анодной области.

Представив сварочную дугу в виде трех источников тепла, получим уравнение

$$IU_{\text{д}} = P_K + P_C + P_A, \quad (9)$$

2.2 Столб дуги

В столбе сварочной дуги содержится электроны и ионы. Что позволяет пропускать электрический ток с катода на анод.

В столбе сварочной дуги непрерывно происходят ионизационные процессы и рекомбинации заряженных частиц. Энергия, необходимая для ионизации газа, используется источником сварочного тока. В полученной сварочной дуге существует подвижное равновесие: энергия, потраченная на ионизацию газа, уравновешивается потерями энергии на диффузию заряженных частиц, на излучение. При атмосферном давлении плазма столба сварочной дуги является однородной.

В плазме сварочной дуги направленным движением заряженных частиц создается ток. Вклад ионов в проводимость значительна мола, так как масса иона больше массы электрона. Следовательно, весть ток переносятся электронами. В плазме действует внешнее электрическое поле, что и перемещает электроны от катода к аноду.

При движение электрона к аноду за 1 секунду испытывает ν столкновений с нейтральными атомами и ионами. Тогда условие равновесия сил, действующих на электрон, будут иметь вид:

$$m_e u\nu = Ee, \tag{10}$$

где m_e – масса электрода,

u – средняя направленная скорость,

E – напряженность электрического поля,

e – заряд электрона.

Следовательно

$$u = \frac{eE}{m_e} \cdot \frac{1}{\nu} = \frac{eE}{m_e}, \tag{11}$$

где $\tau = \frac{1}{\nu}$ – средний промежуток времени между двумя последовательными столкновениями электрона.

При концентрации электронов в 1 см^3 плазмы n_e, тогда в плазме плотность электронов находим по выражению:

$$j = en_e u = \frac{n_e e^2}{m_e} \tau E. \tag{12}$$

Формулу (7) представим в виде:

$$j = \rho E. \tag{13}$$

Получаем, что ρ характеризует удельную электропроводимость плазмы:

$$\rho = \frac{n_e e^2}{m_e} \tau. \tag{14}$$

Плотность тока, проходящая через столб сварочной дуги, равна:

$$I = \pi \rho E R^2, \tag{15}$$

где R – токопроводящий радиус столба сварочной дуги.

Известно, что в столбе сварочной дуги самостоятельного дугового разряда действует механизм внутреннего саморегулирования. Который определяет оптимальное соотношение параметров ρ, E и R в уравнение (15).

Так как столб сварочной дуги находится в термодинамическом равновесии, то из уравнения Саха найдем степень ионизации.

$$\frac{x}{1-x} P = 4{,}9 \cdot 10^{-4} \frac{q_P}{q_q} T_Д^{2,5} e^{\frac{-11600 V_i}{T_Д}}, \tag{16}$$

где x – степень ионизации,

P – давление газа в столбе дуги,

$T_д$ – температура в ^{0}К,

q_p и q_q – квантовые статические веса состояний молекул и образующихся ионов.

По мере увеличение температуры в столбе дуги, степень ионизации будет расти. Следовательно, удельная электропроводность столба сварочной дуги будет увеличиваться с ростом температуры.

Процесс саморегулирование в столбе сварочной дуги наблюдается и при изменение тока. Температура плазмы растет, за счет увеличение тока. Процесс саморегулирование приводит к увеличению числа заряженных частиц за счет повышение степени термической ионизации плазмы. Г.М. установил, что при изменении силы тока в сварочной дуге процесс саморегулирования протекает также и по ее диаметру.

Напряженность электрического поля в столбе сварочной дуги из-за саморегулирования всегда устанавливается так, что при данном токе и данной среде в сварочной дуге затрачивается минимальная энергия. Это есть принцип минимума Штеенбека, математическое выражение приравнивает к нулю первые производные напряженности поля по радиусу столба и температуре.

Падение напряжение на прямую связанно с длиной дуги:

$$U_{\text{д.м}} = U_{\text{к+А}} + El_{\text{д.м}}, \qquad (17)$$

где $U_{к+А}$ – сумма катодного и анодного падений напряжений, отсекаемая прямыми (17) оси ординат при $l_{д.м} \to 0$,

E – градиент напряжения в столбе сварочной дуги в В/мм, определяемый как тангенс угла наклона прямой (17) к оси абсцисс.

2.3 Особенности строения и физический процессы в анодной области сварочной дуги

Изучая сварочную дугу считают, что к аноду движутся заряженные частицы из столба сварочной дуги, которые отдают аноду энергию.

Падения напряжения в анодной области сварочной дуги можно разбить на 4 зоны: зона, граничащая со столбом дуги, переходная зона, укоряющая зона и зона ионизации. В зоне граничащая со столбом дуги напряженность поля по направлению к аноду начинает медленно нарастать. Заряженные частицы от хаотичного движения в столбе переходят в направленное движение. Разогнавшиеся электроны свободно пересекаю переходную и ускоряющую зону. В ускоряющееся зоне энергия электронов возрастает, что приводит к ионизации. Образовавшиеся ионы движутся в обратном направлении. Так как свободный пробег ионов меньше, чем у электронов, в переходной зоне происходят столкновение ионов и нейтральных частиц. Из-за этого энергия упорядоченных частиц переходит в энергию теплового движения, равная температуре плазмы.

Указанный механизм явлений предполагает, что температура плазмы у анода мала и образование зарядов в анодной зоне обеспечивается за счет энергии электронов, разгоняемых анодным падением напряжения.

Увеличивая плотность тока и температуру плазмы длина свободного пробега электрона уменьшается. А длина свободного пробега иона перед столкновением с нейтральной частицей увеличивается. В это время в анодной области основную роль в образование ионов и электронов играет термическая ионизация. Напряженность у анода в данном случаи меньше.

Выше изложенный анодный процесс предполагает отсутствие эмиссии положительных ионов анодом.

Образование ионов в области падения напряжения может осуществляться заряженными частицами, ускоренными полем при длинах их собственного пробега и значения анодного падения напряжения (E- ионизация). Тогда анодное падение напряжения должно быть равным с потенциалом ионизации газа и паров материала анода.

Так же ионы образуются за счет термической ионизации. Скорости электронов подчиняться Максвелловскому распределению, а в ионизации принимают участие только быстрые электроны (хвоста) распределения (T - ионизация). В то же время средняя энергия электронов может быть ниже потенциала ионизации.

Зону анодного падения разделяют на две части – зону ускарения и зону ионизации. При возрастание плотности тока (во время перехода маломощной дуги в мощную) длина свободного пробега электрона уменьшается. Как следствие не может набрать достаточную энергию для ионизации. В этом случаи вступает в действие описанный процесс T – ионизация.

Анодное падение напряжения в сварочной дуге оценивал Д.М. Рабкин по скорости плавления анода из различных материалов и их сплавов. Исходя из уравнения баланса энергии в анодной области получим выражение:

$$P_A = I_{\text{Д}}(U_A + U_{\text{В}}), \tag{18}$$

так же считая, что P_A расходуется только на плавление анода, т.е.

$$P_A = P_{\text{пл}} = K_{\text{па}} I \quad g_m, \tag{19}$$

где $K_{\text{па}}$ – коэффициент наплавления анода,

g_m – теплосодержание капель, покидающих анод,

$U_{\text{в}}$ – работа выхода металла.

Также Д.М. Рабкин принял, что

$$U_A = K_{\text{па}} g_m - U_{\text{В}}. \quad (20)$$

Основное влияние на анодный процессы оказывают плазменные потоки. Движение плазмы изменяет скорости заряженных частиц и распределение пространственных зарядов. Плазменный поток движется с соизмеримой скорости ионного потока.

Анодная плазменная струя, направленная в сторону катода, увеличивает скорость ионов, образовавшихся в анодной области, а также долю ионного тока. При увеличение ионного тока необходимо увеличить число ионов в анодной области. Что приводит к необходимости увеличивать анодное падение напряжения.

Катодный плазменный поток, направленный к аноду, не позволяет ионом перемещаться к столбу дуги. Это может привести к изменению распределения температуры у анода вследствие приближение к ее поверхности нагретой плазмы. Анодное напряжение при этом падает, так как уменьшается отток ионов, что приводит к уменьшению ионизации для их образования. Действие катодной струи зависит от длины дуги. Поэтому в данной ситуации следует ожидать изменения анодного падения напряжения с изменением длины дуги.

В сварочной дуги с потоком плазмы, идущий из анодного пятна (обратная полярность), увеличение ее длины приводит к повышению плотности тока. А в сварочной дуге с доминирующим катодным пятном (прямая полярность) плотность тока с увеличением длины дуги уменьшается. Это происходит из-за расширения формы струи плазмы, направленной на анод. Следует отметить, что при увеличение тока интенсивность плазменного потока растет. Следовательно, может быть установлена связь анодного падения напряжения со сварочным током. Анодное падение напряжение может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от действия потоков в дуге с увеличением тока.

2.4 Особенности строения и физический процессы в анодной области сварочной дуги.

Наиболее важную роль в дуговом разряде играют катодные процессы, так как в сварочной дуге основном только электроны участвуют в переносе тока. При сварке дугой горящей на переменном токе, катодная область по переменно переносится с электрода на изделие и обратно. Необходимо подробно рассмотреть катодный источник тепло подробнее.

В катодной области сварочной дуги существует перепад потенциала, который называется катодным падением напряжения. В данной области происходит создание и перенос электронов между катодом и столбом дуги. Катодное падение напряжения действуют на ионы, тем самым ускоряя их. Ионы, движущиеся к катоду, бомбардируют катод, что приводит к повышению

температуры поверхности катода, тем самым обеспечивая эмиссию электронам. Создавая у поверхности катода сильное электрическое поле, что позволяет разгоняться эмитированным электронам до уровня энергии, необходимой для создания заряженных частиц в прикатодной области.

Модель катодной области состоит из двух слоев.

На рисунке представлены слои катодной области

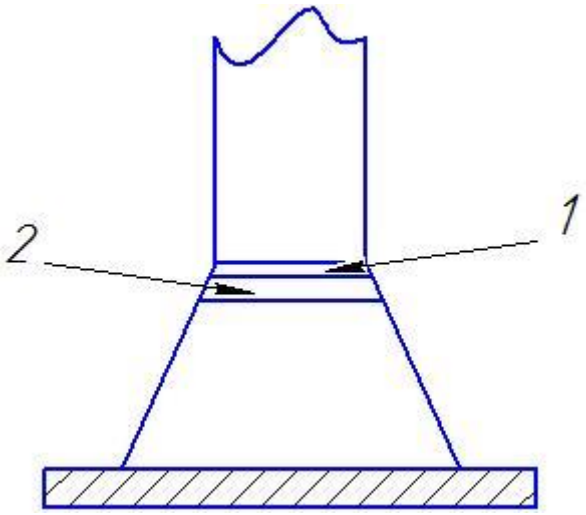

Рисунок №2 – Слои катодной области

Слой 1, прилегает к поверхности катода, размеры слоя меньше длины свободного пробега электронов. Тогда, вследствие относительно большой (в сравнение со столбом) доли ионного тока и меньшей подвижности ионов приводит к возникновению избыточного положительного пространственного заряда, который приводит к появлению скачков потенциала у катода. Доля ионного тока в первом слое постоянна.

Слой 2 располагается между первым слоем и дуги столба и называется ионизационным. В данном слое, как и в столбе дуги, выполняются условия квазинейтральности и происходит возникновение заряженных частиц благодаря энергии, полученной электронами в первом слое.

Из второго слоя в первый слой к катоду движутся ионы. Вероятно в том же направление могут двигаться и так называемые обратные электроны (согласно теории Г. Эккера), испытывающие в этом случаи тормозящие действия электрического поля. Достигая поверхности катода, ионы нейтрализуются электронами металла. По направлению столба дуги движутся эмитированные электроны, образующиеся в результате интенсивного испарения. Тем самым снижают степень ионизации.

Электроны, попадающие во второй слой, наоборот увеличивают степень ионизации и концентрацию заряженных частиц. На границе со столбом дуг

доходят до значения степени ионизации и концентрации заряженных частиц, близки к равновесному состоянию. Тем самым доля электронного тока во втором слое увеличивается, а ионного уменьшается. Суммарный ток остается постоянным. Напряженность электрического поля уменьшается, доходя в предельном случаи до значения градиенты потенциала в столбе дуги.

2.5 Разработка феноменологической модели.

2.5.1 Эпюры тока дуги в динамическом режиме.

При разработке феноменологической модели возможно два варианта полярности дежурного тока: дежурный ток прямой полярности и дежурный ток обратной полярности. На рисунке 3 представлена эпюра переменного сварочного тока в динамическом режиме, при дежурном токе обратной полярности. За один период следования сварочного тока можно выделить следующие этапы: этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока обратной полярности, этап импульса тока обратной полярности, этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности, этап импульса тока прямой полярности. При переходах от дежурного тока к току импульса процессы в дуговом промежутке будут отличаться в зависимости от полярности тока импульса. С учетом этого будут рассмотрены процессы на различных этапах феноменологической модели дуги.

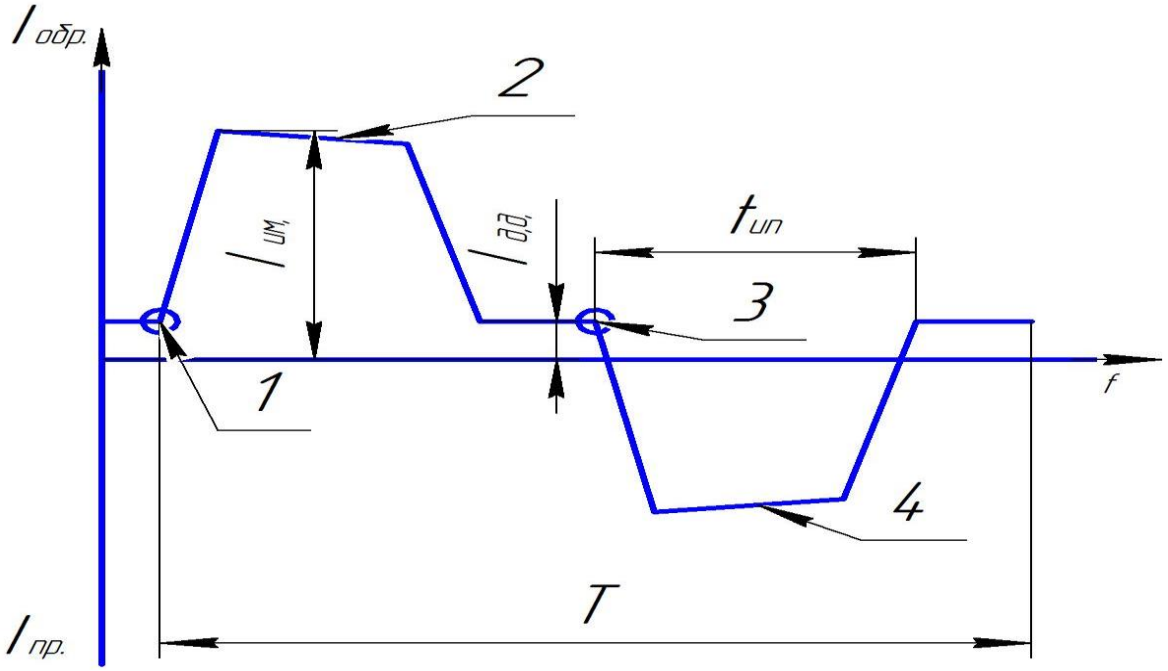

Рисунок №3 – эпюра тока дуги в динамическом режиме при дежурном токе обратной полярности, представленные схематично.

Этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока обратной полярности.

На данном участке сварочная дуга называется слаботочной, так как сила дежурного тока на обратной полярности не велика, всего 10-15 А. Катодом

является изделие, анодом электрод. В данной дуге происходит свободная конвекция. Потоки электронов свободно движутся на анод, а ионы на катод. На данной полярности преобладает автоэлектронная эмиссия. Поток электронов вырывается с поверхности изделия, за счет сильного электрического поля.

Этап импульса тока обратной полярности.

Изменение направление движения заряженных частиц не происходит. На данном этапе резко увеличивается величина сварочного тока, за счет применения кратковременного импульса. Время импульса около 70 мкс. Из- за увеличения тока возникает гидродинамическое течение со скоростями, значительно превышающие скорости естественной конвекции. При этом дуга изменяется от слаботочной до сильноточной дуги. Это характеризуется тем, что появляется сильный плазменный поток направленный с анода на катод. Благодаря этому потоку энергия увеличится, но ее все равно не будет достаточна для начало процесса плавления изделия. В тоже время за счет сильного электрического поля будет происходит интенсивный процесс вырывания электронов с поверхности изделия(катод). Процесс вырывание электродов, за счет сильного электрического поля и есть автоэлектронная эмиссия. Благодаря этим процессом происходит катодное распыление оксидной пленки.

Этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности.

На данном этапе кратковременный импульс завершается. Величина тока снижается до уровня дежурного тока. Плазменный поток уменьшается. Вновь начинается свободная конвекция, что означает дуга из сильноточной переходит в слаботочную. Происходит пауза.

Этап импульса тока прямой полярности.

По завершение паузы происходит смена полярности, возрастает величина тока за счет использования высокочастотного импульса прямой полярности. Время импульса около 70 мкс. Анод и катод меняются местами. Т.е. катод – электрод, анод – изделие. За счет увеличения тока дуга становится сильноточной, происходит усиление плазменного потока, который движется от катода к аноду, доставляя достаточно энергии для расплавления изделия. В тоже время происходит термоэлектронная эмиссия за счет увеличения температуры защитного газа и сильного нагрева электрода.

На рисунке 4 представлена схематически эпюра переменного сварочного тока в динамическом режиме, при дежурном токе прямой полярности. За один период следования сварочного тока можно выделить следующие этапы: этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока прямой полярности, этап импульса тока прямой полярности, этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности, этап импульса тока обратной полярности. При переходах от

дежурного тока к току импульса процессы в дуговом промежутке будут отличаться в зависимости от полярности тока импульса. С учетом этого будут рассмотрены процессы на различных этапах феноменологической модели дуги.

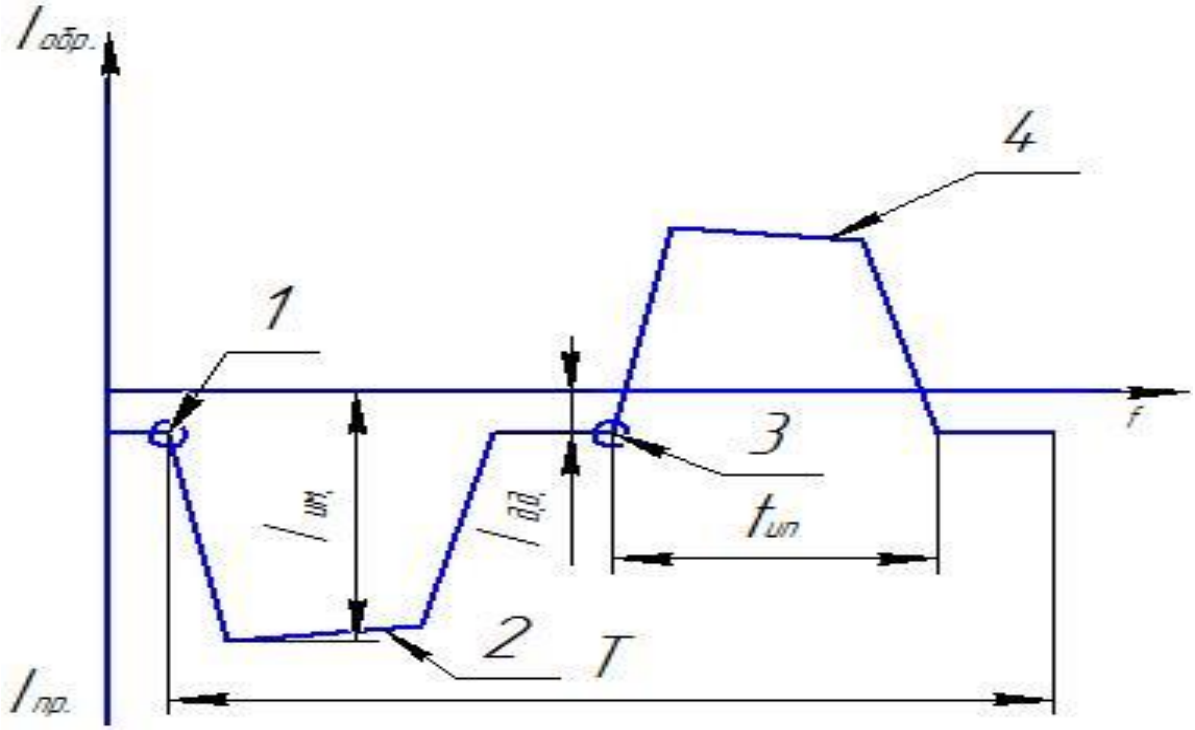

Рисунок №4 – эпюра тока дуги в динамическом режиме при дежурном токе прямой полярности, представленные схематично.

Этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока прямой полярности.

На данном участке сварочная дуга называется слаботочной, так как сила дежурного тока на обратной полярности не велика, всего 10-15 А. Катодом является электрод, анодом изделия. В данной дуге происходит свободная конвекция. Потоки электронов свободно бегут на анод, а ионы на катод. На данной полярности протекает термоэлектронная эмиссия. Происходит слабое расплавление изделия.

Этап импульса тока прямой полярности.

Изменение направление движения заряженных частиц не происходит. На данном этапе резко увеличивается величина сварочного тока, за счет применения кратковременного импульса. Время импульса около 70 мкс. Из- за увеличения тока возникает гидродинамическое течение со скоростями, значительно превышающие скорости естественной конвекции. При этом дуга изменяется от слаботочной до сильноточной дуги. Это характеризуется тем, что появляется сильный плазменный поток направленный с катода на анод. Благодаря этому потоку энергия увеличится проплавляющая способность, что позволяет концентрированно вводить тепло в изделие. В тоже время за счет сильного

сильного нагрева электрода будет происходит интенсивный процесс вырывания электронов с поверхности электрода(катод). Процесс вырывание электродов, за счет сильного теплового нагрева катода и есть термоэлектронная эмиссия. Благодаря этим процессом происходит сваривание изделия.

Этап дежурного тока перед импульсом обратной полярности.

На данном этапе кратковременный импульс завершается. Величина тока снижается до уровня дежурного тока. Плазменный поток уменьшается. Вновь начинается свободная конвекция, что означает дуга из сильноточной переходит в слаботочную. Происходит пауза.

Этап импульса тока обратной полярности.

По завершение паузы происходит смена полярности, возрастает величина тока за счет использования высокочастотного импульса обратной полярности. Время импульса около 70 мкс. Анод и катод меняются местами. Т.е. катод – изделие, анод – электрод. За счет увеличения тока дуга становится сильноточной, происходит усиление плазменного потока, который движется от анода к катоду. Доставляемой энергии не достаточно, чтобы расплавить изделия. В тоже время происходит автоэлектронная эмиссия под действием сильного электрического поля, электроны начинают вырываться с поверхности изделия происходит катодное распыление.

Вывод

На основе анализа электрофизических процессов в столбе дуги, анодной и катодной областях разработана феноменологическая модель дуги переменного тока горящей в динамическом режиме.

3 Разработка оборудования.

3.1 Функциональная схема устройства

Для разработки и исследование дуги, горящей на переменном токе в динамическом режиме разработана экспериментальная установка, на рисунке 5 представлена функциональная схема.

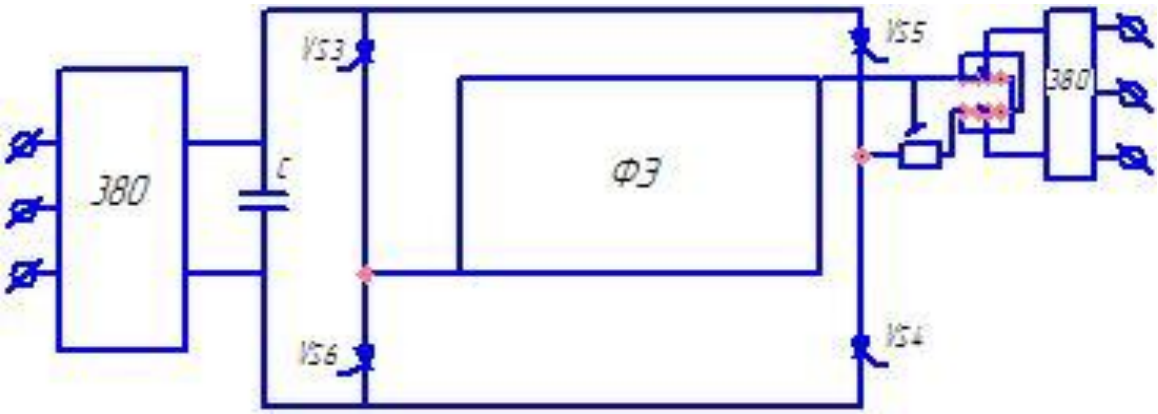

Рисунок 5 – функциональная схема устройства

Устройство состоит из основного трехфазного выпрямителя В и вспомогательного трехфазного выпрямителя В, обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода. Для уменьшения внутреннего сопротивления к выходным клеммам В, подключена батарея конденсаторов большой емкости С. Импульсная часть устройства выполнена в видео мостового преобразователя выполненного на тиристорах VS3 – VS6, в одну диагональ которого включен формирующий элемент ФЭ с ненулевыми начальными условиями. Другая диагональ включена последовательно в сварочную цепь.

Включение ФЭ в диагональ тиристорного моста и наличие батареи конденсаторов С, позволяет при поочередном открытии пар тиристоров VS3, VS4 и VS5, VS6 перезаряжать ФЭ на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного заряда от источника питания.

При переключение ключа К и использование вспомогательного трехфазного трансформатора, приводит к смене полярности импульсов.

Для обеспечения непрырывного горения дуги между импульсами используется дежурный ток, он протикает в обход ФЭ. Диапазон дежурного тока

10 -15 А

3.2 Принципиальная схема устройства для формирования импульсов сварочного тока

Принципиальная схема предлагаемого устройства для формирования импульсов сварочного тока представлена на рисунке 6.

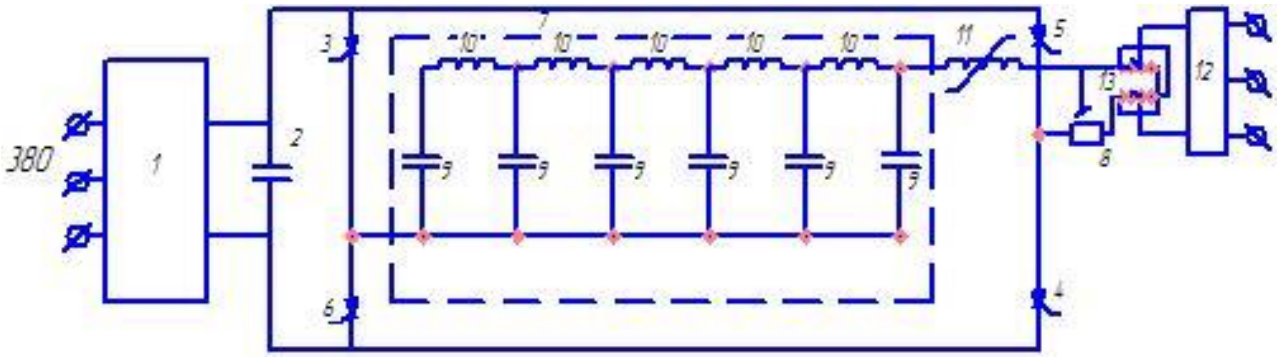

Рисунок №6 - Принципиальная схема устройства питания импульсной дуги.

Устройство состоит из трехфазного понижающего выпрямителя 1, обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода, к выходным клеммам которого для уменьшения внутреннего сопротивления подключена батарея конденсаторов 2. Зарядно – перезарядные тиристоры 3.4.5.6 соединение в мостовую схему, в диагональ которой между точками соединения анодов с катодами тиристоров включены последовательно соединенные формирующей элемент 7 и сварочная дуга 8, а к другой – трехфазный выпрямитель. Формирующий элемент 7, виде искусственной формирующей линии, состоящий из n (Lя - Cя) ячеек, каждая из которых состоит из последовательно включенных конденсатора ячейки 9 и дросселя ячейки 10, причем свободные выводы обкладок конденсаторов соединены вместе, а точки соединения конденсатора и дросселей предыдущих ячеек. В качестве последнего дросселя ячейки, использован быстронасыщающийся дроссель 11, индуктивность которого в насыщенном состояние равной индуктивности дросселей ячеек.

Благодаря включению сварочной дуги последовательно с формирующим элементом в диагональ тиристорного моста при поочередном включение пар тиристоров, находящихся в противоположных плечах тиристорного моста 3,4 и 5,6 будет происходить перезаряд искусственной формирующей лини на противоположную полярность. Через дуговой промежуток при этом будут протекать разнополярные импульсы тока.

Для непрерывности горения сварочной дуги параллельно ей подключен маломощный источник 12 с крутопадающей характеристикой и большой индуктивностью в сварочной цепи, обеспечивающей протекание тока паузы на интервале между импульсами (10 - 15) А. Полярность подключения источника может быть прямой и обратной что осуществляется переключателем 13.

Устройство работает следующим образом. При подаче управляющих импульсов на тиристоры 3 и 4, находящихся в противоположных ключах тиристорного моста, конденсаторы 9 заряжают с плюсом на нижних обкладках и с минусом на верхних обкладках. Конденсатор 2 всегда заряжен от выпрямителя 1 с плюсом на верхней обкладке, а конденсаторы 9 в момент открытия тиристоров 3 и 4 имеют заряд с полярностью: плюс на верхней обкладке и минус на нижней обкладке.

При открытии тиристоров 3 и 4 под действием суммарного напряжения источника питания 1 и напряжения заряженных конденсаторов 9 происходит перезаряд искусственной формирующей линии 7 по цепи: плюс выпрямителя 1 – тиристор 3 – искусственная формирующая линия 7 – быстронасыщающийся дроссель 11 – дуговой промежуток 8 – тиристор 4 – минус выпрямителя 1.

При этом через дуговой промежуток протекает ток обратной полярности. Если от вспомогательного выпрямителя 12 протекает дежурный ток обратной полярности (рисунок 3), то ток суммируется с положительной волной импульса, если – прямой полярности, то дежурный ток суммируется с отрицательной волной (рисунок 4). В конце перезаряда полярность конденсаторов 9 сменится на противоположную: плюс на нижних обкладках, минус – на верхних.

При открытии тиристоров 5 и 6 процесс перезаряда искусственной формирующей линии происходит аналогично. В этом случае протекает ток перезаряда через вспомогательный выпрямитель 12 в виду большой индуктивности его вторичной цепи и кратковременности времени перезаряда искусственной формирующей линии 7 исключено.

Вывод

Предлагаемое устройство отличается простотой схемного решения и надежностью работы и позволяет осуществлять сварку разнополярными импульсами дугой, горящей в динамическом режиме, что обеспечивает:

- катодную очистку поверхности изделия сплавов на основе алюминия и магния:
- изменение полярности тока дежурной дуги и его величине:
- локальный ввод тепла в изделие:
- возможности изменения постоянной составляющей по величине и знаку;
- широкий диапазон регулирования частоты следование разнополярных импульсов.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме» выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации. Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники организации.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме

Таблица 1 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	2, 3	2	1
	Возможность сварки тонколистового металла	3	2	1, 2

1- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горящей в динамическом режиме;

2- Аргонно-дуговая сварка;

3- Ручная дуговая сварка.

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

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 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 рессурсоэффективности							
1.Удобство в эксплуатаци	0,1	3	4	3	0,5	0,2	0,3
2. Затраты сварочного материала	0,2	5	3	4	1	0,2	1
3. Качество сварного соединения	0,1	5	4	3	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1 цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
2 Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,3
3 Конкурентно-способность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итого	1	28	26	21	5	2,35	3,75

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

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$К=\sum В_i \cdot Б_i \quad (21)$$

где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

В*i* – вес показателя (в долях единицы);

Б*i* – балл *i*-го показателя.

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

4.1.3 SWOT – анализ

Таблица 3 - Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
Отсутствие конкурентов на рынке Наличие бюджетного финансирования. Широкая область применения Использование современного оборудования Актуальность проекта Наличие опытного руководителя Наличие патента на разработку Экономия электроэнергии	Развитие новых технологий Перенастройка оборудования Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности	**Угрозы**
Получение качественных сварных соединений Регулирование производительности Повышение стоимости конкурентных разработок	Появление новых технологий Снижение государством финансирования темы Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.

Таблица 4 – Мероприятия, которые необходимо провести сейчас.

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Повышение квалификации персонала	200	4
Привлечение ВУЗов партнеров, для развития исследования	300-500	5
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 5 – Мероприятия, которые необходимо провести через год.

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Уменьшение габаритов установки	400	3
Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500-700	5

Таблица 6 – Мероприятия, которые необходимо провести через 5 лет.

	Ресурс, человек/час	Влияние (0-5)
Введение нашей установки на предприятие	200	5
Привлечение финансирования для развития технологии	500	4
Улучшение технологии	500	5

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 7 - Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Диаметр сварочной проволоки, мм	1	1	1
Б. Марка сварочной проволоки	Св-08Г2С	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.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8 - 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	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (22)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{\text{р}_i}$, 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 %.

$$T_{\text{р}_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i}, \quad (23)$$

где: $T_{\text{р}_i}$ – 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.

4.3.3 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:

$$T_{\text{к}i} = T_{\text{р}i} \cdot k_{\text{кал}}\ , \qquad (24)$$

где $T_{\text{к}i}$– продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях;

$T_{\text{р}i}$ – продолжительность выполнения i-й работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \qquad (25)$$

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. 12).

После заполнения таблицы 8 строим календарный план-график (табл. 13).

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 9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min}, чел-дни			t_{max}, чел-дни			$t_{ожi}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	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 10- Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Ра-бо	Вид работ	Исполнители	T_{ki}, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение проекта	Руководитель	3	✦								
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2		✦	◆						
3	Поиск и изучение материала ме	Студ.-рук.	2		◆							
4	Выбор направления дований	Руководитель	2			◆						
5	Календарное планирование	Руководитель	3			◆						
6	Изучение литературы по	Студент	15			✦	✦	✦				
7	Подбор нормативных ментов	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								✦	
2	Анализ результатов	Студ.-рук.									✦	◆
3	Вывод по цели	Студент										✦

✦ – студент; ◆ – руководитель.

4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

4.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_м = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^{m} Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (26)$$

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, м^2 и т.д.);

$Ц_i$– цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м^2 и т.д.);

k_T– коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Таблица 11 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, ($З_м$), 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

Продолжение таблицы 11

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

4.3.6 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 12 - 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.	Источник птания	1	-	-	30	-	-	40	-	-
Итого:								40	-	-

4.3.7 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. 16.

Таблица 13 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на			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).

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (27)$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата;

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

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = к_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (28)$$

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.

6.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = к_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (29)$$

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

На 2016 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 14 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	И	И	И	Ис	Ис	Ис
Руководитель	48	57	57	57	68	684
Студент-	31	27	28	38	32	337
Коэффициент отчислений	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

4.3.9 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum статей) \cdot к_{нр}, \quad (30)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $З_{накл}$ = 357807,5·0,16=57249,2 руб.

4.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 15 - 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 темы	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 НТИ	415056,7	315033,8	343102,5	Сумма ст. 1- 6

4.4 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:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{Ф_{pi}}{Ф_{\max}}, \quad (31)$$

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

$Ф_{pi}$ – стоимость *i*-го варианта исполнения;

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (32)$$

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. 16).

Таблица 16 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. ПГ,СГ,ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

$$I_{\text{р}-\text{исп}1} = 5 \cdot 0{,}25 + 5 \cdot 0{,}25 + 4 \cdot 0{,}15 + 4 \cdot 0{,}35 = 4{,}5;$$

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

$$I_{\text{р}-\text{исп}3} = 4 \cdot 0{,}25 + 3 \cdot 0{,}25 + 4 \cdot 0{,}15 + 5 \cdot 0{,}35 = 3{,}8;$$

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

$$I_{\text{исп}i.} = \frac{I_{\text{р}-\text{исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}.i}}, \quad (33)$$

$$I_{\text{исп}1} = \frac{4{,}5}{1} = 4{,}55;\ I_{\text{исп}2} = \frac{3{,}15}{0{,}76} = 4{,}14;\ I_{\text{исп}3} = \frac{3{,}8}{0{,}83} = 4{,}57.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($Э_{ср}$):

$$Э_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп}\,i}}{I_{\text{исп}\,max}} \quad (34)$$

Таблица 17 - 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.

5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Объект исследования является разработка процесса сварки дугой, горящей на переменном токе в динамическом режиме. Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа аргона.

Целью данного раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи во время работы в лаборатории и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

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

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

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

-излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;

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

– нервнопсихические перегрузки из-за напряженности труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению

здоровья. Это действие электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

5.2 Производственная безопасность

Таблица 18 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации процесса сварки дугой горящей в динамическом режиме.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы *(по ГОСТ 12.0.003-74)*		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка листовых заготовок; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях; 2. Превышение уровня шума и вибрации; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе	1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, брызги расплавленного металла. 2. Электрический ток; 3. Световое излучение при сварке	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ[5], ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ[6], ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ[7], ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ[8], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[9], СанПиН 2.2.4.548–96[10], СН 2.2.4/2.1.8.562–96[11], СН 2.2.4/2.1.8.566–96[12], СП 52.13330.2011[13], СанПиН 2.2.2.540-96[14].

Отклонение показателей микроклимата

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

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы

температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 2.

Таблица 19– Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (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.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	0,3
Теплый	21-23	27	29	18	17	40-60	65	0,3	0,2-0,4

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Загазованность воздуха

Сварщику также часто приходиться иметь дело с опасными газами и макрочастицами. Несмотря на то, что в процессе сварки не испускается дыма, яркая дуга в процессе TIG может пробить окружающий воздушный промежуток, т.о. образуя озон и оксиды азота. Озон и оксиды азота реагируют с тканью легких, из-за чего во влажной среде происходит реакция образования азотной кислоты, а также горения озона. Хотя воздействия перечисленных процессов и умеренны, однако их продолжительное воздействие, а также неоднократное

периодическое воздействие могут вызвать эмфизему и отек легких, что может привести к преждевременной смерти. Поэтому необходимо контролировать параметры воздуха в помещении, где производятся работы. Точно так же дуга, благодаря её высокой температуре, может вызвать образование ядовитых газов и токсичных соединений из материалов, применяемых в целях очистки и обезжиривания места сварки. Поэтому вблизи места сварки нельзя производить операции по очистке с использованием этих агентов, а также требуется надлежащим образом обеспечить необходимую вентиляцию для защитить сварщика

Уровня шума на рабочем месте

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

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

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБ, ГОСТ 12.1.003-2014.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

1. Изоляции источников шумов;

2. Проведение акустической обработки помещения;

3. Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

Освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СНиП 23-05-2010).

Различают естественное и искусственное освещение.

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

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

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

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (Кп) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного факторы

является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

Электрический ток

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

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

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

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

- запрещается при включении установки.

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

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;

- зануление – замыкание на корпус электроустановок;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- защитное разделение сетей;

- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом

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

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

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,
- контроль,
- ремонт.

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

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушения. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет

превышать 70% (РЗ), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать. Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

5.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относится к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

При написании дипломного проекта была выявлена возможная ЧС, это пожар, аргон – вещество негорючее, но при нагревании происходит повышение давления, что может привести к взрыву.

Пожарная безопасность – 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.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети.
2. Курить только в отведенных для курения местах.
3. Проверять уровень нормы газа аргона в помещении, проветривать помещение.
4. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу.
5. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Основной задачей регулировании проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86.

Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами ил и экрана ми) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами ил и экрана ми) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.
- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.
- Ширина проходов между установками должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для точечных и шовных машин - не менее 3 м, при расположении машин тыльными сторонами друг к другу - не менее 1 м, при расположении машин передними и тыльным и сторонам и друг к другу - не менее 1,5 м.
- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.
- При установке однопостового источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м.
- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м.

- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.
- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.
- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.
- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.
- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).
- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.
- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.
- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

Заключение

Проведённый анализ процесса сварки алюминия и его сплавов с учетом их свойств показал, что перспективным является применение процесса сварки дугой, горящей в динамическом режиме на переменном токе. Применения такого процесса позволяет вводить концентрирована тепло дуги и очищать поверхность от окисной пленки. Для выяснения особенности горение дуги и процесса сварки разработана феноменологическая модель поясняющая физические процессы на различных этапах. Для реализации процесса разработано устройство в котором для создание импульсов используется формирующий элемент на основе однородной искусственной линии, позволяющие в широких пределах изменять частоту следования разнополярных импульсов при различной полярности тока дежурной дуги.

Использование однородной искусственной линии при создание установок для сварки алюминия, особенно малых толщин позволит резко снизить стоимость подобных установок и эффективность процесса сварки за счет концентрированного ввода тепла, особенно каркасных конструкций малых толщин.

В работе так же рассмотрены по социальной безопасности при работе на таких установках.

Список литературы

1. Славин Г.А., Столпнер Е.А., Некоторые особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока.// Сварочное производство.-1967г.-№2. - С. 3-5.

2. http://www.osvarke.com/svarka-aluminiya.html - Сварка алюминия

3. http://www.aspar.com.ua/dugsvarka/76.html - Особенности дуги переменного тока

4. http://www.shtorm-its.ru/elektricheskaya-duga-sposobyi-svarki-i-svarnyie-soedineniya - Электрическая дуга, способы сварки и сварные соединения

5. http://weldering.com/content/svarka-inertnyh-gazah-volframovym-elektrodom-tig – Сущность процесса сварки TIG

6. http://www.ngpedia.ru/id534710p1.html – Большая энциклопедия

7. http://stalevarim.ru/pub/svarka-aluminiya-postoyannym-tokom/ - Сварка алюминия постоянным током

8. http://weldzone.info/technology/tig-welding/514-tig-svarka-alyuminiya-peremennym-tokom - Сварка алюминия переменным током

9. http://svarkainfo.ru/rus/lib/tech/tsal/ - Технология сварки