

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки машиностроение 15.04.01  
Отделение электронной инженерии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы   |
|---|
| Разработка процесса сварки алюминиевых сплавов дугой переменного тока в динамическом режиме |

УДК 621.791.754'293.01: 669.018.25

Студент

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 1ВМ61  | Радионов И.И. |         |      |

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Данков А.Г. | к.и.н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Мезенцева И.Л | -                      |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП  | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|-------------|------------------------|---------|------|
| 15.04.01<br>Машиностроение.<br>Машины и технологии<br>сварочного<br>производства. | Гнюсов С.Ф. | д.т.н., профессор      |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

| Код результата                             | Результат обучения  |
|--|---|
| <i><b>Универсальные компетенции</b></i>    |   |
| P1   | Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий   |
| P2   | Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения  |
| P3   | Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники  |
| P4   | Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия  |
| P5   | Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя  |
| P6   | Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения  |
| <i><b>Профессиональные компетенции</b></i> |   |
| P9   | Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции   |
| P10  | Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля   |
| P11  | Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства |

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

---

Инженерная школа – неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 15.04.01– «Машиностроение»  
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/ Гнюсов С.Ф.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерская диссертация |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                       |
|--------|---------------------------|
| 1ВМ61  | Радионову Ивану Игоревичу |

Тема работы:

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Разработка процесса сварки алюминиевых сплавов дугой переменного тока в динамическом режиме |                           |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)   | от 18.10.2016 г. № 8896/с |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2018 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне на переменном токе.</p> |
|---|--|

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Введение.</li> <li>2. Литературный обзор состояния сварки алюминия и его сплавов.</li> <li>3. Модель дуги переменного тока горячей в динамическом режиме.</li> <li>4. Разработка импульсной системы для сварки на переменном токе.</li> <li>5. Экспериментальная часть.</li> <li>6. Финансовый Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7. Социальная ответственность.</li> <li>8. Заключение.</li> </ol> |
|--|---|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Название темы, цель, задачи.</li> <li>2. Особенности сварки алюминия.</li> <li>3. Известные способы сварки алюминия.</li> <li>4. Модель дуги переменного тока в динамическом режиме.</li> <li>5. Силовая часть импульсной системы переменного тока.</li> <li>6. Схема управления сварочным циклом.</li> <li>7. Экспериментальная часть.</li> <li>8. Заключение.</li> </ol> |
|--|--|

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> |  |
|---|--|

| Раздел | Консультант    |
|--------|----------------|
| 1-5    | Князьков А.Ф.  |
| 6      | Данков А.Г.    |
| 7      | Мезенцева И.Л. |
|        |                |

|  |
|--|
| <p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> |
|--|

|  |                  |
|--|------------------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p>9.03.2016</p> |
|--|------------------|

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 1ВМ61  | Радионов Иван Игоревич |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 95 с., 15 рис., 19 табл., 15 источников информации.

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

Объектом исследования является: процесс сварки алюминиевых сплавов дугой горячей на переменном токе в динамическом режиме.

Цель работы – разработать процесс сварки алюминиевых сплавов дугой горячей на переменном токе 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, горячей 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, горячей 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 ИШНКБ НИ ТПУ для обеспечения возможности проведения экспериментальных исследований процесса сварки дугой, горячей 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;

$W_{\Sigma}$  – 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;

$T_{\partial}$  – температура в  $^{\circ}\text{K}$ ;

$q_p$  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 требования.
6. ГОСТ 12.3.003 – 86. Работы электросварочные. Требования 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 требования.
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.....  | 10 |
| 1 Литературный обзор. ....   | 12 |
| 1.1.1 Теплопроводность.....  | 12 |
| 1.1.2 Наличие окисной пленки .....   | 12 |
| 1.1.3 Выпрямляющие действие дуги.....  | 15 |
| 1.1.4 Затруднение зажигания при смене полярности.....                                    | 16 |
| 1.1.5 Влияние водорода на процесс сварки .....   | 15 |
| 1.2 Способы сварки и оборудование.....   | 18 |
| 1.2.1 На переменном токе.....  | 19 |
| 1.2.2 Вольфрамовый электрод для сварки алюминия. ....                                    | 19 |
| 1.2.3. на постоянном токе.....   | 18 |
| 2 Модель дуги переменного тока горячей в динамическом режиме. ....                       | 23 |
| 2.1 Характеристика сварочной дуги.....   | 23 |
| 2.2 Сварочная дуга, состоящая из суммы трех источников тепла. ....                       | 23 |
| 2.2 Столб дуги .....   | 24 |
| 2.3 Особенности строения и физический процессы в анодной области<br>сварочной дуги ..... | 26 |
| 2.4 Особенности строения и физический процессы в анодной области<br>сварочной дуги. .... | 29 |
| 2.5 Разработка модели дуги. ....   | 34 |
| 2.5.1 Эпюры тока дуги в динамическом режиме.....   | 34 |
| 2.5.2 Вольтамперная характеристика динамической дуги переменного тока.<br>.....          | 37 |
| 3 Разработка импульсной системы для сварки на переменном токе.....                       | 43 |
| 3.1 Функциональная схема устройства.....   | 43 |
| 3.2 Принципиальная схема устройства для формирования импульсов<br>сварочного тока .....  | 44 |
| Вывод.....   | 45 |
| 3.3 Расчет основных элементов электрической схемы .....                                  | 46 |
| 4 Экспериментальная часть.....   | 48 |
| 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....                | 52 |
| 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....                           | 53 |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.1.3 SWOT – анализ .....  | 55        |
| 5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований  | 57        |
| 4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....   | 58        |
| 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....   | 58        |
| 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....  | 59        |
| 5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования .....  | 59        |
| 5.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....  | 63        |
| 5.3.5 Расчет материальных затрат НТИ .....   | 63        |
| Продолжение таблицы 14.....  | 64        |
| 5.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных<br>(экспериментальных) работ .....                                       | 64        |
| 5.3.7 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....  | 64        |
| 5.3.9 Накладные расходы.....   | 67        |
| 5.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .   | 67        |
| 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной,<br>социальной и экономической эффективности исследования..... | 67        |
| 6.2 Производственная безопасность.....   | 73        |
| Нормативные документы .....  | 73        |
| Заключение .....   | 84        |
| Список литературы .....  | 85        |
| <b>Приложение А</b> .....  | <b>87</b> |

## 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 также 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 оставить лучшего. Поэтому необходимо разрабатывать мероприятия, повышающие эффективность этого процесса. Известны методы повышения эффективности внутренние и внешние, которые в какой-то степени улучшают процесс и повышают его производительность, но имеются 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.

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

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

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

**ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ** – процесс сварки алюминиевых сплавов дугой горящей на переменном токе в динамическом режиме.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА** проведенного исследования:

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

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.**

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

## 1 Литературный обзор.

### 1.1 Основные аспекты сварки алюминия и его сплавов.

Во время сварки алюминия и его сплавов необходимо учитывать факторы, влияющие на качество сварки:

- высокая теплопроводность
- наличие окисной пленки
- выпрямляющие действия дуги
- из-за смены полярности дуги возникает затруднение повторного возбуждения
- наличие водорода в материале при сварке

#### 1.1.1 Теплопроводность.

Алюминий резко теряет прочность при высокой температуре. А не расплавившиеся кромки могут разрушиться под действием массы сварочной ванны. Одно из свойств алюминия высокая жидкотекучесть, это может привести к вытеканию расплавленного металла через корень шва. Нет изменения цвета при нагреве металла, из-за этого возникают трудности в отслеживании размеров сварочной ванны. Для избежания прожогов при однопроводной сварке или сварке первого слоя на высокой погонной энергии, применяют подкладки из керамики, стали или графита [1].

#### 1.1.2 Наличие окисной пленки

Основное свойство алюминия высокая химическая активность. Легко вступает в химическое соединение с кислородом, вследствие чего образуется тонкая плотная пленка состоящая из оксидной пленки ( $Al_2O_3$ ). Из-за данной пленки повышается коррозионная стойкость. Температура плавления алюминия -  $660\text{ }^{\circ}C$ , а температура плавления оксидной пленки –  $2030\text{ }^{\circ}C$  [2]

Оксид алюминия – это твердый, электропроводящий материал из керамики. Алюминий расплавляется крупными каплями, удерживаемыми от слияния оксидной пленкой. Если частички пленки попадают в закристаллизованный металл шва, то ухудшаются механические свойства материала. Следовательно, чтобы сварить две детали из алюминия, необходимо

в первую очередь очистить детали от окисной пленки. Это можно выполнить несколькими способами:

- 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.

- удаление оксидных пленок осуществляют травлением в растворах кислот или щелочей. Состав раствора определяется видом металла, толщиной окисной пленки и требуемой скоростью травления. После операции травления детали тщательно промывают с применением нейтрализующих растворов.

- удаление оксидной пленки с поверхности алюминия механическим путем практически невозможно, так как мгновенно после удаления пленки чистый металл вновь покрывается новой оксидной пленкой. Метод холодной сварки удачно решает вопрос удаления оксидной пленки. Оксидная пленка, значительно более хрупкая, чем основной металл, растрескивается и вытесняется с частью металла. Атомы чистого металла свариваемых концов непосредственно соприкасаются, и в зоне пластической деформации образуется цельнометаллическое соединение, характеризующееся непрерывностью кристаллической структуры.

- для удаления оксидной пленки с поверхности изделий применяют специальные порошки - флюсы, которые защищают также жидкую ванну от окисления в процессе сварки. Расплавленные флюсы растворяют оксидную пленку и превращают ее в легкоплавкий шлак, всплывающий на поверхность сварочной ванны. Шлак в процессе сварки защищает поверхность расплавленного металла от дальнейшего окисления.

- для удаления оксидных пленок с поверхности алюминиевых проводников применяется фиринит, который наносится тонким слоем на скрученный конец проводников непосредственно перед сваркой.

- для удаления оксидной пленки на изделиях из алюминия и его сплавов применяют обработку в кислых или щелочных средах с доследующим осветлением поверхности в растворах азотной кислоты, либо в смесях азотной и фтористоводородной кислот. Качество электроосажденного покрытия значительно улучшается после обработки изделий из сплавов алюминия в растворах, содержащих ионы шестивалентного хрома, активный фтор и ускорители.

- для удаления оксидных пленок, препятствующих насыщению, детали перед цементацией обезжиривают и подвергают травлению.

- для удаления оксидных пленок и загрязнений с поверхностей, подлежащих пайке, а также для защиты спаиваемых поверхностей и припоя от повторного окисления при нагреве используют флюсы. Применение канифоли дает хорошие результаты только при пайке чистой поверхности меди и ее сплавов, облуженных горячим способом.

- для удаления оксидной пленки применяют флюс АФ-4А, содержащий 28 % хлористого натрия, 50 % хлористого калия, 14 % хлористого лития и 8 % фтористого натрия. При сварке металлическим электродом применяют различные покрытия, которые также в основном содержат хлористый натрий, хлористый калий, фтористый калий, фтористый натрий, криолит, сернокислый натрий, хлористый литий и др. В качестве связующего вещества применяют декстрин или густой раствор поваренной соли. Для более полной очистки применяют травление 5 % - ным раствором азотной кислоты с последующей промывкой горячей водой и сушкой.

На сварке прямой полярности деталь будет получать значительное количество тепла, но это будет не достаточно для разрушения окисной пленки. При сварке на обратной полярности тепла детали будет передаваться меньше, но, как только начнется процесс сварки, начнется разрушение окисной пленки (начинается процесс – катодная очистка) [2].

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 Выпрямляющее 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 полупериоды 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 [2].

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 [2].

#### 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 переменному 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 [3].

Процесс повторного зажигания дуги при переходе тока через нуль рассмотрим по осциллограммам (рисунок 1,а). В конце предыдущего полупериода с момента  $t_1$  напряжение трансформатора становится недостаточным для питания дуги, в результате дуга угасает, а ток резко снижается. С момента угасания  $t_1$  температура межэлектродного промежутка ТМЭ падает, а его сопротивление  $R_{МЭ}$  резко возрастает (рисунок 1,б).

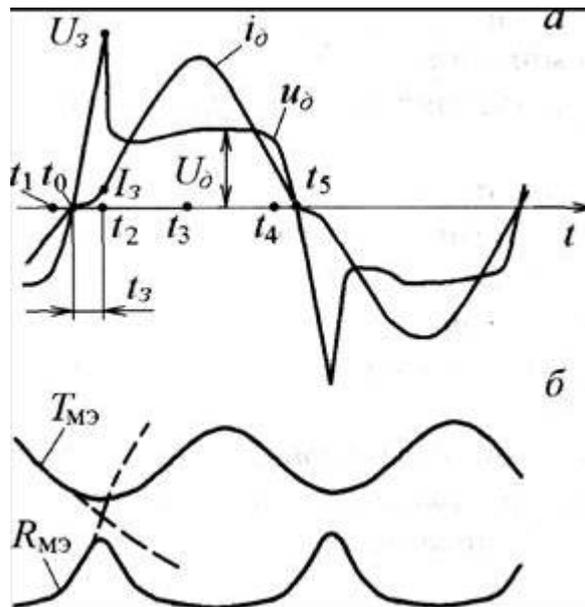


Рисунок №1 – Типичные осциллограммы дуги переменного тока: а – сварочный ток  $i_d$  и напряжение  $u_d$ , б – температура  $T_{MЭ}$  и сопротивление  $R_{MЭ}$  межэлектродного промежутка

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  $di_d/dt$ , 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 [3].

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  $U_d$  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  $t_2$  при достижении напряжением источника довольно высокой величины напряжения повторного зажигания  $U_3$ , 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  $T_{мэ}$  межэлектродного промежутка резко снижается, а его сопротивление  $R_{МЭ}$  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 возникновения 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  $150-250^{\circ}\text{C}$ . 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  $0,69-0,7 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  металла. Основным источником водорода, растворяющегося в металле шва при аргонодуговой сварке, является влага, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав оксидной пленки в виде гидратированных окислов. Количество

ее определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой [4].

## 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 кристаллизуется), 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) [5].

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 нержавеющей сталей, алюминия и его сплавов, титана, никеля, меди, латуни, кремнистых бронз, а также 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 [6].

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 нержавеющей 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 [6].

### 1.2.3. на постоянном токе

Сварка алюминия постоянным током осуществляется только с применением обратной полярности. Это связано с рядом особенностей самого металла.

Главная особенность работы с алюминием и сплавами из него заключается в том, что во время сваривания изделий из этих материалов возникает проблема с расплавлением оксидной пленки, которая покрывает этот металл. Эта пленка характеризуется значительно тугоплавкостью. Кроме того пленка оксида может возникать и на поверхности ванны, что значительно препятствует образованию сварного соединения, сказывается на общей стабильности сварочного процесса, способствует образованию непроваров в швах.

Поэтому сварочный процесс алюминия связан с тщательным подбором материалов и рода тока. Специалисты советуют использовать специальные вольфрамовые электроды с алюминием и сплавами из него. Что же касается тока, то одни специалисты рекомендуют использовать исключительно ток переменный. Другие допускают применение источников постоянного тока, но только при создании обратной полярности [7].

Если при сваривании алюминия применять постоянный ток прямой полярности, то следует ожидать ряд проблем, таких как:

- Зажечь дугу будет довольно сложно.
- Поддерживать дугу также будет очень сложно.
- Металл будет сильно разбрызгиваться.
- Присадочный пруток, который в таком случае будет очень быстро плавиться, не будет сплавляться с металлом изделия.
- В итоге, шов получится с прожогами и черным налетом.

Обратная полярность позволяет справиться с оксидной пленкой алюминия, затрудняющей сваривание. Конечный результат также оказывается значительно лучше – кромки металлоизделия довольно хорошо сплавляются. Но при таком способе сварки алюминия невозможно увеличить плотность тока, так как для этого вида она довольно ограничена.

#### Заключение

Проанализировав специфику сварки алюминиевых сплавов были выявлены основные трудности, такие как высокой теплопроводности, затруднения повторного возбуждения дуги при сварке на переменном токе, наличия окисной пленки, выпрямляющего действия сварочной дуги. Для улучшения качества сварки алюминиевых сплавов необходимо вводить в изделие концентрированное тепло, а также варить на переменном токе, для катодной очистки окисной пленки. Для этого необходимо вести процесс сварки на переменном токе в динамическом режиме. На основании этого можно сформулировать цель работы в следующем виде:

Разработать процесса сварки дугой переменного тока 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 функциональную схемы оборудования
- разработка принципиальную схемы оборудования

## 2 Модель дуги переменного тока горячей в динамическом режиме.

### 2.1 Характеристика сварочной дуги.

Чтобы разработать модель дуги переменного тока с импульсным источником питания в среде защитного газа, необходимо прежде всего изучить физические явления, происходящие в приэлектродных областях и в столбе сварочной дуги. Изучение влияния термических процессов сварочной дуги на исходный металл и электрод может быть упрощено, с разделением сварочной дуги на три основные секции. В настоящее время были идентифицированы три основных источника тепла в дуге: катодная область, анодная область и столбцы дуги. Принимая во внимание, что тепло, выделяемое в катодной области, идет только на катод. И тепло выделенной области анода находится только на аноде. Но в столбце дуги выделяемое тепло рассеивается в окружающей среде в виде теплового и светового излучения. Следовательно, основная тепловая энергия получается из анодной и катодной областей, а влияние тепловой энергии, полученной из дугового столба, незначительно на процесс сварки.

### 2.2 Сварочная дуга, состоящая из суммы трех источников тепла.

Энергия, образующая в катодной области:

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

энергия, образующая 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, передаваемая электронами на анод.

Выражение в квадратных скобках является эффективным падением напряжения в катодной и анодной области и обозначаются  $U_K^{\text{э}}, U_A^{\text{э}}$ .

Необходимо чтобы энергия, применяемая в катодной области была выше Энергия, применяемая в анодной области. Исходя из этого, катодное падение напряжение должно превышать анодное падение напряжение.

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

$$W_{\text{э}} = I\left(\frac{3}{2} \cdot K \cdot T + \varphi\right), \quad (3)$$

Покидает катодную области виде внутренней энергии электронов. Следовательно, тепловая мощность катодного источника нагрева равна:

$$P_K = W_K - W_{\text{э}}. \quad (4)$$

Соответственно тепловая мощность анодного источника нагрева равна:

$$P_A = W_K + W_{\text{э}}. \quad (5)$$

Общая тепловая мощность приэлектронных источников нагрева:

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

Тепловая мощность в столбе дуги:

$$P_C = W_C. \quad (7)$$

Общая электрическая мощность, используемая источником питания на поддержание дуги:

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

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 располагаются электроны и ионы. Которые позволяют электрическому току переходить с катода на анод.

В столбе сварочной дуги непрерывно происходят ионизационные процессы и рекомбинации заряженных частиц. Энергия, необходимая для ионизации газа, применяется источником сварочного тока. В преобразованной сварочной дуге существует подвижное равновесие: энергия, идущая на ионизацию газа, уравновешивается затратами 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 передается электронами. В плазме действует внешнее электрическое поле, что и перемещает электроны от катода к аноду.

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

$$m_e u \nu = E e, \quad (10)$$

где  $m_e$  – масса электрода,

$u$  – средняя направленная скорость,

$E$  – напряженность электрического поля,

$e$  – заряд электрона.

Следовательно

$$u = \frac{eE}{m_e} \cdot \frac{1}{\nu} = \frac{eE}{m_e}, \quad (11)$$

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

При концентрации электронов в  $1 \text{ см}^3$  плазмы  $n_e$ , тогда в плазме плотность электронов находим по выражению:

$$j = e n_e u = \frac{n_e e^2}{m_e} \tau E. \quad (12)$$

Формулу (7) представим в виде:

$$j = \rho E. \quad (13)$$

Получаем, что  $\rho$  характеризует удельную электропроводимость плазмы:

$$\rho = \frac{n_e e^2}{m_e} \tau. \quad (14)$$

Плотность тока, проходящая через столб сварочной дуги:

$$I = \pi \rho E R^2, \quad (15)$$

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  $\rho$ ,  $E$  и  $R$  в уравнение (15).

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

$$\frac{x}{1-x}P = 4,9 \cdot 10^{-4} \frac{q_p}{q_a} T_d^{2,5} e^{\frac{-11600V_i}{T_d}}, \quad (16)$$

где  $x$  – степень ионизации,

$P$  – давление газа в столбе дуги,

$T_d$  – температура в  $^{\circ}\text{K}$ ,

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 напрямую связано с длиной дуги:

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

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

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

2.3 Особенности строения и физические 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, ускоряющая 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 пересекают переходную и ускоряющую зону. В ускоряющейся 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 столкновения 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 образовании ионов и электронов играет термическая ионизация. Напряженность у анода в данном случае меньше.

Выше изложенный анодный процесс предполагает отсутствие эмиссии положительных ионов с 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 подчиняются 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 ускорения и зону ионизации. При возрастании 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 случае 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:

$$P_A = I_D(U_A + U_B), \quad (18)$$

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

$$P_A = P_{пл} = K_{па} I g_m, \quad (19)$$

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

$g_m$  – теплосодержание капель, покидающих анод,

$U_B$  – работа выхода металла.

Также Д.М. Рабкин принял, что

$$U_A = K_{па} g_m - U_B. \quad (20)$$

Анодная плазменная струя, направленная в сторону катода, увеличивает скорость ионов, образовавшихся в анодной области, а также долю ионного тока. При увеличении 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 ионам перемещаться к катоду. Это может привести к изменению распределения температуры у анода вследствие приближения 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.

Катодный плазменный поток, направленный к аноду, не позволяет ионам перемещаться к катоду. Это может привести к изменению распределения температуры у анода вследствие приближения 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 дуге 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 увеличении тока интенсивность плазменного потока растет. Следовательно, может быть установлена связь анодного падения напряжения со сварочным током. Анодное падение напряжения может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от действия потоков в дуге с увеличением тока.

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

На рисунке 2 представлена сильно точная дуга ( $I=150$  А), горящая в атмосфере аргона между вольфрамовым катодом и неиспаряющейся охлаждаемой металлической поверхностью, которая является анодом. Представленная светлая форма на рисунке типична для такой формы электродов в атмосфере аргона, соответствует зоне электрической проводимости дуги. Как хорошо видно из рисунка, плотность тока относительно велика на поверхности катода и вблизи него и постепенно убывает по направлению к аноду. Это увеличение зоны проводимости дуги по мере придвижению к аноду является следствием газового потока, входящего в зону дуги в районе катода и уходящего в радиальном направлении вблизи анода (Рис. 2). Это течение известно под название «катодная струя». Теория, объясняющая природу этого течения, разработал Мэкерон.

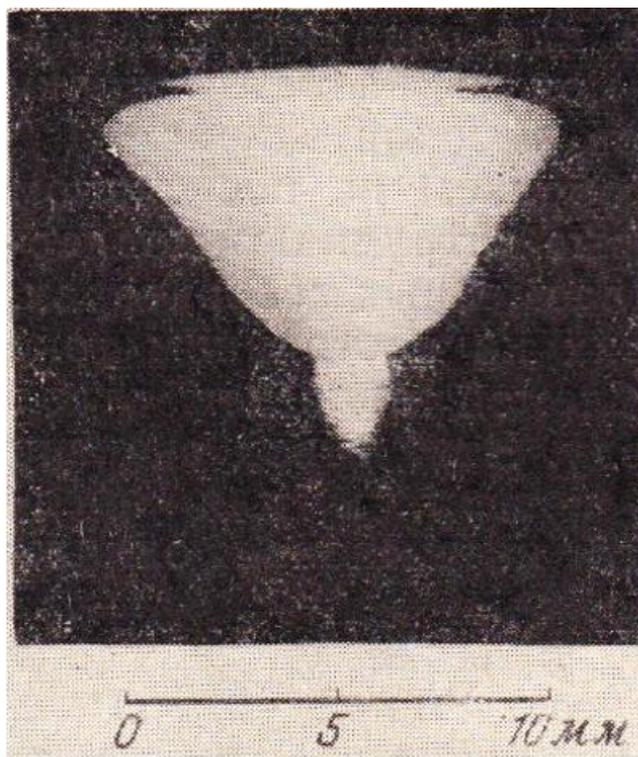


Рисунок №2 - сильно точная дуга ( $I=150$  А), горящая в атмосфере аргона.

Используя упрощенную схему дуги, Мэкер показал, что выражение

$$\rho_{\text{макс}} = \frac{I^2}{C^2 A_c}$$

представляет собой максимально возможное полное давление в дуге и, следовательно, верхний предел кинетической энергии потока. Давление в дуге возникает под действием электромагнитных сил. Радиальное сжатие обратно пропорционально сечению, через которое течет ток. Следовательно, оно постепенно убывает по направлению от катода к аноду. Таким образом, электромагнитных сил является максимальным вблизи катода и пренебрежимо мало около анода. Поэтому область, расположенная перед катодом, действует подобно электромагнитному насосу. Этот насос забирает газ из окружающего пространства и выбрасывает его в направлении анода в виде свободной струи. Это струя смешивается с окружающим газом, и в результате образуется постепенно расширяющийся поток. Качественная схема такого потока показана на рис. 3.

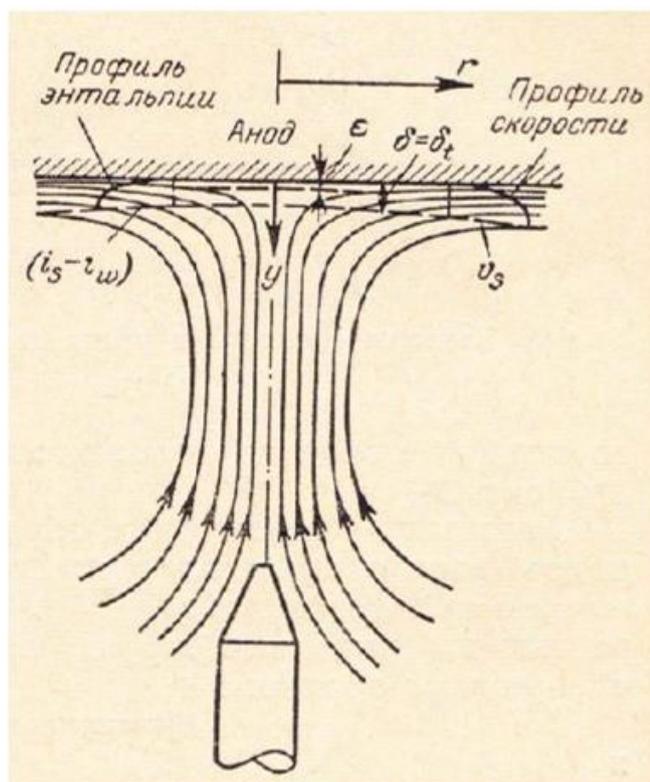


Рисунок №3 – гидродинамика течение в сильноточной дуге.

Следует помнить, что вследствие ряда упрощающих предпосылок результаты теории Мэкера, выражающиеся уравнение (1), является достаточно грубым приближением.

Одно из этих допущений состоит в том, что плотность тока принимается постоянной по сечению дуги. В действительности же плотность тока во внешней проводящей зоне дуги гораздо меньше, чем вблизи оси. Это связано с уменьшением температуры плазмы при удалении от оси дуги и с соответствующим уменьшением электропроводимости. Поэтому параболическое распределение тока плотности тока,  $j(r) = j_{\text{макс}}(1 - (\frac{r}{r_0})^2)$ , где  $r_0$  – внешний электропроводящей зоны, должно дать значительно более точное приближение к действительности. Подставка этого распределения тока в уравнение, на котором базируется теория Мэкера, приводит к следующему верхнему пределу полного давления в дуге:

$$\rho_{\text{макс}2} = \frac{5}{3} \frac{I^2}{c^2 A_c} \quad (2)$$

Это значение в 5/3 раза больше, чем полученное для постоянной плотности тока (1). Согласно измерениям скорости газа в катодной струе имеют порядок  $10^2$  см/сек, что соответствует числам Маха от 0,1 до 0,2. Поэтому гидродинамику катодной струи можно исследовать с помощью теории течения несжимаемой жидкости.

Как отмечалось во введении, свободная конвекция в сильноточных дугах является не значительной. Это обстоятельство подтверждается след. численным примером. Температура на оси сильноточных дуг в атмосфере аргона имеет порядок 15000 К. при этой температуре, равной  $\rho = 2 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>, т.е. составляет примерно 1/100 от плотности окружающей атмосферы при комнатной температуре, равной  $\rho_0 = 1.8 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>. Частицы плазмы под действием подъемных сил приобретают ускорение

$$a = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} g = 110g.$$

На длине  $s=0.5$  см, равной величине межэлектронного зазора, этому ускорению соответствует скорость,  $v = \sqrt{2as} = 330$  см/сек, что является небольшой величиной по сравнению со скоростью катодной струи, имеющей порядок  $10^4$  см/сек.

Движение заряженных частиц. Плазма состоит из электронов, ионов и нейтральных атомов, причем ее конкретный состав зависит от температуры. За исключением зон, прилегающих к электродам, плазма является электрически нейтральной т.е.

$$n^- = \sum_{z=1}^{z=k} z n_z^+ \quad (3)$$

где  $n^-$  и  $n^+$  - плотность электронов и ионов;  $z$  – заряд ионов. Примем, что положительные ионы в дуге имеют единичный заряд ( $z=1$ ). Это допущение вполне соответствует действительности, так как при температурах ниже 18000 К, имеющих место в столбе дуги, число дважды заряженных ионов невелико. Тогда условие электрической нейтральности дает:

$$n^- = n^+ \quad (4)$$

ток и в дуге обуславливается движением электронов и ионов. Следовательно

$$j = j^- + j^+ \quad (5)$$

Вектор электронного тока  $j^-$  имеет положительный знак, если направлен от катода к аноду, вектор ионного тока  $j^+$  является положительным, если направлен от анода к катоду рис.(4).

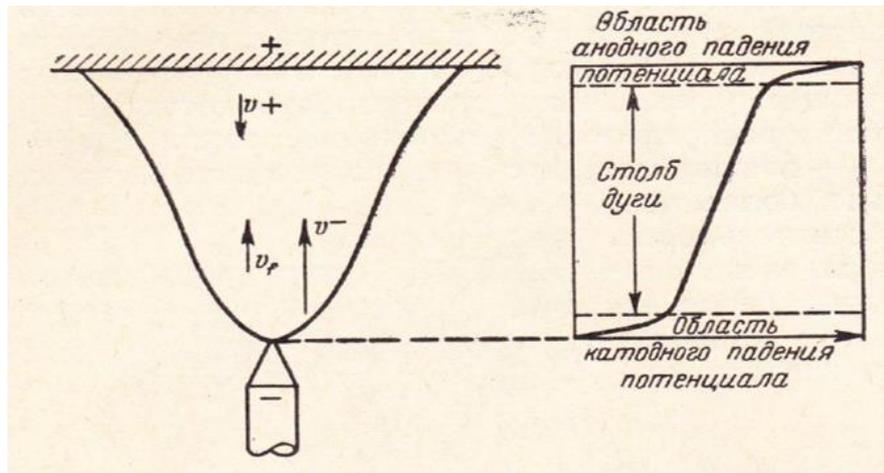


Рисунок №4 – векторы скорости и распределение потенциала в дуге.

Каждый из этих токов обуславливается в основном движением зарядов, вызываемым электрическим полем, диффузией, связанной с наличием градиента концентрации, и гидродинамическим течением со скоростью  $v_s$  (катодная струя). Соответственно эти токи можно выразить следующим образом:

$$j^- = n^- e v^- - D^- e \nabla n^- + n^- e v_f \quad (6)$$

и

$$j^+ = n^+ e v^+ + D^+ e \nabla n^+ - n^+ e v_f \quad (7)$$

В данном случае скорость движения электронов  $v^-$  является положительной, если они движутся в аноду, а скорость движения ионов  $v^+$  положительна, если она движется к аноду. Обычно диффузионная составляющая в обоих токах является несущественной. За исключением областей, непосредственно прилегающих к электродам, выполняется условие электрической нейтральности (т.е.  $n^- = n^+$ ). Следовательно, уравнение (5) принимает вид:

$$j = n^- e (v^- + v^+) \quad (8)$$

Таким образом, ток в дуге не зависит от гидродинамического течения. Как будет показано ниже, скорость движения электронов значительно выше, чем скорость движения ионов. Отсюда следует, что уравнение (8) с достаточной для практических целей точностью можно записать в виде

$$j = n^- e v^- \quad (9)$$

В столбе дуги, где существует термическое равновесие, скорости движения заряженных частиц могут быть рассчитаны без особых затруднений. Они соответственно равны.

$$v^- = b^- E \text{ и } v^+ = b^+ E \quad (10)$$

где  $b^-$  и  $b^+$  означают подвижность электронов и ионов, равные:

$$b^- = \frac{e\alpha_e}{m_e\omega_e} \text{ и } b^+ = \frac{e\alpha_i}{m_i\omega_i} \quad (11)$$

Если задаться температурой  $T=15000$  К, длина свободного пробега электрона равна  $\lambda_e=2*10^{-4}$  см, а иона  $\lambda_e=0.35*10^{-4}$  см. скорость теплового движения  $\omega_e$  и  $\omega_i$  определяется в соответствии с выражением

$$m \frac{\omega^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (12)$$

Масса электрона равна  $m_e=9.04*10^{-28}$  г, а масса аргонных атомов и ионов равна  $m_i=66*10^{-24}$  г. При этих значениях мы имеем следующие величины подвижностей:

$$b^- = 4*10^3 \text{ см}^2/\text{в} * \text{сек}; \quad b^+ = 2.8 \text{ см}^2/\text{в} * \text{сек};$$

при напряженности поля  $E \approx 15$  в/сек, характерной для столба аргонной дуги, в соответствии с уравнением (10) получаем следующие значения скоростей дрейфа:

$$v^- = 6*10^4 \text{ см/сек}, \quad v^+ = 43 \text{ см/сек}.$$

## 2.5 Разработка модели дуги.

### 2.5.1 Эпюры тока дуги в динамическом режиме.

При разработке модели дуги рассматриваются два варианта полярности дежурного тока: дежурный ток прямой полярности и дежурный ток обратной полярности. На рисунке 5 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 модели дуги.

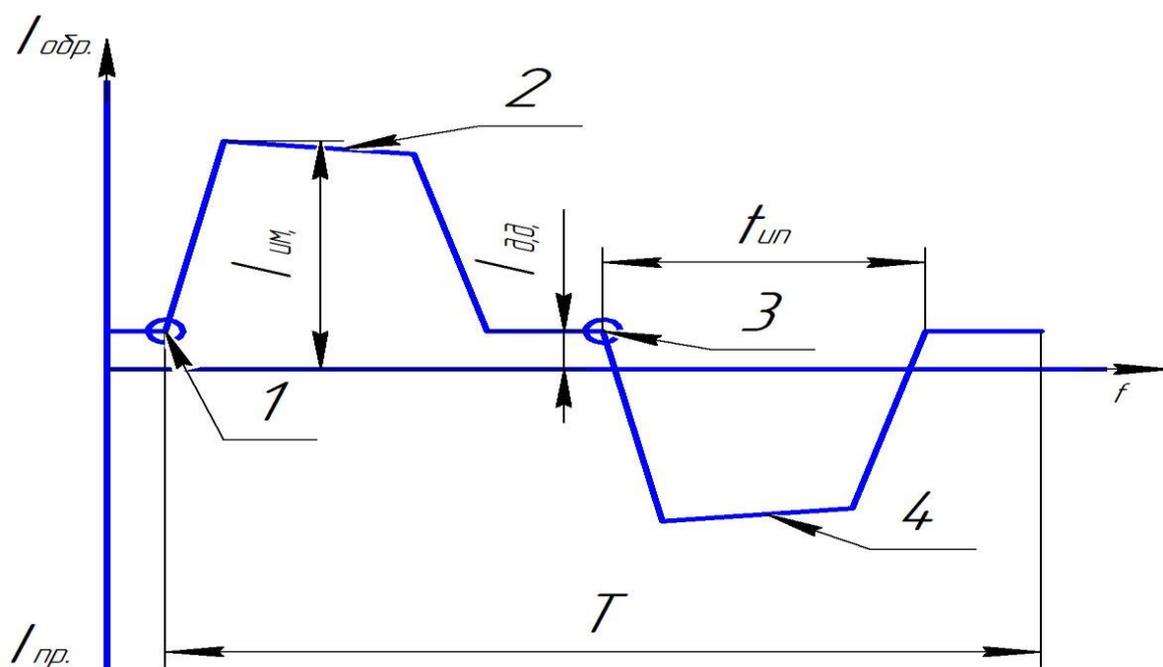


Рисунок №5 – эюра тока дуги в динамическом режиме при дежурном токе обратной полярности, представленные схематично.

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. Поток 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 достаточно 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, 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 6 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 модели дуги.



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.

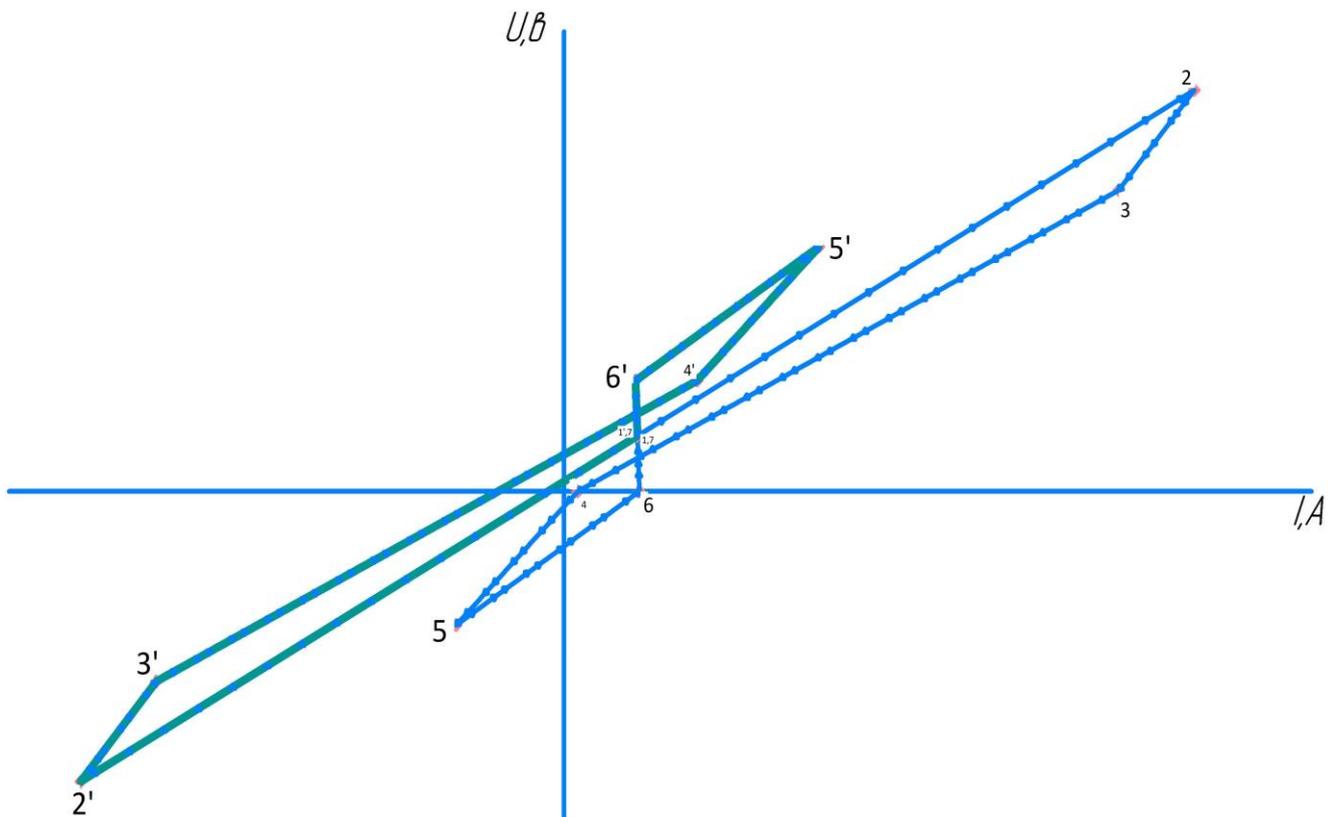
2.5.2 Вольтамперная характеристика динамической дуги переменного тока.

На рисунке №7 представлено схематически осциллограмма тока и напряжения дуги в динамическом режиме при дежурном токе обратной полярности, где мы можем наблюдать изменение напряжение и тока во время процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме. На рисунке изображен процесс сварки при дежурном токе обратной полярности. Имеются две построенные кривые обозначающие моменты импульсов при разной полярности: синего цвета - импульс обратной полярности, зеленого цвета – импульс прямой полярности.

Кривые разбиты на 6 основных участков. На участке 1-2 происходит начало импульса обратной полярности, идет резкое пропорциональное увеличение тока и напряжения. В точки 2 импульс достигает максимальное значение тока и напряжения. На участки 2-3 происходит плавное уменьшение импульса, напряжение и ток пропорционально уменьшаться. В точке 3 останавливается плавное уменьшение падение. На участке 3-4 прекращается импульс, происходит резкое падение напряжение и тока. В точке 4 напряжение становится 0, а ток принимает минимальное значение, начинается режим паузы.

Из – за коротковременного импульса, остаться излишняя энергия, на участке 4-5 происходит разрядка лишней энергии. В точке 5 начинается процесс восстановления баланса энергии. На участке 5-6 происходит восстановление энергии до показателей дежурного тока. В точке 6 завершается восстановление, ток поднимается до уровня дежурной дуги, напряжение равно нулю. На участке 6-7 происходит восстановление дежурной дуги по напряжению и току, завершается режим паузы.

В точке 1' происходит смена полярности импульса, начинается импульс прямой полярности. На участке 1'-7' начинает уменьшаться напряжение и ток, как только напряжение становится 0, происходит смена полярности тока с обратной на прямую. Идет резкое увеличение тока и напряжение. В точке 2' импульс достигает максимальное значение тока и напряжение. На участки 2'-3' происходит плавное уменьшение импульса, напряжение и ток пропорционально уменьшаться. В точке 3' останавливается плавное уменьшение падение. На участке 3'-4' прекращается импульс, происходит резкое падение напряжение и тока, при достижении напряжение 0, происходит смена полярности. В точке 4' завершается импульс, начинается режим паузы. Из – за коротковременного импульса, остаться излишняя энергия, на участке 4'-5' происходит разрядка лишней энергии. В точке 5' начинается процесс восстановления баланса энергии. На участке 5'-6 'происходит восстановление энергии до показателей дежурного тока. В точке 6' завершается восстановление, ток восстанавливаются до уровня дежурной дуги. На участке 6'-7' происходит восстановление дежурной дуги по напряжению и току, завершается режим паузы.



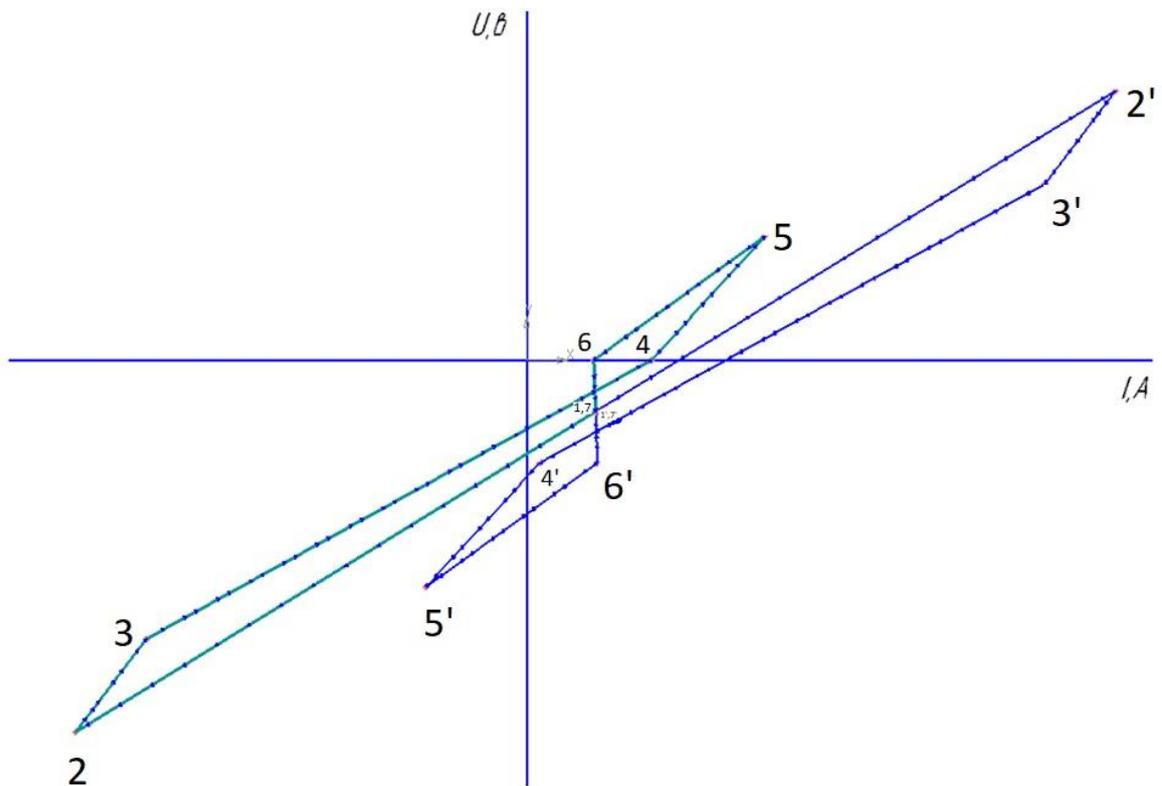
Рисунке №7 – вольтамперная характеристика дуги в динамическом режиме при дежурном токе обратной полярности.

На рисунке №8 представлено схематически осциллограмма тока и напряжения дуги в динамическом режиме при дежурном токе прямой полярности, где мы можем наблюдать изменение напряжение и тока во время процесса сварки дугой переменного тока в динамическом режиме. На рисунке изображен процесс сварки при дежурном токе обратной полярности. Имеются две построенные кривые обозначающие моменты импульсов при разной полярности: синего цвета - импульс обратной полярности, зеленого цвета – импульс прямой полярности.

Кривые разбиты на 6 основных участков. На участке 1-2 происходит начало импульса прямой полярности, идет резкое пропорциональное увеличение тока и напряжения. В точке 2 импульс достигает максимальное значение тока и напряжение. На участки 2-3 происходит плавное уменьшение импульса, напряжение и ток пропорционально уменьшаться. В точке 3 останавливается плавное уменьшение падение. На участке 3-4 прекращается импульс, происходит резкое падение напряжение и тока. В точке 4 напряжение становится 0, а ток принимает минимальное значение, начинается режим паузы. Из – за коротковременного импульса, остаться излишняя энергия, на участке 4-5 происходит разрядка лишней энергии. В точке 5 начинается процесс восстановления баланса энергии. На участке 5-6 происходит восстановление

энергии до показателей дежурного тока. В точке 6 завершается восстановление, ток поднимается до уровня дежурной дуги, напряжение равно нулю. На участке 6-7 происходит восстановление дежурной дуги по напряжению и току, завершается режим паузы.

В точке 1' происходит смена полярности импульса, начинается импульс обратной полярности. На участке 1'-7' начинает уменьшаться напряжение и ток, как только напряжение становится 0, происходит смена полярности тока с прямой на обратную. Идет резкое увеличение тока и напряжение. В точке 2' импульс достигает максимальное значение тока и напряжение. На участки 2'-3' происходит плавное уменьшение импульса, напряжение и ток пропорционально уменьшаться. В точке 3' останавливается плавное уменьшение падение. На участке 3'-4' прекращается импульс, происходит резкое падение напряжение и тока, при достижении напряжение 0, происходит смена полярности. В точке 4 завершается импульс, начинается режим паузы. Из – за коротковременного импульса, остается излишняя энергия, на участке 4'-5' происходит разрядка лишней энергии. В точке 5' начинается процесс восстановления баланса энергии. На участке 5'-6 'происходит восстановление энергии до показателей дежурного тока. В точке 6' завершается восстановление, ток восстанавливаются до уровня дежурной дуги. На участке 6'-7' происходит восстановление дежурной дуги по напряжению и току, завершается режим паузы.



Рисунке №8 – вольтамперная характеристика дуги в динамическом режиме при дежурном токе прямой полярности.

#### Вывод

На основе современной теории электрофизических процессов в сварочной дуге и опытных данных построены динамические характеристики дуги переменного тока вольфрам-алюминии в защитной среде аргона.

### 3 Разработка импульсной системы для сварки на переменном токе

#### 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.

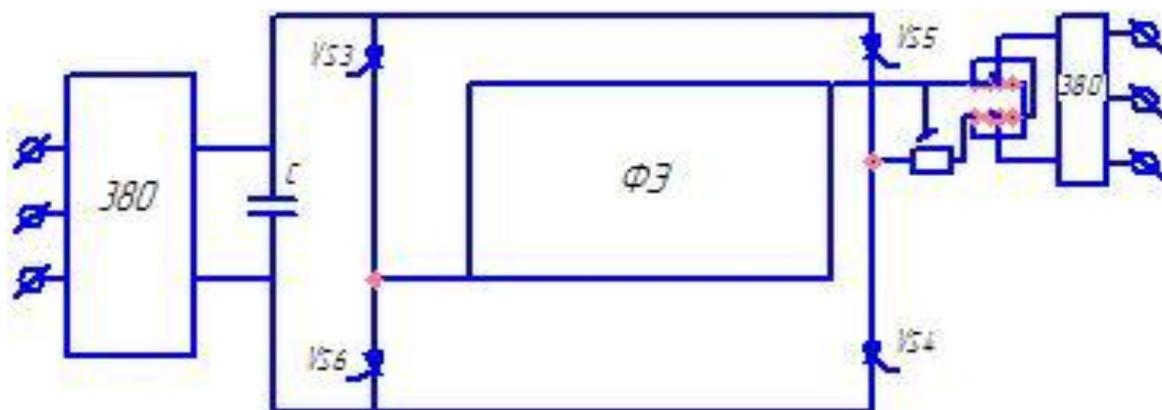


Рисунок №9 – функциональная схема устройства

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 виде 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 переключении ключа К и использовании вспомогательного трехфазного трансформатора, приводит к смене полярности импульсов.

Для обеспечения непрерывного горения дуги между импульсами используется дежурный ток, он протекает 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 10.

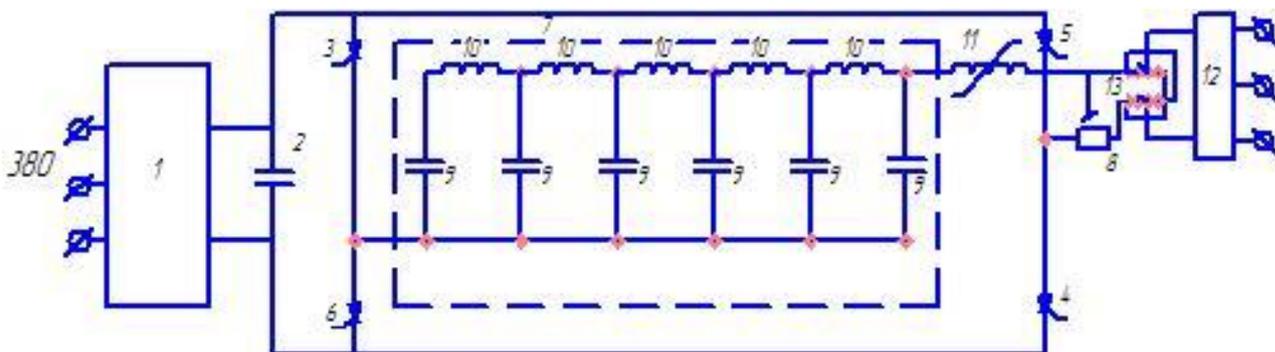


Рисунок №10 - Принципиальная схема устройства питания импульсной дуги.

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 соединены в мостовую схему, в диагональ которой между точками соединения анодов с катодами тиристоров включены последовательно соединенные формирующий элемент 7 и сварочная дуга 8, а к другой – трехфазный выпрямитель. Формирующий элемент 7, в виде искусственной формирующей линии, состоящий из n (Ля - Ся) 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 быстро насыщающийся дроссель 11, индуктивность которого в насыщенном состоянии 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 линии 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 заряжаются 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 следования разнополярных импульсов.

### 3.3 Расчет основных элементов электрической схемы

Для питания сварочной дуги в динамическом режиме, когда частота следования импульсов может достигать несколько килоГерц, наиболее целесообразно применение формирующего элемента, в котором ОИЛ работает в двухтактном режиме: заряд-перезаряд.

При поочередном открывании пар тиристоров VS1 – VS3 и VS2 – VS4 через дуговой промежуток будет протекать импульс тока перезаряда ОИЛ, что исключает необходимость этапа предварительного заряда ОИЛ.

Применение ФЭ в виде тиристорного однофазного моста с включением ОИЛ в диагональ с точками соединения анодов и катодов тиристоров позволяет:

- расширить диапазон частоты генерируемых импульсов в сторону больших частот;
- исключает возможность протекания сквозного тока;
- улучшение энергетических показателей за счет исключения этапа предварительного заряда конденсаторов ОИЛ.

При таком включении ОИЛ в сварочную цепь амплитуда импульсов будет определяться выражением:

$$I_{и} = \frac{U_{и} + U_{с\grave{я}} - U_{д}}{2\rho_{с}} \quad (1)$$

где  $U_{и}$  – напряжение источника, В;

$\rho_{с}$  – эквивалентное сопротивление;

т.е. при одинаковых параметрах ОИЛ ток импульса  $I_{и}$  будет значительно больше. Соответственно изменятся и выражения для определения параметров ОИЛ:

$$C_{\grave{я}} = \frac{4I}{3.14(U_{и} + U_{с\grave{я}} - U_{д})10^5}; \quad L_{\grave{я}} = \rho_{с}^2 \frac{4I}{3.14(U_{и} + U_{с\grave{я}} - U_{д})10^5}; \quad (2)$$

Анализ этих параметров показывает, что для получения амплитуды тока потребуются меньшие значения напряжения источника питания, благодаря чему снижается масса и габариты выпрямителя В.

Необходимая длительность импульса будет определяться количеством ячеек:

$$t_{им} = 2.2n\sqrt{L_{\grave{я}}C_{\grave{я}}} \quad (3)$$

Максимальная частота следования импульса определяется длительностью импульсов и определяется выражением:

$$f_{max} < \frac{1}{t_{им}} \quad (4)$$

#### Вывод

Разработанная импульсная система имеет простое схемное решение силовой части и позволяет осуществлять сварку разнополярными импульсами дугой горячей в динамическом режиме обеспечивающим:

- очистку от окисной пленки сплавов на основе алюминия, за счет катодного распыления
- сварку на прямой и обратной полярности
- концентрированный вод тепла в изделие
- регулирование постоянной составляющей тока по величине и знаку
- регулирование частоты следования разнополярны импульсах 500 – 5000Гц при их длительности 70 мкс

#### 4 Экспериментальная часть

В ходе разработки процесса сварки алюминиевых сплавов дугой горячей на переменном токе в динамическом режиме, была создана установка, обеспечивающая всем требованиям, для данного процесса сварки.

На следующих рисунках представлены фотографии данной установки:



Рисунок № 11 – Корпус установки

На рисунке №11 представлен корпус установки, в котором закреплены элементы установки. На корпусе установлен датчик(амперметр) для регистрации дежурного тока.



Рисунок №12 – Элементы установки

На рисунке № 12 представлены основные элементы установки.

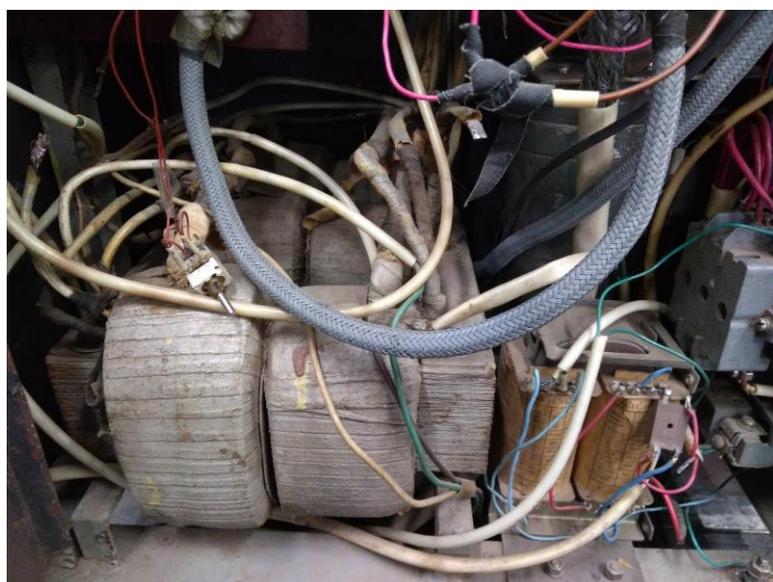


Рисунок №13 – Источник питания(трансформатор)

На рисунке №13 представлен источник питания формирующего элемента.

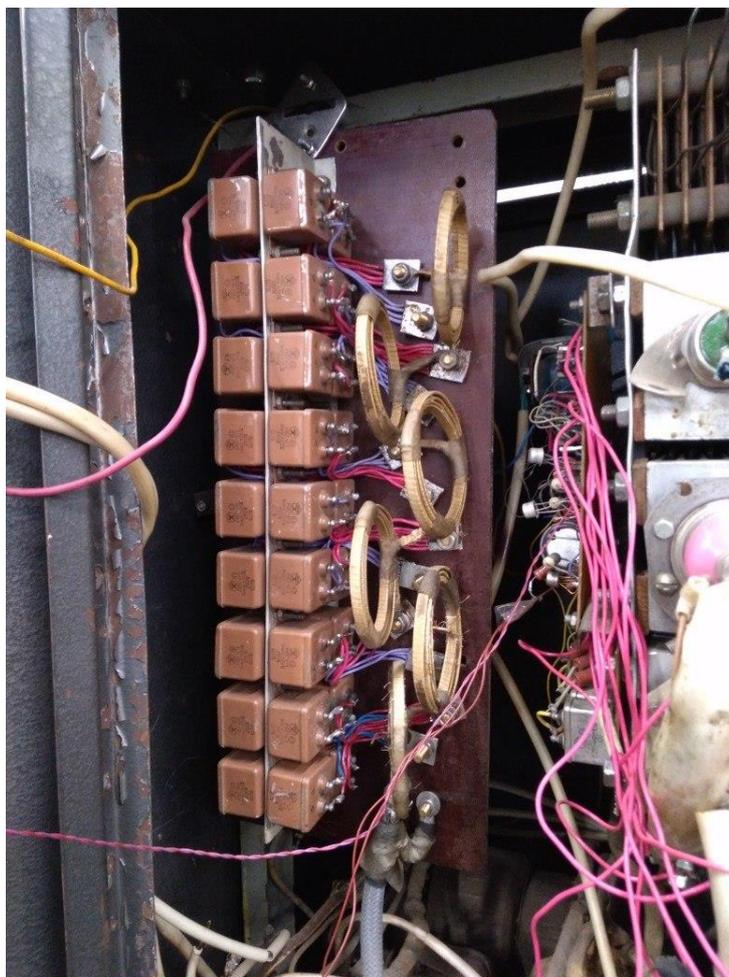


Рисунок №14 – формирующий элемент

На рисунке №14 представлен формирующий элемент состоящий из ячеек (конденсатор, дроссель)

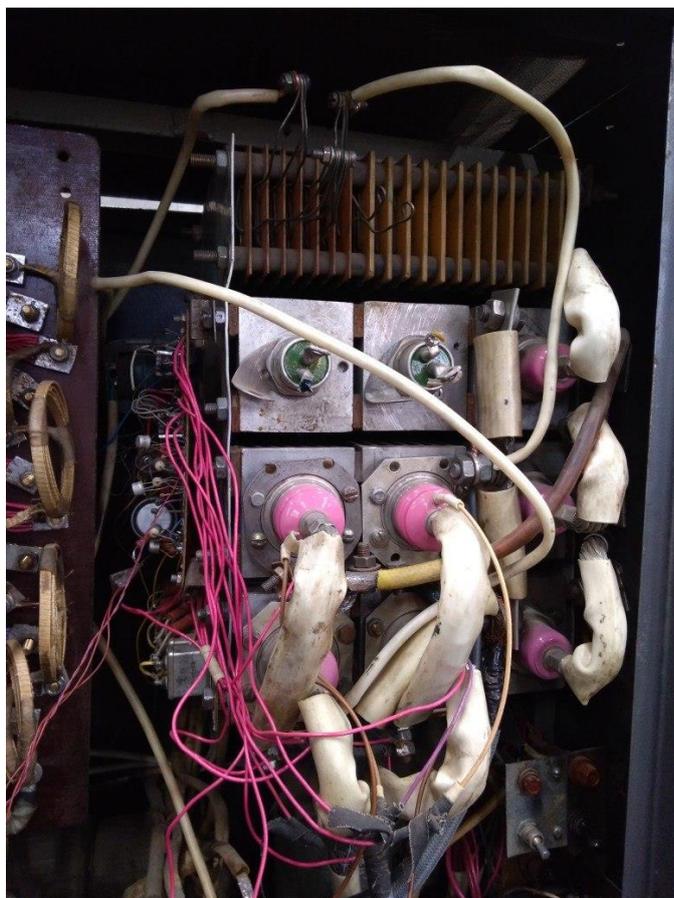


Рисунок №15 – тиристорный блок

На рисунке №15 представлен источник питания дежурной дуги.

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

Студенту:

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| <b>Группа</b><br>1ВМ61 | <b>ФИО</b><br>Радионов И.И. |
|------------------------|-----------------------------|

|                            |                         |                                  |                            |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>Институт</b>            | Неразрушающего контроля | <b>Кафедра</b>                   | ОТСП                       |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура            | <b>Направление/специальность</b> | 15.04.01<br>Машиностроение |

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

|   |  |
|---|--|
| <i>1.Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и технологических</i> | Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение. |
| <i>2.Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>  |  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала:**

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

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

|                  |             |                               |                |             |
|------------------|-------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>  | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Данков А.Г. | к.и.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|                        |                             |                |             |
|------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b><br>1ВМ61 | <b>ФИО</b><br>Радионов И.И. | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|

## 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка процесса сварки алюминиевых сплавов 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 алюминиевых сплавов неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей на переменном токе в динамическом режиме

Таблица 3 - Сегментирование рынка

|  |   | Показатель        |                    |                    |
|--|---|-------------------|--------------------|--------------------|
|  |   | Низкий показатель | Средний показатель | Высокий показатель |
| ехнологические 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, горячей в динамическом режиме;

2- Аргонно-дуговая сварка;

3- Ручная дуговая сварка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом

режиме, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 4 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1  | 2            | 3              | 4               | 5               | 6                     | 7               | 8               |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Удобство в эксплуатации                       | 0,1          | 3              | 4               | 3               | 0,5                   | 0,2             | 0,3             |
| 2. Затраты сварочного материала                  | 0,2          | 5              | 3               | 4               | 1                     | 0,2             | 1               |
| 3. Качество сварного соединения                  | 0,1          | 5              | 4               | 3               | 0,5                   | 0,3             | 0,1             |
| Экономические критерии оценки эффективности      |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1 цена   | 0,05         | 5              | 5               | 4               | 0,25                  | 0,25            | 0,25            |
| 2 Предполагаемый срок эксплуатации               | 0,1          | 5              | 5               | 4               | 0,5                   | 0,5             | 0,3             |
| 3 Конкурентная 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<sub>ф</sub>- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме; Б<sub>к1</sub> – Аргонно-дуговая сварка; Б<sub>к2</sub>- Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

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

где: К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл *i*-го показателя.

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

### 5.1.3 SWOT – анализ

Таблица 5 - Матрица SWOT

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

Таблица 6 – Мероприятия, которые необходимо провести сейчас.

|  | Ресурс,<br>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 7 – Мероприятия, которые необходимо провести через год.

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

Таблица 8 – Мероприятия, которые необходимо провести через 5 лет.

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

## 5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 10 - Морфологическая матрица

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

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) АЗБЗВ1Г1Д1 - 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 11 - 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 |

### 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3.2)$$

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

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

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

### 5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

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

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 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 12 - Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                        | Трудоемкость работ     |       |       |                        |       |       |                        |       |       | Исполнители  | Длительность работ<br>в рабочих днях $T_{pi}$ | Длительность<br>работ<br>в<br>календарных днях<br>$T_{ki}$ |    |    |       |       |
|--|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|--------------|---|--|----|----|-------|-------|
|  | $t_{min}$ ,<br>чел-дни |       |       | $t_{max}$ ,<br>чел-дни |       |       | $t_{ожl}$ ,<br>чел-дни |       |       |              |   |  |    |    |       |       |
|  | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                  | Исп.2 | Исп.3 |              |   |  |    |    | Исп.1 | Исп.2 |
| 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 13- Календарный план-график проведения ВКР по теме

| № Ра-бо | Вид работ                         | Исполнители  | Т <sub>кi</sub> , 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        | Студ.-рук.   | 2                          |                                    | ◆ |   |        |   |   |     |   |   |   |   |
| 4       | Выбор направления исследований    | Руководитель | 2                          |                                    | ◆ |   |        |   |   |     |   |   |   |   |
| 5       | Календарное планирование          | Руководитель | 3                          |                                    |   | ◆ |        |   |   |     |   |   |   |   |
| 6       | Изучение литературы по теме       | Студент      | 15                         |                                    |   | ★ | ★      | ★ |   |     |   |   |   |   |
| 7       | Подбор нормативных документов     | Студ.-рук.   | 5                          |                                    |   |   |        |   | ★ | ◆   |   |   |   |   |
| 8       | Изучение установки                | Студент      | 6                          |                                    |   |   |        |   | ★ |     |   |   |   |   |
| 9       | Моделирование плазмотрона         | Студент      | 3                          |                                    |   |   |        |   |   | ★   |   |   |   |   |
| 10      | Изучение результатов              | Студент      | 3                          |                                    |   |   |        |   |   |     | ★ |   |   |   |
| 11      | Проведение расчетов по теме       | Студент      | 10                         |                                    |   |   |        |   |   |     | ★ |   |   |   |
| 2       | Анализ результатов                | Студ.-рук.   |                            |                                    |   |   |        |   |   |     |   | ★ | ◆ |   |
| 3       | Вывод по цели                     | Студент      |                            |                                    |   |   |        |   |   |     |   |   |   | ★ |

★ – студент; ◆ – руководитель.

### 5.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

### 5.3.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

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

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Таблица 14 - Материальный затраты

| Наименование          | Единица измерения | Количество |        |        | Цена за ед., руб. |        |        | Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), 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 14

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

### 5.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, 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 15 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

| №<br>п/<br>п | Наименование<br>оборудования | Кол-во единиц<br>оборудования |       |       | Цена единицы<br>оборудования,<br>тыс. руб. |       |       | Общая стоимость<br>оборудования,<br>б. |      |      |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------|-------|--|-------|-------|--|------|------|
|              |                              | Исп.1                         | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                      | Исп.2 | Исп.3 | сп.1                                   | сп.2 | сп.3 |
| .            | Источник питания             |                               |       |       | 30   |       |       |  |      |      |
| Итого:       |                              |                               |       |       |  |       |       |  |      |      |

### 5.3.7 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 16 - Расчет основной заработной платы

| № п/п  | Наименование этапов                    | Исполнитель по категориям | Трудо-емкость, 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 | сп.1  | сп.2 | сп.3 |
| 1.     | Составление и утверждение темы проекта | Руководитель              | 2                       | 2     | 2     | 3,6                               |       |       |   |      |      |
| 2.     | Анализ актуальности темы               | Рук.-студ.                | 1                       | 1     | 1     | 4,4                               |       |       |   |      |      |
| 3.     | Поиск и изучение материала по теме     | Студ.-рук.                | 1                       | 1     | 1     | 4,4                               |       |       |   |      |      |
| 4.     | Выбор направления исследований         | Руководитель              | 1                       | 2     | 2     | 3,6                               |       |       |   |      |      |
| 5.     | Календарное планирование работ         | Руководитель              | 2                       | 2     | 2     | 3,6                               |       |       |   |      |      |
| 6.     | Изучение литературы по теме            | Студент                   | 10                      | 10    | 10    | 0,8                               |       |       |   |      | 9    |
| 7.     | Подбор нормативных                     | Студ.-рук.                | 3                       | 4     | 4     | 4,4                               | 8     | 7     |   |      | 9,7  |
| 8.     | Изучение установки                     | Студент                   | 4                       | 6     | 6     | 0,8                               |       |       |   |      | 4    |
| 9.     | Модернизация установки                 | Студент                   | 2                       | 3     | 4     | 0,8                               |       |       |   |      | 6    |
| 10.    | Анализ результатов                     | Студ.-рук.                | 2                       | 2     | 2     | 4,4                               |       |       |   |      | 8    |
| 11.    | Вывод по цели                          | Студент                   | 3                       | 3     | 3     | 0,8                               |       |       |   |      | 7    |
| Итого: |  |                           |                         |       |       |                                   |       |       | 7   | 2    | 5,1  |

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

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

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

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

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

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

#### 6.3.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 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 17 - 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.                   |    |    |                                      |    |     |
|                        |                                |    |    |                                      |    |     |

### 5.3.9 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

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

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

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

### 5.3.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 18 - Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи  | Сумма, руб. |          |          | Примечание            |
|--|-------------|----------|----------|-----------------------|
|  | Исп.1       | Исп.2    | Исп.3    |                       |
| 1. Материальные затраты НИИ  | 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 НИИ   | 415056,7    | 315033,8 | 343102,5 | Сумма ст. 1- 6        |

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

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

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

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

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

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 19).

Таблица 19 - 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   |

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 20 - 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.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>             |
| 1ВМ61         | Радионов Иван Игоревич |

|                            |                         |                                  |                         |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>Институт</b>            | Неразрушающего контроля | <b>Кафедра</b>                   | ОТСП                    |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура            | <b>Направление/специальность</b> | 15.04.01 Машиностроение |

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

|   |   |
|---|---|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения. | Разработка процесса сварки алюминиевых сплавов дугой горячей на переменном токе в динамическом режиме.<br>Данная разработка является методом повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом. |
|---|---|

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |   |
|---|---|
| <b>1. Производственная безопасность</b><br><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.<br><br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. | – Повышенный уровень шума на рабочем месте;<br>– Повышенная температура или влажность воздуха помещения;<br>– Недостаточная освещённость рабочей зоны;<br>– Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением. |
| <b>2. Экологическая безопасность:</b>   | Анализ воздействия на литосферу.  |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>  | – Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации.<br>Одной из причин возникновения пожара является нахождение в рабочей зоне баллона под давлением.  |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>  | – Правовые нормы трудового законодательства;<br>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.  |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику  |   |

**Задание выдал консультант:**

|                  |                |                               |                |             |
|------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Ассистент        | Мезенцева И.Л. | -                             |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |               |                |             |
|---------------|---------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 1ВМ61         | Радионов И.И. |                |             |

## 6 Социальная ответственность

### 6.1 Введение

Объект исследования является разработка процесса сварки дугой, горячей 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.

## 6.2 Производственная безопасность

Таблица 21 - 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:<br>1) Сварка листовых заготовок;<br>2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест. | 1. Отклонение показателей микроклимата в производственных помещениях;<br>2. Превышение уровня шума и вибрации;<br>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.<br>4. Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе | 1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, брызги расплавленного металла.<br>2. Электрический ток;<br>3. Световое излучение при сварке | ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ[5],<br><a href="#">ГОСТ 12.1.029-80</a> ССБТ[6],<br>ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ[7],<br>ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ[8],<br>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[9],<br>СанПиН 2.2.4.548–96[10],<br>СН 2.2.4/2.1.8.562–96[11],<br>СН 2.2.4/2.1.8.566–96[12],<br>СП 52.13330.2011[13],<br>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 2– 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 приходится 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 работы в лаборатории уровень шума не должен превышать 60 - 65 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, электротехнические 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 удушья. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (P3), то человек может подвергнуться, так называемому,

наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать. Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

### 6.3 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.

### 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся 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.

## 6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Основной задачей регулирования 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 и экранами) 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 и экранами) 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 сторонами 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. Применение такого процесса позволяет вводить концентрированное тепло дуги и очищать поверхность от окисной пленки. Для выяснения особенности горения дуги и процесса сварки разработана феноменологическая модель поясняющая физические процессы на различных этапах. Для реализации процесса разработано устройство в котором для создания 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 создании установок для сварки алюминия, особенно малых толщин позволит резко снизить стоимость подобных установок и увеличить 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
10. <http://stalevarim.ru/pub/svarka-aluminiya-postoyannym-tokom/> - Сварка тока на прямой полярности
11. <http://www.ngpedia.ru/id534710p1.html> - Удаление - оксидная пленка.
12. Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / под ред. П. А. Долина. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.: ил.
13. Ларионов Н. М. Промышленная экология [Электронный ресурс] : учебник для бакалавров / Н. М. Ларионов. – Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). – Москва : Юрайт, 2013.
14. Беляков, Геннадий Иванович. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс] : учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). — Москва: Юрайт, 2016.
15. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. — Москва: Изд-во

МГИУ, 2002. — 232 с.: ил. — Это важно знать!. — Библиогр.: с. 227-231.

16. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. — 5-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2009. — 335 с.: ил. — Для высших учебных заведений. —Безопасность жизнедеятельности. — Библиогр.: с. 333.

# Приложение А

## Раздел (1)

### Обзор литературы

Студент:

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 1ВМ61  | Радионов И.И. |         |      |

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

| Должность | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------|---------------------------|---------|------|
| доцент    | Игна О. Н. | К. П. Н.                  |         |      |

## 1. Literature review.

### 1.1. The main aspects of welding aluminum and its alloys.

During the welding of aluminum and its alloys, the following factors must be considered, affecting the quality of welding:

- high-thermal conductivity
- the presence of oxide films
- arcing rectifying action
- due to change of polarity arc arises difficulty re-excitation

#### 1.1.1. Thermal conductivity.

Most aluminum alloys lose strength at elevated temperatures. Non-melted edges may collapse under the action of the mass of the weld pool. One of the properties of aluminum is high fluidity, which could lead to leakage of the molten metal through the weld root. Because of the lack of color change when heated metal having difficulty in tracking the size of the weld pool. To prevent burns during single-pass welding or welding of the first layer at high running energy, ceramic, steel or graphite linings are used.

#### 1.1.2. Presence of oxide film

Pure aluminum is a strong reducer, which displays high chemical activity in free form. Aluminum easily enters into a chemical compound with oxygen, resulting in the formation of a thin oxide film ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). This film improves corrosion resistance. The melting point of aluminum is  $660\text{ C}^\circ$ , and the melting temperature of the oxide film is  $2030\text{ C}^\circ$ .

Alumina is a solid, electrically conductive ceramic material. Large droplets held from fusion by an oxide film melt aluminum. If the film particles enter the crystallized weld metal, the mechanical properties of the material deteriorate. Therefore, in order to weld two parts of aluminum. It's necessary first of all to clean the parts from the oxide film. This can be done in several ways:

- mechanically (however, this is impossible, since after treatment, aluminum immediately comes into contact with oxygen, and a new layer of alumina begins to form. Moreover, in conditions of arc welding at high temperatures, the oxidation of aluminum and the formation of an oxide film occur even more intensively);

- chemical treatment (quite difficult and time-consuming), which is carried out in the following order;

- degrease in a 5% solution of NaOH and KOH for two minutes. The temperature of the solution is 60-65 degrees;

- washing in warm, then in cold running water;
- holding in 15% nitric acid solution at a temperature of 60-65 degrees for two to five minutes;
- the removal of oxide films is carried out by etching in solutions of acids or alkalis. The composition of the solution is determined by the type of metal, the thickness of the oxide film and the required etch rate. After the etching operation, the parts are thoroughly washed using neutralizing solutions;
- the removal of the oxide film from the aluminum surface by mechanical means is practically impossible, since immediately after removal of the film the pure metal is again covered with a new oxide film. The method of cold welding successfully solves the problem of removing the oxide film. Oxide film, much more brittle than the base metal, cracked and expelled with a part of the metal. The atoms of the pure metal of the welded ends are directly in contact, and an all-metal compound is formed in the zone of plastic deformation, characterized by the continuity of the crystal structure;
- to remove the oxide film from the surface of the products use special powders - fluxes, which also protect the liquid bath from oxidation during welding. Molten fluxes dissolve the oxide film and turn it into a low-melting slag floating on the surface of the weld pool. Slag in the welding process protects the surface of the molten metal from further oxidation;
- for the removal of oxide films from the surface of aluminum conductors, firinite is applied, which is applied by a thin layer on the twisted end of the conductors immediately before welding;
- for the removal of oxide film on products made of aluminum and its alloys, treatment in acidic or alkaline media with further clarification of the surface in nitric acid solutions or in mixtures of nitric and hydrofluoric acids. The quality of the electrodeposited coating is significantly improved after processing products from aluminum alloys in solutions containing hexavalent chromium ions, active fluorine and accelerators;
- to remove oxide films that prevent saturation, the parts before carburization are degreased and etched;
- for the removal of oxide films and impurities from surfaces to be soldered, as well as for the protection of soldered surfaces and solder from re-oxidation during heating, use fluxes. The use of rosin gives good results only when soldering a clean surface of copper and its alloys irradiated in a hot way;
- to remove the oxide film, use AF-4A flux containing 28% sodium chloride, 50% potassium chloride, 14% lithium chloride and 8% sodium fluoride. When

welding with a metal electrode, various coatings are used, which also mainly contain sodium chloride, potassium chloride, potassium fluoride, sodium fluoride, cryolite, sodium sulfate, lithium chloride, etc. As a binder, dextrin or a thick solution of common salt is used. For more complete cleaning, etching with 5% nitric acid solution is followed, followed by washing with hot water and drying.

In direct-polar welding, the part will receive a significant amount of heat, but this will not be enough to destroy the oxide film. When welding with reverse polarity of heat, the parts will be transferred less, but as soon as the welding process begins, the destruction of the oxide film begins. (The process begins - cathode purification).

There are two theories explaining the mechanism of the oxide film destruction on the reverse polarity.

The cathode spot, moving along the surface of the weld pool, leads to the evaporation of aluminum oxides, while the emission of electrons from active cathode spots repels fragments of the oxide film to the edges of the weld pool, where they form thin strips.

The flow of ions has sufficient kinetic energy to destroy the oxide film when colliding with the surface of the cathode. In favor of this theory is the fact that the cleaning effect is higher when using inert gases with a higher atomic weight (argon).

However, along with this positive phenomenon, there will be such negative consequences of welding on reverse polarity as overheating of the electrode, on which too much heat will be generated, which will lead to overheating and low penetration of the base metal.

### 1.1.3. Straightening action of the arc

The technical properties of the tungsten arc during welding are deteriorated due to the rectification of the alternating current and the appearance of a constant-current component in the circuit. An analysis of this phenomenon shows the dependence of the degree of rectification of the current in the arc on the difference in the thermal time constants of the material of the electrodes (the heat capacity multiplied by the reciprocal of the thermal conductivity). Therefore, the greater the difference in these constants, the greater the degree of rectification of the current in the arc. При различных материалах электродов разность их температур во время горения дуги пропорциональна разности термических временных постоянных. With different electrode materials, the difference in their temperatures over the arc burning time is proportional to the difference of the thermal time constants. However, as a rule, the difference in the different semi-cycles of arc burning leads to the appearance of a constant current component, and the degree of rectification is proportional to the difference in the thermal time constants of the electrode materials. At the same time, with a difference in the thermophysical

properties of the electrodes, the rectifying effect of the arc in argon is affected by a change in the geometric shape of the electrodes.

In the half-periods, when the cathode spot is located on a tungsten electrode, due to the powerful thermionic emission, favorable conditions are created for exciting and burning the arc at a low voltage.

In the half-periods, when the cathode spot is on aluminum, the cathode is cold and the thermionic emission is difficult. In this case, higher voltages are required to excite the arc, and arc combustion will occur at a higher voltage value than in the previous half-cycle. During welding at low currents, excitation of the arc in half-periods of reverse polarity may not occur at all, and the arc will become a "rectifying valve". This leads to a sharp deterioration in the stability of arc combustion. In the presence of a constant component, the resistance of the magnetic circuit of the transformer increases significantly and the power given to the arc is reduced. With a decrease in the current in the half-period of the reverse polarity, cathode cleaning of the welded edges and the surface of the weld pool from refractory oxide films becomes complicated. Therefore, installations for welding with a tungsten arc must contain special devices: stabilizers, impulse exciters, capacitor banks, semiconductor valves, or impulses in a half-period of reverse polarity to facilitate ignition of the arc or partial suppression of the resulting constant current component.

#### 1.1.4 Ignition difficulty by changing the polarity

Arc of alternating current (AC) - the arc in the process of welding changing its direction of the current, which allows one and the same electrode to alternately be a cathode, then an anode.

The main feature of the AC arc, is that when the polarity changes, the arc is extinguished and re-excited. In order to obtain a stable arc combustion, consider the characteristics of the arc near the zero current (with a change of polarity) taking into account the near-electrode processes.

The stability of arc burning during welding on an alternating current is lower than on a constant one. Indeed, at a frequency of the alternating voltage of the network of 50 Hz, the welding current 100 times per second decreases to zero and reverses direction, and after each such a break, the arc must be excited again. Thus, when welding with alternating current, the source must have a specific property to ensure repeated re-ignition of the arc.

The process of repeated ignition of the arc with the passage of the current through zero will be considered from oscillograms (Fig. 1, a). At the end of the previous half-cycle from the moment  $t_1$ , the transformer voltage becomes insufficient to power the arc, as a result, the arc fades, and the current drastically

decreases. Since the extinction  $t_1$ , the temperature of the interelectrode gap of TME decreases, and its resistance to RME sharply grows (Fig. 1.6).

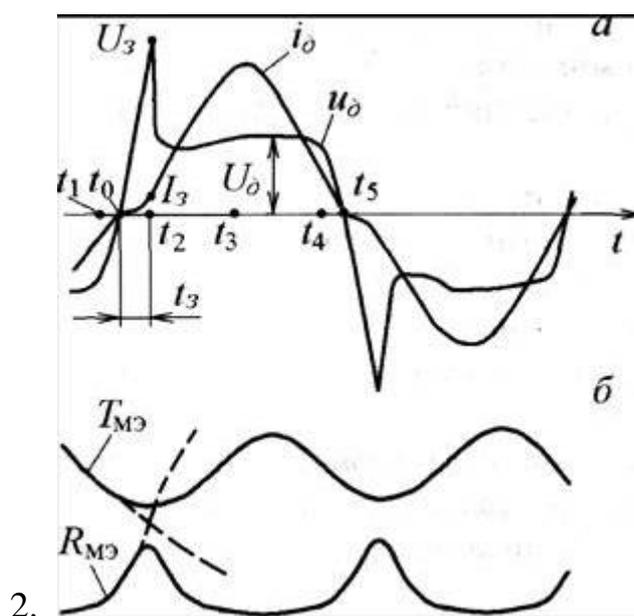


Figure 1 Typical oscillograms of the AC arc: a - welding current  $i_d$  and voltage  $u_d$ , b - temperature  $T_{MЭ}$  and resistance  $R_{MЭ}$  of the interelectrode gap

After the current passes through zero at time  $t_0$ , the anode and cathode change places, i.e. the direction of the current is reversed. The arc discharge can not instantaneously recover at the instant  $t_0$ , for this purpose the source voltage is not enough. 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). A small arc current existing at the same time is created due to the residual plasma of the interelectrode gap (no more than 0.1 ms after the extinction of the arc) and thermionic emission from the still uncured cathode (within 1-10 ms). Thus, the electric discharge in the transition period  $t_1$ - $t_2$  is not arc, since it does not provide the generation of charged particles in an amount sufficient for the independent existence of the arc. As the voltage of the source rises, the pre-arc current also increases, but the rate of its increase  $di_d/dt$ , up to the instant  $t_2$ , is significantly lower than the rate of decline at time  $t_1$ . In the transition period, there are two counterpropagating processes: on the one hand, ionization of the interelectrode gas and its heating with increasing current, on the other hand, deionization and cooling due to heat radiation and heat removal to the electrode and product. Let's consider three variants of development of processes depending on the conditions of welding.

Under sufficiently favorable conditions (large volume and high degree of ionization of the residual plasma, powerful thermionic emission from hot non-consumable electrodes), ionization predominates from the two processes, so that

when the source voltage reaches the value  $U_{\text{Д}}$ , the arc discharge is easily restored. Less favorable conditions for re-ignition (Figure 1) are observed in most cases of welding (coated electrodes, including flux, etc.). Thermoelectronic emission from relatively cold melting electrodes does not provide the required amount of charged particles. Therefore, the arc resumes only at time  $t_2$  when the voltage of the source reaches a fairly high value of the re-ignition voltage  $U_3$ , which is sufficient for the development of field emission. Finally, in unfavorable conditions (low arc power, its long length, gas flow), deionization predominates from the two processes, while the temperature of the interelectrode gap decreases sharply, and its RME resistance also increases sharply, as shown by the dotted line in Fig. 1b, and the arc terminates..

#### 1.1.5 The influence of hydrogen on the welding process

When welding aluminum and its alloys, difficulties arise not only in the appearance of the oxide film, but because of the presence of hydrogen, leading to porosity, which reduces the ductility and strength of the metal. Pores appear in the weld metal, as well as at the fusion line. In this regard, in order to avoid the occurrence of pores, it is necessary to perform very thorough chemical cleaning of the welding wire and mechanical cleaning. A degreasing of welded edges. When welding a metal of great thickness to reduce the porosity, preliminary and accompanying heating up to a temperature of 150-250 °C. Under real conditions, the partial pressure of molecular hydrogen in the gaseous phase of the arc is negligible. Therefore, the main source of hydrogen dissolving in the weld pool is the reaction of the interaction of moisture contained in the oxide film with the metal. As a result of this reaction, the concentration of atomic hydrogen in the surface layer of the atmosphere in contact with the metal can correspond to the high pressure of molecular hydrogen in equilibrium with the metal. Therefore, in the presence of water vapor in the bath zone, the concentration of hydrogen dissolved in the metal can be much greater than the equilibrium concentration. When cooled, dissolved hydrogen tends to separate from the metal in connection with a decrease in solubility. Bubbles of the evolved hydrogen, not having time to emerge from the bath, remain in the seam, forming pores. Therefore, the main measure to combat porosity in the welding of aluminum is to reduce the concentration of hydrogen dissolved in it to a limit below 0.69-0.7 cm<sup>3</sup>/100 g of metal. The main source of hydrogen dissolving in the weld metal during argon-arc welding is moisture adsorbed by the metal surface and is part of the oxide film in the form of hydrated oxides. The amount of it is determined by the state of the surface of the metal and depends on its processing before welding.

### 1.2 Welding methods and equipment

#### 1.2.1 Alternating current (AC)

TIG welding of aluminum.

The edges of the welded product and the filler metal are melted by an arc burning between the non-consumable tungsten electrode and the product. In this case, an electrode is used either from pure, or from activated tungsten. If necessary, additive metal is added to the weld pool. As the arc moves, the melted (molten) metal of the weld pool solidifies (i.e., crystallizes), forming a weld seam that connects the edges of the parts. The welded joint is formed either solely by the molten base metal, or due to both the base metal and the metal of the filler wire. The arc, weld pool, ends of the tungsten electrode and the filler wire, as well as the cooling seam are protected from the environment by inert gas (argon or helium) supplied to the welding zone by the burner. Welding is performed either by a direct current direct polarity, when the positive terminal of the power supply is connected to the product, and the negative one to the burner, or alternating current (when welding aluminum).

#### Scope of TIG welding.

This method of welding is widely used in chemical, heat power, oil refining, aerospace, food, automotive and other industries for welding almost all metals and alloys: carbon, structural and stainless steels, aluminum and its alloys, titanium, nickel, copper, brass, siliceous bronzes, as well as dissimilar metals and alloys; surfacing of some metals to others.

#### 1.2.2 Tungsten electrode for welding aluminum.

Tungsten electrodes are used in argon-arc welding, that is, welding with a non-consumable electrode in argon shielding gas.

The melting point of tungsten is 3410 °C, the boiling point is 5900 °C. This is the most refractory of existing metals. Tungsten retains its hardness even at very high temperatures. This makes it possible to make non-consumable electrodes from it. In nature, tungsten is found in the form of oxidized compounds - wolframite and scheelite. With argon-arc welding, the arc burns between the work piece and the tungsten electrode. The electrode is located inside the welding torch. For welding in shielding gases with alternating current, it is advisable to use tungsten electrodes with alloying additives, which increase the stability and stability of the welding arc.

To improve the quality of the electrode (e.g., resistance to high temperatures, increasing the stability of the arc) is introduced in pure tungsten as an additive oxides of rare earth metals. There are several varieties of tungsten electrodes, depending on the content of these additives. This is determined by an electrode mark. Mark electrode nowadays is easy to remember the color, in which one end is painted. Tungsten electrodes are divided into three types: Permanent (WT, WY), AC (WP, WZ) and Universal (WL, WC).

WP (green) - Electrode of pure tungsten (content not less than 99.5%). The electrodes provide good arc stability at welding with alternating current, balanced or

not balanced with continuous high frequency stabilization (an oscillator). These electrodes are preferred for welding on an alternating sinusoidal current, aluminum, magnesium and their alloys, as they provide good arc stability in both argon and helium in the environment. Due to the limited thermal load, the working end of the pure tungsten electrode is formed in the form of a ball.

Basic welded materials: aluminum, magnesium and their alloys.

WZ-8 (White) - electrodes with the addition of zirconium oxide are preferred for AC welding, when not allowed even minimal contamination of the weld pool. The electrodes provide an extremely stable arc. Current load on the electrode is little higher than cerium, lanthanum and thorium electrodes. The working end of the electrode during welding with alternating current is processed in the form of spheres.

WL-20, WL-15 (blue, gold) - Electrodes of tungsten alloy with an oxide of lanthanum are very easy initial launch arc, low propensity to burn-through, a stable arc and excellent characteristics of re-ignition. Addition of 1,5% (WL-15) and 2,0% (WL-20) of lanthanum oxide increases the maximum current carrying capacity of the electrode by about 50% more for the size at AC welding than pure tungsten. Compared with cerium and thorium, lanthanum electrodes have less wear of the working tip of the electrode. Lanthanum electrodes are more durable and less pollute the tungsten weld. Lanthanum oxide is evenly distributed along the length of the electrode, which allows for a long time to retain during the welding the initial grinding of the electrode. This is a significant advantage when welding with constant (straight polarity) and alternating current from improved welding power sources, steels and stainless steels. When welding with alternating sinusoidal current electrode tip should have a spherical shape.

AC welded aluminum, tungsten is not sharpened like a needle in the preparation, but only slightly round off. When welding aluminum an important part of the preparation should be given to both material and additives. First, the surface must be cleaned and degreased. Second chamfering if the thickness does not allow full penetration. To the additive, too, is given due attention, it is necessary to select competently the chemical composition, it can be pure AL 99%, AlSi (silumin) or AlMg (dural). The rest need only practice.

### 1.2.3. On direct current (DC)

Aluminum DC welding is carried out only with the use of reverse polarity. This is due to a number of the metal features.

The main feature with aluminum and alloys thereof is that during the welding of articles made of these materials have problems in melting oxide film that covers the metal. This film is characterized by substantially refractoriness. Furthermore,

oxide film can occur on the bath surface, which significantly prevents the formation of a welded joint, affecting the overall stability of the welding process promotes the formation of fusions in the seams.

Therefore, aluminum welding process involves a careful selection of materials and the kind of current. Experts advise to use the special tungsten electrodes with aluminum and alloys thereof. As for the current, some experts recommend using only the current variable. Others allow the use of DC sources, but only when a reverse polarity.

If aluminum welding to apply a direct current straight polarity, then we should expect a number of problems, such as:

- ignite the arc will be difficult.
- also supports the arch will be very difficult.
- metal is strongly sprayed.
- welding rod, which in this case will be very quickly melt, will not fuse with metal products.
- as a result, the seam will burn-through and with a black coating.

Reverse polarity can cope with the aluminum oxide film, which hinders welding. The end result is also much better - edge metal pretty well fused. But with this method of welding aluminum is not possible to increase the current density, since this kind it is fairly limited.

### Conclusion

Analyzing the state of welding alloys based on Al were established problems of - the high thermal conductivity, the repeat excitation difficulties arc welding with alternating current, the presence of the oxide film, the rectifying action of the arc. To solve these problems it is necessary to drive a concentrated heat during welding. This problem is solved when welding arc burning on the alternating current in the dynamic mode. On this basis, we can formulate the aim of work, as follows:

Develop alternating current welding process in a dynamic mode arc

To achieve the goal it is necessary to solve the following tasks:

- analyze the features of aluminum welding
- to develop a model of the process of welding the AC arc in the dynamic mode
- to develop a functional diagram of equipment
- development of a schematic diagram of the equipment