

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»  
(наименование)

15.03.01 Машиностроение  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей в  
машиностроении»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Плазменная сварка алюминиевых сплавов разнополярными  
импульсами от источника питания свободной дугой

Студент

Н.Е. Ваничкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.Э. Советкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

## Аннотация

В настоящее время применение алюминия с каждым годом увеличивается, благодаря его применению во многих отраслях. В связи с этим используются разные виды сварки, которые имеют разную производительность.

В данной квалификационной выпускной работе была проведена научно-исследовательская деятельность, посвященная качественному получению сварной точки алюминиевого сплава разнополярными импульсами от источника питания свободной дуги с использованием плазменной сварки. Соответственно цель данной работы является получение качественной сварной точки алюминиевого сплава.

Проведена серия опытов с применением сварочного инвертора Вгima TIG-200p AC/DC, и использованием разных параметров, таких как сила тока, скорость подачи защитного газа, время сварки и расстояние открытой дуги. Установлены параметры благодаря которым, можно получить качественное точечное соединение двух алюминиевых пластин при помощи плазменной сварки разнополярными прямоугольными импульсами.

По результатам проведенный опытов было установлено, что основное значение на получение качественного соединения влияет давление сжатой дуги.

Пояснительная записка состоит из 46 страниц и содержит графическую часть на 7 страниц листах А1.

## **Annotation**

Currently, the use of aluminum is increasing every year, thanks to its use in many industries. In this regard, different types of welding are used, which have different performance.

In this qualifying final work, a research activity was carried out dedicated to the qualitative production of an aluminum alloy welding point by multipolar pulses from a free arc power source using plasma welding. Accordingly, the purpose of this work is to obtain a high-quality welded aluminum alloy point.

A series of experiments were carried out using a Brima TIG-200p AC/DC welding inverter, and using different parameters, such as current strength, protective gas supply rate, welding time and open arc distance. The parameters have been established due to which it is possible to obtain a high-quality point connection of two aluminum plates using plasma welding with multipolar rectangular pulses.

According to the results of the experiments carried out, it was found that the main value for obtaining a high-quality compound is influenced by the pressure of the compressed arc.

The explanatory note consists of 46 pages and contains a graphic part on 7 pages of A1 sheets.

## Содержание

Введение.....	5
1 Состояние плазменной сварки алюминиевых конструкций.....	6
1.1 Актуальность и применение алюминиевых сплавов.....	6
1.2 Области применения плазменной сварки.....	7
1.3 Анализ известных способов плазменной сварки.....	8
1.3.1 Плазменная сварка на постоянном токе прямой полярности .....	10
1.3.2 Плазменная сварка на постоянном токе обратной полярности .....	10
1.3.3 Плазменная сварка на переменном синусоидальном токе .....	11
1.3.4 Сварка трехфазной сжатой дугой.....	12
1.3.5 Плазменная сварка разнополярными импульсами тока .....	14
2 Методика проведения исследования.....	16
2.1 Обоснование выбора способа сварки.....	16
2.2 Описание оборудования для сварки.....	16
2.3 Выбор параметров режима и сварочных материалов .....	19
2.4 Сборка опытного образца.....	19
2.5 Описание процесса сварки и методики выполнения исследования .....	19
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	28
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика .....	28
3.2 Идентификация профессиональных рисков.....	29
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	31
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.....	33
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	34
4 Экономическое обоснование работы .....	37
4.1 Анализ затрат на проведение экспериментов .....	37
Заключение .....	43
Список используемой литературы и используемых источников.....	44

## Введение

В настоящее время сварка алюминия и алюминиевых сплавов находит широкое применение во всех сферах и отраслях промышленности. С каждым годом повышается спрос на алюминиевые сплавы, которые используются почти во всех сферах гражданской жизни, начиная с авто-, авиа-, судостроения и заканчивая бытовыми электроприборами [18].

К наиболее распространенным способам сварки алюминиевых сплавов можно отнести TIG (Tungsten Inert Gas – сварка неплавящимся электродом в среде инертного защитного газа) и PAW (Plasma Arc Welding – плазменная сварка). В настоящее время для сварки алюминиевых сплавов широко применяется TIG сварка, осуществляемая от инверторных источников питания. Плазменная сварка, используется реже, по-видимому причиной такой технологической отсталости является особенности стабильности протекания процесса [20]. Если в начале 70-80х годов для плазменной сварки требовались дополнительные приборы в виде осцилляторов и стабилизаторов, то современные источники позволяют осуществлять процесс сварки уже со встроенным высокочастотным блоком. Кроме того, как правило сварочные инверторы имеют прямоугольную форму переменного тока, что существенно повышает стабильность и производительность процесса сварки алюминиевых сплавов. Плазменная сварка не получила широкого применения вследствие того, что питалась от переменного синусоидального тока, которая накладывала ряд проблем, требовалось большое напряжение.

Сегодня повышение производительности, качества сварных соединений алюминиевых сплавов является актуальной задачей.

Целью работы является получение качественного точечного сварного соединения плазменной сваркой алюминиевых сплавов сжатой дугой, питаемой от инверторного источника питания свободной дугой.

# 1 Состояние плазменной сварки алюминиевых конструкций

## 1.1 Актуальность и применение алюминиевых сплавов

С каждым годом мировое потребление алюминия увеличивается на 5-6%. Потребление алюминия и алюминиевых изделий увеличивается за счет роста авиа-, судо- и автостроения, так же значительную часть потребления этого металла можно отнести к строительной и электротехнической отрасли. В России же этот показатель за последние 25 лет снизился на треть [2].

По данным организации «WorldBank», была предоставлена динамика потребления алюминия (рисунок 1).

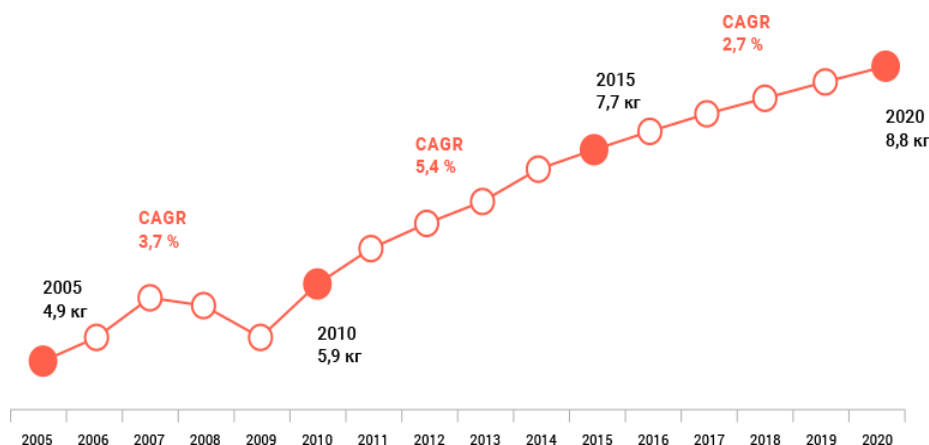


Рисунок 1 – Динамика потребления первичного алюминия на душу населения

Свойства алюминиевого сплава АМг3 приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав АМг3

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Cr	Mg	Zn	Примеси
0.5	0.5 – 0.8	0.3 - 0.6	0.1	93.8 - 96	0.1	0.05	3.2 – 3.8	0.2	0.1 – 0.5

Таблица 2 – Физические свойства АМгЗ

T	E 10 <sup>-5</sup>	A 10 <sup>-5</sup>	$\lambda$	$\rho$	Cp	R 10 <sup>-5</sup>
Град	МПА	1/Град	Вт/(м*град)	Кг/м3	Дж/(кг*град)	Ом*м
20	0.71	-	-	2660	-	49.6
100	-	23.5	151	-	880	-

Алюминий взаимодействует с кислородом, вследствие чего образуется тугоплавкий оксид алюминия  $Al_2O_3$ . Температура плавления оксида алюминия составляет примерно 2044 °С, в то время, когда температура плавления чистого алюминия является 660 °С. Поэтому перед сваркой алюминиевых сплавов необходимо качественно отчищать оксидную пленку. Удаление оксидной пленки осуществляется несколькими способами. Механическим способом – зачистка основного металла металлической щеткой, химическим способом – растворители, травление и т.д. Технологический способ удаления оксидной пленки, за счет применения обратной полярности.

## 1.2 Области применения плазменной сварки

«Применение плазмотронов в сварочной технике началось с середины 50-х гг. XX в., после того как для соединения тонколистового металла получила широкое распространение аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом. Первые сварочные плазмотроны были сконструированы на базе горелок для аргонно-дуговой сварки. В настоящее время при обработке металла применяют сжатую дугу прямого и косвенного действия (рисунок 1), (рисунок 2). При использовании дуги прямого действия дуга горит между торцом электрода и обрабатываемой деталью или образцом, при применении дуги косвенного действия, дуга горит между деталью и медным соплом, входе этого процесса на изделие воздействует только струя плазмы, которая выдувается из отверстия сопла плазмообразующим газом. Применение

плазменной дуги находят не только при сварке, но и при резке, плавлении, закалки» [19].

«Активное применение в промышленности плазменной сварки алюминиевых сплавов с использованием РПИ началось в начале 2000-х годов. Так как ряд предприятий в Европе, именно Германия, Швейцария, Дания, Австрия начали выпускать источники питания для плазменной сварки с синусоидальной и прямоугольной формой тока» [17].

«Плазменная сварка находит свое применение в глобальной промышленности, это автомобильные, авиационные, судостроение, вагоностроение» [18]. Так же использование плазменной сварки актуально и в гражданской сфере, приборах, материалах, строительстве.

### **1.3 Анализ известных способов плазменной сварки**

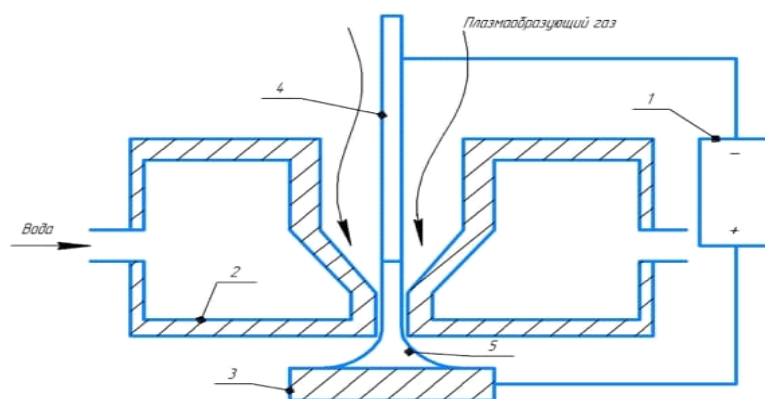
Плазменная сварка может осуществляться как на постоянном токе, так и на переменном токе. Из известных способов плазменной сварки основными является: на постоянном токе это прямая и обратная полярность, на переменном токе с использованием синусоидальной формы тока, прямоугольной формы тока и трехфазной дугой [1].

«По сравнению с аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом преимущества плазменной сварки следующие:

- концентрированное тепловложение (до 18000-25000 °К);
- отсутствие магнитного воздействия на дугу;
- отсутствие включений вольфрама в сварном соединении;
- повышение скорости сварки (2 - 3 раза)» [25].

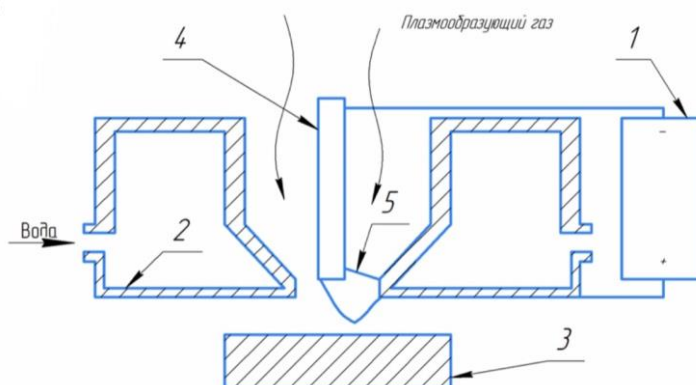
«В сварочных плазмотронах (рисунок 1), (рисунок 2) истекающая из сопла плазменная струя совмещена со столбом дуги. Таким образом, при плазменной сварке и резке, теплопередача в обрабатываемый металл осуществляется как путем конвективного нагрева его плазменной струей, так и за счет тепла дуги» [8].





1 – источник постоянного напряжения, 2 – водоохлаждаемый корпус,  
3 – обрабатываемое изделие, 4 – электрод, 5 – сварочная дуга.

Рисунок 1 – Схема плазмотрона прямого действия



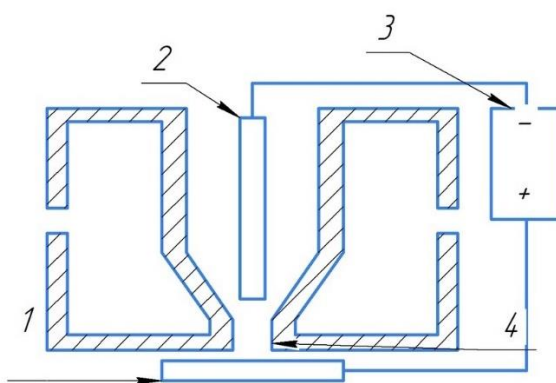
1 – источник постоянного напряжения, 2 – водоохлаждаемый корпус,  
3 – обрабатываемое изделие, 4 – электрод, 5 – сварочная дуга.

Рисунок 2 – Схема плазмотрона косвенного действия

Так же плазменная сварка обеспечивает почти полное отсутствие разбрызгивания основного металла, а с учетом концентрированного тепловложения, основной металл получает меньшую деформация, что положительно сказывается на изделии.

### 1.3.1 Плазменная сварка на постоянном токе прямой полярности

При сварке сжатой дугой на прямой полярности алюминиевых сплавов (рисунок 4), требуется обязательная качественная зачистка основного металла от оксидной пленки перед непосредственной сваркой. Главной особенностью прямой полярности является меньшее тепловое влияние на торец электрода, что повышает его стойкость в процессе сварки, в отличие от обратной полярности.



1 – обрабатываемое изделие, 2 – электрод, 3 – источник питания,  
4 – сжимающее сопло

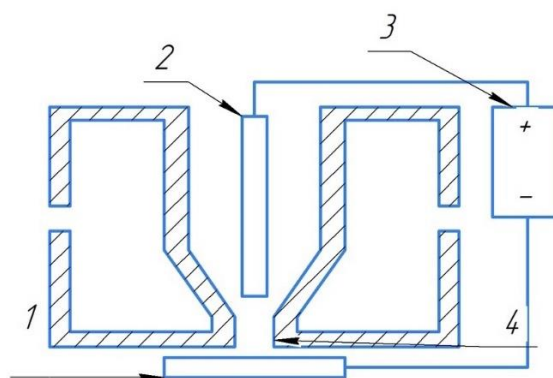
Рисунок 4 – Схема при сварке на прямой полярности

При этом допустимые значения тока для того же диаметра электрода при ПП и ОП могут отличаться от 3 до 7 раз, в зависимости от диаметра электрода [14]. Так же существует влияние на размер сварной точки [5].

### 1.3.2 Плазменная сварка на постоянном токе обратной полярности

При сварке на постоянном токе обратной полярности (рисунок 5), достигается наиболее лучшая катодная очистка. Но при работе на обратной полярности возникает проблема в избыточном накоплении тепла на электроде, что приводит к его снижению срока службы [4]. Для того, чтобы увеличить ресурс электрода существуют два способа, первый это использование

интенсивного охлаждения электрода, а второй за счет теплоотвода посредством медной части электрода [20]. Также для увеличения срока службы плазмотрона используют более габаритные детали [6]. Для повышения стабильности горения дуги рекомендуется зачистить образец от оксидной пленки, чтобы предотвратить блуждание дуги [17].



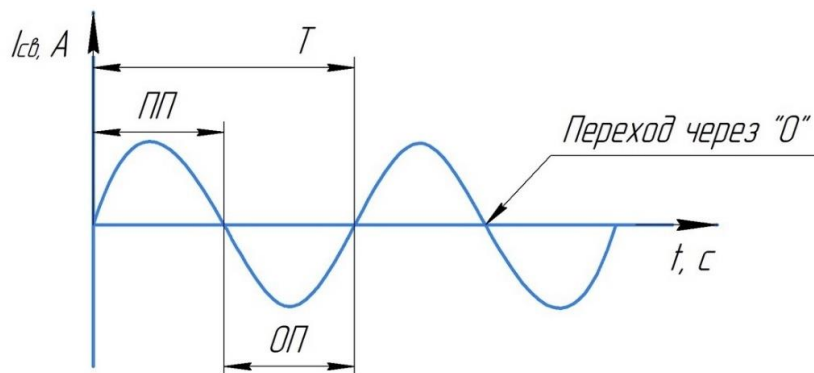
1 – обрабатываемое изделие, 2 – электрод, 3 – источник питания,  
4 – сжимающее сопло

Рисунок 5 – Схема при сварке на обратной полярности

Так же в статье [3] было исследовано, что силовое воздействие плазменной дуги на сварочную ванну, выше при прямой полярности, по сравнению с обратной.

### 1.3.3 Плазменная сварка на переменном синусоидальном токе

Схема синусоидального тока показана на рисунке 6, при использовании переменного синусоидального тока для сжатой сварки, комбинация прямой и обратной полярности позволяет эффективно сваривать алюминиевые сплавы. Удаление оксидной пленки происходит в момент полупериода обратной полярности, при этом на электрод воздействует около 70% тепла [11].



ПП – прямая полярность, ОП – обратная полярность, Т – период

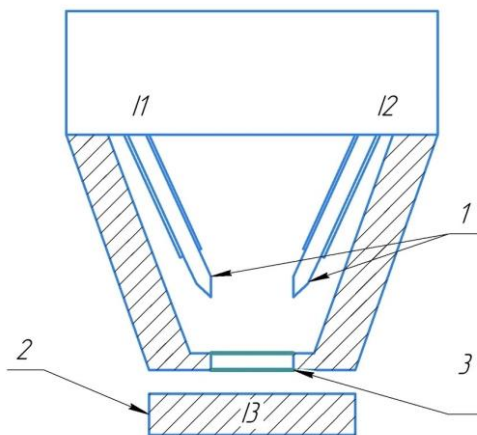
Рисунок 6 – Схема сварки на переменном синусоидальном токе

Однако переменный синусоидальный ток накладывает ряд проблем, связанных с тем что дуга крайне нестабильна, поэтому к источнику питания подключали осциллятор, который давал разряд высокого напряжения, благодаря чему возникала дуга. При переходе полярностей в точке ноль стабильность дуги падает, в следствии этого использовали стабилизатор, который поддерживал дугу в момент перехода полярностей, для сварки алюминиевых изделий подключался последовательно [22]. В процессе сварки могла возникнуть аварийная ситуация при которой возникает двойная дуга, из-за этого дуга начинает гореть на сопло, тем самым приводя его в негодность, при этом сопло может расплавиться на изделие приведя его к полному браку.

#### 1.3.4 Сварка трехфазной сжатой дугой

«Разработка способа сварки трехфазной дуги проводилась с 1934 г. доктором технических наук Г. П. Михайловым в лаборатории сварки УПИ им. С. М. Кирова» [6]. В.И. Столбов работая в середине 1950-х на одном из авиационных заводов Куйбышева, предложил новый способ сварки

алюминиевых сплавов, а именно, сварка трехфазной сжатой дугой, который применялись при изготовлении тяжёлых ракет всех типов.



1 – электроды, 2 – обрабатываемое изделие, 3- сжимающее сопло,

11, 12 – фазы подключенные к электродам,

13 – фаза подключенная к изделию

Рисунок 7 – Схема при сварке трехфазной сжатой дугой

Сварка трехфазной сжатой дугой происходит по схеме выше (рисунок 7). Закрепляются два электрода, к электродам подводятся две фазы, каждая к своему электроду. Третья фаза подключается непосредственно к изделию. Выходит, что горит три дуги поочередно, две из них горят между электродами и изделием, а третья между электродами, эту дугу называют дежурной [10]. Возбуждение зависимых дуг происходит за счет плазмообразующего газа и дежурной дуги при приближении горелки к изделию. Дежурная дуга создает небольшую плазменную дугу, которая при соприкосновении с изделием зажигает основную дугу. После того как дуга зажглась, дежурная дуга отключается, в автоматическом режиме.

### 1.3.5 Плазменная сварка разнополярными импульсами тока

Этот способ схож со сваркой на переменном синусоидальном токе, но между ними есть ряд существенных отличий, то что, не требуется дополнительный блок, обеспечивающий стабильность горения дуги при переходе между полярностями, так как прямоугольная форма тока позволяла обеспечить устойчивый переход между полярностями, а также, стабильное возбуждение дуги. Так же время перехода через ноль значительно меньше, «Тем самым повышая стабильность горения дуги, следовательно, и эффективность процесса. Еще одной главной особенностью является возможность изменять эти прямоугольники, тем самым регулировать время и силу тока на прямой или обратной полярности» [24].

Возможность регулировки дает широкие возможности для повышения технологических свойств дуги, а также повышению качества сварной точки [23].

Немаловажную роль играет так же сопло, в исследовании [16] было доказано, что степень сжатия дуги возрастает с уменьшением диаметра сопла, а также на степень сжатия дуги влияет величина силы тока, т.е. чем она выше, тем больше степень сжатия дуги, это в свою очередь влияет на давление дуги в сварочную ванну [21].

«На диаметр и глубину сварной точки влияет баланс полярностей, так изменение коэффициента наплавки и глубины проплавления при изменении полярности» [12]. «При сварке током обратной полярности глубина провара примерно на 40-50 % больше, чем при сварке током прямой полярности, и на 15-20% больше, чем при сварке переменным током, что объяснялось различным выделением количества теплоты на аноде и катоде. Рекомендуется использовать долю обратной полярности в пределах 40-50%» [13].

«Удельная тепловая эффективность дуги обратной полярности снижается с уменьшением тока дуги, а прямой полярности увеличивается. В

то же время в диапазоне токов 100–250 А удельная эффективность дуги обратной полярности значительно выше» [15].

Успешное применение РПИ гарантирует стабильную дугу, качественное сварное соединение, а также большую эффективность процесса.

Вывод по разделу.

Исходя из анализа материала, целью работы является получение качественного точечного сварного соединения плазменной сваркой алюминиевых сплавов, сжатой дугой, питаемой от инверторного источника питания, предназначенного для сварки свободной дуги.

Задачи исследования:

- Изучить зависимость влияния расстояния от электрода до образца на стабильность дуги.
- Разработка методики получения нахлесточной сварной точки путем выбора режима сварки.

## 2 Методика проведения исследования

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Для сварки опытных алюминиевых образцов АМг 3 был выбран способ плазменной сварки разнополярными прямоугольными импульсам. Исходя из своих свойств, таким как удаления оксидной пленки, стабильность горения дуги, возможность регулировки баланса полярностей, благодаря которому можно оказать меньшее тепловое влияние на электрод, следовательно, повысив его долговечность.

Этот способ позволит получить качественную сварную точку.

### 2.2 Описание оборудования для сварки

Для проведения опытов был выбран сварочный инвертор «Brima TIG-200p AC/DC» его технические характеристики указаны в таблице 3, принципиальная схема этого инвертора показана на рисунке 8, вольтамперные характеристики представлены на рисунке 9.

Таблица 3 – технические характеристики «Brima TIG-200p AC/DC»

Параметры источника питания	Brima TIG-200p AC/DC
Напряжение сети, В	220
Напряжение холостого хода	56
Частота сети, Гц	50/60
Максимальный сварочный ток, А	200
Диапазон регулировки тока	10 – 200
Баланс переменного тока	20 – 80
Потребляемая мощность, кВт	5.9
КПД, %	85



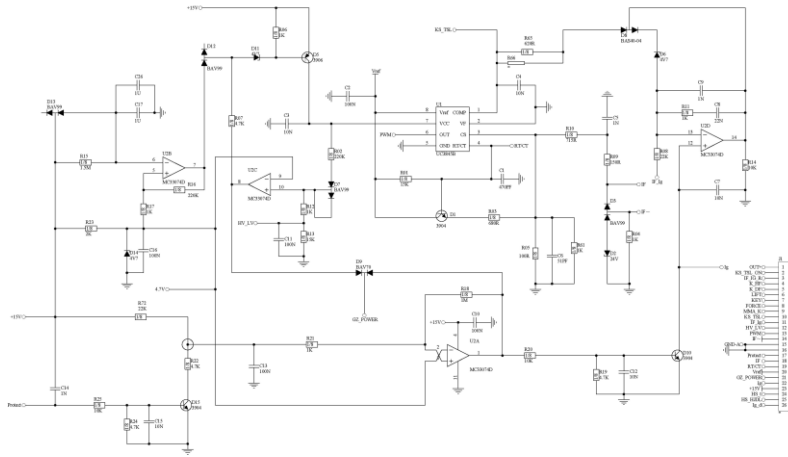


Рисунок 8 – Принципиальная схема «Brima TIG-200p AC/DC»

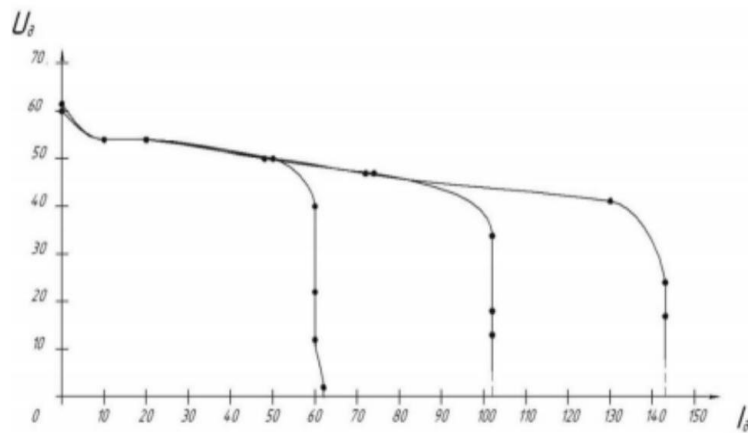


Рисунок 9 – Вольтамперные характеристики «Brima TIG-200p AC/DC»

Было использовано два медных сопла с разной высотой и толщиной отверстия. Оба сопла имели отверстие диаметром 3 мм. Схемы медных сопел предоставлены на рисунке 10 и рисунке 11.

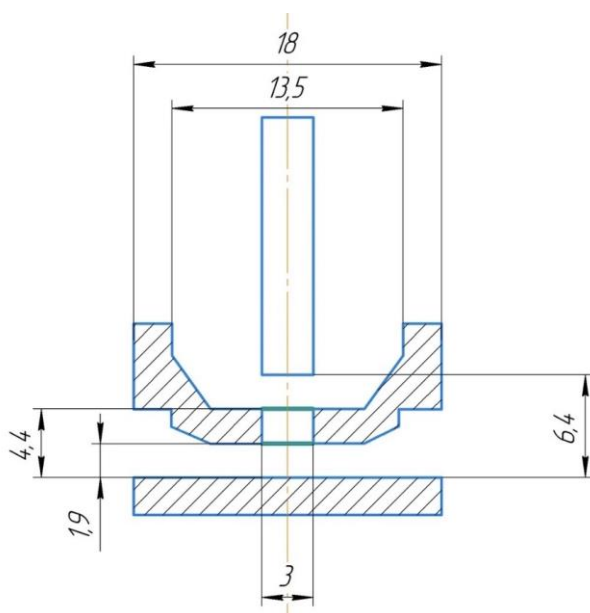


Рисунок 10 – Схема первого варианта медного сопла

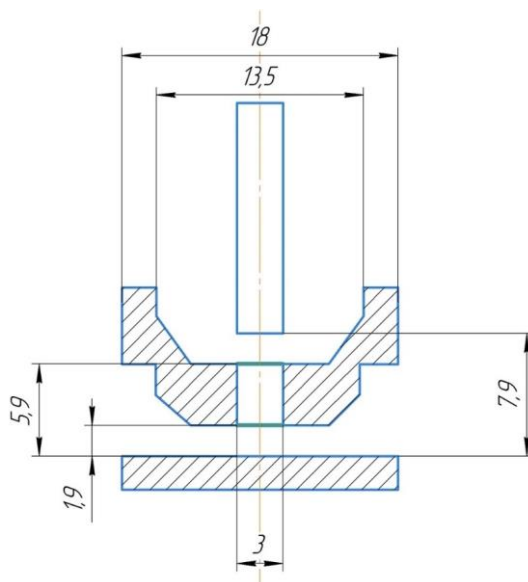


Рисунок 11 – Схема второго варианта медного сопла

В конструкции плазмотрона была осуществлена коаксиальная подача газа, так как она в отличие от тангенциальной подачи, имеет меньше завихрений и поток газа идет более равномерней. «При сравнении коаксиальной и тангенциальной подачи было установлено, что при тангенциальной подаче диаметр пятна нагрева уменьшается на 14.5%, в отличие от коаксиальной подачи» [12].

## **2.3 Выбор параметров режима и сварочных материалов**

При проведении опытов фиксированные параметры режимов были выбраны: баланс полярностей 60/40 (ПП/ОП) [11], и расстояние открытой дуги равняется 1.9 мм. Параметры, которые изменялись в процессе опытов: сварочный ток, время сварки, подача плазмообразующего газа. Так же в таблицах D1 является лицевой поверхностью, а D2 обратной.

## **2.4 Сборка опытного образца**

Для опытов использовались две пластины из алюминиевого сплава размером 135×45 мм и толщиной 2 мм, перед сваркой, оба образца прошли механическую обработку металлической щеткой, так же пластины располагались строго параллельно соплу в горизонтальном положении, такое положение было выбрано, для того, чтобы во время процесса сварки, выдуваемый алюминий из сварочной ванны распределялся равномерно. Образцы находились на расстоянии 1.9 мм от сопла.

## **2.5 Описание процесса сварки и методики выполнения исследования**

В процессе выполнения опытов изменялись параметры сварочного тока, время сварки, а также плазмообразующего газа, так как при проведении опытов дуга не зажигалась, поэтому эти параметры изменялись для возбуждения дуги. При получении точки измерялся его диаметр с лицевой и обратной стороны, где D1 лицевая сторона, а D2 обратная, измерение происходило в четырех положениях

При использовании сопел которые имеют разную длину отверстия сопла, было выявлено, что при изменении расстояния в закрытой части сопла не влияет на стабильность дуги. При изменении же открытой части дуги, то

есть расстояния от сопла до образца, возникает аварийная ситуация, при которой возникает двойная дуга, вследствие чего медное сопло расплавится (рисунок 12).



Рисунок 12 – Результат возникновения двойной дуги

Было проведено 14 опытов из которых 7 были удачны. Все параметры опытов предоставлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры опытов

№ опыта	$t_{св}$ , с	$I_{св}$ , А	Лотк. дуги, мм	$D_1$ диаметр точки, мм	$D_2$ диаметр точки, мм	S л/мин
1	2	3	4	5	6	7
1	7	100	1.9	11.5	-	4
2	8	100	1.9	11.5	4.5	4
3	-	100	1.9	-	-	4
4	-	100	1.9	-	-	4
5	-	100	1.9	-	-	4
6	7	100	1.9	12	6	4

Продолжение таблицы 4

7	7	100	1.9	12	7	4
8	-	75	1.9	-	-	2.5
9	-	80	1.9	-	-	3
10	10	85	1.9	15	8	3
11	-	100	1.9	-	-	3
12	5	100	1.9	12	7	4
13	-	100	1.9	-	-	4
14	5	100	1.9	12	6	4

Опыт 1.

Дуга зажглась, длина электрода не поменялась, на рисунке (рисунок 13) видно, что при расплавлении алюминий выдувало не совсем равномерно, так как с одной стороны горка больше. Проплавилась только верхняя пластина. Размеры точки указаны в таблице 5.

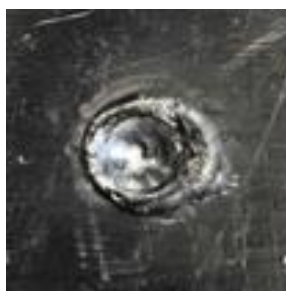


Рисунок 13 – Результат 1-го опыта

Таблица 5 – Размеры точек 1-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=11мм	d= - без проплава
d2=12мм	
d3=11.5мм	
d4=11.5мм	

Опыт 2.

Дуга зажглась, длинна электрода не поменялась, на рисунке (рисунок 14), видно, что обе пластины проплавились и получилось отверстие, весь расплавленный алюминий выдуло, поэтому снизу он не остался. Размеры точки указаны в таблице 6.



Рисунок 14 – Результат 2-го опыта

Таблица 6 – Размеры точек 2-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=12мм	d=4.5мм
d2=11мм	
d3=11.5мм	
d4=11мм	

Опыт 3.

Дуга не зажглась, была искра, но сама дуга не могла зажечься.

Опыт 4.

Дуга не зажглась, была искра, но сама дуга не могла зажечься.

#### Опыт 5.

Было решено изменить расстояние от сопла до изделия до 1.5 мм, но дуга не зажглась.

#### Опыт 6.

Дуга зажглась, все режимы стояли изначальные, на рисунке (рисунок 15) видно, что первая пластина проплавилась и началась плавиться вторая, но возникла критическая ситуация при которой образовалась дуга, поэтому прервали опыт. В таблице 7 указаны размеры точки.



Рисунок 15 – Результат 6-го опыта

Таблица 7 – Размеры точек 6-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр
d1=11.5мм	d=6мм
d2=11.5мм	
d3=12мм	
d4=12мм	

#### Опыт 7.

Дуга зажглась, на рисунке (рисунок 16) видно, что, как и в прошлом опыте первая пластина проплавилась, но на выдувшем алюминии видны черные точки, это признак того, что опять образовалась двойная дуга. В таблице 8 указаны размеры точки.



Рисунок 16 – Результаты 7-го опыта

Таблица 8 – Размеры точек 7-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=11.5мм	d=7мм
d2=12мм	
d3=12мм	
d4=12мм	

Опыт 8.

Были изменены сила тока и подача защитного газа до 75А и 2.5 л/мин соответственно, дуга не зажглась.

Опыт 9.

Ток был повышен до 80А и подача защитного газа увеличена до 3 л/мин, дуга не зажглась.

Опыт 10.

Ток был повышен до 85А подача защитного газа 3 л/мин. Дуга зажглась, на рисунке (рисунок 17) видно, что выдуваемый алюминий распределялся неравномерно, а значит подача была неравномерна, так же первая пластина расплавилась. Размеры точек указаны в таблице 9.



Рисунок 17 – Результаты 10-го опыта



Таблица 9 – Размеры точек 10-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=16мм	d1=7.5мм d2=8мм
d2=13мм	
d3=16мм	
d4=14мм	

Опыт 11.

Ток был повышен до начального значения в 100А, подача газа 3 л/мин.

Дуга не зажглась.

Опыт 12.

Сила тока 100А, подача газа была повышена до начального значения в 4 л/мин. Дуга зажглась, на рисунке (рисунок 18) видно, что при расплавлении второй пластины осталась оксидная пленка на ней. Размеры точки указаны в таблице 10.



Рисунок 18 – Результаты 12-го опыта

Таблица 10 – Размеры точек 12-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=11.5мм	d=7мм
d2=13мм	
d3=12мм	
d4=12.5мм	

Опыт 13.

Дуга не зажглась, но была искра.

Опыт 14.

Дуга зажглась, на рисунке (рисунок 19) видно проплавление первой пластины, но пластина под ней, не начала плавиться, возможно из-за плохого соединения между пластинами. Размеры точки указаны в таблице 11.



Рисунок 19 – Результаты 14-го опыта

Таблица 11 – Размеры точек 14-го опыта

D1 диаметр, мм	D2 диаметр, мм
d1=12мм	d=6мм
d2=12мм	
d3=12мм	
d4=12.5мм	

Так же заметно, что выдуваемый алюминий из сварочной ванны распределялся равномерно, следовательно, образец находился в ровном горизонтальном положении.

Выводы по разделу.

По результатам проведенных опытов можно отметить, что изменение общей длины дуги за счет уменьшения длины сжимающего канала сопла, не позволяет увеличить длину открытой части дуги. Коаксиальная подача газа в значительной мере влияет на общее давление дуги, при этом расход плазмообразующего газа не должен превышать 1 л/мин.

Качество сварного соединения алюминиевых сплавов во-многом зависит от величины давления сжатой дуги, которое зависит от выбранного значения силы тока и расхода плазмообразующего газа. Увеличение эффективности проплавления сжатой дуги возможно за счет увеличения давления сжатой дуги, путем незначительного регулирования расхода плазмообразующего газа.

## Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

### 3.1 Конструктивно-технологическая характеристика

Технологический процесс предусматривает применение плазменной сварки неплавящегося вольфрамового электрода в среде защитных газов. Выполнение данного технологического процесса предполагает возникновение негативных и опасных факторов для работника, при постоянном взаимодействиями с которым, оказывает вредное влияние на состояние человека.

Технологический процесс предоставляет поэтапное выполнение операций, описанных в таблице 12: разметка образцов, вырезка образцов, механическая обработка, сборка, сварка, контроль качества.

Для выполнения первой операции технологического процесса используют линейку и маркер.

Для выполнения второй операции применяют гильотина METALMASTER MG-800.

Для выполнения третьей операции используют металлическую щетку, ацетон, ветошь.

Для выполнения четвертой операции используют стенд и штангенциркуль.

В процессе сварки используется сварочный инвертор Brima 200P TIG AC/DC, вольфрамовый электрод диаметром 3 мм, щуп, защитный газ.

В последней операции используется штангенциркуль, плоскогубцы и лупа.

Таблица 12 – Технологический процесс плазменной сварки алюминиевых образцов

Выполняемые операции технологического процесса	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) разметка образцов	Слесарь-сборщик	Маркер, линейка	Рукавицы, штангенциркуль
2) вырезка образцов	Слесарь-сборщик	Гильотина METALMASTER MG-800	Штангенциркуль
3) механическая обработка	Слесарь-сборщик	Металлическая щетка	Ацетон, ветошь
4) сборка	Слесарь-сборщик	Стенд	Штангенциркуль
5) сварка	Сварщик	Инвертор Brama 200P AC/DC, вольфрамовый электрод 3 мм	Защитный газ-аргон
6) контроль качества	Сварщик	Штангенциркуль, плоскогубцы	Лупа

Следуя технологическому процессу данной выпускной квалификационной работы, стоит определить вредные и опасные факторы, а также найти возможность защиты от них, путем применения стандартных мероприятий и средств защиты.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Целью идентификации профессиональных рисков является решение и мероприятия для устранения негативных и опасных производственных факторов, в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса в таблице 13.

Таблица 13 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые операции технологического процесса	Наименование опасного или вредного фактора	Перечень оборудования являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) разметка образцов	- на поверхности заготовок и инструментов: заусенцы, шероховатость, острые кромки	Штангенциркуль
2) вырезка образцов	- на поверхности заготовок и инструментов: заусенцы, шероховатость, острые кромки - подвижные части производственного оборудования, - опасные и вредные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материала, могущих вызвать ожоги	Гильотина METALMASTER MG-800 штангенциркуль
3) механическая обработка	- на поверхности заготовок и инструментов: заусенцы, шероховатость, острые кромки - подвижные части производственного оборудования - опасные и вредные производственные факторы, которые могут вызвать ожоги - токсичность летучих паров	Металлическая щетка ацетон
4) сборка	- на поверхности заготовок и инструментов: заусенцы, шероховатость	Штангенциркуль

Продолжение таблицы 13

5) сварка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- подвижные части производственного оборудования,</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, которые могут вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	Сварочный инвертор Brima 200P AC/DC
б) контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- на поверхности заготовок и инструментов: заусенцы, шероховатость, острые кромки;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ul>	Набор визуально-измерительного контроля

Наиболее главной проблемной получения травм сотрудника – является негативное воздействие на организм человека факторами трудового процесса и производственной среды.

Такое воздействие является причиной различных последствий. Большинство этих последствий возникают по причине не соблюдения мер безопасности на рабочем месте или же отсутствия этих мер безопасности.

### **3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков**

Для того чтобы уменьшить негативное и опасное влияние производственных факторов, следует применять средства защиты для каждого из пунктов, в таблице 14 предложены средства и методики.

Таблица 14 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические требования и методики, применения которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устраивать его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) - на поверхности заготовок и инструментов	1) размещение плакатов о технике безопасности на объекте; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) подвижные части производственного оборудования	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда.
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) использование вентиляции для постоянной циркуляции свежего воздуха в помещении	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности;	Спецодежда.
5) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) произвести заземление; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции	Спецодежда.
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) использование специальных приборов для защиты от излучения; 2) использование ограждений в опасных зонах	Спецодежда.

Благодаря специальным средствам защиты, получится снизить негативное влияние на человека.



### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Обеспечение пожарной безопасности ориентирован на поиск и защиту от возможного места возникновения пожара.

Необходимо создать мероприятия, ориентированные на защиту работников и имущества предприятия, от опасных факторов возможного пожара. В связи с этим требуется провести осмотр на возникновение пожара. На данном объекте, пожар относится к классу «Е» - горение объекта пожара, который находится под напряжением.

В таблице 10 производится анализ рассматриваемого класса пожара, а именно горение веществ и материалов под напряжением.

Таблица 15 – Идентификация классов и опасных факторов пожаров

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка.	Источник питания сварочной дуги.	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов электроустановках, под напряжением.	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа.	Короткие замыкания на оборудовании и приборах; воздействие на персонал, находящийся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Проведя анализ причин возникновения пожара в таблица 15, необходимо составить методику технических средств по обеспечению пожарной безопасности, которые приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки и системы пожаротушения	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Средства пожарной автоматики	Пожарный инструмент механизированный и немеханизированный	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Емкости с песком, переносные огнетушители	Специализированные расчеты	Нет необходимости	Пожарный кран	План эвакуации	Нет необходимости	Ведро конусное, лом, лопатка штыковая	Кнопка оповещения

Так как требуется необходимая защита для работников предприятия от возможного пожара, то следует провести мероприятия по обеспечению пожарной безопасности которая приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки	Проводится инструктаж всех работников, так же обязательными являются учения пользованием средств при пожаре.	На данном участке должны иметься средства защиты; также приспособления которые могут предотвратить возгорание.

Используя эти мероприятия можно снизить риск возникновения пожаров на объекте.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Процесс осуществления технологического процесса сборки и сварки алюминиевых сплавов с применением плазменной сварки, помимо негативных и опасных производственных факторов, является причиной негативных последствий, оказывающих свое влияние на окружающую среду.

Для начала следует выполнить идентификацию этих факторов на основные виды экологической среды. В таблице 18 представленный основные негативные факторы.

Таблица 18 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
1	2	3	4	5
Сборка и сварка	Разметка образцов, вырезка образцов, механическая обработка, сборка, сварка, контроль качества	Газы выделяемые в процессе сварки.	Химические препараты, которые используются для проверки или отчистки основного металла.	Остаточный материал от электродов или химических препаратов.

Проведя анализ негативные экологические факторы в таблице 18, необходимо составить меры защиты или снижения влияния от этих факторов в таблице 19.

Таблица 19 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
1	2
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Применить высокоэффективные электрические фильтры, благодаря которым можно снизить выброс вредных газов в атмосферу.

Продолжение таблицы 19

Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Использовать систему оборотного водоснабжения, позволяя применять одну и ту же воду для технологических процессов.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Для снижения негативного влияния на окружающую среду требуется установить специализированные урны для отхода производственного мусора.

Применяя эти меры на предприятии, возможно снизить негативное влияние, оказываемое на окружающую среду.

Выводы по экологическому разделу.

Было исследовано какие негативные факторы влияют могут присутствовать при выполнении квалификационной работе и соответственно были предложены методы их решения и уменьшения негативного влияния на человека при плазменной сварке.

Был построен технологический процесс сборки и сварки алюминиевых сплавов с применением плазменной сварки неплавящегося электрода в среде защитных газов, а именно аргона и углекислого газа. Были выявлены негативные и опасные производственные факторы, которые оказывают влияние на здоровье и состояние человека. В следствии чего, было предложено несколько средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор.

Был выявлен класс пожара, который может возникнуть на данном объекте, а также основные факторы пожара и предложены средства и методики для снижения риска пожара. Так же, разработан перечень мероприятий от возможного пожара, для защиты рабочих и самого предприятия.

В процессе анализа экологичности удалось установить, что основное негативное влияние оказывается на атмосферу, гидросферу и литосферу. Ввиду чего были предложены меры по борьбе и уменьшению негативного влияния на окружающую среду.

## 4 Экономическое обоснование работы

Выпускная квалификационная работа является научно – исследовательской, соответственно экономическая выгода не является целью работы, но требуются экономическое объяснение.

### 4.1 Анализ затрат на проведение экспериментов

Для того, чтобы рассчитать экономическую выгоду, необходимо задать начальные данные, которые будут использоваться в работе. Исходные данные предоставлены в таблице 20.

Таблица 20 - Исходные данные для расчета экономической эффективности

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Проект
Цена основного материала	$C_m$	р/кг	765
Дневная ставка участника НИР	$C_m$	р	1000
Коэффициент премиальных доплат	$K_{пр}$	-	1,4
Норма отчисления на социальные нужды	$N_{соц}$	%	30
Суммарная стоимость предоставленного оборудования	$C_{об}$	р	135000
Норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию	$N_a$	%	24
Мощность оборудования	$M_{об}$	кВт	6
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,85
Стоимость электроэнергии	$C_{э-э}$	р	7
Норма отчислений на текущий ремонт оборудования	$N_{т.р}$	%	15,6

Для начала следует рассчитать экономическую эффективность с учетом текущих затрат. Все формулы для расчета экономической части были взяты из методических указаний [7].

«Расчет текущих затрат производится по следующей формуле» [7]:

$$Z_{тек} = 3М + ФЗП + O_{с.н} + Z_{э-э} + Z_{об} + Z_{пр} + НР$$

где «3М – затраты на основные и вспомогательные материалы» [7];

«ФЗП – фонд заработной платы (основная и дополнительная заработная плата научно– технического персонала)» [7];

«O<sub>с.н</sub> – отчисления на социальные нужды» [7];

«Z<sub>э-э</sub> – затраты на электроэнергию для выполнения исследований» [7];

«Z<sub>об</sub> – затраты, связанные с эксплуатацией оборудования» [7];

«Z<sub>пр</sub> – прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (связанны со спецификой исследования)» [2];

«НР – накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и охрану труда)» [7]

«Затраты на основной и вспомогательный материал вычисляются по следующей формуле» [7]:

$$3М = 3М_{осн} + 3М_{всп}$$

3М<sub>осн</sub> – затраты на основной материал [7];

3М<sub>всп</sub> – затраты на вспомогательный материал [7].

Затраты на основной материал рассчитываются по формуле:

$$3М_{осн} = Н_p \cdot Ц_m \cdot U$$

где «Н<sub>p</sub> – норма расхода основного материала на один образец для испытаний» [11];

«Ц<sub>m</sub> – оптовая цена 1 кг основного материала» [7];

U – количество образцов, шт

«Затраты на вспомогательный материал укрупнено принимаем равными 20% от затрат на основной материал» [7]:

$$3М_{всп} = 0.2 \cdot 3М_{осн}$$

Цена на алюминиевый сплав АМг – 6 за 1 килограмм равна 765 рублям, была взята оптовая цена из магазина металлопроката.

$$ЗМ_{осн} = 0,1 \cdot 765 \cdot 10 = 765 \text{ руб.}$$

$$ЗМ_{всп} = 0,2 \cdot 765 = 153 \text{ руб.}$$

$$ЗМ = 765 + 153 = 918 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату научно– технического персонала:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп}$$

«ЗПЛ<sub>осн</sub> – основная заработная плата научно– технического персонала» [7];

«ЗПЛ<sub>доп</sub> – дополнительная заработная плата научно– технического персонала» [7].

«Основная заработная плата вычисляется по формуле» [7]:

$$ЗПЛ_{осн} = \sum T_{раб} \cdot C_d \cdot K_{пр} \cdot И$$

« $\sum T_{раб}$  – суммарное время работы каждого участника НИР по всем этапам (в днях)» [11];

« $C_d$  – дневная ставка каждого участника НИР, руб.» [7];

« $K_{пр}$  – коэффициент премиальных доплат (можно принять =1,4)» [7];

« $И$  – количество исполнителей на каждом этапе, чел» [7].

$$ЗПЛ_{осн} = 5 \cdot 1000 \cdot 1,4 \cdot 1 = 7000 \text{ руб.}$$

«Дополнительная заработная плата определяется по формуле» [7]:

$$ЗПЛ_{доп} = 0,1 \cdot ЗПЛ_{осн}$$

$$ЗПЛ_{доп} = 0,1 \cdot 7000 = 700 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП = 7000 + 700 = 7700 \text{ руб.}$$

«Отчисления на социальные нужды вычисляем по формуле» [7]:

$$\text{Ос. н} = \frac{N_{соц} \cdot \Phi ЗП}{100}$$

где  $N_{соц}$  – норма отчислений на социальные нужды = 30%

$$\text{Ос. н} = \frac{30 \cdot 7700}{100} = 2310 \text{ руб.}$$

Затраты на электрическую энергию для проведения испытаний:

$$Зэ - э = \frac{Моб \cdot t_{исп}}{\eta} \cdot Цэ - э$$

где  $Моб$  – мощность оборудования (5,9 кВт);

« $t_{исп}$  – время проведения испытаний, час» [7];

« $\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования (0,85)» [11];

« $Цэ-э$  – цена 1 кВт·часа электроэнергии = 3,5 руб» [7].

$$Зэ - э = \frac{5,9 \cdot 0,4}{0,85} \cdot 3,5 = 7 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с эксплуатацией оборудования:

$$Зоб = Аоб + Р_{т.р}$$

где « $Аоб$  – амортизационные отчисления, связанные с эксплуатацией оборудования» [11];

« $Р_{т.р}$  – расходы на текущий ремонт оборудования» [7];

Затраты на амортизацию оборудования определяем по формуле:

$$Аоб = \sum Цоб \cdot \frac{Н_a \cdot t_{исп}}{\Phi_{эф} \cdot 100}$$

где « $Н_a$  – норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию, 24 %» [7];

« $\sum Цоб$  – суммарная цена оборудования, необходимого для проведения испытаний, руб.» [7];

« $\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования (можно принять равным 1903 часа)» [7];

« $t_{исп}$  – время проведения испытаний, час.» [7].

Стоимость используемого оборудования приведена в таблице 21.

Таблица 21 – Наименование и цены предоставленного оборудования

Наименование оборудования	Цена, руб.
Регистратор сварочных данных	60000
Сварочный пост	75000

$$Аоб = 85000 \cdot \frac{24 \cdot 0,4}{1903 \cdot 100} = 3,7 \text{ руб.}$$



Расходы на текущий ремонт оборудования:

$$P_{т.р} = \sum \text{Цоб} \cdot \frac{N_{т.р} \cdot \text{кз}}{\text{Фэф} \cdot 100}$$

«где  $N_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования (принимается равной 35%)» [7];

« $\text{кз}$  – коэффициент загрузки оборудования» [7].

$$\text{кз} = \frac{\text{поб. расчет.}}{\text{поб. прин.}}$$

$$\text{кз} = \frac{1}{1} = 1$$

$$P_{т.р} = 85000 \cdot \frac{35 \cdot 1}{100 \cdot 1903} = 15,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{об} = 3,7 + 15,6 = 19,3 \text{ руб.}$$

Затрата на аренду помещений, приобретение образцов являются прочими затратами, которые принимаем в размере 5% от величины фонда заработной платы научно – технического персонала:

$$Z_{пр} = 0,05 \cdot \text{ФЗП}$$

$$Z_{пр} = 0,05 \cdot 3850 = 192,5 \text{ руб.}$$

Накладные расходы принимаем в размере 55% от величины фонда заработной платы научно – технического персонала:

$$НР = 0,55 \cdot \text{ФЗП}$$

$$НР = 0,55 \cdot 7700 = 4235 \text{ руб.}$$

Приобретение оборудования не требуется, так как на кафедре имеется все необходимое оборудование для проведения опытов.

Выводы по экономическому разделу.

Было проведено и рассчитано экономическое обоснование выпускной квалификационной работы с применением плазменной сварки алюминиевых сплавов разнополярными импульсами от источника питания свободной дуги.

Результаты затрат на работу приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Список затрат на проведение исследования

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Затраты на материал	765
Фонд заработной платы	7700
Отчисления на социальные нужды	2310
Затраты на электрическую энергию	7
Затраты на оборудование	19,3
Прочие затраты	192,5
Накладные расходы	4235
Общие затраты на проведение работы	15228,8

Из приведенных результатов экономической части можно выделить основные затраты на проведение опытов.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель получения качественного сварного соединения двух алюминиевых пластин с помощью плазменной сварки разнополярными прямоугольными импульсами.

Выявлены основные параметры благодаря которым влияют на итоговое получение сварной точки, а именно, подача защитного газа, баланс полярностей, сила тока, длина открытой дуги, диаметр сопла и время сварки.

Для проведения стабильного процесса следует проводить сварку на ровной и горизонтальной поверхности, так же учитывать степень стойкости вольфрамового электрода и обеспечить качественную очистку от оксидной пленки алюминия или его сплавов.

В процессе проведения опытов было установлено, что увеличение закрытой части дуги не влияет на стабильность зажигания и протекания процесса сварки, но изменение длины открытой части, а именно увеличение негативно сказывается на стабильность дуги.

Установлено, что давление сжатой дуги является наиболее важным параметром для получения качественного соединения. При изменении силы тока, скорости подачи защитного газа и изменения диаметра отверстия сопла, можно регулировать давление дуги, тем самым повышая или понижая ее эффективность проплавления алюминиевого сплава.

По итогу проведения выпускной квалификационной работе можно сделать вывод, что давление сжатой дуги оказывает наибольшее влияние на качество сварной точки, соответственно при регулировки силы тока, диаметра отверстия сжимающего сопла и подачи защитного газа, возможно получить качественное сварное соединение.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Акулов А.И. и др. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
2. Алюминиевая промышленность в современном мире СиллаАбубакар (Гвинея) Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
3. Богуцкий А. А., Макаренко Н. А., Грановская Н. А. Влияние разнополярно-импульсного режима горения плазменной дуги на жидкую металлическую ванну.
4. Быховский Д.Г., Беляев В.М. Особенности формирования швов при сварке плазменной (сжатой) дугой обратной полярности // Свароч. пр-во. – 1971. – № 9. – С. 25–26.
5. Влияние рода тока и полярности на формирование шва при сварке под флюсом Петр Павлович Гвоздев, Антон Александрович Линник
6. Гринюк А. А. и др. Основные тенденции развития плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов //Автоматическая сварка. – 2015. – №. 11. – С. 39– 50.
7. Краснопевцева, И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта производственно технологического характера для студентов специальности 150700.02.65 и направления подготовки 15.03.01 / И. В. Краснопевцева. –Тольятти: ТГУ, 2015. –С.3– 22
8. Малаховский В.А. Плазменная сварка М.: 1987, 80 с.
9. Моторин К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения. / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2021. – 7 с.
10. Сварка сжатой дугой на переменном токе / Дудко Д.А., Лакиза С.П., Виноградский Ф.М., Корниенко А.Н. // Автомат. сварка. – 1966. – № 7. – С. 47–49.

11. Сидоров, В.П. Влияние баланса полярностей на эффективную мощность дуги при точечной плазменной сварке алюминиевых сплавов / В.П. Сидоров, Д.Э. Советкин // Вестник РГУПС. – 2019. – № 4. – С. 26–33.
12. Сидоров В. П. и др. Влияние способов подачи плазмообразующего газа на пятно нагрева при сварке сжатой дугой // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – №. 3. – С. 97-101.
13. Сидоров В.П., Ковтунов А.И., Бочкарев А.Г., Советкин Д.Э. Эффективная мощность сварочной дуги обратной полярности при наплавке алюминия плавящимся электродом // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 020. No 4. С. 34–42.
14. Сидоров В. П., Советкин Д. Э., Короткова Г. М. О допустимых токах на вольфрамовый электрод дуги с разнополярными импульсами тока // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. –2020 – Т. 22 – №. 4 DOI: 10.15593/2224-9877/2020.4.01
15. Сидоров В.П., Советкин Д.Э., Мельзитдинова А.В. Эффективная мощность дуги прямой полярности с неплавящимся электродом // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2020. №2.
16. Наплавка покрытыми электродами дугой, питаемой разнополярными импульсами тока. В.П.Сидоров , Д.Э. Советкин.
17. Неровный В.М. Плазменная сварка Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана. Москва: 2004г.
18. Рубинчик Ю.Л. Механизированная сварка корпусных конструкций из алюминиевых сплавов. – Л.: Судостроение, 1974. – С. 136.
19. Lathi K., Jenström P. Plasma Welding Aluminium // Svetsaren. – 1999. – № 3. – P. 26–28.
20. Simulation and analysis of heat transfer and fluid flow characteristics of variably polarity GTAW process based on a tungsten-arc-specimen coupled model / J. Pan, S. Hu, L. Jang, H. Li. // International Journal of Heat and Mass

Transfer. – 2016. – Vol. 96. – P.346–352.  
DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.01.014 017-9310/

21. The effect of electrode energy balance on variable polarity plasma arc pressure / B. Hu, Sh. Tashiro, F. Jang, M. Tanaka, Sh. Chen // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Vol. 145. – 118715.  
DOI.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118.715

22. Keyhole welding of AA2219 aluminum alloy with double-pulsed variable polarity gas tungsten arc welding / W. Yipeng, Q. Bojin, Z. Minjie, L. Sanbao // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – Vol. 34. – P. 179–186.  
DOI.org/10.1016/j.jmapro.2018.06.006

23. Jiang F., Li Ch., Chen Sh. Experimental investigation on heat transfer of different phase in variable polarity plasma arc welding // Welding in the World. – 2019. – Vol. 63. – P. 1153–1162. DOI.org/10.1007/S40194-019-00722-3

24. Thermal efficiency decision of variable polarity aluminum arc welding through molten pool analysis / H. Jeong, K. Park, S. Bajek, J. Cho // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Vol. 138. – P. 729–737.

25. Cho J., Lee J.-J., Bae S.-H. Heat input analysis of variable arc welding of aluminum // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – Vol. 81. – P. 1273–1280. DOI 10.1007/s00170-015-7292-y