

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 кафедры)

15.03.01 Машиностроение  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Исследование параметров процесса сварки из алюминиевых сплавов однофазной сжатой дугой точками»

Студент	<u>Д.С. Кузнецов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>Г.М. Короткова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>Н.В. Зубкова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>О.Н. Брега</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., доцент В.В. Ельцов  
(учёная степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## **АННОТАЦИЯ**

В выпускной квалификационной работе определен характер изменения напряжения дуги в процессе сварки алюминиевых сплавов сжатой однофазной дугой точками.

В работе проанализированы свойства алюминиевых сплавов, особенности сварки сжатой однофазной дугой. Определены параметры, характеризующие свойства сварного шва при выбранном способе сварки. Также разработан технологический процесс проведения исследования, собран сварочный пост, подобрано необходимое оборудование и измерительная аппаратура.

В процессе выполнения выпускной работы были проведены эксперименты, на основе которых описаны результаты исследования.

Пояснительная записка состоит из 48 страниц и содержит графическую часть на 6 листах А1.

## **ABSTRACT**

This final bachelor's thesis determines the nature of the change in arc voltage during welding process for aluminum alloys by a spot welding of compressed single-phase arc.

Properties of aluminum alloys, features of welding with a compressed single-phase arc were analyzed in this thesis. The parameters characterizing the properties of a welded seam with the selected welding method are determined. Technological process of the research was also developed, the welding station was assembled, the necessary equipment and the measuring equipment were selected.

During completion of this thesis, the required experiments were conducted and results of the study are described on their basis.

The explanatory note consists of 48 pages and contains a graphic part on 6 sheets of A1 formats.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Исходные данные для сварки сжатой однофазной дугой точками	6
1.1 Особенности сварки сжатой однофазной дугой точками.....	6
1.2 Свойства алюминиевых сплавов.....	8
1.3 Параметры, определяющие свойства сварного соединения сжатой однофазной дугой точками .....	11
2 Методика исследования параметров режима сварки сжатой однофазной дугой .....	14
2.1 Выбор источника питания и измерительной аппаратуры .....	14
2.2 Обоснование выбора плазмотрона для сварки образцов 2+2 мм .....	16
3 Исследование формирования сварного соединения сплава АМг-3 толщиной 2+2 мм.....	20
3.1 Разработка методики проведения исследований .....	20
3.2 Исследования характера изменения $U_d$ за время сварки точки .....	22
3.3 Результаты исследований .....	24
3.4 Технология сварки сжатой однофазной дугой точками. ....	29
4 Экономическое обоснование работы.....	34
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	41
5.1. Планировка объекта .....	41
5.2 Сущность технологического процесса .....	41
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	42
5.4 Мероприятия по уменьшению влияния.....	43
5.5. Заключение по разделу.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	46

## ВВЕДЕНИЕ

Конструкционные материалы на основе алюминия и магния благодаря малому удельному весу, высокой удельной прочности и коррозионной стойкости широко используются в машиностроительном производстве, несмотря на проблемы, которые возникают при создании неразъемных соединений с помощью сварки неплавящимся электродом в защитной среде газа.

При изготовлении изделий из алюминиевых сплавов в последнее время все больше применяется сварка сжатой дугой с неплавящимся электродом в защитной среде газа. Однако работ, посвященных сжатой сварочной дуге в отечественной и зарубежной литературе мало.

Прогресс сварочной техники в области дуговой сварки, его совершенствование и создание новых технологических процессов происходит только при установлении новых физических свойств сварочной дуги. Выявить физические свойства и закономерности, присущие сжатой дуге можно только путем экспериментальных исследований, так как процессы, протекающие в дуге сложны и многообразны.

Особый интерес возникает к формированию сжатой дуги при сварке алюминиевых сплавов точками, так как технологический процесс находит все большее применение во многих отраслях современной промышленности [1,2].

Известно, что сплавы на основе алюминия свариваются преимущественно на переменном токе неплавящимся электродом. Объектом исследования в данной работе является сжатая дуга при сварке неплавящимся электродом точками алюминиевых сплавов в среде аргона на переменном токе однофазной дугой.

Цель работы – исследовать характер изменения напряжения дуги при сварке сжатой дугой точками в течении сварочного процесса.

# 1 Исходные данные для сварки сжатой однофазной дугой точками

## 1.1 Особенности сварки сжатой однофазной дугой точками

Особенностью сварки сжатой однофазной дугой неплавящимся электродом является форма статической вольтамперной характеристики сжатой дуги. Величина напряжения сжатой дуги растет по сравнению со свободной дугой до (28-30) В (рис. 1.1).

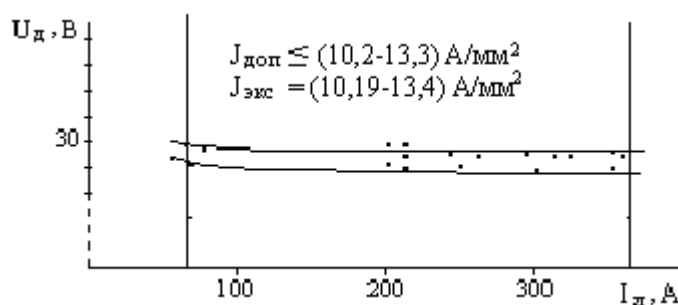


Рисунок 1.1 - Статическая вольтамперная характеристика сжатой дуги

При сварке сжатой дугой напряжение в прямую полярность  $U_{пр}$  много больше, чем в обратную полярность  $U_{обр}$  (рис.1.2).

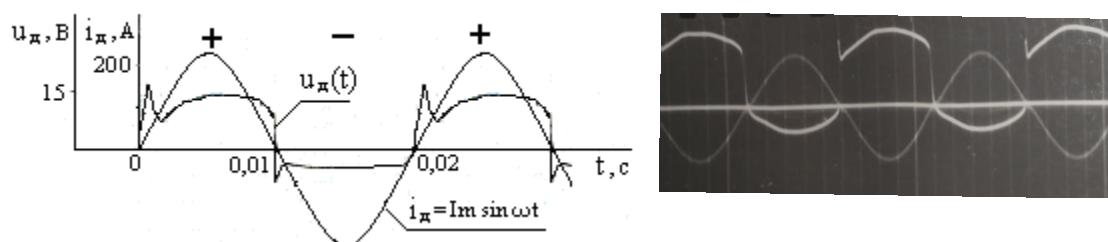


Рисунок 1.2 – Зависимости  $u_d = f(t)$  и  $i_d = f(t)$

При смене полярности тока с прямой на обратную подается дополнительный импульс. Назначение этого импульса – обеспечить переход тока через нуль. При сварке неплавящимся электродом в защитной среде газа – это необходимое условие для стабильного горения дуги [3].

Форма статической вольтамперной характеристики сжатой дуги и форма тока определяют выбор источника питания с падающей или крутопадающей внешней вольтамперной характеристикой дуги. При этом особое внимание уделяется величине напряжения холостого хода. Известно, что  $U_{xx} = (2-3)U_{д}$ , поэтому стремятся выбрать источник питания с  $U_{xx}$  более  $(70-80)V$ [6].

Начальная ионизация дугового промежутка при сварке сжатой дугой точками возможна только с помощью генератора высокой частоты (осциллятора) с вольфрамового электрода на медное сопло. Для этого применяется специальная схема включения осциллятора.

К особенностям сварки сжатой дугой следует отнести длительность сварки точки  $t_{св}$  (рис.1.3), которую необходимо регулировать в зависимости от сплава и толщины образцов.

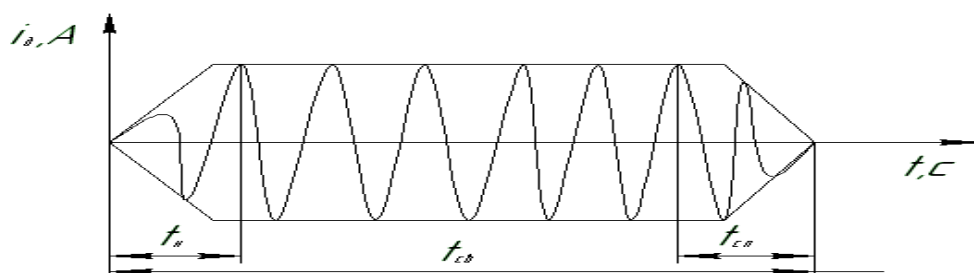


Рисунок 1.3 – Зависимость тока от времени  $i_d = f(t_{св})$

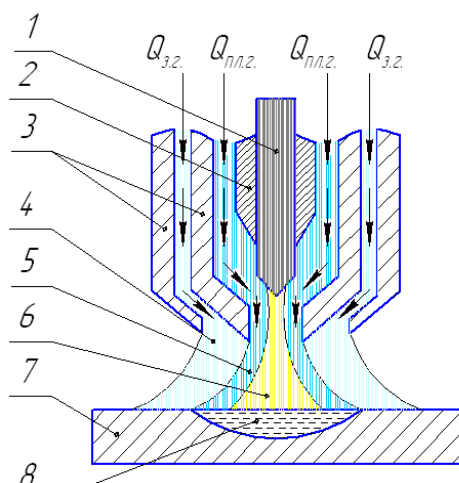
Регулировать длительность формирования точки необходимо специальной схемой. В работах [2,4] определены ориентировочные режимы формирования сварной точки при различной толщине свариваемого сплава.

При сварке сплавов алюминия возникает оксидная пленка, наличие которой не допускается в сварном соединении. Поэтому при подготовке к сварке проводится специальная очистка поверхности пластин [5].

Особенностью сварки точками является образование кратера на поверхности свариваемого изделия после обрыва дуги. При сварке алюминиевых сплавов образование кратера осложняется большой усадкой

металла. По сравнению с другими способами точечной сварки, сжатая дуга имеет высокую тепловую мощность, что позволяет увеличить производительность.

При сварке сжатой однофазной дугой используется неплавящийся вольфрамовый электрод. В плазменной горелке (плазматроне) столб дуги сжимается за счет специальной конструкции сопла горелки и способа подачи газа. Газ в плазматроне разделяется на два потока: защитный и плазмообразующий (рис.1.4).



1 – вольфрамовый электрод; 2 – цанга; 3 – сопло; 4 – область защитного газа; 5 – область плазмообразующего газа; 6 – столб дуги; 7 – изделие; 8 – сварочная ванна

Рисунок 1.4 – Эскиз плазматрона для сварки сжатой дугой

Формирование сварной точки существенно зависит от свойств свариваемых алюминиевых сплавов.

## 1.2 Свойства алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы относятся к группе термически не упрочняемых алюминиевых деформируемых сплавов. Из АМГ-3 изготавливают разные полуфабрикаты, например штамповки. Полуфабрикаты из этого сплава имеют относительно небольшие прочностные характеристики, но высокую пластичность. Алюминий – самый распространенный в земной коре металл,



его запасы составляют 8,8 %. Алюминий является одноморфным металлом с плотноупакованной гранцентрированной кубической решеткой. Технически чистый алюминий имеет низкие прочностные ( $\sigma_B = 49 - 68$  МПа, модуль упругости  $E = 70000$  МПа) и высокие пластические свойства ( $\delta = 28\%$ ), поэтому в качестве конструкционного материала применяется в значительно меньших объемах, чем его сплавы различного легирования. В зависимости от содержания легирующих элементов, характера пластической обработки металла все алюминиевые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные. Деформируемые алюминиевые сплавы содержат легирующие элементы в количествах до предела их растворимости в  $\alpha$  – растворе алюминия, например, структура алюминиево – магниевых сплавов характеризуется зернами  $\alpha$  - алюминия, по границам которых могут быть выделения бета – фазы –  $Al_3Mg_2$  (до 3%). Для сварных конструкций главным образом применяются деформируемые алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784 – 74) [1], которые можно подразделить на термически неупрочняемые (низкой и средней прочности) и термически упрочняемые (средней и высокой прочности). К термически неупрочняемым можно отнести технический алюминий, сплавы системы Al – Mn, алюминиево – магниевые сплавы системы Al – Mg.(табл.1.1).

К термически упрочняемым сплавам, имеющим предел прочности от 350 до 570 МПа, относятся сплавы систем Al – Zn – Mg, Al – Cu – Mn, Al – Zn – Mg – Cu, Al – Mg – Li и др., повышение прочностных свойств которых обеспечивается выделением мелкодисперсных фаз в результате старения.

Несмотря на большую стоимость по сравнению с углеродистыми и низколегированными конструкционными сталями, объем применения алюминиевых сплавов в производстве сварных конструкций непрерывно повышается. Это можно объяснить такими эксплуатационными свойствами алюминия и его сплавов, как высокая коррозионная стойкость в целом ряде агрессивных жидких и газовых сред, немагнитность и высокие электро – и

теплопроводность, низкие температуры перехода алюминиевых сплавов из вязкого в хрупкое состояние.

Малая плотность и высокие прочностные свойства термически упрочняемых алюминиевых сплавов обуславливают их высокую удельную прочность по сравнению с конструкционными сталями, что позволяет снижать металлоемкость, например, строительных конструкций, при замене сталей алюминиевыми сплавами (табл. 1.2).

Недостатком алюминиевых сплавов по сравнению с конструкционными низкоуглеродистыми и низколегированными сталями является необходимость применения более сложных технологических приемов в процессе подготовки деталей под сварку и в процессе сварки.

Химический состав и механические свойства сплава типа АМг-3, который используется при проведении экспериментальных работ приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 - Химический состав сплава АМг-3

Марка сплава	Mg	Mn	Cr	Ti	Si	Be	Cu	Zn	Fe	Si
АМг3	3,2-3,8	0,3-0,6	—	—	0,5-0,8	—	0,05	0,2	0.5	—

Таблица 1.2 - Механические свойства сплава АМг-3

Марка сплава	$\sigma_{\sigma}$ , кг\мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кг\мм <sup>2</sup>	$\delta$ %
АМг3	20,0	10,0	15,0

Алюминий является легким металлом. Он отличается довольно малой массой, а также хорошей обрабатываемостью. Чистый алюминий не используется при изготовлении деталей и конструкций, несущих нагрузки, так как имеет сравнительно низкую прочность, поэтому в роли конструкционных материалов применяют сплавы алюминия [1]. Благодаря

своим уникальным свойствам алюминиевые сплавы активно используются в промышленности по причине, коррозионной стойкости, малому удельному весу и хорошей обрабатываемости.

Алюминий и его сплавы имеют способность активно взаимодействовать с кислородом, на поверхности металла образуется оксид алюминия  $Al_2O_3$ , который покрывает всю поверхность металла. Оксидная пленка достаточно прочная и плотная. Для удаления оксидной пленки с поверхности металла существует несколько способов. Начнем с механического способа, этот способ осуществляется металлической щеткой, либо наждачным инструментом. Химический способ – применение при сварке флюсов, содержащих хлористые и фтористые соли, или с помощью травления. А также электрический способ удаления оксидной пленки – сварка постоянным током обратной полярности, или переменным.

### **1.3 Параметры, определяющие свойства сварного соединения сжатой однофазной дугой точками**

Для формирования точечных сварных соединений из алюминиевых сплавов чаще всего применяется сварка неплавящимся электродом в среде аргона, как на постоянном, так и на переменном токе однофазной и трехфазной свободной и сжатой дугой [2].

Для обеспечения качественного формирования точечного сварного соединения необходимо учитывать геометрические параметры плазматрона, установочные параметры длины сжатой дуги, расход газа.

На рисунке 1.5 обозначены параметры плазматрона и изделия, которые необходимо устанавливать и контролировать;

$d_w$  - диаметр вольфрамового электрода, мм;

$D_c$  - диаметр сопла, мм;

$l_o$  - длина открытой составляющей дуги, мм;

$l_z$  - длина скрытой составляющей дуги, мм;

$P$  - давление прижимов, кг/см<sup>2</sup>;

$S_1, S_2$  - толщина верхней и нижней пластин соответственно, мм;

$Q_{Ar}$  - расход плазмообразующего газа, л/мин;

$Q_{Ar}$  - расход защитного газа, л/мин.

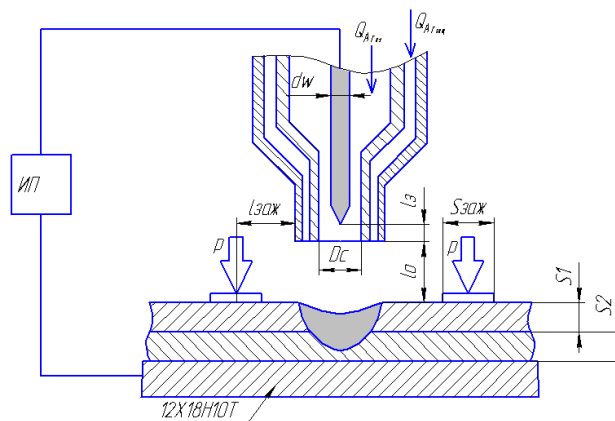


Рисунок 1.5 - Эскиз плазмотрона для сварки сжатой дугой

Все параметры, связанные с установочными и с геометрическими размерами плазмотрона, относятся к неэлектрическим параметрам.

Формирование сварочной точки в нахлесточном соединении регламентируется ГОСТ 14776-79 и приведены на рисунке 1.6.

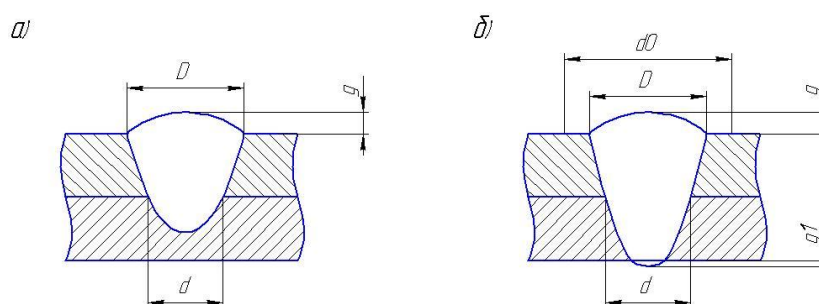


Рисунок 1.6 – Сварка точками с частичным проплавлением (а) и полным проплавлением (б)

К параметрам сварной точки, сваренной с полным проплавлением и усилением, относятся:

$D$  – диаметр сварной точки, мм;

$d$  – диаметр проплавления нижнего листа, мм;

$g$  – усиление точки, мм;

$g_1$  – усиление проплавления, мм.

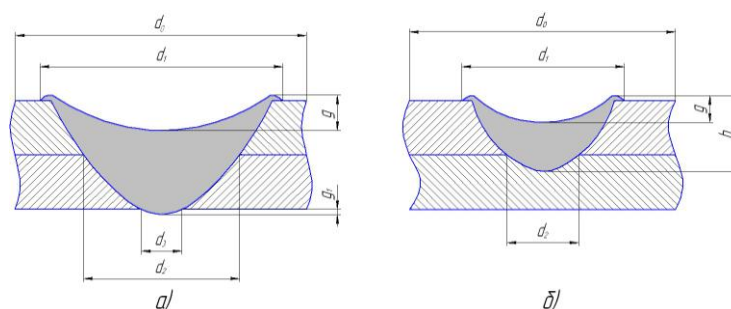


Рисунок 1.7- Сварка точками с полным проплавлением (а) и частичным проплавлением (б)

ГОСТ не регламентирует образование кратера. При проведении экспериментальных работ величину кратера необходимо фиксировать, поэтому его величину обозначим  $q$ :

$Q$  – глубина кратера, мм.

К параметрам сжатой дуги относятся следующее:

$I_d$  – ток сжатой дуги, А;

$U_d$  – напряжение сжатой дуги, В;

$t_{св}$  - длительность сварки, с.

Таким образом, рассмотрев особенности сжатой дуги и свойства алюминиевых сплавов, для исследований формирования сварной точки выбираем источник питания переменного тока с повышенным напряжением холостого хода и крутопадающей внешней ВАХ. Определяем параметры при проведении экспериментов как электрические, так и неэлектрические.

## **2 Методика исследования параметров режима сварки сжатой однофазной дугой**

Объектом исследования является сварное точечное соединение двух пластин, полученное сжатой дугой на переменном токе с неплавящимся электродом в защитной среде аргона. Сварка проводится на переменном токе.

### **2.1 Выбор источника питания и измерительной аппаратуры**

Для сварки однофазной дугой на переменном токе выпускаются источники питания с падающими и крутопадающими внешними вольтамперными характеристиками типа ТИР-300, ИПД-300, ИСВУ-300, ИСВУ-160, УДГ-301 для работы в закрытых помещениях. Однако все они выпускаются с напряжением холостого хода (50-65)В за исключением источника питания ИПД-300, который снят с производства. Для работы со сжатой дугой напряжение холостого хода должно быть не менее 70В, так как напряжение на сжатой дуге колеблется от 20 до 30 В. Поэтому при выборе источника питания остановимся на модели ТДМ-400У2, напряжение холостого хода которого более 70 В (рис.2.1), техническая характеристика которого представлена в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид ТДМ-402 У2

Таблица 2.1- Технические характеристики источников питания

Наименование параметров	Наименование источников питания				
	ИПД-300	УДГ-301	ИСВУ-160	ТИР-300	ТДМ-402
Напряжение сети, В	380	380	380	380	380
Напряжение х.х., В	72	55-65	50	50	75
Частота сети, Гц	50	50	50	50	50
Ном. св. ток, А	300	300	160	300	400
Диапазон рег. тока	50-350	15-300	15-160	10-300	50-400
КПД, %	69	59	70	75	67
Сos φ	0,58	-	0,5	0,6	0,6
Масса, кг	480	570	380	480	490

ТДМ-402 У2 снабжен дополнительным источником, формирующим импульсы с частотой 50Гц, которые обеспечивают переход тока через нуль при смене полярности тока. Для начальной ионизации дугового промежутка необходимо доработать схему и подключить генератор высокой частоты ОСПЗ-2М.

В состав источника питания входят следующие элементы: Т1 – понижающий сварочный трансформатор 380/220В с подвижными обмотками; стабилизатор дуги – 400В,  $f = 50\text{Гц}$ ,  $t = 3,3 \cdot 10^{-3}\text{с}$ , включенный параллельно вторичным обмоткам трансформатора Т1; рV1, рV2, рА1, рА2 – измерительные приборы. Принципиальная схема источника питания доработана схемой реле времени для установки длительности сварки точки (рис. 2.2).

Для контроля электрических параметров – тока дуги и напряжения используем амперметр и вольтметр электромагнитной системы. На рисунке 2.3 показан вольтметр электромагнитной системы рV<sub>2</sub>, а на рисунке 2.2 место его включения.

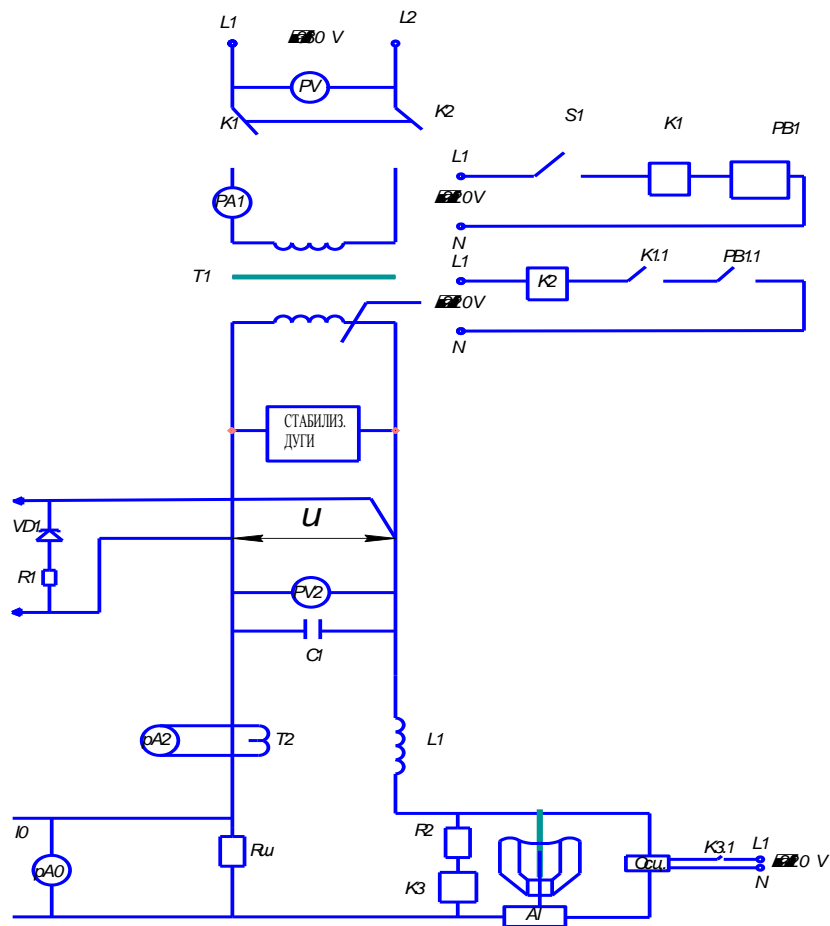


Рисунок 2.2 – Схема доработки ТДМ-402 У2



Рисунок 2.3 – Внешний вид вольтметра электромагнитной системы

## 2.2 Обоснование выбора плазматрона для сварки образцов 2+2 мм

В качестве инструмента обработки алюминиевого сплава применялся плазматрон ГСД-1, с водяным охлаждением и рассчитанный на ток до 300 А.

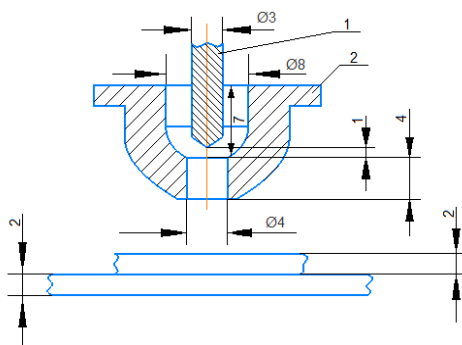


В плазматроне реализована отдельная подача плазмообразующего и защитного газов (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Внешний вид плазматрона ГСД-1

Эксперименты проводятся на сплаве АМг-3 толщиной 2+ 2 мм. В работах [7] установлены ориентировочные режимы сварки этой толщины. Авторы работ [7] рекомендуют проводить сварку на токах (90-200) А. Это означает, что диаметр вольфрамового электрода должен быть 3мм. В связи с этим при проведении экспериментов выполнена доработка плазматрона, которая состояла в замене вставки с диаметром канала  $d_k = 4$  мм и высотой канала 4мм. Внешний вид вставки показан на рисунке 2.5.



1-вольфрамовый электрод, 2- медная вставка

Рисунок 2.5- Эскиз медной вставки

После закрепления пластин выставляется зазор 2 мм с помощью щупа между соплом горелки и свариваемыми образцами (рис. 2.6). Величина зазора выведена экспериментально и является рекомендуемой для всех опытов. В связи с этим разрабатываем специальное кольцо, с помощью которого этот зазор поддерживается неизменным. На рисунке 2.7 приведен эскиз установочного кольца.

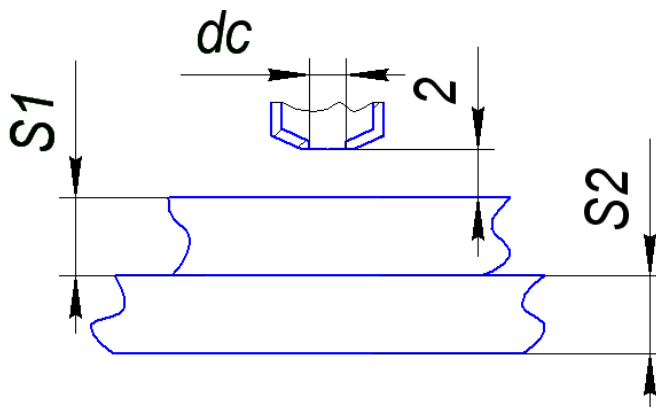
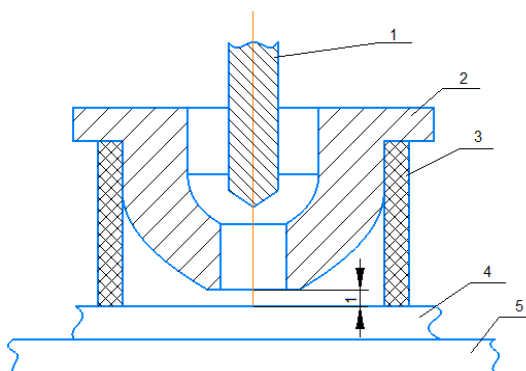


Рисунок 2.6 – Зазор между соплом плазмотрона и свариваемыми образцами



1-вольфрамовый электрод, 2- медная вставка, 3-кольцо из изоляционного материала, 4,5 – свариваемые пластины

Рисунок 2.7 - Эскиз медной вставки и установочного кольца

Стенд с закрепленными образцами и доработанным плазмотроном ГСД-1 показан на рисунке 2.8.

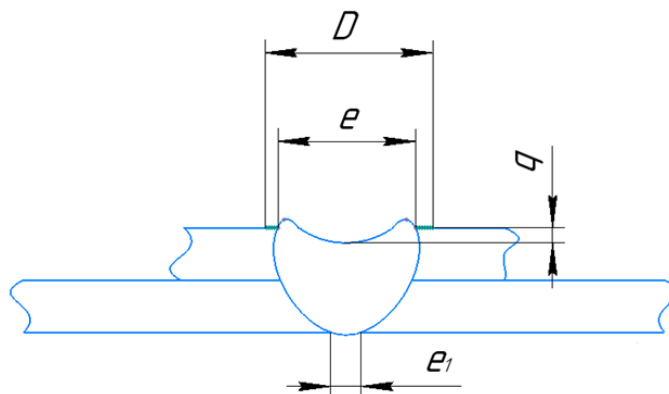


Рисунок 2.8 – Лабораторный стенд

### 3 Исследование формирования сварного соединения сплава АМг-3 толщиной 2+2 мм

#### 3.1 Разработка методики проведения исследований

Эксперименты производятся для серии образцов из алюминиевых сплавов АМг-3 с толщинами 2,0+2,0 мм без зазора.



$D$ - диаметр точки с зоной очистки;  $e$  - диаметр сварочной ванны;  $e_1$ - диаметр корня шва;  $q$  - глубина сварочной ванны

Рисунок 3.1 – Параметры сварной точки

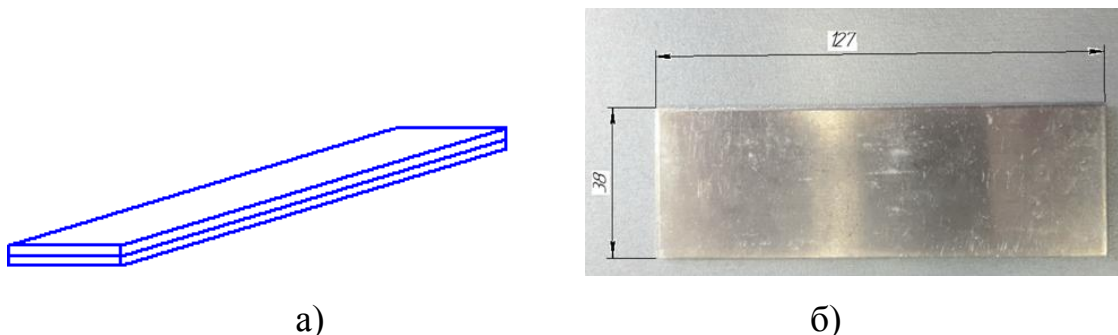


Рисунок 3.2 – Схема расположения образцов (а) и размеры образца (б)

После выставления зазора устанавливается ток сварки  $I_d$ , время сварки  $t_{св}$ , настраивается подача плазмообразующего  $Q_{пл}$  и защитного  $Q_3$  газов с помощью редуктора. В качестве защитного и плазмообразующего газа используется аргон высшего сорта. Длительность сварки точки устанавливается реле времени, которое включается после возбуждения дуги.

Установить зазор между соплом плазмотрона и свариваемыми образцами 1 д сварки и поддерживать его неизменным в процессе формирования точки удается с помощью установочного кольца. Внешний вид доработанного плазмотрона показан на рисунке 2.8.

Измерение напряжения дуги за время формирования точки производится вольтметром электромагнитной системы и фиксируется камерой мобильного телефона iPhone фирмы Apple в 8 точках (рис.3.3).

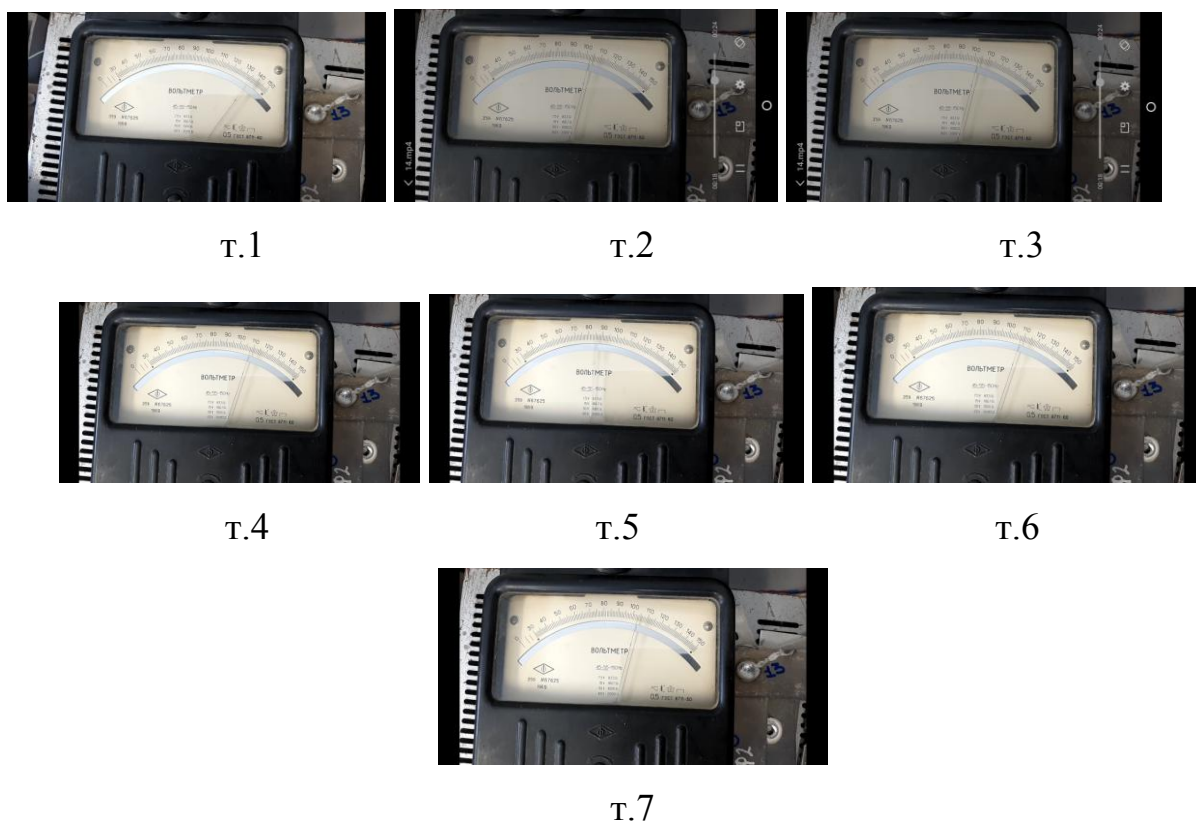


Рисунок 3.3 – Регистрации показаний вольтметра

Снятые показания позволяют построить зависимости  $U_d = f(t_{св})$  при различной форме переменного тока.

Кроме этого в период формирования сварной точки формируется кратер, при этом длина дуги изменяется, что позволяет построить зависимость  $U_d = f(l_d)$ . Полученные зависимости  $U_d = f(t_{св})$  и  $U_d = f(l_d)$  позволяют объяснить механизм формирования сварной точки при получении неразъемного соединения из алюминиевых сплавов.

### 3.2 Исследования характера изменения $U_d$ за время сварки точки

Особенностью сварки точками является образования кратера на поверхности сварного шва после обрыва дуги. При сварке алюминиевых сплавов образование кратера осложняется большой усадкой металла. Один из параметров, который объясняет механизм образования кратера, - это напряжение дуги за время сварки точки  $U_d = f(t_{св})$  (рис.3.4).

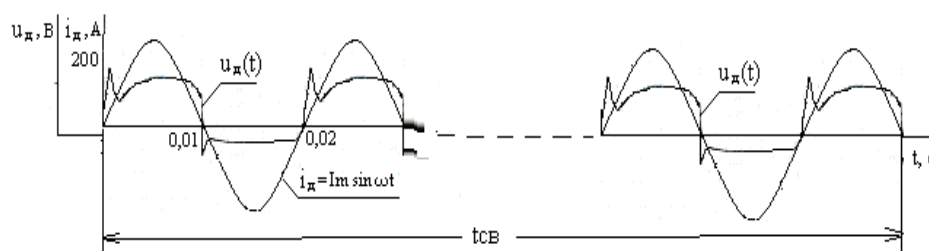
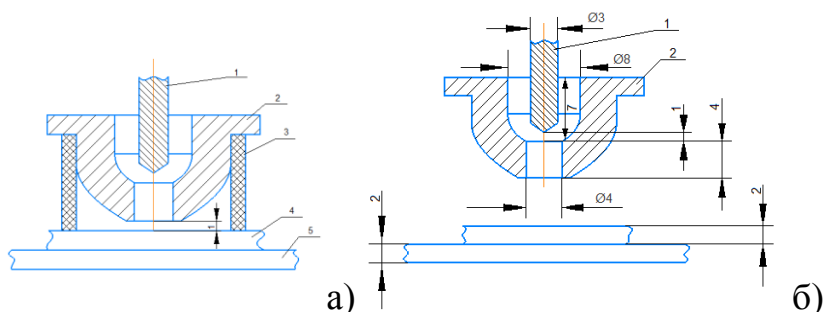


Рисунок 3.4- Зависимость  $i_d=f(t)$  и  $u_d=f(t)$

Исследование этого параметра проводилось на оборудовании, которое включает источник питания ТДМ-402У2 со встроенным стабилизатором горения дуги (рис.2.1), плазматрон ГСД-1с водяным охлаждением (рис.2.4), лабораторный стенд (рис.2.8). Начальная ионизация дугового промежутка между изделием и электродом осуществляется осциллятором типа ОСПЗ-2М. Измерение напряжения дуги  $U_d$  производилось путем фотографирования его в 6 точках, через каждые 0.8с (рис.3.3). Скрытая длина дуги в плазматроне  $l_{скр}$  определяется параметрами вставки (рис.3.5а) и установочным кольцом из второпласта (рис.3.5б). Общая длина сжатой дуги в приведенной конструкции составляет 6мм. Проведенная доработка конструкции позволяет сохранять общую длину сжатой дуги неизменной в течение всех экспериментов. На рисунке 3.5 приведены изменения конструкции плазматрона ГСД-1.

Из конструкции медной вставки следует, что расстояние между вольфрамовым электродом и медной вставкой составляет 1мм. Это позволяет проводить начальную ионизацию дугового промежутка W-Cu стабильно при каждом включении генератора высокой частоты в течении 1-2с.



1- W электрод, 2 - вставка из меди, 3 - установочное кольцо

Рисунок 3.5 – Установочные параметры длины сжатой дуги

Упрощенная схема сварки сжатой дугой показана на рисунке 3.6

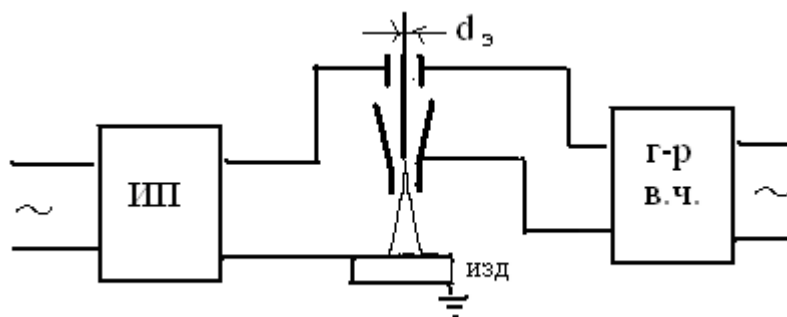


Рисунок 3.6 – Упрощенная схема включения генератора высокой частоты

Общее напряжение на сжатой дуге производится между вольфрамовым электродом и образцом из сплава АМг-3. В работе [7] высказана гипотеза образования кратера при сварке точками сжатой дугой.

В.П. Сидоров предлагает рассматривать несколько стадий формирования кратера при сварке нахлесточных соединений точками (рис.3.7).

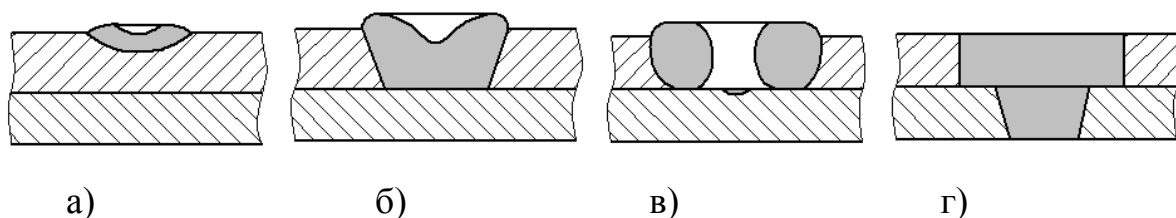


Рисунок 3.7 – Фазы формирования сварной точки на сплаве алюминия [7]

Экспериментальное подтверждение этого факта можно получить, произведя измерение величины общего напряжения сжатой дуги через каждые 2 секунды.

В начальный момент времени (рис.3.7а) длина сжатой дуги равняется установочной величине и равна 6мм. При расплавлении верхней пластины длина сжатой дуги растет (рис.3.7б). Полное расплавление верхнего листа добавит к длине сжатой дуги 2мм, т.е. длина сжатой дуги возрастет до 8мм, что должно привести к увеличению напряжения на дуге. Если следовать гипотезе, объясняющей механизм формирования точки [7], то длина дуги возрастет еще на 2мм и станет равной 10 мм. По данным работы [1] известно, что напряженность сжатой дуги для плазмотрона типа ГСД-1 составляет 4 В/мм. Это означает, что общее напряжение сжатой дуги может достигать 40В ориентировочно.

### 3.3 Результаты исследований

В результате экспериментов при сварке сжатой дугой неплавящимся электродом в среде аргона на переменном синусоидальном токе получены образцы при сварке АМг-3 толщиной (2+2) мм, которые показаны на рисунке 3.8. Параметры режимов сварки образцов № 13,14 приведены в таблице 3.1.





Рисунок 3.8 – Внешний вид сварных точек при сварке АМг-3 образцов толщиной (2+2) мм

Таблица 3.1 – Параметры режима сварки сжатой дугой

№ образца	Ток сварки $I_{св}, А$	Напряжение $U_{д}, В$	d сопла, мм	Расход аргона, дел.	Время сварки, $t_{св}, с$	Усилие прижатия Р, кг	Источник питания
13	90	16,2 – 26	4	≈50	16	≈15	ТДМ-402
14	90	19,6 – 27,2	4	45	12,5	≈15	ТДМ-402
15	120	20-20,3	4	45	12,2	≈5	TIG-200P
16	150	21,5	4	45	10,5	≈5	TIG-200P

По результатам исследований построены зависимости  $U_{д} = f(t_{св})$  (рис.3,9 и 3.10) для образца №13.

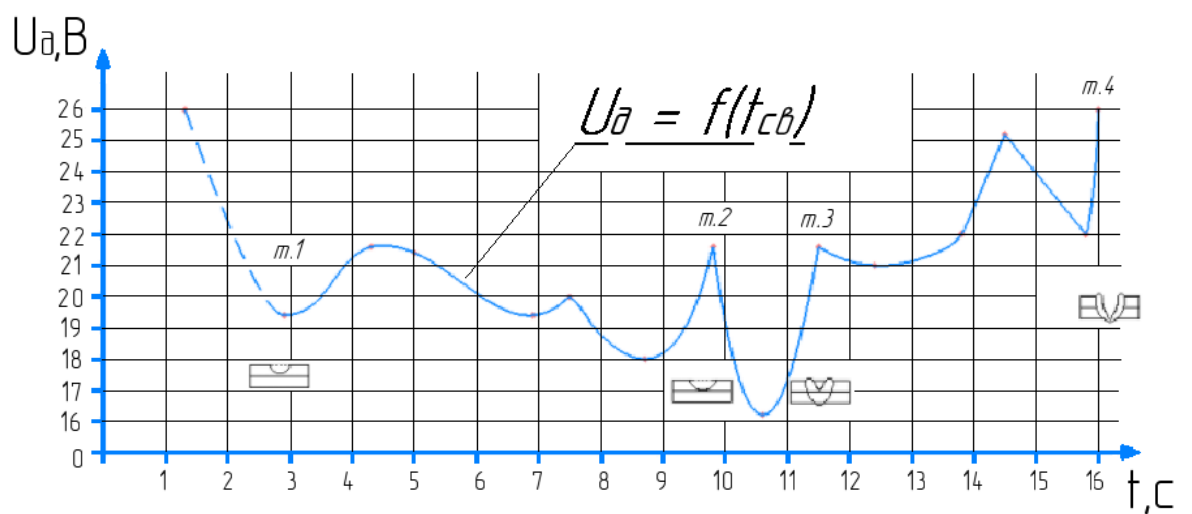


Рисунок 3.9 –Зависимость  $U_{д}=f(t)$  для образца №13

Экспериментальные данные показывают, что при сварке 13 образца на 10,5с схлопывается жидкая ванна и к 16секунде наступает полное проплавление, однако  $U_d$  на дуге максимально 26В. Это обозначает, что полностью жидкая ванна не вытесняется и длина дуги не может быть равна 10мм. Зависимость  $U_d = f(l_d)$  показывает, что в начале формирования точки напряжение на дуге с 26В падает до 20В, а затем возрастает до 26 В.

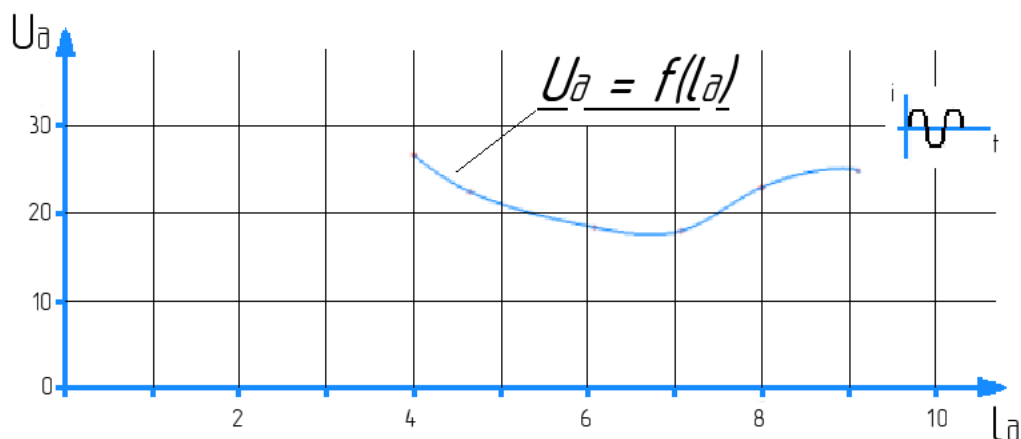


Рисунок 3.10 –Зависимость  $U_d = f(l_d)$  для образца №13

По результатам исследований формирования точки на 14 образце построена зависимости  $U_d = f(t_{св})$  (рис.3,11), на которой графически обозначены точки роста длины сжатой дуги, что может обозначать, что проплавлен первый лист, а через некоторое время – второй. Однако,  $U_d$  не превышает 27В.

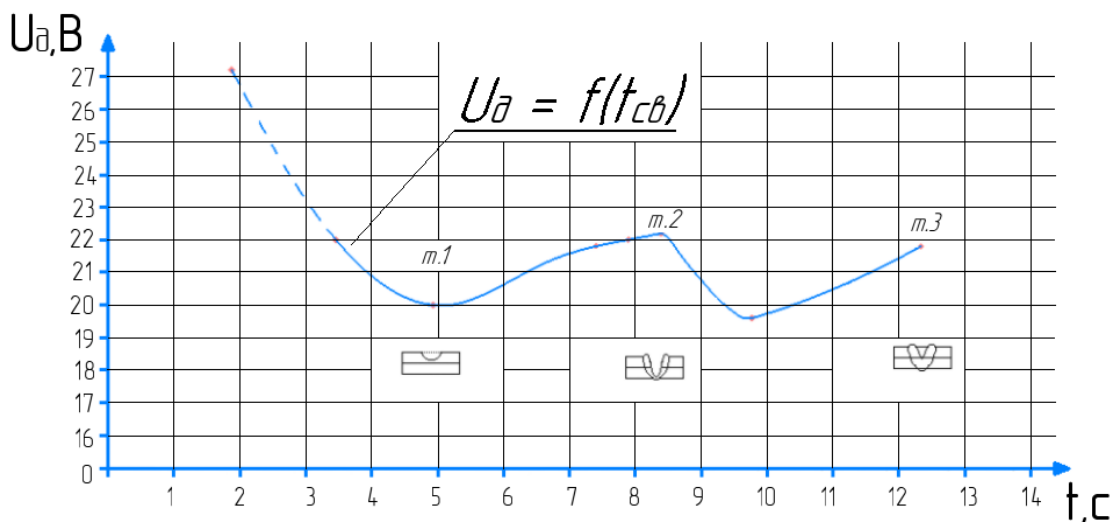


Рисунок 3.11 –Зависимость  $U_d = f(t)$  для образца №14

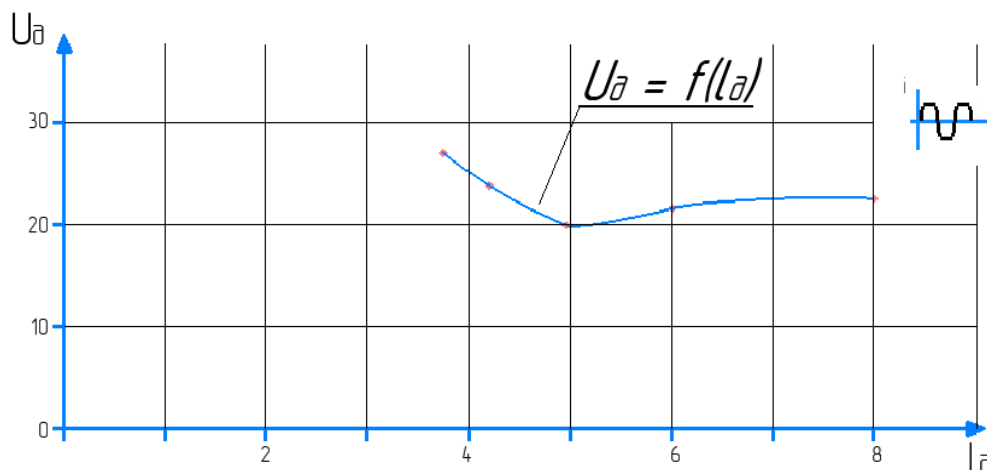


Рисунок 3.12 –Зависимость  $U_d = f(l_d)$  для образца №14

Возрастание напряжения на дуге происходит при увеличении длины дуги, когда она возрастает за счет формирования кратера на верхнем листе на (1-1,5)В. Дальнейшее повышение напряжения на дуге на (2-2,8)В происходит из-за формирования кратера по окончании времени сварки.

В настоящее время все больше источников питания переменного тока выпускается с прямоугольной формой тока.

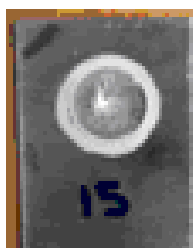


Рисунок 3.13 - Внешний вид сварных точек при сварке АМГ-3 образцов толщиной (2+2) мм

Экспериментальные данные показывают, что при сварке 14 образца на 3 секунде напряжение возрастает до 21 В и медленно растет до полного проплавления и к 11 секунде наступает полное проплавление, однако  $U_d$  на дуге максимально 20,3В (рис.3.14). Это обозначает, что полностью жидкая ванна не вытесняется и длина дуги не растет. Зависимость  $U_d = f(l_d)$

показывает, что в начале формирования точки напряжение на дуге с 20В плавно растёт до 20,3В (3.15).

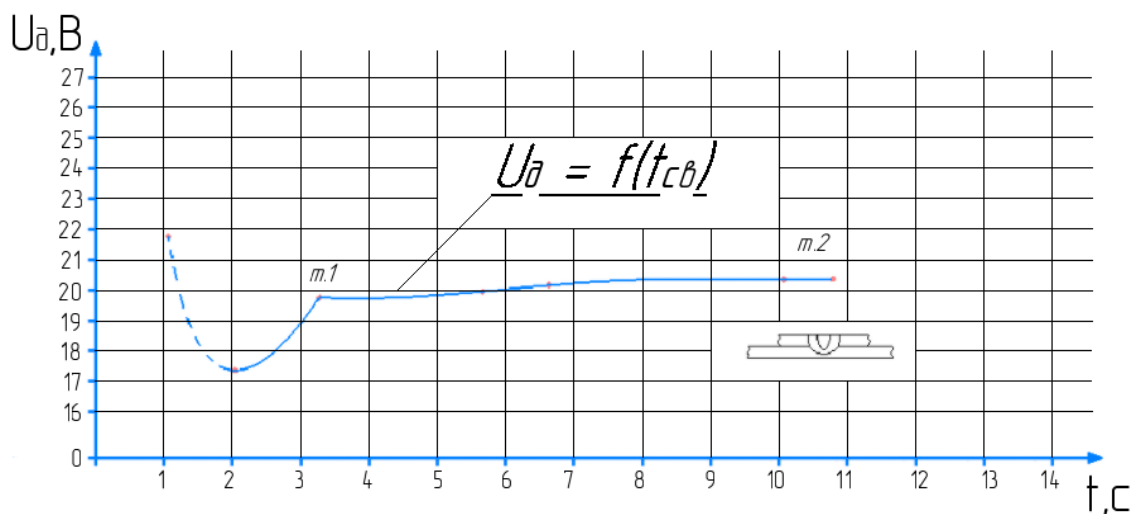


Рисунок 3.14- Зависимость  $U_d = f(t_{св})$  для образцов №15

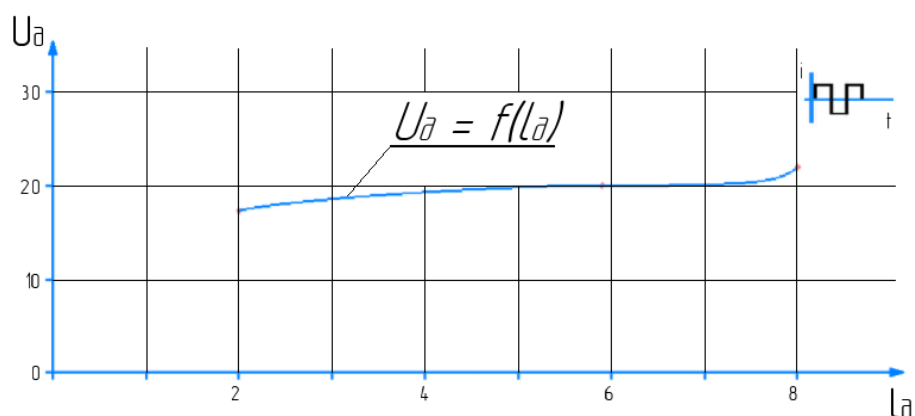


Рисунок 3.15 –Зависимость  $U_d = f(l_d)$  для образца №15

По результатам исследований формирования точки на 16 образце построена зависимости  $U_d = f(t_{св})$  (рис.3,16), на которой графически обозначены точки роста длины сжатой дуги, что может означать, что проплавлен первый лист, а через некоторое время – второй. Однако,  $U_d$  не превышает 22В.

Возрастание напряжения на дуге происходит при увеличении длины дуги, когда она возрастает за счет формирования кратера на 0,7В.

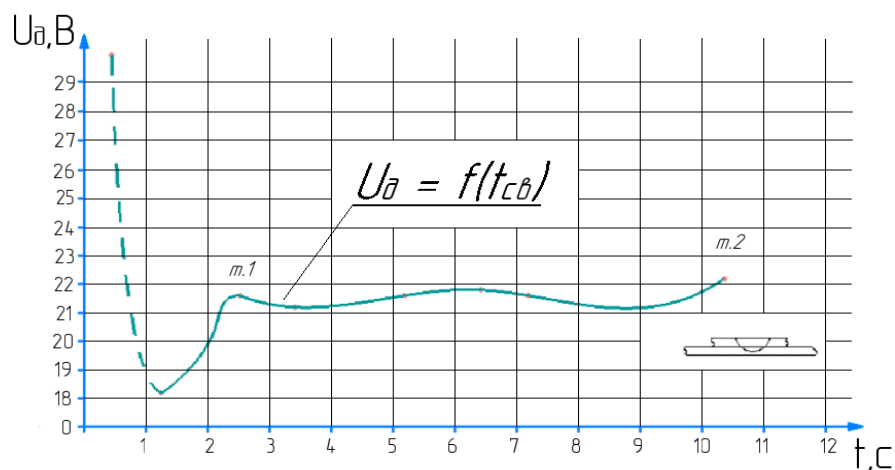


Рисунок 3.16- Зависимость  $U_d = f(t_{cb})$  для образцов №16

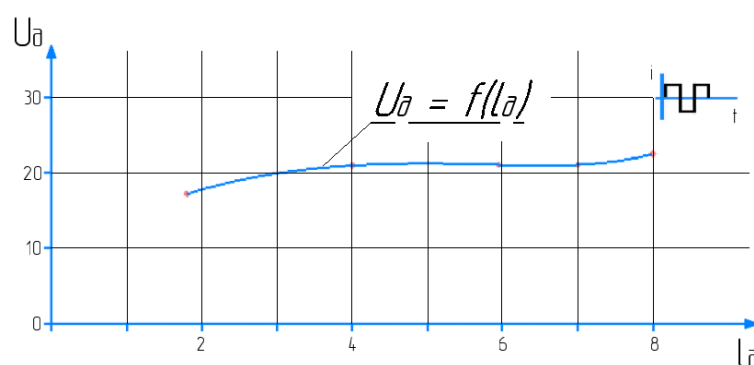


Рисунок 3.17 –Зависимость  $U_d = f(l_d)$  для образца №16

Формирование сварной точки при использовании переменного тока прямоугольной формы судя по результатам эксперимента отличается от механизма формирования точки при использовании синусоидальной формы тока. Однако, эти предположения необходимо проверять.

Полученные данные позволяют расширить объем знаний о механизме формирования сварной точки при сварке сжатой дугой переменного тока и продолжить исследования в этой области.

### 3.4 Технология сварки сжатой однофазной дугой точками

Описание технологического процесса проведения исследования сварки сжатой дугой точками состоит из следующих операций.

Вырезка образцов для проведения опытов. Суть операции состоит в разметке листа алюминиевого сплава АМг-3 и его последующей резки.

В данной операции используются следующие инструменты и приспособления: маркер, линейка, гильотина. Требуется соблюдать заданные размеры образцов 127 мм на 38 мм, допускается погрешность  $\pm 0,5$  мм.

Продолжая подготовку пластин под сварку, далее следует удалить на образцах заусенцы от резки. Их удаление производится на наждаке модели Bosch GBG 8. Также необходимо зачистить поверхность образцов от оксидной пленки, до характерного металлического блеска. Зачищается область 35-40 мм от края свариваемого образца металлической щеткой.

После операций подготовки образцов их следует очистить от грязи, жира и стружки. Вся поверхность образцов очищается ветошью, пропитанной ацетоном. На этом этапе свариваемые образцы подготовлены к сварке.

Сварка производится на источнике питания ТДМ-402 (рис.2.1), в конструкции сварочного поста используется плазмотрон ГСД-1 (рис.2.4).

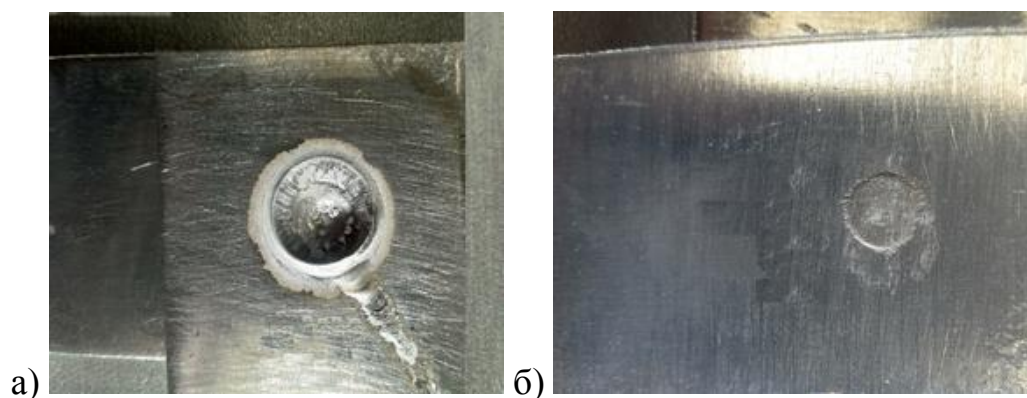
Образцы укладываются друг на друга под углом  $90^\circ$  на край пластины толщиной 4 мм, из стали 18/10 (рис.3.18). После закрепления пластин выставляется зазор 2 мм между соплом горелки и свариваемыми образцами (рис. 2.6). Затем устанавливается значение силы тока 120 А, а расход аргона 7 – 8 л/мин (45 делений по ротаметру). Также подключается вольтметр типа Э-59, с которого будут сниматься показания изменения напряжения в процессе сварки (рис.2.3).



Рисунок 3.18 - Подготовленные образцы на сварочном столе

После этого, нажав на кнопку, включается трансформатор в режиме холостого хода. Далее производим зажигание дуги при помощи вольфрамового электрода, который закреплен в резиновой основе, путем замыкания электрода в плазмотроне с краем свариваемого верхнего образца. Дуга загорается, плазмотрон поворачивается до среднего положения на образцах и прижимается рукой с усилием около 15 кг. Процесс сварки длится около 10с, затем сварочная дуга и трансформатор отключаются отпуская кнопку, которой производилось включение. Плазмотрон выдерживается еще порядка 3-5 секунд с тем же усилием прижатия, а после поворачивается в сторону.

При помощи пассатиж берутся сваренные образцы и проводится зрительный осмотр сваренной точки. Визуальный контроль проводится для выявления возможных трещин, прожогов, неполного сваривания точки (рис.3.19)



а) вид сверху; б) вид снизу

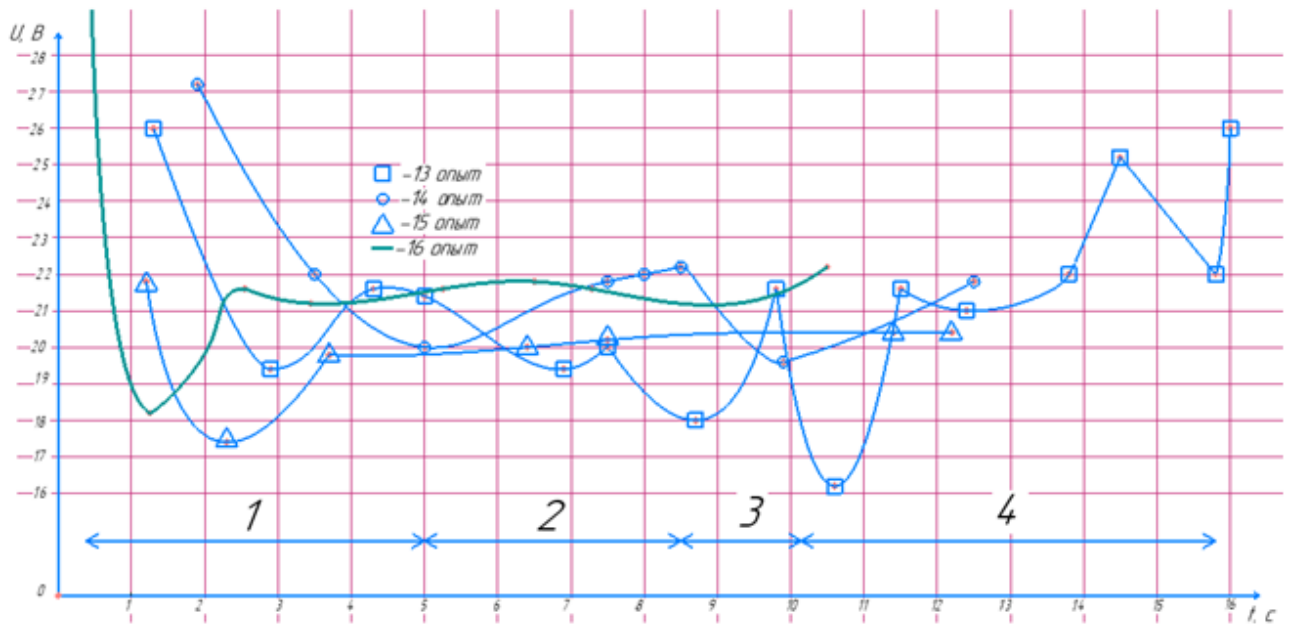
Рисунок 3.19 – Сваренная точка

При проведении экспериментов было сварено четыре точки (табл. 3.2). Во время процесса сварки изменение напряжения на дуге регистрировалось с помощью кино съемки на мобильный телефон. По снятым на стрелочном вольтметре значениям напряжения на дуге были построены четыре зависимости изменения напряжения от времени (рис.3.20). По полученным графикам, с учетом времени можно определить стадии формирования сварной точки

Таблица 3.2 – Результаты эксперимента

№ опыта	Вид сверху и снизу	D, мм	e, мм	e <sub>1</sub> , мм	q, мм	Примечание
13		18,1	13,3	3,5	2,9	Хороший провар, но точка не до конца захлопнулась с одной стороны.
14		18,1	13,4	7,9	1,5	Хороший провар.
15		22,4	15,9	-	1,0	Нижний лист не проварился. Соединение не получилось.
16		22,7	20,9	-	0,9	Нижний лист не проварился.





1- образование сварочной ванны на верхней пластине; 2- проплавление верхней пластины; 3- проплавление нижней пластины; 4- слияние сварочных ванн, захлопывание точки

Рисунок 3.20 – Зависимости изменения напряжения от времени

## 4 Экономическое обоснование работы

Получение экономического эффекта в данной работе не является главной целью, однако для её представления требуется экономическое обоснование.

Перед тем, как начать расчет экономической эффективности проекта, следует указать данные для её расчета. Исходные данные приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности.

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Проект
Цена основного материала	$C_m$	□/кг	90
Дневная ставка участника НИР	$C_d$	□	450
Коэффициент премиальных доплат	$K_{пр}$	-	1,4
Норма отчислений на социальные нужды	$H_{соц}$	%	30
Суммарная стоимость предоставленного оборудования	$C_{об}$	□	102000
Норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию	$H_a$	%	24
Мощность оборудования	$M_{об}$	кВт	10,5
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,8
Стоимость электроэнергии	$C_{э-э}$	□	3,25
Норма отчислений на текущий ремонт оборудования	$H_{т.р.}$	%	35

Расчет экономической эффективности начинается с расчета предпроизводственных затрат. Для научно-исследовательской организации предпроизводственные затраты являются текущими. Формулы для расчета взяты из методических указаний [9].

Расчет текущих затрат производится по следующей формуле [9]:

$$Z_{\text{тек}} = ZМ + ФЗП + O_{\text{с.н}} + Z_{\text{э-э}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{пр}} + НР$$

где  $ZМ$  – затраты на основные и вспомогательные материалы [9];

$ФЗП$  – фонд заработной платы (основная и дополнительная заработная плата научно-технического персонала) [9];

$O_{\text{с.н}}$  – отчисления на социальные нужды [9];

$Z_{\text{э-э}}$  – затраты на электроэнергию для выполнения исследований [9];

$Z_{\text{об}}$  – затраты, связанные с эксплуатацией оборудования [9];

$Z_{\text{пр}}$  – прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов или макетов (связанны со спецификой исследования) [9];

$НР$  – накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и охрану труда) [9].

Затраты на основной и вспомогательный материал высчитываются по следующей формуле:

$$ZМ = ZМ_{\text{осн}} + ZМ_{\text{всп}}$$

где  $ZМ_{\text{осн}}$  – затраты на основной материал [9];

$ZМ_{\text{всп}}$  – затраты на вспомогательный материал [9].

Затраты на основной материал рассчитываются по формуле:

$$ZМ_{\text{осн}} = N_p \cdot Ц_M \cdot U$$

где  $N_p$  – норма расхода основного материала на один образец для испытаний [9];

$Ц_M$  – оптовая цена 1 кг основного материала [9];

$U$  – количество образцов, шт.

Затраты на вспомогательный материал укрупнено принимаем равными 20% от затрат на основной материал [9]:

$$ЗМ_{\text{всп}} = 0,2 \cdot ЗМ_{\text{осн}}$$

Изучив информацию, взятую из интернета, берем оптовую цену за 1 кг алюминиевого сплава АМг-3 равную 90 рублей.

$$ЗМ_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 90 \cdot 10 = 90 \text{ руб.}$$

$$ЗМ_{\text{всп}} = 0,2 \cdot 90 = 18 \text{ руб.}$$

$$ЗМ = 90 + 18 = 108 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату научно-технического персонала:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}}$$

где  $ЗПЛ_{\text{осн}}$  – основная заработная плата научно-технического персонала [9];

$ЗПЛ_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата научно-технического персонала [9].

Основная заработная плата вычисляется по формуле [9]:

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = \Sigma T_{\text{раб}} \cdot C_{\text{д}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot И$$

где  $\Sigma T_{\text{раб}}$  – суммарное время работы каждого участника НИР по всем этапам (в днях) [9];

$C_{\text{д}}$  – дневная ставка каждого участника НИР, руб. [9];

$k_{\text{пр}}$  – коэффициент премиальных доплат (можно принять =1,4) [9];

$И$  – количество исполнителей на каждом этапе, чел [9].

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = 3 \cdot 450 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1890 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата определяется по формуле [9]:

$$ЗПЛ_{доп} = 0,1 \cdot ЗПЛ_{осн}$$

$$ЗПЛ_{доп} = 0,1 \cdot 1890 = 189 \text{ руб.}$$

$$ФЗП = 1890 + 189 = 2079 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды вычисляем по формуле [9]:

$$O_{с.н.} = \frac{N_{соц.} \cdot ФЗП}{100}$$

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

$$O_{с.н.} = \frac{30 \cdot 2079}{100} = 623,7 \text{ руб.}$$

Затраты на электрическую энергию для проведения испытаний:

$$З_{э-э} = \frac{M_{об} \cdot t_{исп}}{\eta} \cdot Ц_{э-э}$$

где  $M_{об}$  – мощность оборудования (10,5 кВт);

$t_{исп}$  – время проведения испытаний, час [9];

$\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования (0,8) [9];

$Ц_{э-э}$  – цена 1 кВт·часа электроэнергии = 3,25 руб [9].

$$З_{э-э} = \frac{10,5 \cdot 0,25}{0,8} \cdot 3,25 = 10,66 \text{ руб.}$$

Затраты, связанные с эксплуатацией оборудования:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р}$$

где  $A_{об}$  – амортизационные отчисления, связанные с эксплуатацией оборудования [9];

$P_{т.р}$  – расходы на текущий ремонт оборудования [9];

Затраты на амортизацию оборудования определяем по формуле:

$$A_{об} = \sum \Pi_{об} \cdot \frac{N_a \cdot t_{исп}}{\Phi_{эф} \cdot 100}$$

где  $N_a$  – норма амортизации по применяемому технологическому оборудованию, 24 % [9];

$\Sigma\Pi_{об}$  – суммарная цена оборудования, необходимого для проведения испытаний, руб. [9];

$\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования (можно принять равным 1903 часа) [9];

$t_{исп}$  – время проведения испытаний, час.

Таблица 4.2 – Наименование и цены предоставленного оборудования.

Наименование оборудования	Цена (руб.)
Осциллограф Актакон АОС-5106	42000
Сварочный пост	60000

$$A_{об} = 102000 \cdot \frac{24 \cdot 0,03}{1903 \cdot 100} = 0,39 \text{ руб.}$$

Расходы на текущий ремонт оборудования:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma\Pi_{об} \cdot N_{т.р} \cdot k_3}{100 \cdot \Phi_{эф}}$$

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

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования [9].

$$k_3 = \frac{n_{об.расч.}}{n_{об.прин.}}$$

$$k_3 = \frac{1}{1} = 1$$

$$P_{т.р} = \frac{102000 \cdot 35 \cdot 1}{100 \cdot 1903} = 18,76 \text{ руб.}$$

$$З_{об.} = 0,39 + 18,76 = 19,15 \text{ руб.}$$

Прочие затраты, в которые входит аренда помещений, приобретение образцов, принимаем в размере 5% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$З_{пр} = 0,05 \cdot \text{ФЗП}$$

$$З_{пр} = 0,05 \cdot 2079 = 104 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (расходы на оплату работы управленческого персонала и на охрану труда) принимаем в размере 55% от величины фонда заработной платы научно-технического персонала:

$$\text{НР} = 0,55 \cdot \text{ФЗП}$$

$$\text{НР} = 0,55 \cdot 2079 = 1144 \text{ руб.}$$

Так как все требуемое оборудование уже имеется, то капитальные вложения на приобретение или создание нового оборудования не требуются.

Таблица 4.3 – Список затрат на проведение исследования

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Затраты на материал	108
Фонд заработной платы	2079
Отчисления на социальные нужды	623,7
Затраты на электрическую энергию для проведения испытаний	10,66
Затраты на оборудование	19,15
Прочие затраты	104
Накладные расходы	1144
Общие затраты на проведение работы	4088,51

Таким образом, произведен расчет экономического обоснования работы по измерению напряжения дуги в процессе сварки алюминиевых сплавов однофазной сжатой дугой.

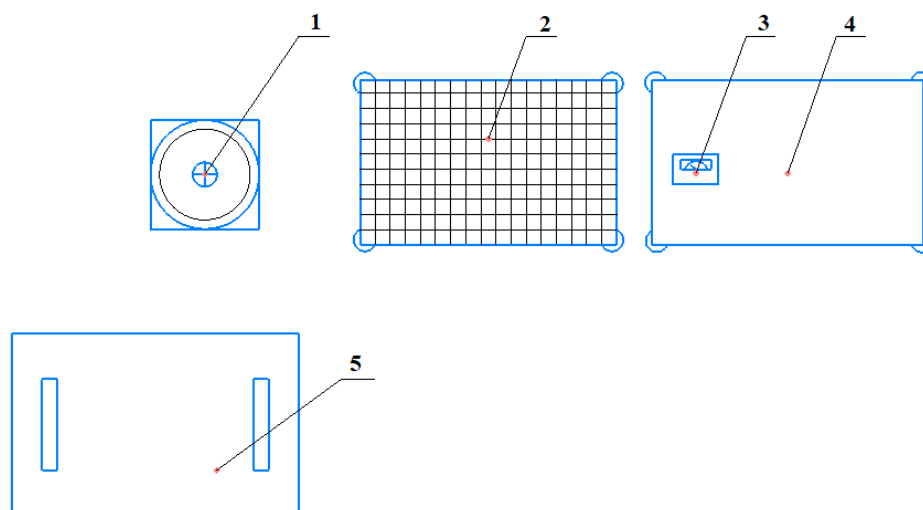


## 5 Безопасность и экологичность технического объекта

Рассматривается технический объект сварки сжатой дугой неплавящимся электродом в среде аргона алюминиевых сплавов точками.

### 5.1 Планировка объекта

Работы по исследованию параметров сварки сжатой однофазной дугой точками проводились в Тольяттинском Государственном Университете, в лаборатории кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы», рабочее место схематично показано на рисунке 5.1.



1 - баллон с газом (аргон ВЧ); 2 - сварочный стол специальный; 3 - вольтметр; 4 - верстак; 5 - источник питания ТДМ-402 У2.

Рисунок 5.1- Схема рабочего места

### 5.2 Сущность технологического процесса

Технологический процесс проведения исследования, представленного в данной выпускной квалификационной работе, представляет собой следующее. На первом этапе производится подготовка образцов, а именно: лист алюминиевого сплава АМг-3 толщиной 2мм размечается при помощи

линейки и маркера на пластины 127 мм на 38 мм. Затем производится нарезка пластин на гильотине. После того, как образцы нарезаны, начинается их обработка. Наждаком удаляем заусенцы, оставшиеся после резки. Далее металлической щеткой зачищаем область, в месте которой будет производится сварное соединение, делается это для удаления с поверхности металла оксидной пленки. Этап подготовки заканчивается очисткой образцов от загрязнений, жира, металлической стружки. Вся поверхность образцов очищается ветошью, пропитанной ацетоном. На этом этапе свариваемые пластины подготовлены к сварке. Далее следует этап сваривания образцов. После того, как образцы сварили, проводится контроль сварного соединения. При визуальном осмотре следует убедиться в отсутствии возможных трещин, прожогов, неполного сваривания точки.

### **5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Опасные и вредные производственные факторы, присутствующие во время выполнения данной исследовательской работы, могут оказать негативное влияние на состояние здоровья рабочего (рабочих), либо привести к травмам. Процесс проведения подготовительных и сварочных работ могут сопровождать следующие факторы – высокое напряжение, высокая температура металла, движущиеся или быстровращающиеся детали, наличие вредных газов, острые кромки, опасный рабочий инструмент.

Более детально опасные и вредные факторы в данной работе можно рассмотреть на примере следующих операций, которые входят в технологический процесс исследования:

- Резка образцов
- Обработка образцов
- Сварка образцов

Таблица 5.1 Анализ опасных и вредных факторов

Операции	Источник опасности	Факторы
Резка образцов	Гильотина	Опасный рабочий инструмент, подвижные рабочие части оборудования
Обработка образцов	Наждак, металлическая щетка, ацетон	Движущиеся и вращающиеся механизмы, заусенцы, искры от наждака, подвижные части приборов, легковоспламеняющиеся вещества
Сварка образцов	Источник питания, баллоны с газовой смесью (Ar/CO <sub>2</sub> )	Высокая температура поверхности металла, высокое напряжение, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, высокая концентрация газов и пыли

#### 5.4 Мероприятия по уменьшению влияния

Анализ мероприятий и способов по снижению воздействия опасных факторов при проведении данной исследовательской работы рассмотрен в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Методы снижения влияния опасных факторов

Операции	Факторы	Мероприятия
Резка образцов	Опасный рабочий инструмент, подвижные рабочие части оборудования	Инструктаж, спецодежда, перчатки, защитные очки, проветривание помещения
Обработка образцов	Движущиеся и вращающиеся механизмы, заусенцы, искры от наждака, подвижные части приборов, легковоспламеняющиеся вещества	Инструктаж, защитная спецодежда, перчатки, защитные очки, предупреждающие надписи, вентиляция, проветриваемое помещение
Сварка образцов	Высокая температура поверхности металла, высокое напряжение, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, высокая концентрация газов и пыли	спецодежда, перчатки, заземление, маска сварщика, вентиляция

### 5.5 Заключение по разделу

В процессе выполнения данного раздела ВКР были выявлены вредные и опасные факторы, сопутствующие выполнению подготовительных и сварочных мероприятий, при проведении исследовательской работы, которые могут нести опасность жизни и здоровью рабочих.

Также проведен анализ возможности устранения опасных и вредных факторов или снижения их воздействия. В результате этого анализа были выбраны способы и методы, а также разработаны мероприятия, помогающие повысить безопасность в процессе проведения данной работы. Благодаря разработанным мероприятиям, при условии соблюдения рабочими техники безопасности и требований технологического процесса при проведении операций, можно исключить риск нанесения вреда здоровью рабочих. Поэтому для данного проекта не требуется разработка специальных средств индивидуальной и коллективной защиты.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, результаты исследований позволяют уточнить гипотезу о механизме формирования сварной точки. При проплаве первого листа напряжение дуги растет, обнажая 2-й лист, при полном проплаве второго листа длина дуги растет мало. Очевидно остается в корне шва жидкая ванна. По данным Дудко напряженность сжатой дуги составляет (5,4-4 )В/мм. Это означает, что напряжение на дуге должно достигать 40В, т.к. длина дуги была бы 10мм.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сварка особотонкостенных труб / под ред. Д.А. Дудко. – М. : изд-во Машиностроение, 1977. – 131с.
2. Сидоров, В.П. Научные основы проектирования технологических процессов и оборудования для обработки алюминиевых сплавов трехфазной сжатой дугой / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.-Тольятти, 1999.-399с.
3. Короткова, Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов : монография / Г.М. Короткова. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 335 с.
4. Сидоров, В.П. Влияние способов подачи плазмообразующего газа на пятно нагрева при сварке сжатой дугой / В.П. Сидоров, Г.М. Короткова, И.С. Забияка, С.А. Хурин, В.А. Троицкий // Вектор науки ТГУ, №3(21), 2012 – С.97-101
5. Дедюх, Р.И. Материаловедение и технологии конструкционных материалов : Технология сварки плавлением : учеб. пособие для акад. бакалавриата / Р. И. Дедюх ; Нац. исслед. Томский политехн. ун-т. - Москва : Юрайт, 2016. - 169 с.
6. Милютин, В.С. Источники питания для сварки / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. – М.: Айрис-пресс, 2007. – 384с.
7. Сидоров, В.П. Исследование способов уменьшения кратера при точечном соединении алюминиевых сплавов / В.П. Сидоров, И.С. Забияка, Г.М. Короткова, К.В. Моторин, В.А. Троицкий // Сварка и диагностика, 2012.- №3.- С.34-37
8. Экономика предприятия: Учебник для вузов / В.Я. Горфинкель, Е.М. Купряков, В.П. Прасолова и др.; Под ред. проф. В.Я. Горфинкеля, проф. Е.М. Купрякова, - М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1996. – 367 с.

9. 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.
10. Организация и планирование машиностроительного производства: Учеб. для машиностр. спец. вузов / М.И. Ипатов, М.К. Захарова, К.А. Грачев и др.; Под ред. М.И. Ипатова, В.И. Постникова и М.К. Захаровой - М.: Высш.шк., 1988. – 367 с.
11. Моторин, К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения. / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2016. – 7 с.
12. Калачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Калачев, В.И. Елягин, В.А. Ливано. – М: МИСИС, 1999. – 413 с.
13. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: справочник / под ред. Дж. Е. Хетча, И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1989. – 328 с.
14. Рабкин, Д.М. Дуговая сварка алюминия и его сплавов / Д.М. Рабкин, В.Г. Игнатъев, И.В. Довбищенко - М.: Изд-во "Машиностроение", 1982. – 95 с.
15. Альтман, М.Б. Плавка и литье легких сплавов / М.Б. Альтман, А.А. Лебедев, М.В. Чухров – М.: Металлургия, 1969. – 680 с.
16. Алюминиевые сплавы: Металловедение алюминия и его сплавов / Отв. ред. И.Н. Фридляндер. – М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
17. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»: электрон. учеб.-метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018.
18. Fudziji, T. Microcracks in aluminium alloys welds / T. Fudziji – Ibid., 1969, 7, N 81, P. 403 – 410.

19. Fukui, T. Effects of nitrogen, oxygen and hydrogen gasses added to argon gas on MIG-welding of aluminium alloys / T. Fukui, Y. Sugiyama, S. Terai – Trans. Jap. Weld. Soc., 1970, 1, N 1, P. 19 – 27.
20. Wiman, K. Equipment for aluminium welding / K. Wiman //A welding review published by Esab. Focus Aluminium, 2000. №2. P. 11-13.
21. Norlin, A. A century of aluminium – a product of the future / A. Norlin // A welding review published by Esab. Focus Aluminium, 2000. №2. P. 31-33.
22. ГОСТ 14776-79. Дуговая сварка. Соединения сварочные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
23. Вайнбом, Д.И. Автоматическая дуговая точечная сварка. / Д.И. Вайнбом – Л.: Машиностроение, 1966. – 200 с.
24. Agunov, A.V. Energy characteristics of the power source – welding arc / A.V. Agunov, M.V. Agunov, G.M. Korotkova, V.I. Stolbov, A.A. Shevtsov // Welding International. – 2002. – P. 966-969.
25. Амирджанова, И.Ю. Правила оформления выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие / И.Ю. Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г. Виткалов, А.Г. Егоров, В.В. Петрова – Тольятти : ТГУ, 2019. – 145 с.