

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)

15.04.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Технология и оборудование для пайки
(направленность(профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Исследование технологических свойств установки TIG 200P AC/DC
для сварки и пайки

Студент	И.М. Горностаев	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(подпись)
Научный руководитель	Г.М. Короткова	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(подпись)
Консультанты	А.Г. Егоров	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(подпись)
Руководитель программы	д.т.н., проф. А. Ю. Краснопевцев	
	_____	_____
	(ученая степень, звание И.О. Фамилия)	(подпись)
« ____ »	_____ 2019г.	

Допустить к защите		
Заведующий кафедрой	д.т.н., проф., В.В. Ельцов	
	_____	_____
	(ученая степень, звание И.О. Фамилия)	(подпись)
« ____ »	_____ 2019г.	
	Тольятти 2019	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ TIG-200P AC/DC.....	5
1.1 Область применения сварочной установки и техническая характеристика	5
1.2 Свойства материалов, используемых для исследования сварочных свойств.....	8
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ РДС УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ	14
2.1 Экспериментальное определение внешней ВАХ и формы тока установки	14
2.2 Методика исследований сварочных свойств для РДС.....	19
2.3 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки и результаты исследований	20
3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СВОБОДНОЙ ДУГОЙ (РЕЖИМ 4Т)	31
3.1 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов.....	31
3.2 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов свободной дугой в режиме 4Т и результаты исследований	33
4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СЖАТОЙ ДУГОЙ (РЕЖИМ 2Т)	37
4.1 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов.....	37
4.2 Исследование влияния параметров высокочастотного контура на длительность ионизации дугового промежутка	42

4.3 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов точками свободной и сжатой дугой в режиме 2Т и результаты исследований	45
5. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАЙКИ	48
5.1 Сварочное оборудование как источник нагрева образцов и очистки поверхностей при пайке	48
5.2 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для пайки.....	49
5.3 Варианты паянных соединений.....	54
5.4 Исследование процесса пайки при использовании дугового разряда....	55
5.4.1 Образцы из сплава АМг-6.....	55
5.4.2 Образцы из сплава ОТ-4.....	58
5.4.3 Образцы из сплава 12Х18Н9Т	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ВВЕДЕНИЕ

Современные реалии требуют универсальности. Этому же касается и источников питания, все больше фирм выпускают сварочные источники с возможностью проведения различных видов сварки на различных толщинах.

Разнообразие процессов дуговой сварки, как плавящимся электродом, так и неплавящимся электродом приводит к созданию и выпуску новых моделей источников питания постоянного и переменного тока, которые отличаются по своим сварочным свойствам. Инверторные источники питания всё больше вытесняют трансформаторы с обмоткой, а схема управления позволяет проводить сварку почти во всех режимах.

Сварочные свойства источника питания определяют функциональную пригодность оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции различных свариваемых конструкций. Разработка методик испытаний для проверки функциональной пригодности источников питания началась в 70-е годы 20 века. Такая задержка в формулировании технологических возможностей источников питания объясняется различными подходами к определению роли дуги и источника питания при сварке. Толчком к четкому формулированию понятия «сварочные свойства» послужила разработка стандарта по оценке функциональной пригодности источников питания для сварки.

ВНИЭСО и ИЭС им. Е.О.Патона в 1983 г. впервые совместно разработали стандарт на методы испытания сварочных свойств источников питания для РДС и механизированной сварки – ГОСТ 25616-83 [1].

Большим спросом в настоящее время пользуются инверторы, обладающие малым расходом активных материалов на 1 А сварочного тока, меньшего веса самой установки и возможности производить различных видов сварки.

В данной работе проводятся исследования сварочных свойств универсальной инверторной установки отечественного производства фирмы

BRIMA - TIG-200P AC/DC с целью расширить возможности использования данного источника питания в промышленности.

1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ TIG-200P AC/DC

1.1 Область применения сварочной установки и техническая характеристика

«Серия новых аппаратов TIG-200P AC/DC предназначена для аргонодуговой сварки углеродистых, легированных сталей, сплавов титана, меди, никеля в режиме постоянного тока, а в режиме переменного тока для сварки алюминиевых сплавов» [2]. Так фирма Brima определяет область применения своей разработки.

Опыт показал, что данной сварочной установкой возможно производить сварку не только вольфрамовым электродом, но и покрытым электродом, что даёт широкие возможности для сварки различных деталей.

Возможно применение для пайки тугоплавкими припоями методом сварки вольфрамовым электродом.

На рисунке 1.1 представлен внешний вид универсальной инверторной установки TIG 200P AC/DC.



Рисунок 1.1 – Сварочная установка TIG 200P AC/DC

На рисунке 1.2 приведена структурная схема инвертора TIG 200P AC/DC

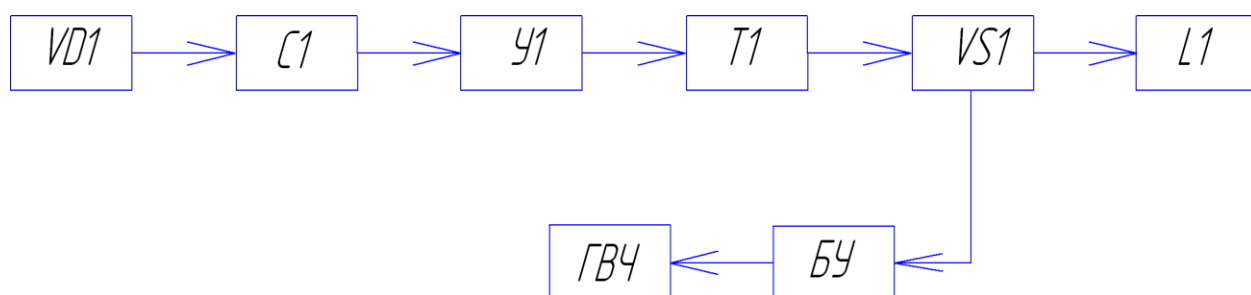


Рисунок 1.2 - Структурная схема инвертора TIG 200P AC/DC

Технические данные, заявленные фирмой BRIMA, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические параметры установки TIG 200P AC/DC

Наименование параметров и обозначения	Величина
Напряжение сети, В	220
Максимальный сварочный ток, А	200
Базовый ток, А	10-180
Потребляемый ток, А	30,8
Период нагрузки, %	60
Напряжение холостого хода, В	70
Рабочее напряжение на дуге, В	18
Пульсация	присутствует
Поджиг	бесконтактный
Режим MMA	присутствует
Частота питающей сети, Гц	50/60
Потери на холостом ходу, Вт	40
4-х тактный режим сварки	присутствует
КПД, %	85
Коэффициент мощности	0,93

Габариты, мм	420/200/350
Вес, кг	12

В комплекте с установкой поставляется горелка для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом свободной дугой с воздушным охлаждением (рисунок 1.3), клемма заземления с кабелем и вставкой, паспорт и руководство по эксплуатации.



Рисунок 1.3 – Горелка для сварки неплавящимся электродом с воздушных охлаждением

Отличительной особенностью TIG 200P AC/DC является возможность производить сварку, как прямоугольной формой тока, так и синусоидальной,

с тонкой настройкой «баланса полупериодов» между положительной и отрицательной составляющей дуги.

Имеется возможность настройки продувки газа, как до начала, так и после окончания сварки. Данная конструктивная особенность необходима для обеспечения защитной газовой среды в районе сварного шва.

Установка может регулировать время постепенного снижения силы сварочного тока. Позволяя получить как круто падающую, так и плавно спадающую силу тока.

Присоединяя механизма подачи проволоки к сварочной установке и замене горелки, можно произвести пайку тонкостенных деталей методом пайки MIG. Для данного способа пайки необходим источник тока, позволяющий работать с малыми токами без перебоя. Так же возможна пайка тугоплавкими припоями при использовании вольфрамового электрода.

К установке TIG 200P можно так же подключить педаль для дистанционного управления установкой. На лицевой панели предусмотрены индикаторы тока и защиты, который срабатывает во время перегрузки.

Схема управления обеспечивает стабильность дуги при сварке.

1.2 Свойства материалов, используемых для исследования сварочных свойств

В данном параграфе будут рассмотрены марки стали и алюминия, применяемые в исследовании. Будет рассмотрен химический состав и механические свойства, а так же дано краткое описание свойств для каждого из сплавов.

1.2.1 Сплав алюминиевый АМг3

Сплав АМг3 – относится к системе сплавов алюминий-магний. Сплав отлично деформируется, так же имеет большую стойкость к коррозии и неограниченную свариваемость. АМг3 хорошо поддается механической обработке, но имеет усредненные значения твердости, предела текучести, а так же прочности на растяжение.

Небольшая плотность при относительно высокой прочности, удовлетворяемая обрабатываемость режущими инструментами, и высокая стойкость к коррозии объясняют широкое использование в авиационной, судостроительной, химической и др. отраслях.

АМг3 состоит на 93.8-96 % из алюминия, 3.2-3.8 % из магния и прочих примесей. Подробный химический анализ представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Химический состав в % сплава АМг3 [1,2]

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
до 0.5	0.5 - 0.8	0.3 - 0.8	до 0.05	до 0.1	93.8 - 96	до 0.1	3.2 - 3.8	до 0.2	прочие, каждая 0.05; всего 0.1

Свойства алюминиевых сплавов зачастую зависят от легирующих элементов, входящих в их состав. Добавление различных химических компонентов по-разному влияет на механические свойства сплавов. Механические характеристики сплава АМг3 показаны в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Механические свойства сплава АМг3 [1,2]

Вид полуфабриката	Составные материалы	Механические свойства			
		σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ²		α , град
Лист $\delta = 2$ мм	АМг 3Н	28	25	5	-
	АМг 3П	24	20	7	-
	АМг 3М	22	10	15	180

1.2.2 Сплав стали марки 09Г2С

Сплав 09Г2С – сплав железа с добавлением кремния и марганца. Довольно распространенная марка сплава, отличается высокими механическими свойствами, малым весом получаемых конструкций. Устойчива к перегреву, а так же образованию трещин. Сварка может

производится как с подогревом до 100-120°C, так и без него. Благодаря химическому составу не склонна к хрупкости после термического отпуска. Хорошая свариваемость достигается благодаря низкому содержанию углерода [3, 4].

Таблица 1.4 – Химический состав в % сплава 09Г2С

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5- 0,8	1,3- 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	~96- 97

Также к плюсам данной марки стали можно отнести диапазон температур в которых можно применять данный сплав (от -70 до +450°C). Хорошая свариваемость позволяет изготавливать сложные сварные конструкции, и применять более тонкие листы по сравнению с другими стальными сплавами. [3, 4]

Сварку можно производить электродами для низколегированных и малоуглеродистых сталей (например Э50А и Э42А). Так же применяют автоматическую сварку под слоем флюса и электрошлаковую сварку [3, 4].

Таблица 1.5 – Механические свойства сплава 09Г2С при t = 20 °С

Вид полуфабриката	Механические свойства		
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 (%)
Лист сортовой и фасонный прокат $\delta =$ до 10 мм	490	345	21

1.2.3 Сталь марки СтЗсп

Сталь СтЗсп относится к классу конструкционных углеродистых обыкновенного качества без большого количества легирующих элементов. Применяется для несущих элементов, каких-либо сварных или несварных конструкций и деталей, работающих преимущественно при температуре выше нуля градусов [3, 4].

Данная сталь обладает неограниченной свариваемостью. Сварку можно производить электродами применяемыми для малоуглеродистых и низколегированных сталей, при сварке автоматом применяется проволока Св-08ГС, так же данная проволока применяется при электрошлаковой сварке. [3, 4].

Таблица 1.6 - Химический состав в % стали марки СтЗпс

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
0,14- 0,22	0,15- 0,3	0,4- 0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	~97

Для увеличения прочности металла шва его легируют марганцем. Так же положительным влиянием на прочность обладают небольшие добавки в металл шва хрома, никеля и других легирующих элементов. [3, 4]

Таблица 1.6 – Механические свойства стали СтЗпс при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Вид полуфабриката	Механические свойства	
	σ_B , МПа	δ_5 (%)
Сталь горячекатаная $\delta = 20 - 40$ мм	380 - 490	25

Рассмотрим сварочные электроды, которые будут применяться для наплавки швов.

1.2.4 Электроды марки АНО-4

Данная марка электродов с рутиловым покрытием широко применяется на отечественных производствах и монтажных работах за счет своих качеств. Данными электродами свариваются конструкции работающие при знакопеременных нагрузках и отрицательных температурах. Электроды АНО-4 обеспечивают защиту сварочной ванны, которая необходима при работе на открытом воздухе. Позволяют варить во всех пространственных положениях, кроме вертикального в направлении к низу. Свариваемые детали должны быть изготовлены из низколегированных и углеродистых марок стали.

1.2.5 Электроды марки LB-52u

Японские электроды с основным покрытием особенно ценятся среди сварщиков за счет своих качеств. Электроды применимы практически при любых условиях окружающей среды. Обладают возможностью проплавить металл на большую глубину. После сварки сварные швы обладают хорошей пластичностью.

Чаще всего электроды LB-52 применяют для нефтегазовой сферы, так как там очень большие требования к целостности труб. Также данные электроды используют в кораблестроении и водопроводных сетях.

Анализ технических параметров установки BRIMA TIG 200P AC/DC и ее комплектации, позволяет сделать вывод, что использование данной установки возможно в более широких сферах производства, чем заложено производителем.

Наличие схемы бесконтактного способа ионизации дугового промежутка в начале процесса сварки позволит работать не только со свободной дугой, но и сжатой неплавящимся электродом, как на постоянном токе, так и переменном. В этом случае замена горелки на плазмотрон потребует доработки начальной ионизации дугового промежутка.

Возможность регулировать длительность прямой полярности тока и обратной в рамках одного периода открывает большие возможности установки при работе с алюминиевыми сплавами при сварке в непрерывном режиме и точками.

Малая величина тока сварки установки TIG 200P AC/DC позволит использовать ее для пайки припоями в режиме аргонодуговой сварки свободной дугой в среде аргона.

Таким образом, в данной работе для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Исследовать сварочные свойства установки для РДС углеродистых сталей.

2. Исследовать сварочные свойства установки для сварки алюминиевых сплавов свободной дугой (режим 4T).

3. Исследовать сварочные свойства установки для сварки алюминиевых сплавов сжатой дугой (режим 2T).

4. Исследовать сварочные свойства установки для пайки

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ РДС УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

2.1 Экспериментальное определение внешней ВАХ и формы тока установки

Программа исследований установки включает такие этапы, как проверка безопасной эксплуатации сварочного оборудования; проверка технических характеристик; практические испытания.

Проверка технических характеристик предполагает определение наклона внешней вольтамперной характеристики установки (ВАХ). Снятие ВАХ установки позволит определить величину напряжения холостого хода ($U_{хх}$), диапазон регулирования величины тока сварочной дуги (I_d). Для определения формы внешней вольтамперной характеристики в качестве нагрузки используется активное сопротивление. Схема включения измерительных приборов и активного сопротивления приведена на рисунке 2.1.

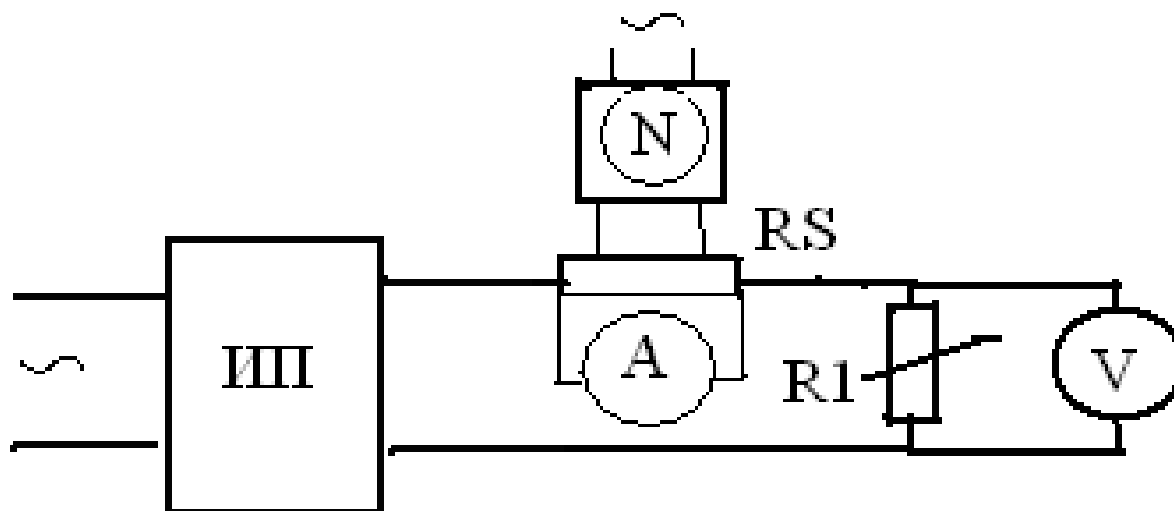


Рисунок 2.1 – Схема снятия внешней вольтамперной характеристики установки

При проведении исследований измерялись следующие параметры источника питания TIG 200P AC/DC и зависимости:

- зависимость внешней ВАХ источника питания $U_{и} = f(I_{и})$,

- зависимость $i_d = f(t)$,
- сварочный ток источника питания I_d ;
- напряжение XX источника питания U_{xx} ,
- ток КЗ источника питания.

По результатам эксперимента построены внешние ВАХ установки, которые приведены на рисунке 2.2.

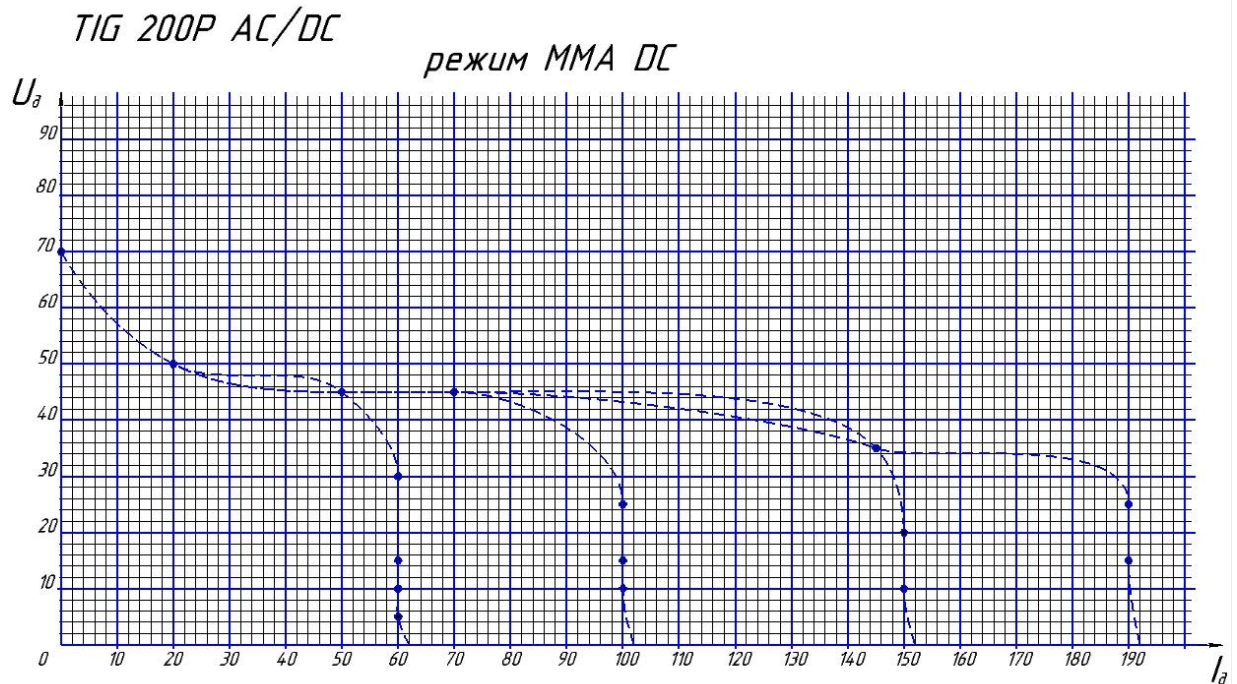


Рисунок 2.2 – Внешние ВАХ установки ($U_{и} = f(I_{и})$)

Внешние ВАХ установки в диапазоне изменения напряжения источника питания от 10 до 30 В имеют вертикальный характер. Из этого следует, что для свободной и сжатой дуги возмущения по длине дуги не скажутся на режимах сварки неплавящимся электродом, а при РДС покрытыми электродами только после 30В возмущения подлине дуги приведут к изменению величины тока.

Исходя из полученного графика, можно судить, что данный источник питания подходит для множества видов сварки. На рисунке 2.3 видно, что сварочная дуга для ручной дуговой сварки покрытым электродом будет гореть стабильно.

TIG 200P AC/DC

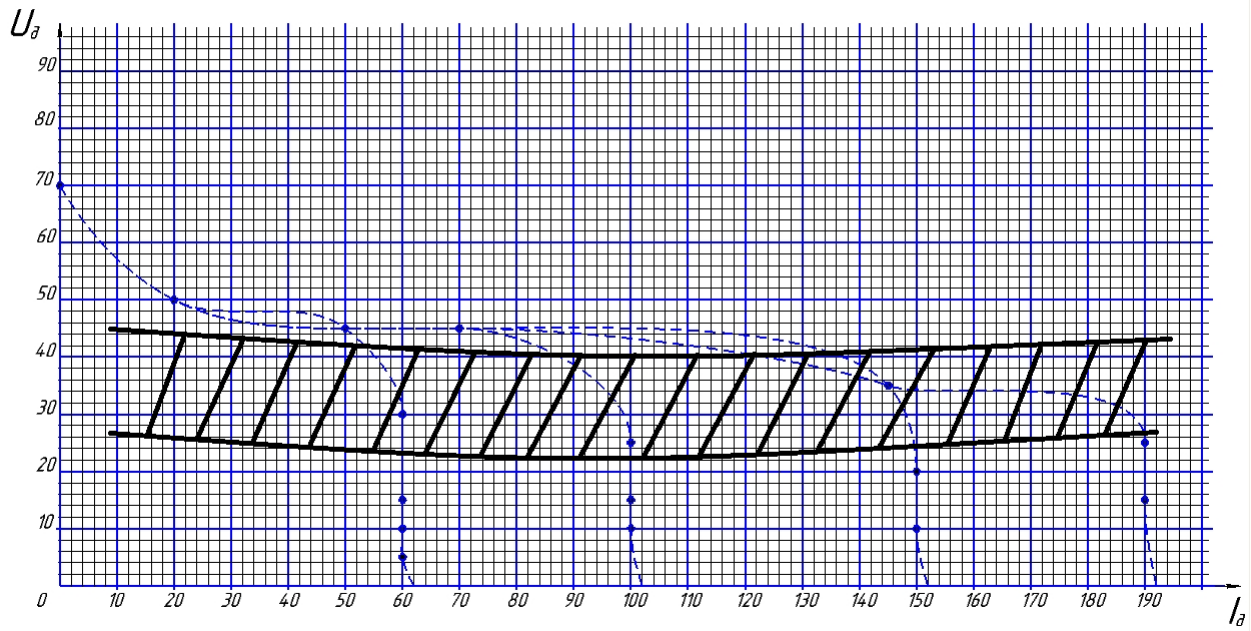


Рисунок 2.3 – Область горения дуги для РДС на графики ВАХ установки BRIMA TIG 200P

Если построить график горения сварочной дуги при аргодуговой сварке свободной дугой видно, что она так же подходит для параметров сварочной установки (рисунок 2.4).

TIG 200P AC/DC

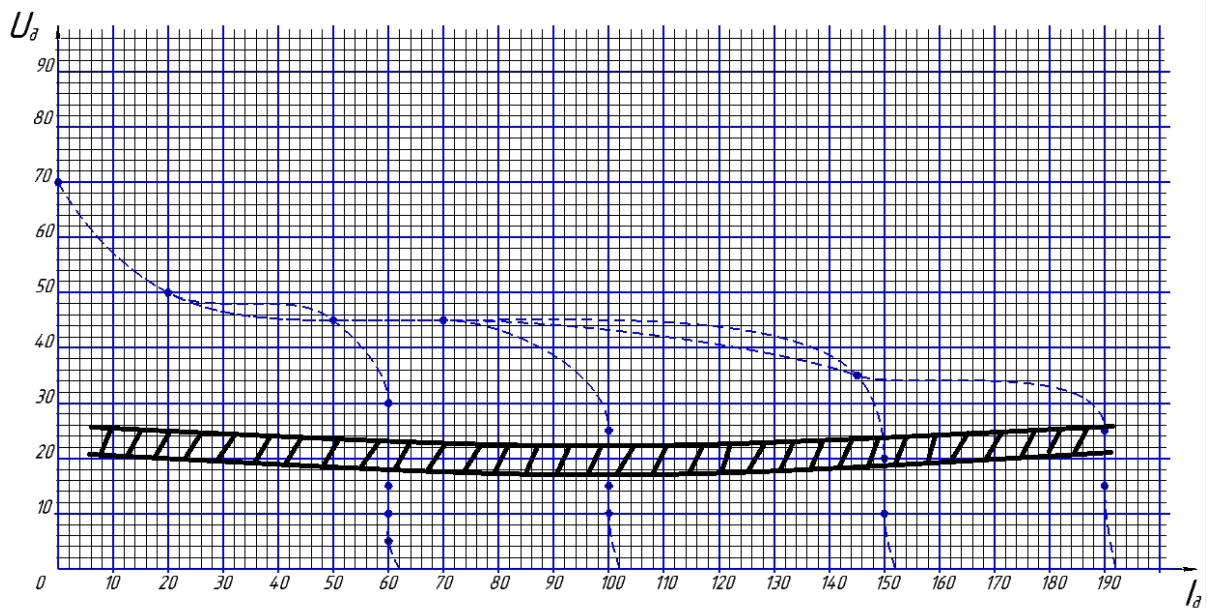


Рисунок 2.4 – Область горения дуги для аргодуговой сварки
свободной дугой

Для полноты картины стоит построить график горения дуги и для аргодуговой сварки сжатой дугой (рисунок 2.5). Тем самым увидеть возможность использования сварочной установки BRIMA TIG 200P для пайки.

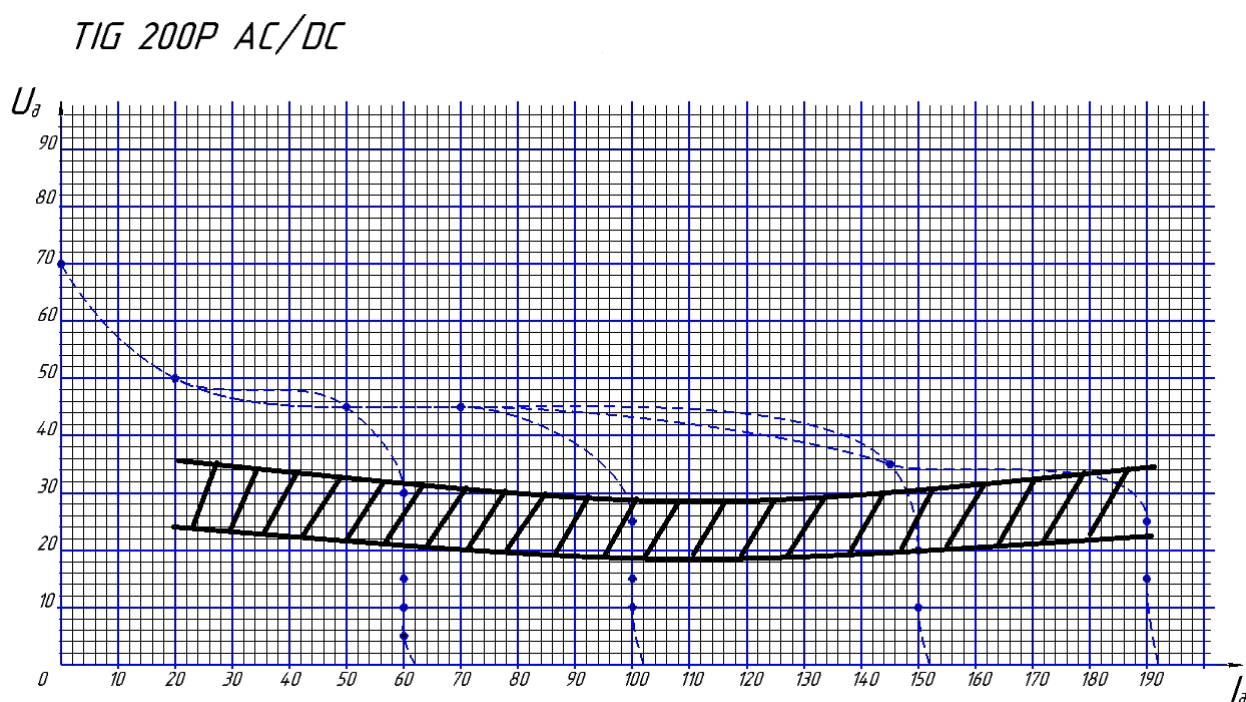


Рисунок 2.5 – Область горения дуги для аргодуговой сварки сжатой
дугой

Из вышепоказанных графиков видно, что сварочная установка способна работать в большинстве режимов сварки.

Установка позволяет работать на постоянном токе, переменном синусоидальном (рисунок 2.6) и переменном токе прямоугольной формы (рис.2.7).



Рисунок 2.6 – Синусоидальный график формы тока при работе сварочной установки ($f = 50\text{Гц}$)



Рисунок 2.7 – График прямоугольной формы тока при работе установки ($f = 50\text{Гц}$)

2.2 Методика исследований сварочных свойств для РДС

Для проведения исследований сварочных свойств РДС на источнике питания фирмы BRIMA TIG 200P необходимо собрать сварочный стенд состоящий из: источника питания, осциллографа для замера формы тока, держака для РДС. Схема включения осциллографа С-73 приведена на рисунке 2.8.

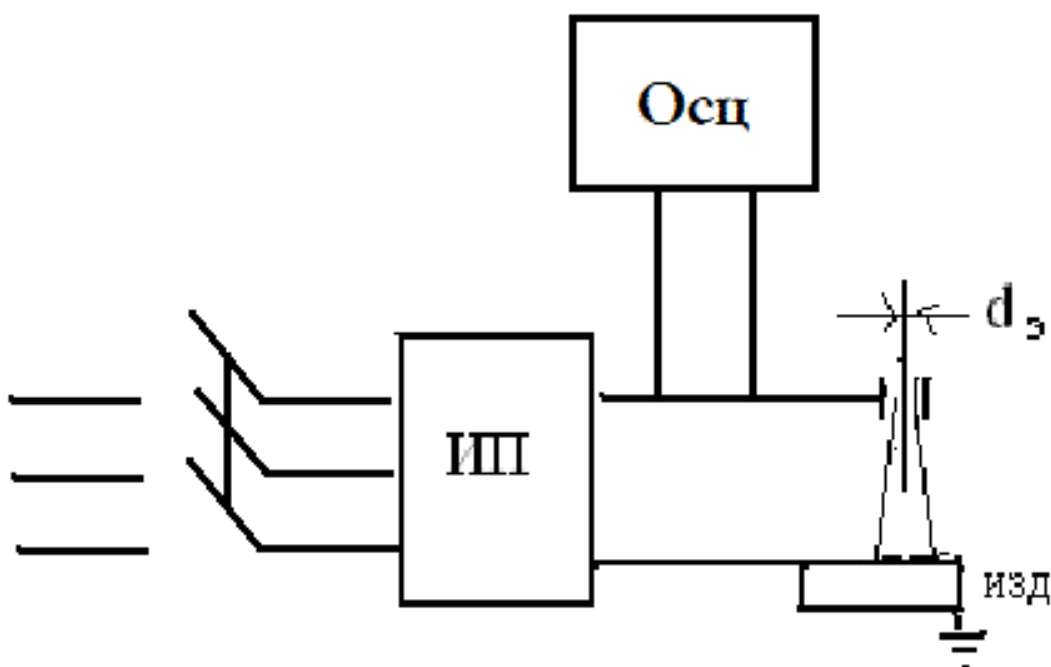


Рисунок 2.8 - Упрощенная схема поста для сварки покрытым электродом

Для исследования выбраны образцы из стали марок Ст3 и 09Г2С. Пластины перед сваркой зачищались и обезжиривались.

Сварочные свойства установки оцениваются при экспериментальных испытаниях. Оценка показателей сварочных свойств установки проводится с бальной оценкой, дифференциальным методом согласно РД 03- 614 – 03.

Наплавка производится отечественными электродами марки АНО-4 , диаметром 4 мм, так же применяются и зарубежные марки LB-52u с теми же параметрами и размерами.

Величина сварочного тока изменяется плавно в установленном диапазоне.

Напряжение дуги поддерживается в диапазоне 30-35 вольт.

Сварка производится в нормальных условиях, без колебания температур окружающей среды.

2.3 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки и результаты исследований

Первая серия сварных швов (№1-№8) сваривалась на переменном токе синусоидальной формы.

Материал пластины: отечественная легированная сталь марки 09Г2С. Размеры пластины: 22x80x2 мм. Наплавка №1 - №4 проводилась покрытыми электродами марки LB-52u. Внешний вид наиболее удачных наплавки №1, №3, №4 приведены на рисунках 2.9 и 2.10.



Рисунок 2.9 – Внешний вид наплавки №1

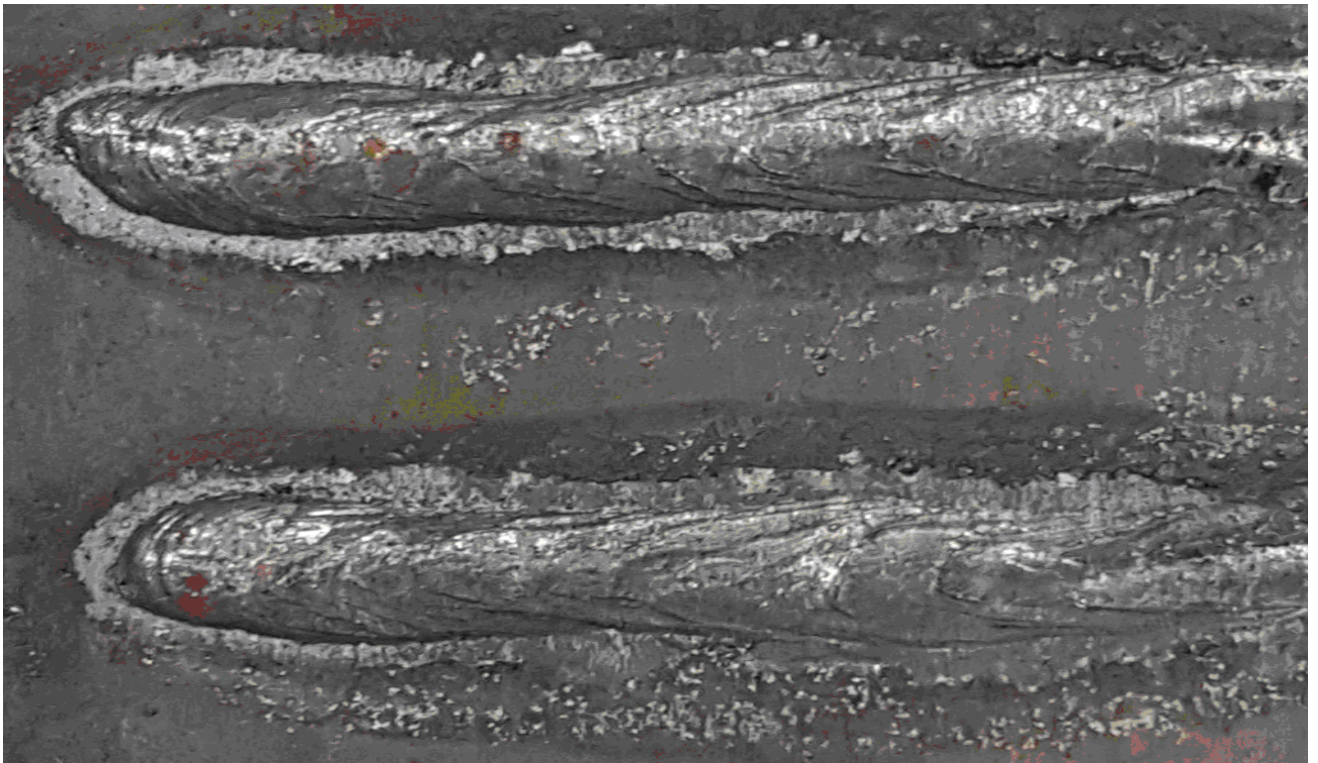


Рисунок 2.10 – Внешний вид наплавки №3 (верхний шов) и №4 (нижний шов)

Режим наплавки: величина тока от 120 до 160 А, напряжение на дуге: 30В. Осциллограмма формы тока представлена на рисунке 2.11.

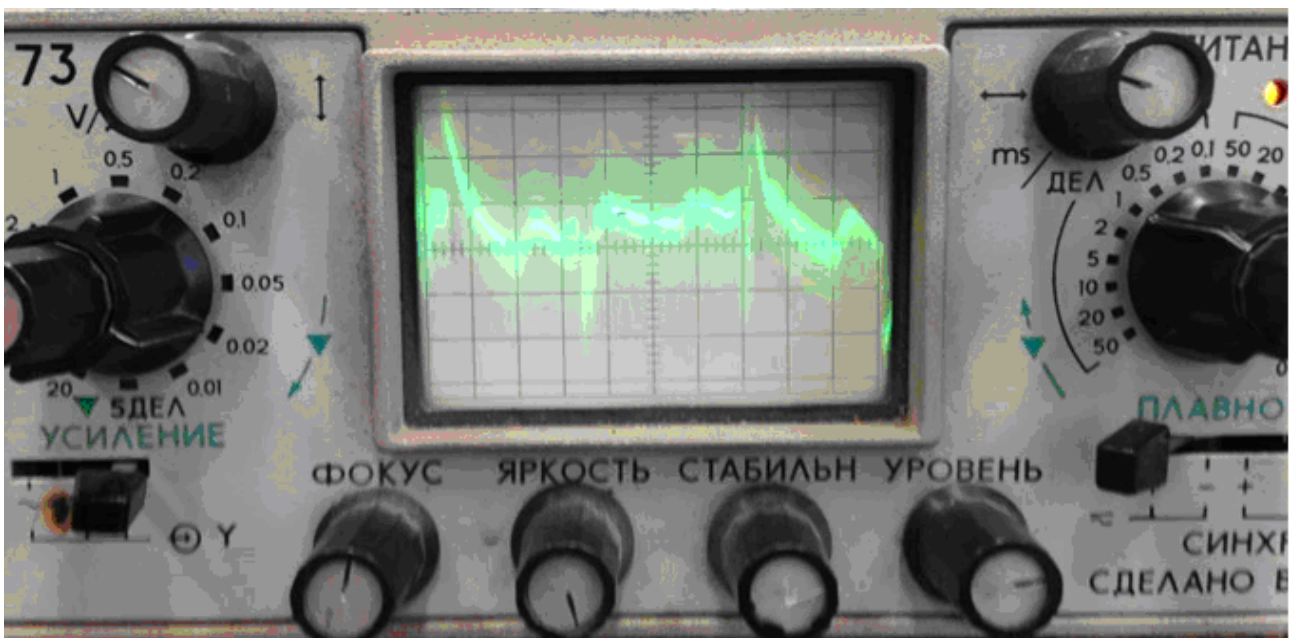


Рисунок 2.11 – Осциллограмма формы тока сварочной дуги

Далее, все полученные в ходе исследования наплавки будут рассмотрены более детально.

Наплавка №1.



Рисунок 2.12 – Внешний вид наплавки №1

Наплавка без прожогов, валик не прерывается, длина шва 26 мм, ширина 8-9 мм (см. рис 2.12). Наплавка имеет равномерный шов. Дефекты не обнаружены. Колебаний высоты наплавки не наблюдается.

Наплавка №2.



Рисунок 2.13 – Внешний вид наплавки №2

Длина шва 12 мм, ширина 8 мм. Шов получился малым, изначально в начале сварки прилип электрод. Сварной шов имеет правильную форму с большим сварочным кратером в конце сварки (см .рис. 2.13).

Наплавка №3.



Рисунок 2.14 – Внешний вид наплавки №3

Длина шва 42 мм, ширина 9 мм. Баланс 40/60 (см. рис.2.14). Шов длинный, ровный, без дефектов, с малым сварочным кратером.

Наплавка №4.



Рисунок 2.15 – Внешний вид наплавки №4

Длина шва 40 мм, ширина 7.5 - 9 мм. Баланс 40/60 (см. рис 2.15). Шов длинный, неравномерный, непроваров нет, наблюдаются наплывы.

Вторая серия швов сваривается на пластины из легированной стали марки 09Г2С. Размеры пластины: 22x80x2 мм. Форма тока: синусоидальная. Наплавка №5-№8 проводилась покрытыми электродами АНО-4.

Режим наплавки: величина тока от 120 до 160 А, напряжение на дуге: (30-32)В.

Наплавка №5.



Рисунок 2.16 – Внешний вид наплавки №5

Длина шва 47 мм, ширина 7-8 мм (см. рис. 2.16). Шов не ровный, с наплывами, в конце шва имеется большой сварочный кратер.

Наплавка №6.



Рисунок 2.17 – Внешний вид наплавки №6

Длина шва 53 мм, ширина 7-8 мм (см. рис. 2.18). Наплавка аналогична шву №5, без прожогов. Наблюдаются наплывы.

Наплавка №7.



Рисунок 2.18 – Внешний вид наплавки №7

Длина шва 58 мм, ширина 7-8 мм (см. рис. 2.18). Баланс 40/60. Шов ровный, с двумя прожогами: в центре и в конце наплавки. Больше существенных дефектов замечено не было.

Наплавка №8.



Рисунок 2.19 – Внешний вид наплавки №8

Длина шва 43 мм, ширина 7-8 мм (см. рис. 2.19). Шов аналогичен шву №6, без существенных дефектов. Наблюдаются наплывы.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что существенную роль на качество формирования валика наплавленного металла оказывает влияние марка электрода. Серия швов, выполненных электродами марки LB – 52и, отличаются высоким качеством формирования шва. Дуга горит стабильно.

По результатам исследований следует отметить, что наилучшие показатели сварочных свойств удается получить при следующих соотношениях параметров в системе «дуга-инвертор», которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы

$d_{пр}$, мм	$U_{д}$, В	dU/dI , В/А	$V_{св}$, м/ч	$I_{д}$, А	Марка электрода
4.0	30 - 32	15	5,0	120 -160	LB - 52и

Вторая серия швов выполнена на пластинах из Стали 3, с размерами 70x140x3 мм. Сварка проводилась на переменном токе прямоугольной формы (рис.2.20).



Рисунок 2.20 – Зависимость $i_{д} = f(t)$ при $t_{пр} = t_{обр}$ ($f = 50\text{Гц}$)

Марка сварочных электродов LB-52и для швов №1-№5.

Режим сварки: ток дуги $I_{д} = 120-160\text{ А}$, напряжение на дуге 30В.

Наплавка №9.



Рисунок 2.21 – Внешний вид наплавки №9

Длина шва 40 мм, ширина 10-11 мм (см. рис. 2.21). Шов ровный. Единственный из присутствующих дефектов – сварочный кратер в конце наплавки.

Наплавка №10.



Рисунок 2.22 – Внешний вид наплавки №10

Длина шва 43 мм, ширина 8-10 мм (см. рис. 2.22). Шов полномерный с переменным сечением, что можно отнести к некритическим дефектам. Более существенный дефект обнаружен в начале шва.

Наплавка №11.



Рисунок 2.23 – Внешний вид наплавки №11

Длина шва 44 мм, ширина 8-9 мм (см. рис. 2.23). Шов выполнен на том же режиме, что и №10 ради чистоты опыта. Наплавленный металл лежит ровным валиком, видны наплывы металла. В конце шва заметна канавка от сварочной дуги. Шов полномерный.

Шов №12.



Рисунок 2.24 - Внешний вид наплавки №12

Длина шва 44 мм, ширина 9-10 мм (см. рис. 2.24). Шов полномерный. Видны наплывы металла. Существенных дефектов не замечено.

Следующая серия наплавки №13 ÷ №16 выполнена на пластине из Стали 3 с размерами 70x140x3 мм электродами марки АНО-4. Сварка велась на переменном токе прямоугольной формы.

Наплавка №13.



Рисунок 2.25 - Внешний вид наплавки №13

Длина шва 48 мм, ширина 10 мм (см. рис 2.25). Шов чуть искривлен, отличается от предыдущих за счет другой марки электрода. Наблюдаются наплывы.

Наплавка №14.



Рисунок 2.26 – Внешний вид наплавки №14

Длина шва 45 мм, ширина 10 мм (см. рис. 2.26). Наплавленный металл лежит ровным валиком, с глубоким кратером в конце сварного шва.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что существенную роль на качество наплавленного металла при сварке на переменном токе прямоугольной формы также оказывает влияние марка электрода. Серия швов, выполненных электродами марки LB, отличаются высоким качеством формирования шва. Дуга горит стабильно.

Форма переменного тока оказывает влияние на проплавляющую способность дуги. Ширина шва значительно на всех образцах (№9-№14) больше, чем при сварке на переменном синусоидальном токе.

По результатам исследований следует отметить, что хорошие показатели сварочных свойств удается получить при следующих соотношениях параметров в системе «дуга-инвертор», которые приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы при сварке на переменном токе прямоугольной формы

$d_{пр}$, мм	$U_{д}$, В	dU/dI , В/А	$V_{св}$, м/ч	$I_{д}$, А	Марка электрода
4.0	30	15	5,0	120-160	LB-52u

Таким образом, экспериментальное определение сварочных свойств установки при ручной дуговой сварке покрытыми электродами показало, что установка обеспечивает стабильное горение дуги и качественное формирование полномерного шва в этом режиме ручной дуговой сварки на углеродистых сталях.

Исходя из полученных образцов пришли к выводу, что на качестве сварного соединения влияет такой параметр как качество сварочных материалов. Японские сварочные электроды показали хорошие результаты, с ними было меньше проблем, чем с отечественными электродами.

Из серии экспериментов получили ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы при сварке на переменном токе.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СВОБОДНОЙ ДУГОЙ (РЕЖИМ 4Т)

3.1 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов

В режиме сварки непрерывной дугой (4Т) фирма BRIMA рекомендует вести ручную дуговую сварку горелкой типа TS-20 (рисунок 3.1) для сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа.



Рисунок 3.1 – Горелка для ручной аргодуговой сварки BRIMA TS-20

Для проведения исследований сварочных свойств ручной аргодуговой сваркой на источнике питания фирмы BRIMA TIG 200P

собирается сварочный стенд состоящий из: источника питания, осциллографа С-73 для замера формы тока, горелки для ручной аргодуговой сварки TS-20. Упрощенная схема сварочного поста для исследований представлена на рисунке 3.2.

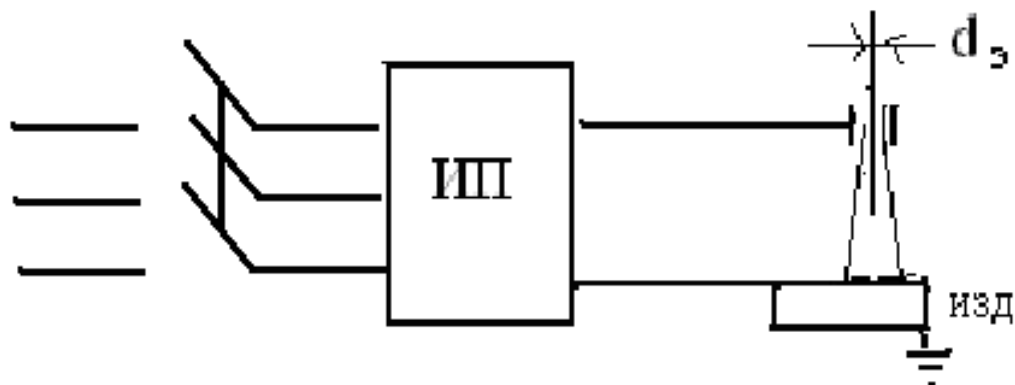


Рисунок 3.2 - Упрощенная схема поста для сварки неплавящимся электродом

Установка TIG 200P позволяет регулировать величину сварочного тока в широком диапазоне, а именно от 10 до 200А. Исходя из возможностей данной установки мы можем выбрать толщину образцов, основываясь на рекомендациях изложенные в работе [5].

Сварочные свойства установка TIG 200P в режиме 4T проверялись на образцах их алюминиевого сплава АМг-3 толщиной 0,8 мм и 2,0 мм.

Ток дуги переменный прямоугольной формы регулируется от 20 до 200А [5]. Соединение: стыковое (С2).

Контроль электрических параметров производится приборами электромагнитной системы.

Динамические характеристики дуги регистрируются осциллографом типа С-73.

Контроль качества проводился внешним осмотром, затем были произведены микрошлифы образцов для более детального изучения.

Сварочные свойства установки оценивались при сварке стыковых соединений из алюминиевых сплавов. Оценка показателей сварочных

свойств установки проводится с бальной оценкой дифференциальным методом согласно РД 03- 614 – 03 [7].

3.2 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов свободной дугой в режиме 4Т и результаты исследований

В режиме 4Т сварка стыковых соединений образцов толщиной от 0,8 до 1.0 мм проводили с использованием присадочной проволокой марки СвАМг5, диаметр присадочного прутка $d_{пр}=2$ мм. Схема сварки представлена на рисунке 3.3.

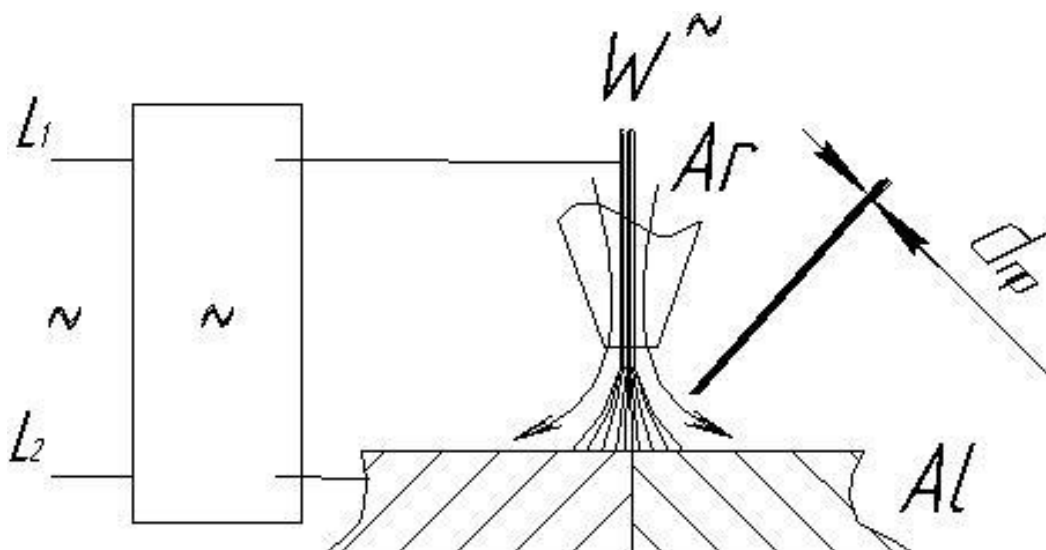


Рисунок 3.3 - Схема сварки ручной аргонодуговой сваркой однофазной дугой неплавящимся электродом с присадочной проволокой

Сварка проводилась на лабораторном стенде с формирующей канавкой. Параметры сварки первого образца представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры сварки первого образца.

S , мм	I_d , А	U_d , В	d_w , мм	$d_{пр}$, мм	Q_{Ar} , л/мин
0,8	20-30	24	2	2	5

Макроструктура полученного сварного соединения показана на рисунке 3.4.

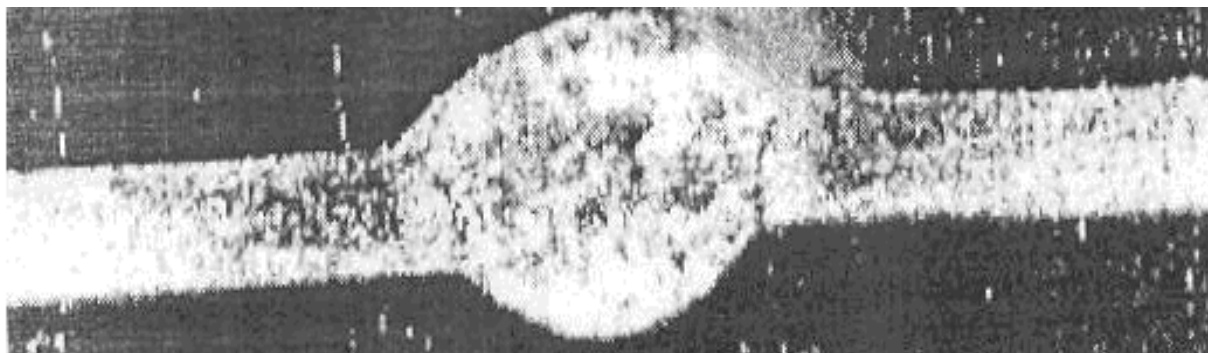


Рисунок 3.4 - Макроструктура сварного соединения при параметрах сварки

Зависимость $i_d = f(t)$ наблюдалась на осциллографе С-73 и приведена на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Зависимость $i_d = f(t)$ при $t_{пр} = t_{обр}$ ($f = 50\text{Гц}$)

Начальная ионизация дугового промежутка проводится между высокочастотным разрядом с вольфрамового электрода на алюминиевый сплав, дуга горит стабильно, формирование шва хорошее.

Сварку образцов толщиной 2 мм проводили с аналогичной присадочной проволокой в защитной среде аргона по схеме, приведенной на рисунке 3.3. Параметры сварки представлены в таблице 3.2. Макроструктура

сварного соединения, полученная при сварке на подкладке с формирующей канавкой, приведена на рисунке 3.6.

Таблица 3.2 – Параметры второго сварного соединения

S, мм	I _д , А	U _д , В	d _в , мм	d _{пр} , мм	Q _{Ar} , л/мин
2,0	140-160	18	2	2	7-8

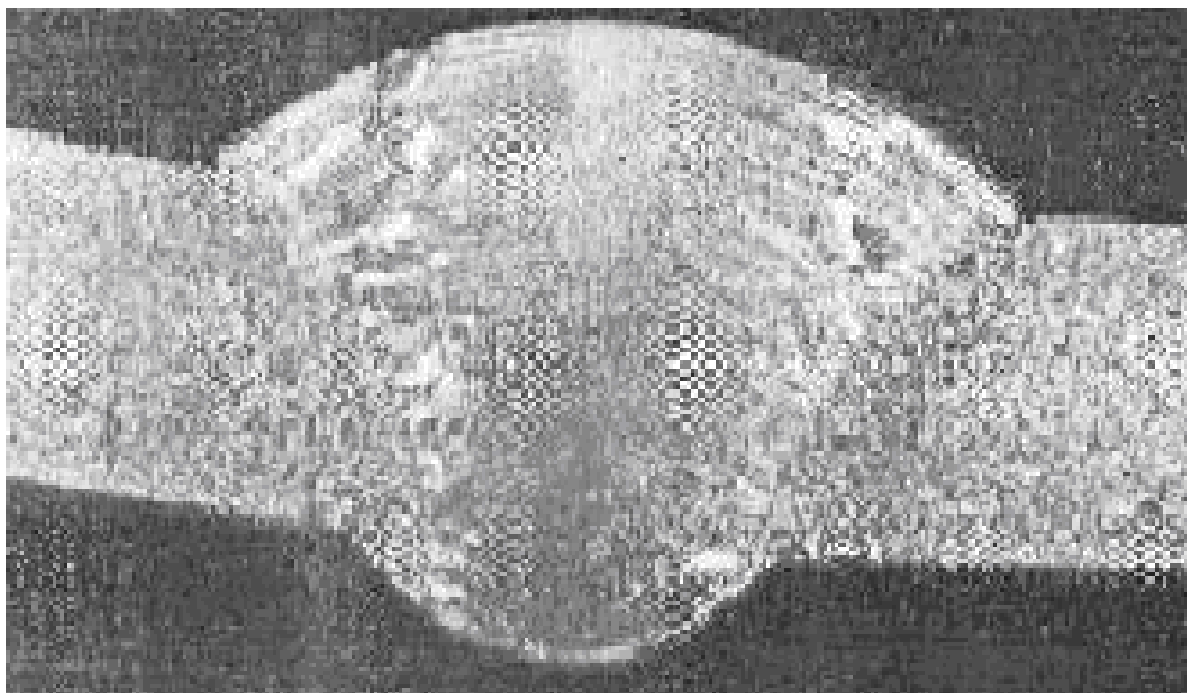


Рисунок 3.6 - Макроструктура сварного соединения сплава АМг-3

Сварка данной серии образцов показала, что дуга горит на установленном режиме стабильно, начальная ионизация происходит в течение 1 - 2 с. Установка позволяет качественно формировать сварные соединения в указанном диапазоне параметров.

По результатам исследований режима 4Т следует отметить, что хорошие показатели сварочных свойств удается получить при следующих соотношениях параметров в системе «дуга-инвертор», которые приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Ориентировочные параметры режима сварки непрерывной дугой неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона

S , мм	I_d , А	U_d , В	d_w , мм	$d_{пр}$, мм	Q_{Ar} , л/мин
0,8	20-30	24	2	2	5
2,0	140-160	18	2	2	7-8

Таким образом, экспериментальное определение сварочных свойств установки при ручной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом показало, что данная установка обеспечивает стабильное горение дуги и качественное формирование полномерного шва в режиме непрерывной дуги (4Г) на алюминиевых сплавах марки АМгЗ. В ходе серии экспериментальных сварочных работ были получены ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы без дефектов, при сварке на переменном токе прямоугольной формы.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СЖАТОЙ ДУГОЙ (РЕЖИМ 2Т)

Установка BRIMA TIG 200P в режиме сварки точками (2Т) позволяет работать в комплекте с горелкой TS-20 свободной дугой неплавящимся электродом в защитной среде газа. Такие рекомендации даёт фирма BRIMA.

Однако технические данные установки позволяют использовать ее в других режимах, а именно для сварки сжатой дугой, так как напряжение холостого хода, $U_{xx} = 70\text{В}$. Преимуществами данного процесса являются: высокая концентрация энергии в пятне нагрева и способность переменной дуги разбивать окисную пленку.

Контактная точечная сварка хорошо подходит для сварки стальных листов. Однако при сварке алюминиевых сплавов процесс контактной сварки трудоемок, так как требуется тщательная химическая очистка поверхностей конструкции, оборудование имеет большие габариты и высокие энергозатраты.

Точечная плазменная сварка характеризуется большим количеством параметров, что позволяет более эффективно управлять процессом сварки. Учитывая спрос на технологию сварки точками алюминиевых сплавов сжатой дугой, проводим исследование сварочных свойств установки. Комплект сварочного оборудования для этого способа сварки должен включать в себя установку TIG 200P в комплекте с плазмотроном ГСД-1 фирмы «Электромеханика» и подключенным параллельно дуговому промежутку генератор высокой частоты ОСППЗ-300-2.

4.1 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов

Материалом для проведения исследований были выбраны листы из алюминиевого сплава АМг-3 толщиной 2мм.

Сварное соединение было выбрано нахлесточное, типа Н1.

Сварка производилась в нижнем положении на подкладке с формирующей канавкой.

Комплект оборудования состоял из: установки TIG 200P, плазмотрона ГСД-1, генератора высокой частоты ОСППЗ-300-2 (рисунок 4.1), лабораторного стенда. Схема была доработана для начальной ионизации дугового промежутка с вольфрамового электрода на медное сопло плазмотрона ГСД-1. Параметры генератора высокой частоты представлены в таблице 4.1.



Рисунок 4.1 – Внешний вид осциллятора ОСППЗ-300-2

Таблица 4.1 – Технические параметры генератора высокой частоты ОСППЗ-300-2.

Наименование параметра	Величина и единица измерения параметра
Напряжение сети	220 В (+10% - 7%) U_c
Частота сети	50 Гц
Напряжение генератора на выходе	6,0 – 7,0 кВ
Частота генератора на выходе	200 кГц
Номинальная мощность	44 Вт
Габаритные размеры	250 x 170 x 110 мм
Масса	6 кг
Изготовитель	Электромеханика
Страна	РФ

Для замера интересующих нас параметров были применены и включены в схему сварочного стенда измерительные приборы электромагнитной системы для контроля электрических параметров:

- тока дуги замерялся амперметром типа АСТ,
- напряжения на дуге измерялось вольтметром типа Э59,
- график зависимости $i_d = f(t)$ при $t_{пр} = t_{обр}$ ($f = 50$ Гц) наблюдался на экране осциллографа типа С-73.

Обозначение приборов для замера электрических параметров и регистрации зависимостей $i = f(t)$ и $u = f(t)$ приведено на рисунке 4.2.

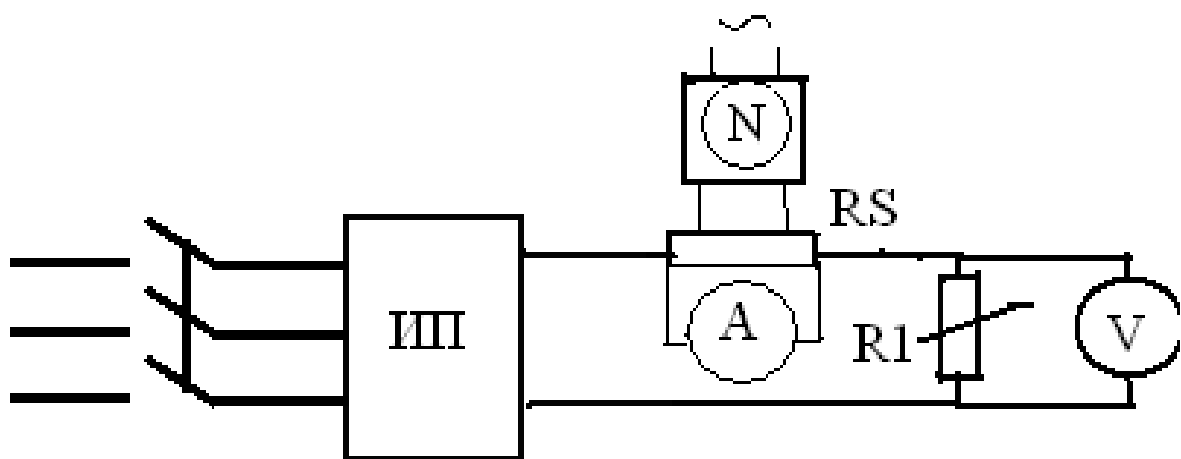


Рисунок 4.2 – Упрощенная схема сварочного поста с измерительными приборами

Измерительные приборы для контроля неэлектрических параметров:

- длительность сварки - секундомер и осциллограф (рис.4.3);
- установочные размеры плазмотрона– штангенциркуль, щупы;
- геометрические размеры сварной точки – линейка;
- расход защитного и плазмообразующего газа (аргон) – ротаметр РМ-0,04 ЖУ2;
- усилие прижатия образцов

Обозначение неэлектрических параметров плазмотрона показано на рисунке 4.3.

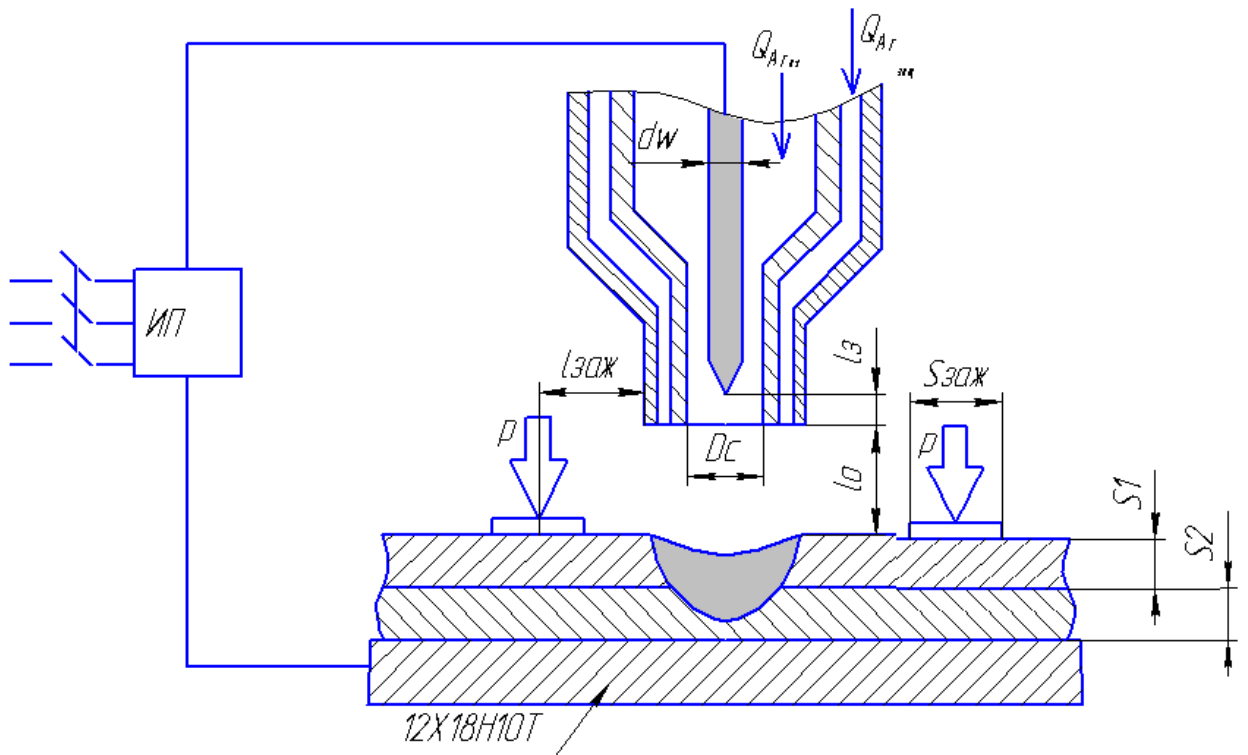


Рисунок 4.3 - Обозначение неэлектрических параметров перед сваркой

На рисунке 4.4 обозначена длительность сварки для прямоугольной формы тока.

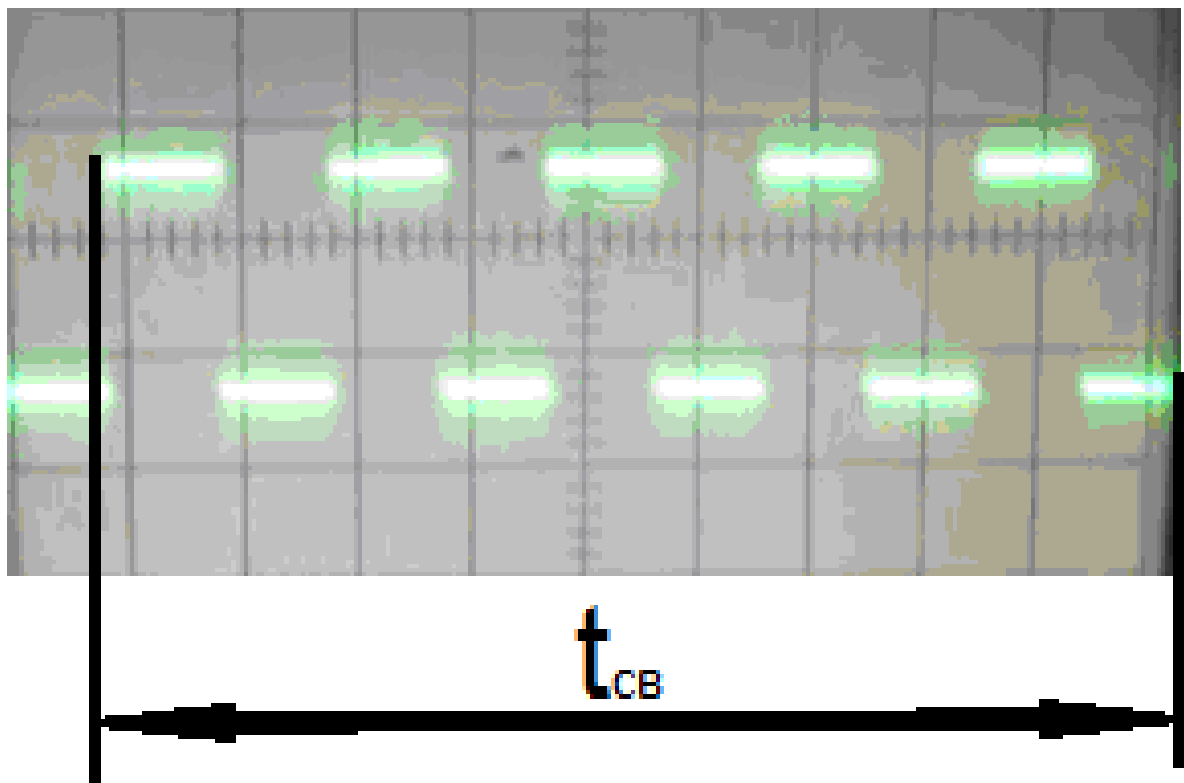


Рисунок 4.4 – Обозначение длительности сварки точки

Обозначение геометрических параметров сварной точки соединения H1 приведено на рисунке 4.5. Для контроля выбраны параметры:

d_{Al} – диаметр сварной точки;

d_{Al1} – диаметр проплавления сварной точки;

S – толщина пластины;

h – глубина кратера.

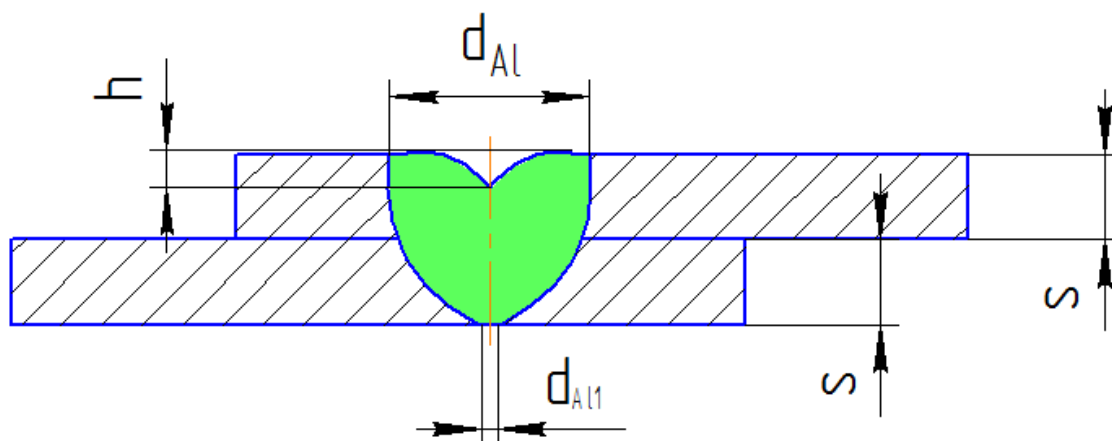


Рисунок 4.5 – Обозначение геометрических параметров сварной точки

4.2 Исследование влияния параметров высокочастотного контура на длительность ионизации дугового промежутка

При сварке W-Al, W-Ni, начальное возбуждение дуги производится генератором высокой частоты (осциллятором).

Колебательный контур осциллятора образован сопротивлениями R1-C1-L1, от параметров которых зависят условия развития искрового разряда в начальный момент процесса сварки. Схема колебательного контура представлена на рисунке 4.6. Схема подключения в сварочную цепь показана на рисунке 4.7

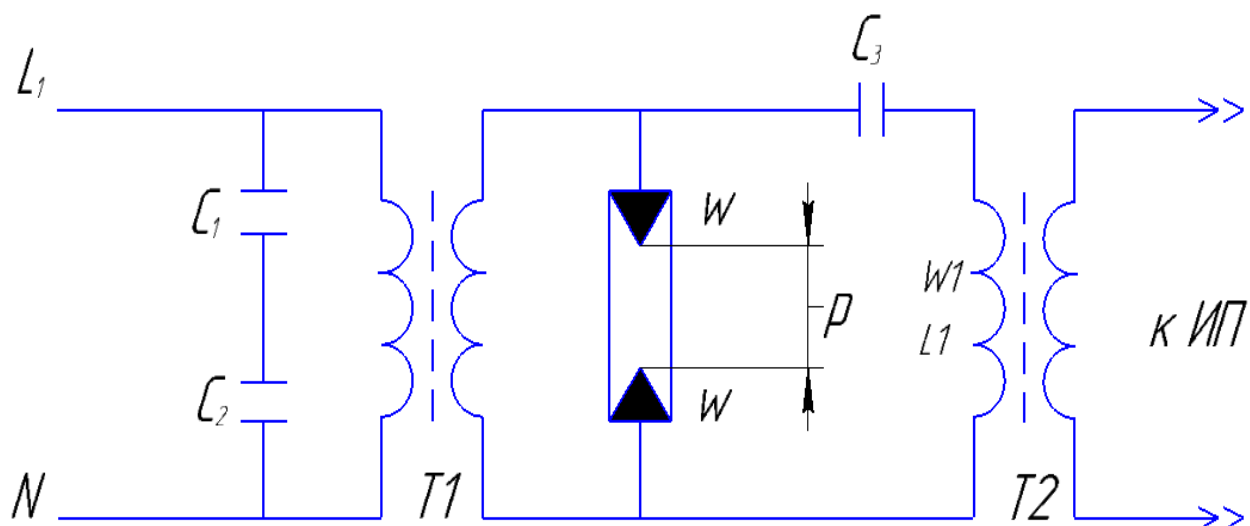


Рисунок 4.6 – Схема колебательного контура осциллятора

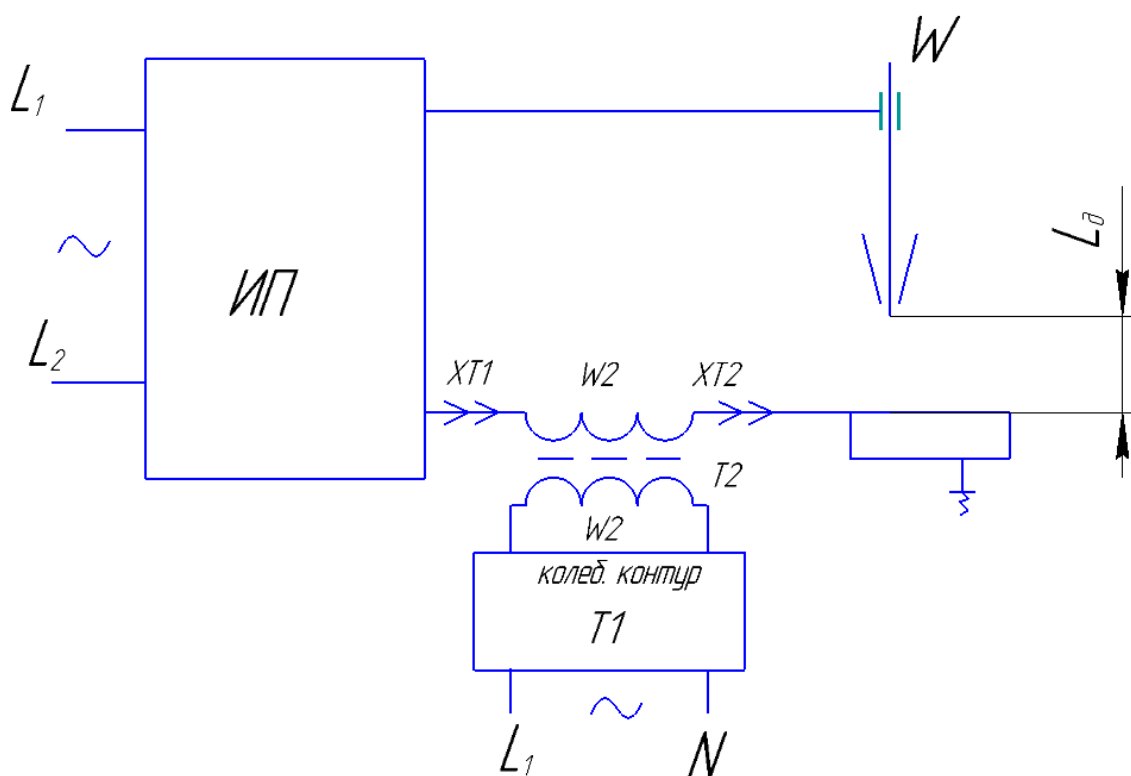


Рисунок 4.7 – Схема подключения осциллятора в сварочной цепи

На базе кафедры «Сварка и обработка материалов давлением» Тольяттинского государственного университета были произведены исследования различных колебательных контуров, в частности были

рассмотрены различия величины емкости конденсатора (C1). Технические различия осцилляторов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Технические данные осцилляторов и результаты экспериментов.

№	Тип осцил.	U_2 , В	f_1 , Гц	L_1 , Гн	C1, F	Расчет	Эксперимент	
						f_2 , Гц	l_d , мм	$t_{иск}$, с
1	ОСППЗ-300-М-1	220	50	10^{-3}	$0,051 \times 10^{-6}$	14,1	1	0,1
2	ОСППЗ-300-М-1	220	50	10^{-3}	$0,047 \times 10^{-6}$	14,5	3	0,95
3	ОСППЗ-300-М-1	220	50	10^{-3}	$0,047 \times 10^{-6}$	14,5	1	0,1
4	ОСППЗ-300-М	220	50	10^{-3}	$0,1 \times 10^{-6}$	-	-	-
5	ОСППЗ-300-2	220	50	10^{-3}	40×10^{-6}	15,823	6	0,5

К основным параметрам осциллятора отнесем длину воздушного промежутка l_d (рис. 4.7), в котором происходит начальное возбуждение дуги и время ($t_{иск}$), которое затрачено на нарушение изолирующих свойств воздушного промежутка. Чем меньше прибор затратит времени на возбуждение сварочной дуги, и больший воздушный промежуток он сможет пробить, тем предпочтительнее выбрать данную модель для работы.

Исследования проводились на испытательном стенде, который состоял из телескопической стойки, плиты, управляемой электроприводом и горелки для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом.

В ходе исследовательской работы была рассчитана частота тока для каждого осциллятора, произведены замеры длины дуги и времени начальной ионизации воздушного промежутка между электродом и изделием.

Проанализировав полученные данные, было получено что при емкости конденсаторов 0,051 мкF и 0,047 мкF и частотой тока 14,084 кГц и 14,492 кГц соответственно, время затрачиваемое на возбуждение дуги примерно равно 0,1 с, а воздушный промежуток был равен 1 мм у обоих осцилляторов. Осциллятор с емкостью 0,047 мкF и частотой тока 4,546 кГц показал самые низкие результаты. Возбуждение дуги происходило за 0,95 с, расстояние сварочной дуги было равно 1 мм. Самым лучшими параметрами обладал колебательный контур с последовательно соединенными конденсаторами, общей емкостью 40 мкF и частотой тока 15,823 кГц. Данный осциллятор зажигал дугу за 0,5 с и имел длину дуги равной 6 мм.

Так же была доказана применяемость проводов с изолирующей обмоткой. При использовании обыкновенных проводов, закрепленных на осцилляторе и детали, сварочная дуга не была стабильной и часто прерывалась или вовсе не возбуждалась.

4.3 Экспериментальное определение показателей сварочных свойств установки для сварки алюминиевых сплавов точками свободной и сжатой дугой в режиме 2Т и результаты исследований

В результате исследований получены образцы при сварке АМг-3 толщиной (2+2) мм, которые показаны на рисунке 4.7. Сварка проводилась сжатой дугой неплавящимся электродом в среде аргона на переменном токе прямоугольной формы. Частота переменного тока прямоугольной формы составляет 50Гц. Амплитуды прямой и обратной полярности тока равны между собой. Начальную ионизацию дугового промежутка осциллятор типа ОСППЗ-300-2 обеспечивает в течение 1 – й секунды.

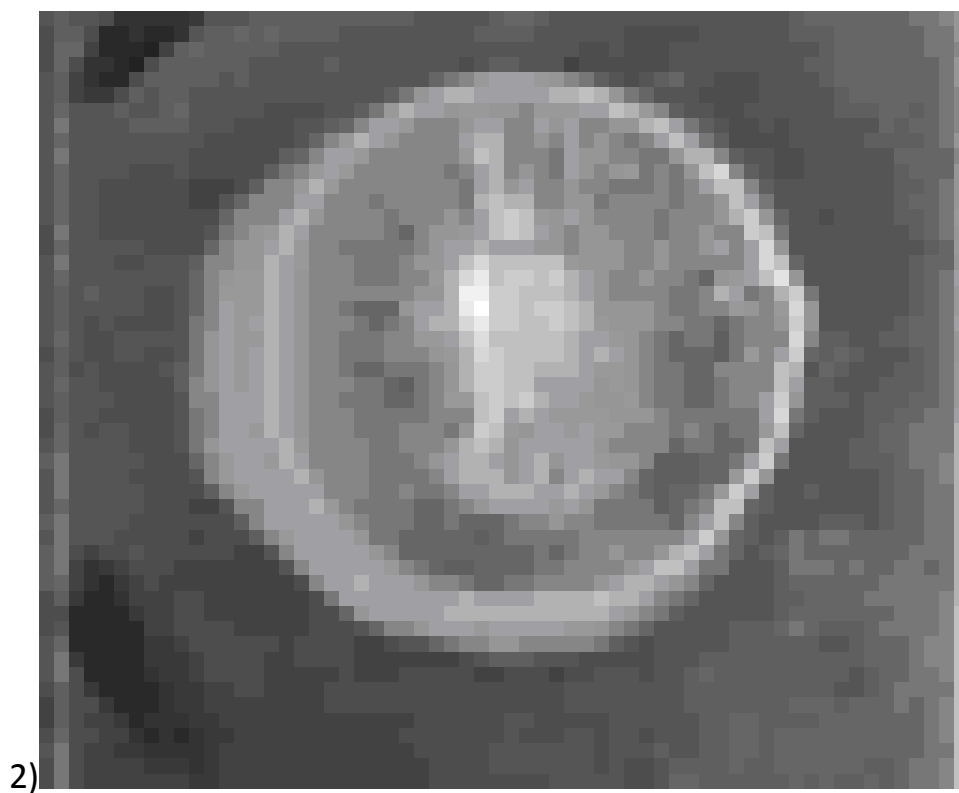
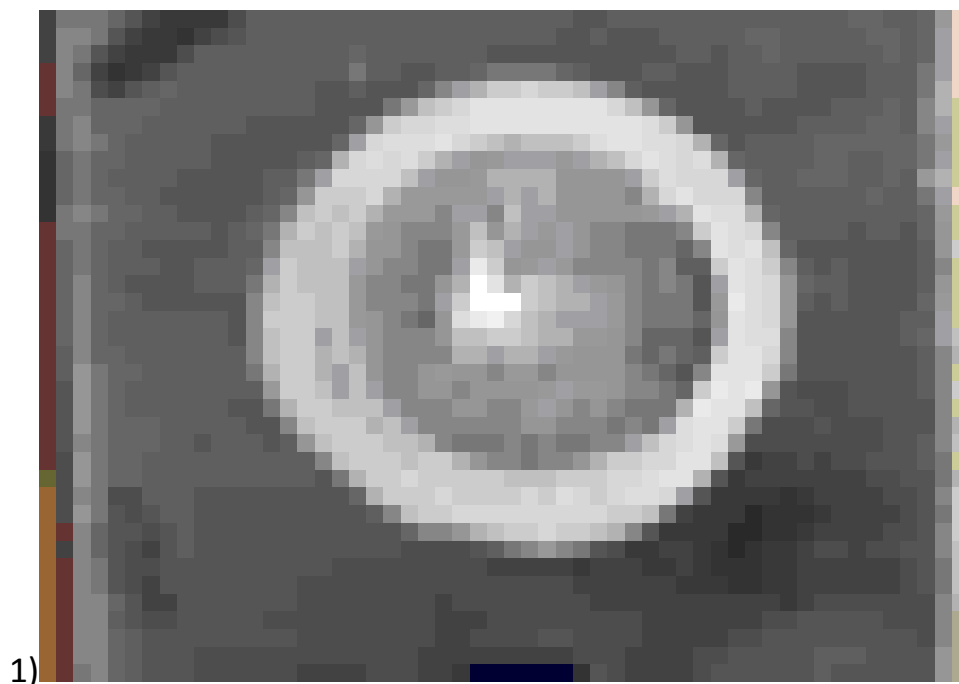


Рисунок 4.7 – Внешний вид сварных точек при сварке АМг-3 образцов
толщиной (2+2)мм

Параметры сварки точек 1 и 2 показаны в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – 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
1	120	20-20,3	4	45	12,2	≈6	TIG-200P
2	150	21,5	4	45	10,5	≈6	TIG-200P

Результаты исследований показали, что дуга вольфрам - алюминий в аргоне горит устойчиво. Начальная ионизация происходит стабильно в течение 1 секунды. Зона очистки от оксидной пленки составляет 2.5 мм. Формирование точки - хорошее.

Исходя из результатов исследований, можно рекомендовать использовать установку в режиме 2Т для сварки алюминиевых сплавов сжатой дугой переменного тока прямоугольной формы точками неплавящимся электродом в комплекте с плазмотроном типа ГСД-1 и генератора высокой частоты.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАЙКИ

В мелкосерийном производстве часто требуется большая универсальность рабочих инструментов. Фирма BRIMA выпускает источники питания с минимальной силой тока дуги, начинающейся с 10 ампер.

В сварке данная мощность не применяется, но её возможно использовать для пайки тугоплавкими припоями. В данном исследовании сварочной установки BRIMA TIG 200P будет рассмотрена возможность пайки металлов при помощи однофазной сварки вольфрамовым электродом в среде аргона.

В данной главе будут рассмотрены параметры, при которых припой успешно смачивает поверхность, а сварочная дуга не прожигает металл образцов

5.1 Сварочное оборудование как источник нагрева образцов и очистки поверхностей при пайке

Для получения спая, т.е. связи на границе основной металл – припой, наряду с нагревом необходимо обеспечить еще 2 условия: удалить с поверхности окисную пленку и обеспечить взаимодействие твердого и жидкого металла. Для этого нужно рассмотреть процесс сварки неплавящимся вольфрамовым электродом, при котором идет разрушение оксидной пленки на поверхности металла.

Оксидная пленка на алюминии, мешающая сплавлению свариваемых кромок, разрушается без применения флюсов только на поверхности катодного пятна за счет катодного распыления [16, 17]. Оксидная пленка разрушается при сварке на постоянном токе обратной полярности. При сварке на постоянном токе на электроде выделяется большое количество тепла, тем самым идет интенсивное расплавление вольфрама.

При сварке на прямой полярности пленка оксидов не разрушается, вследствие чего сплавление свариваемых кромок затруднено и получить сварное соединение высокого качества не представляется возможным. В связи с этим дуговую сварку алюминия и его сплавов неплавящимся электродом в среде защитных газов выполняют на переменном токе [16, 17].

Для остальных металлов, используемых в исследовании (сплав ОТ-4 и 12Х18Н9Т), разрушение оксидной пленки происходит при постоянном токе прямой полярности.

Начальное возбуждение дуги производится автоматически с помощью генератора высокой частоты типа ОСППЗ-300-2, включенного параллельно дуговому промежутку (рисунок 5.1). Техническая характеристика генератора ОСППЗ-300-2 приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Техническая характеристика генератора высокой частоты ОСППЗ-300-2

Наименование параметра	Величина и единица измерения параметра
Напряжение сети	220 В (+10% - 7%) U_c
Частота сети	50 Гц
Напряжение генератора на выходе	6,0 – 7,0 кВ
Частота генератора на выходе	200 кГц
Номинальная мощность	44 Вт
Габаритные размеры	250 x 170 x 110 мм
Масса	6 кг

5.2 Методика проведения исследований сварочных свойств установки для пайки

Объектом исследования является паяное соединение или отдельная капля припоя на образцах из алюминиевого сплава отечественного производства марки АМг6, сплав титана ОТ-4, а также высоколегированная сталь марки 12Х18Н9Т. В качестве припоя будут взяты: оловянно-свинцовый припой марки ПОС-61, припой марки П-81, и БрКМц-3-1

Для проведения исследований по пайке изделий с помощью сварочной установки был собран стенд для аргодуговой сварки неплавящимся

вольфрамовым электродом состоящий из: сварочной установки BRIMA TIG 200P, горелки для аргодуговой сварки фирмы BRIMA TS-20, генератор высокой частоты ОСППЗ-300-2 (рисунок 5.1). Также в цепь включен осциллограф для наблюдения формы тока во время пайки.

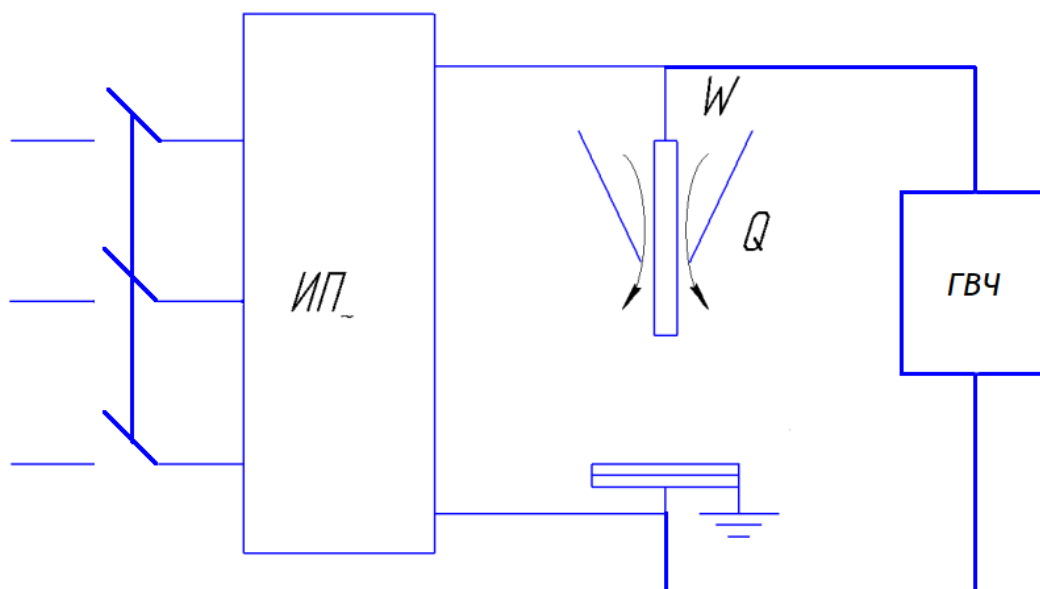


Рисунок 5.1 – Схема поста для пайки сварочной установкой BRIMA TIG 200P

Для контроля параметров пайки: сила тока (I), напряжения (U), времени (t), расход защитного газа ($Q_{\text{заш}}$), используются следующие приборы и регистраторы:

-амперметры, вольтметры электромагнитной и магнитоэлектрической системы;

-осциллограф типа С-55;

-ротаметры типа РС-5.

Контроль параметров режима проводится с применением измерительных приборов по общеизвестной методике.

Контроль параметров паяных соединений: внешний осмотр.

Более подробные характеристики используемых материалов будут рассмотрены дальше.

Алюминиевый сплав АМг-6

Данный сплав алюминия с магнием обладает высокой пластичностью, а также средней прочностью. Материал обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей механической обрабатываемостью на станках, а также хорошо поддается обработке давлением. АМг-6 хорошо сваривается, но швы подвержены большей пористостью, по сравнению с сплавом АМг-3 и требуется дополнительная обработка.

Сплав применяется при производстве кузовов и рам вагонов, мачт в кораблестроении, корпусов и узлов подъемного оборудования. Так же применяется в строительстве, в частности при производстве деталей лифтов. Химический состав показан в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Химический состав алюминиевого сплава АМг-6 в %

Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Si	Ti	Cu	Be
0,1	5,8-6,8	0,5-0,8	0,4	0,4	0,4	0,02-0,1	-	<0,005

Титановый сплав ОТ-4

Сплав системы титан-алюминий-магний, применяется на деталях, работающих при высоких температурах (до 350°C) в течении длительного времени, также применяется в коррозионных средах из-за своей устойчивости.

Основные отрасли применения - это авиационная и химическая промышленность.

Термически не упрочняемый сплав.

Химический состав представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Химический состав титанового сплава ОТ-4 в %

Fe	C	Si	Mn	N	Ti	Al	Zr	O	H
до 0.3	до 0.1	до 0.12	0.8 - 2	до 0.05	91.83 - 95.4	3.5 - 5	до 0.3	до 0.15	до 0.012

Высоколегированный сплав 12Х18Н9Т

Данная марка нержавеющей стали распространена в различных сварных конструкциях. Применяется в конструкциях, работающих в контакте

с азотной кислотой и схожими окислительными средствами. Из данной марки стали изготавливают теплообменное, емкостное и другое оборудование. Химический состав сплава представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Химический состав сплава 12X18Н9Т

Fe	Cu	Cr	P	S	Ni	Mn	Si	C
~67	до 0,3	17-19	до 0,035	до 0,2	8-9,5	до 2	до 0,8	до 0,12

Далее будут рассмотрены припой и флюсы для исследования возможностей установки BRIMA TIG 200P.

Оловянно-свинцовый припой ПОС – 61

Оловянно-свинцовый припой ПОС-61 является одним из самых распространенных и применяется во множестве соединений. Припой хорошо взаимодействует со множеством сплавов. За счет низкой температуры плавления (ниже 200°C) применяется в радиотехнике.

В продаже ПОС-61 имеется в двух вариантах: в виде присадочного прутка и проволоки намотанной на бобину (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Пример упаковочной формы припоя ПОС – 61

В исследовании была использована проволока сечением 1,5 мм. Химический состав припоя показан в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Химический состав оловянно-свинцового припоя ПОС-61 в %

Sn	Pb	Cu	Bi	As	Ni	Fe	Zn, Al	S
60-61	39-40	> 0,05	> 0,01	> 0,03	>0,02	>0,02	>0,002	>0,02

Медно-цинковый припой П-81

Данный припой относится к высокотемпературным, температура плавления находится в промежутке от 630°C до 660°C.

Основным направлением применения является ремонт труб из бронзы, меди или латуни. Также нашлось применение в различной технике, например в токоведущих проводах. Материал хорошо переносит как низкие температуры, так и высокие.

В продаже данный припой имеется в виде присадочных прутков с сечением от 0,5 мм до 3 мм (рисунок 5.3)



Рисунок 5.3 - Внешний вид поставляемых на продажу прутков припоя П-81

В исследовании были использованы кусочки припоя, размером 2 x 3,5 мм. Химический состав припоя показан в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Химический состав припоя П-81 в %

Марка припоя	Cu	P	Ni	Zn
П-81	53	6,5	6,5	34

Припой БрКМц3-1

Припой БрКМц3-1 является сплавом бронзы без олова. Сплав применяется для изготовления химических аппаратов, деталей для судостроения, пружин и сварных конструкций. За счет химических свойств имеет хорошую стойкость к коррозии. Сплав имеет высокое сопротивление сжатию и растяжению, за счет этих свойств его часто применяют для изготовления пружинящих деталей и непосредственно самих пружин.

Для исследований данный материал был выбран за счет своей температуры плавления 1080-1100°C, что можно отнести его к высокотемпературным. Для пайки была взята лента толщиной 0,8 мм. В исследовании данный сплав будет использоваться в качестве припоя на стали марки 12X18H9T. Химический состав сплава БрКМц3-1 будут рассмотрены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 - Химический состав припоя БрКМц3-1 в %

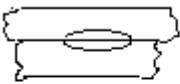

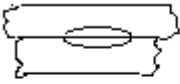

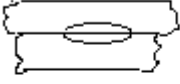

Марка припоя	Sn	Pb	Cu	Si	Mn	Ni	Fe	Zn
БрКМц3-1	до 0,25	до 0,03	94-96,3	2,7-3,5	1-1,5	до 0,2	до 0,3	до 0,5

5.3 Варианты паянных соединений

В исследовательской работе будут рассмотрены два варианта растекания припоя по поверхности металла: 1) растекание и смачивание по поверхности; 2) растекание и смачивание при нахлесточном соединении Н1. Размеры пластин основного металла для всех образцов 40 x 40 x S мм

Характеристики соединений с эскизами для исследований свойств сварочной установки BRIMA TIG 200P представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Варианты соединений для исследования

Сплав	S_1+S_2 , мм	Припой	Эскиз соединения	Примечание
АМг-6	1,0 + 1,0	ПОС-61		Нахлесточное соединение
	1,0			Припой на пластине
ОТ-4	1,2 + 1,2	П-81 БрКМц3-1		Нахлесточное соединение
	1,2			Припой на пластине
12Х18Н9Т	1,0 + 1,0	П-81 БрКМц3-1		Нахлесточное соединение
	1,0			Припой на пластине

5.4 Исследование процесса пайки при использовании дугового разряда

5.4.1 Образцы из сплава АМг-6

Первой партией образцов были пластины из сплава АМг-6 на которые был положен кусочек припоя ПОС-61 массой 2 грамма. Перед экспериментом образцы были зачищены от грязи и обезжирены. Сила тока была выбрана минимально возможная для установки BRIMA TIG 200P, а именно 10 А, пайка велась на переменном токе, расход аргона $Q = 7$ л/мин. Время горения дуги было выбрано в интервале от 1 до 10 секунд. Следили, за какое время расплавится припой и смочит поверхность металла, и через сколько возможен прожег или оплавление основного металла.

Первые образцы были пластинами с кусочками припоя на поверхности (рисунок 5.4).

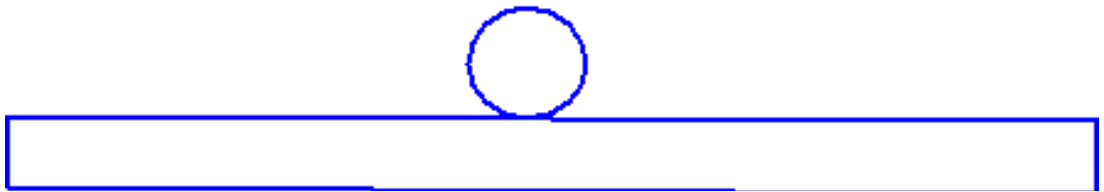


Рисунок 5.4 – Эскиз образцов для исследования

Образец № 1

Время горения дуги равно 1 секунде. Припой чуть оплавился, но не растекся по поверхности металла.

Образец № 2

Время горения дуги 2 секунды. Припой так же чуть расплавился но смочил поверхность.

Образец № 3

Время горения дуги 4 секунды. Припой расплавился, но не полностью растекся по поверхности, заметно смачивание поверхности металла.

Образец № 4

Время горения дуги 6 секунд. Припой полностью расплавился и смочил предполагаемую площадь образца (рисунок 5.5). Далее будет повышение времени чтобы понять, через сколько возможно оплавление основного материала.



Рисунок 5.5 – Растекания припоя на образце № 4

Образец № 5

Время горения дуги 8 секунд. Заметное начало оплавления основного металла. Дальнейшее повышение времени горения дуги не имеет значения, так-как будет дальнейшее разрушение пластины.

Вторая партия образцов АМг-6 были уже нахлесточные соединения (рисунок 5.6). Параметры дуги такие же как и в предыдущих опытах.

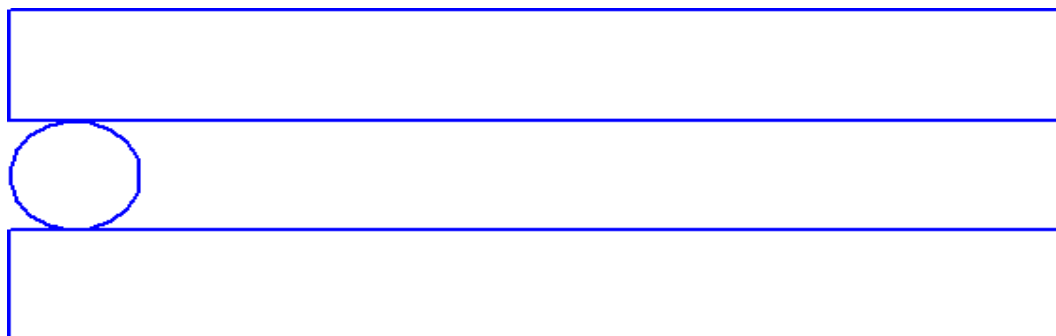


Рисунок 5.6 – Эскиз нахлесточного соединения

Образец № 6

Время горения дуги 4 секунды. Припой оплавился, но не растекся и не смочил поверхности основного металла.

Образец № 7

Время горения дуги 6 секунд. Припой не полностью расплавился, но смочил поверхность металла.

Образец № 8

Время горения дуги 8 секунд. Припой полностью расплавился и смочил поверхности металла. Заметно начало оплавления верхний пластины основного металла. Дальнейшее увеличение времени не принесет чего-то нового, следует уменьшить время горения дуги для лучшего результата.

Образец № 9

Время горения дуги 7 секунд. Припой полностью расплавился, смочил поверхность металла. Минимальное воздействие дуги на верхнюю пластину металла.

Оптимальные параметры пайки на установке BRIMA TIG 200P для образцов из сплава АМГ-6 показаны в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Параметры для смачивания припоя для образцов из сплава АМГ-6

№ п/п	Материал подложки		Припой		Режимы		
	Марка	Толщина на S, мм	Марка	Диаметр d, мм	Ток дуги, А	Время горения, с	Расход QAr л/мин
4	АМГ-6	1,0	ПОС-61	1,5	10	6	7
9	АМГ-6	1,0	ПОС-61	1,5	10	7	7

5.4.2 Образцы из сплава ОТ-4

Для серии образцов из сплава ОТ-4 с припоем П-81 было принято решение прибавить силу тока на 5 А, так как температура плавления припоя от 630°С до 660°С. Настраиваем источник питания на постоянный ток прямой полярности.

Аналогично предыдущим сериям опытов, сначала исследуем параметры для растекания припоя по поверхности основного металла, затем сделаем серию опытов с нахлесточным соединением.

Образец № 1

Время горения 4 секунды. Припой не оплавился.

Образец № 2

Время горения 6 секунд. Припой оплавился, но не смочил поверхность основного металла.

Образец № 3

Время горения дуги 8 секунд. Припой расплавился, но плохо смочил поверхность основного металла.

Образец № 4

Время горения дуги 10 секунд. Припой расплавился, но так и не смог хорошо смочить поверхность основного металла. Приходим к выводу, что дальнейшее использование данного припоя не имеет никакого смысла для данного способа пайки.

Серии опытов с образцами из сплава ОТ-4 с припоем БрКМц3-1 будем проводить на тех же параметрах, что и с припоем П-81.

Образец № 1

Время горения дуги 4 секунды. Припой оплавился, но не смочил поверхность металла.

Образец № 2

Время горения дуги 6 секунд. Припой оплавился и начинает смачивать поверхность образца.

Образец № 3

Время горения дуги 8 секунд. Припой расплавился и смочил основной металл (рисунок 5.7). Дальше не имеет смысл увеличивать время горения дуги.



Рисунок 5.7 – Растекание припоя после нагрева на образце № 3
 Далее будет серия экспериментов с нахлесточным соединением.

Образец № 4

Время горения дуги 6 секунд. Припой начал оплавляться, но не смочил поверхность металла.

Образец № 5

Время горения дуги 8 секунд. Припой оплавился, но не полностью растекся по поверхности металла.

Образец № 6

Время горения дуги 10 секунд. Припой расплавился, растекся по поверхности металла и смочил его, пайка произведена.

Оптимальные параметры пайки на установке BRIMA TIG 200P для образцов из сплава ОТ-4 показаны в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Параметры для смачивания припоя для образцов из сплава ОТ-4

№ п/п	Материал подложки		Припой		Режимы		
	Марка	Толщина на S, мм	Марка	Диаметр d, мм	Ток дуги, А	Время горения, с	Расход QAr л/мин
3	ОТ-4	1,2	БрКМц3-1	0,8	15	8	7
6	ОТ-4	1,2	БрКМц3-1	0,8	15	10	7

5.4.3 Образцы из сплава 12X18Н9Т

Для серии образцов из сплава 12X18Н9Т было принято решение оставить параметры как для образцов из сплава ОТ-4. Первые опыты будут проводиться с припоем П-81. Аналогично предыдущим – сначала проверяем растекаемость и смачиваемость по поверхности основного металла, затем нахлесточное соединение.

Образец № 1

Время горения дуги 4 секунды. Припой не оплавился.

Образец № 2

Время горения 6 секунд. Припой оплавился, но не смочил поверхность.

Образец № 3

Время горения 8 секунд. Припой расплавился, но не смочил поверхность металла (рисунок 5.8). Дальнейшие опыты не имеют смысла



Рисунок 5.8 – Припой не растекся по поверхности образца № 3
Переходим на серию опытов с использованием припоя БрКМц3-1.

Образец № 1

Время горения дуги 4 секунды. Припой оплавился и начинает смачивать поверхность металла.

Образец № 2

Время горения дуги 6 секунд. Припой больше оплавился и растекается по поверхности металла.

Образец № 3

Время горения дуги 8 секунд. Припой расплавился и смочил поверхность пластины образца (рисунок 5.9)



Рисунок 5.9 – Растекание припоя при нагреве в образце № 3

Далее переходим на опыты с нахлесточным соединением.

Образец № 4

Время горения дуги 4 секунды. Припой не оплавился.

Образец № 5

Время горения дуги 6 секунд. Припой начинает расплавляться и смачивать верхнюю пластину образца.

Образец № 6

Время горения дуги 8 секунд. Припой оплавился и смочил обе пластины нахлесточного соединения.

Образец № 7

Время горения 10 секунд. Припой полностью расплавился и смочил обе пластины нахлесточного соединения. Можно сказать, что пайка состоялась.

Из всех вышеперечисленных опытов с припоем БрКМц3-1 выделим два оптимальных параметра для пайки сварочной установкой BRIMA TIG 200P и укажем их в таблице 5.11.

Таблица 5.11– Параметры для смачивания припоя для образцов из сплава 12X18Н9Т

№ п/п	Материал подложки		Припой		Режимы		
	Марка	Толщи на S, мм	Марка	Диаметр d, мм	Ток дуги, А	Время горения, с	Расход QAr л/мин
3	12X18Н9Т	0,2	БрКМц3-1	0,8	15	8	7
7	12X18Н9Т	0,2	БрКМц3-1	0,8	15	10	7

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при использовании малых значений силы тока на сварочной установке BRIMA TIG 200P возможна пайка в режиме аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом свободной дугой в среде аргона. Энергии дуги достаточно для очистки поверхности основного металла и его подогреве, что способствует расплавлению и смачиванию припоем.

Для получения более лучшего паяного соединения рекомендуется использовать флюсы для пайки. Это даст гарантию активации поверхности под пайку, что благотворно скажется на качестве получаемого соединения.

В серии экспериментов не было цели рассмотреть влияние формы тока на расплавление и смачивание припоя, так как это потребует дополнительных исследований. Мы рассмотрели возможность установки BRIMA на саму возможность получения паяного соединения.

Также на пайку может влиять и форма заточки вольфрамового электрода, что сказывается на размер и глубину прогрева припоя и основного металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования были изучены характеристики и параметры сварочной установки BRIMA TIG 200P AC/DC.

Установлена и замерена внешняя вольтамперная характеристика источника питания, и построен её график. Была рассмотрена комплектация поставляемой установки.

В ходе исследования была произведена наплавка образцов на различные сплавы углеродистой стали двумя типами покрытых электродов на различных параметрах сварки. В ходе экспериментов были установлены оптимальные параметры характеристик установки для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Далее была рассмотрена аргонодуговая сварка алюминиевых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона свободной дугой. Были подобраны параметры, при которых сварной шов получался наиболее качественным. Была определена форма тока, при которой режим сваркой непрерывной дугой позволял получить сварные швы, без проявления дефектов и прочих факторов влияющих на технические характеристики соединения.

Для полноты картины, были проведены серии экспериментов сваркой точками на материале из алюминиевого сплава. Данная сварка также была аргонодуговая с неплавящимся вольфрамовым электродом, но уже с сжатой дугой. Для этого стандартная горелка была заменена на плазмотрон. Схема сварного поста так же была изменена – был добавлен генератор тока высокой частоты. При сварке точками были определены параметры сварки, при которых металл сваривается без существенных дефектов.

В конце была рассмотрена возможность использования сварочной установки для проведения пайки. Был выбран режим аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом со свободной дугой в среде аргона.

Пайка производилась на минимальных мощностях. Было установлено, что сварочная дуга разрушает оксидную пленку на основном металле, расплавляет припой и даёт возможность смочить поверхность. Экспериментальным путем были подобраны режимы сварки, для каждого материала и припоя.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что сварочная установка BRIMA TIG 200P AC/DC возможна в использовании не только как источник питания для ручной дуговой сварки и сварки неплавящимся электродом, но и как установка для пайки и сварки сжатой дугой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 25616-83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств. – М.: Государственный стандарт, 1983. – 17 с.
2. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: справочник [Текст] / под ред. Дж.Е. Хэтча и Н.Н. Фридляндера. – М.: Metallургия, 1989. – 328 с.
3. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) [Текст]: справочник. – Пер. с нем. – М.: Metallургия, 1979. - 679
4. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metallicheckiy-portal.ru>. (Дата обращения 01.05.2019).
5. ТД Черметком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chermet.com>. (Дата обращения 01.05.2019).
6. Сварка сплавов на основе алюминия и тугоплавких высокоактивных металлов: Учеб. пособие / М.Д. Щипков. – Л.: ЛПИ, 1983. – 80 с.
7. Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов (РД 03-614-03). Серия 03. Выпуск 29. – 2-е изд., испр. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 64 с.
8. Короткова Г.М. Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов [Текст] : монография / Г.М. Короткова. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 335 с.
9. Белов А.С. Земные нужды крылатого металла [Текст] / А.С. Белов. – М. : Известия, 1982. – 144 с.
10. Busz – Peukert, G. and Finkelnburg W. Theormische Lichtbogen hoher Temperatur und nidriger Brunnspannung [Текст] // Z.f. Physik. – 1954. – Bd. 138. – С. 212.

11. Mayr, O. Beitrag zur Theorie der statischen und dynamischen Lichtbogen [Текст] / O. Mayr // AfE. 1943. – Bd. 37. – P. 588
12. Wroiti K.S. Shielding gas mixtures for mig. «Welding aluminium alloys» [Текст]. Dayton, 1965
13. Теория сварочных процессов: учебник для вузов / под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
14. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением./ Под ред. Б.Е. Патона, М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
15. Конструкционные материалы. Т. 1 и 2 / Под ред. А.Т. Туманова. М.: Советская энциклопедия. 1963, 1964. 824 с., ил.
16. Потапьевский А.Г. Сварка в защитном газе плавящимся электродом [Текст] /А.Г. Потапьев. - М.: Машиностроение, 1974. – 234 с.
17. Киселев С.Н. и др. Газоэлектрическая сварка алюминиевых сплавов [Текст] / С.Н. Киселев. - М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
18. Сварочные электроды – классификация, виды, типы электродов. Сварка в защитных газах. Автоматическая сварка под флюсом [Электронный ресурс]. – URL.: <http://www.svarkainfo.ru/rus/technology>, свободный. – Загл. С экрана.
19. Теория сварочных процессов: учеб. для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочн. пр-ва» / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
20. Сварка в машиностроении. Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, 1978.
21. Сварочные трансформаторы, установки, выпрямители: Метод. Указания к лаб. Работам / Сост. Г.М. Короткова – Тольятти: ТГУ, 1988.
22. Козулин М.Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: Учебн. пособие для вузов. – Тольятти: ТГУ, 2002. – 280 с.
23. Справочник по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480 с.

24. Проектирование технологии пайки металлических изделий: Справочник. С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко, И.Г. Нагапетян и др. М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
- 25.
25. Schaefer R.P., Flynk I.E., Dayle I.R. – Welding Journ. September, 1971. V. 50, № 9, p. 394S – 396S
26. Brooker H.R., Beatson E.V.: London, Jiffie K° Sons Ltd, 1972. II Edition. 512 p.
27. Aspen R.G., Feduska W. – Welding Journal, 1959, Bd, 37., №3. S. 125 – 128.
28. ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения. - М.: Государственный стандарт, 1979. – 22 с.
29. Николаев Г.А., Киселев А.И. Справочник по пайке / Под ред. С.И. Лоцманова, И.Е. Петрунина, В.П. Фролова. М.: Машиностроение, 1975. 407 с., ил.
30. Свойства элементов: Справочник, 2-е изд. Ч. 1. Физические свойства / Под ред. Г.В. Самсонова. М.: Металлургия, 1976. 598 с.
31. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Государственный стандарт, 1981. – 33 с.
32. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Государственный стандарт, 1977. – 37 с.
33. ГОСТ Р МЭК 60974-1-2012. Оборудование для дуговой сварки. Часть 1. Источники сварочного тока. – М.: Стандартинформ, 2014. – 81 с.
34. Барсуков А.В., Музалевский Н.Г. – Сварочное производство, 1977, №6, с. 7 – 9.
35. Горностаев И.М. Влияние параметров колебательного контура осциллятора на длительность ионизации дугового промежутка : сб. науч. трудов XIV научно-технической конф. «Сварка-пайка-обработка металлов

давлением» / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. – Тольятти : Изд-во ТГУ,2019. – с. ...