

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# СВАРКА КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
15.03.01 «Машиностроение»  
дневной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 621.791  
ББК 30.61  
С80

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «30» августа 2022 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. С. Н. Емельянов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Сварка концентрированными потоками энергии» предназначены для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

## СВАРКА КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции машины и исследование процесса ультразвуковой сварки пластмасс.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Изучение конструкции машины и исследование процесса ударно-конденсаторной сварки.....	9
3 Лабораторная работа № 3. Изучение конструкции машины и исследование процесса точечной конденсаторной микросварки.....	13
4 Лабораторная работа № 4. Изучение конструкции машины и исследование процесса сварки трением.....	22
5 Лабораторная работа № 5. Технологические особенности микроплазменной сварки и резки. Выбор параметров режима сварки.....	25
Список литературы.....	30

# 1 Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции машины и исследование процесса ультразвуковой сварки пластмасс

*Цель работы:* освоение технологии ультразвуковой сварки пластмасс.

## 1.1 Краткие теоретические сведения по теме

**Ультразвуковая сварка (УЗС)** – это сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний. Сварные соединения в твердом состоянии образуются за счет возбуждения в свариваемых деталях упругих колебаний ультразвуковой частоты при одновременном воздействии усилия сжатия.

Необходимые условия для образования соединения создаются в результате механических колебаний ультразвукового преобразователя. В зоне контакта свариваемых материалов происходит разрушение окисных пленок и адсорбированных частиц пыли и газов. Энергия вибрации создает сложные напряжения растяжения, сжатия и среза. При превышении предела упругости соединяемых материалов в зоне их соприкосновения в результате пластической деформации и диспергирующего действия ультразвука происходит удаление адсорбированных пленок жидкости, газов, органических пленок и поверхностных окислов. Образуются первичные «мостики схватывания». При дальнейшем воздействии ультразвуковых колебаний мостики разрастаются, образуя сплошное неразъемное соединение.

В настоящее время существуют различные схемы, по которым может осуществляться ультразвуковая сварка полимерных материалов. Это обусловлено разнообразием свойств и структуры свариваемых материалов, конфигурации и размеров деталей, требований, предъявляемых к сварным швам и свариваемому изделию в целом. В результате классификация схем ультразвуковой сварки пластмасс сильно осложняется. Полная классификация схем ультразвуковой сварки пластмасс должна производиться с учетом всех основных признаков. К этим признакам относятся:

- подвод энергии механических колебаний к свариваемому изделию;
- передача механической энергии к зоне сварки;
- концентрация энергии в зоне сварки;
- дозирование вводимой энергии;
- взаимное перемещение сварочного инструмента и свариваемых деталей для получения швов необходимой конфигурации и протяженности.

Классификация схем ультразвуковой сварки с учетом этих признаков приведена на рисунке 1.1.

Для ультразвуковой микросварки применяют две колебательные системы: продольную и поперечную (рисунок 1.2).

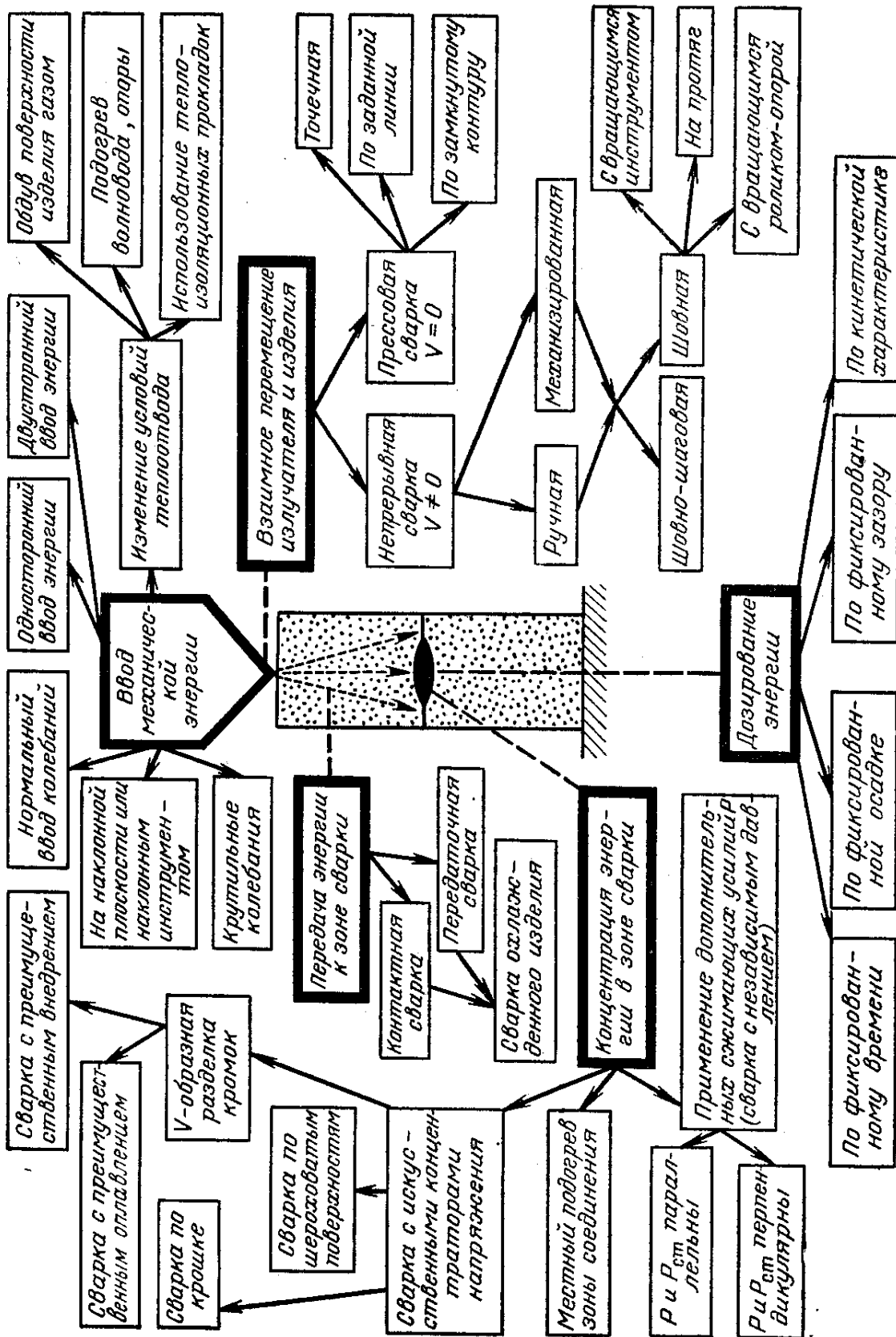
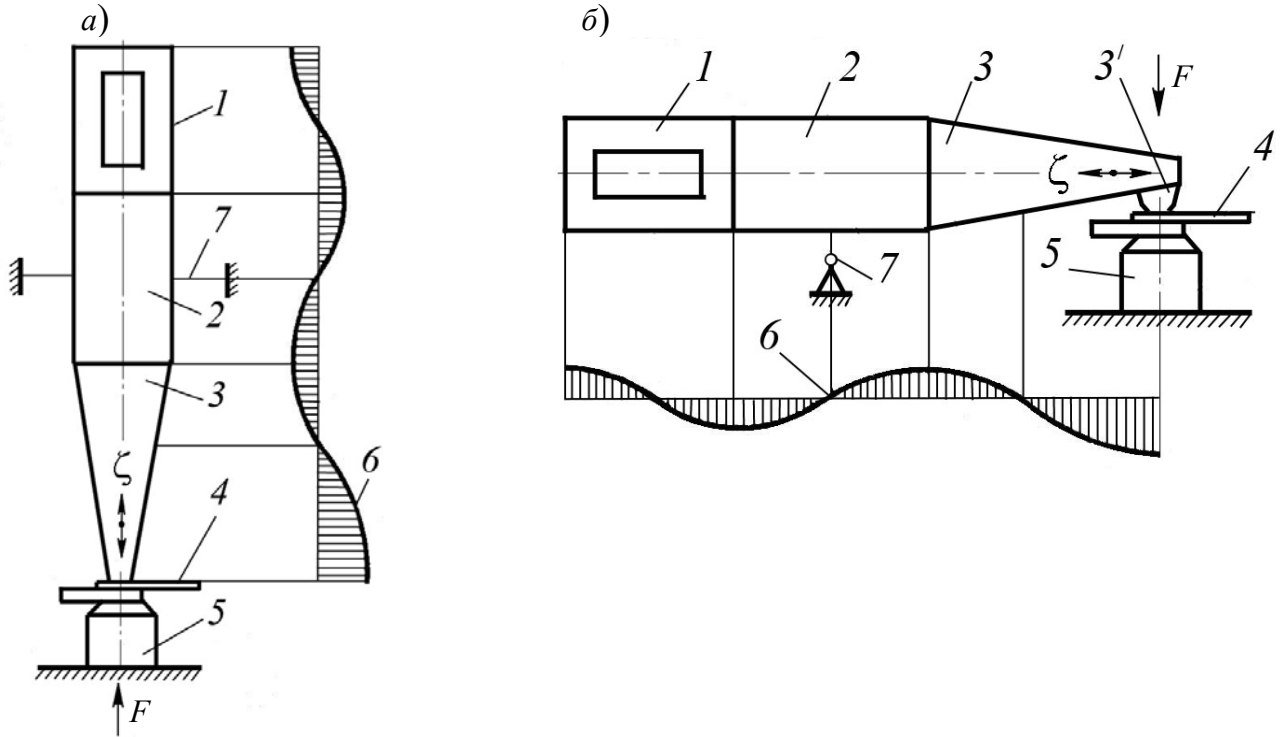


Рисунок 1.1 – Классификация схем ультразвуковой сварки

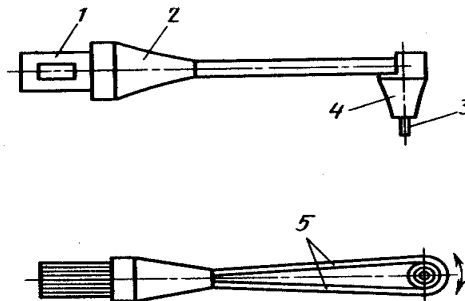


1 – магнитострикционный преобразователь; 2 – волновод; 3 – сварочный инструмент; 3' – электрод; 4 – свариваемые детали; 5 – опора; 6 – амплитуда колебаний; 7 – акустическая развязка;  $F$  – усилие сжатия

Рисунок 1.2 – Ультразвуковые колебательные системы для микросварки

По характеру ввода колебаний в свариваемые детали различают следующие схемы: поперечная – перпендикулярно поверхности деталей (см. рисунок 1.2, а), параллельно поверхности с использованием продольной колебательной системы (см. рисунок 1.2, б).

В некоторых случаях ультразвуковая микросварка осуществляется с использованием системы с крутильными колебаниями. Устройство для получения таких колебаний представлено на рисунке 1.3.



1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – инструмент; 4 – концентратор крутильных колебаний; 5 – волновод продольных колебаний

Рисунок 1.3 – Устройство для преобразования колебаний с помощью волновода крутильных колебаний

При ультразвуковой микросварке температура нагрева в зоне контакта не превышает 30 %...50 % от температуры плавления соединяемых материалов. Это позволяет использовать ее для соединения чувствительных к нагреву и трудносвариваемых разнородных материалов, а также материалов разных толщин (тонкая проволока может быть присоединена как к тонкой фольге, так и к металлу большой толщины).

Сущность процесса сварки термопластических масс состоит в сближении макромолекул соединяемых поверхностей на расстояние, при котором возникают силы межмолекулярного взаимодействия. Образованию соединения способствуют перемешивание вязкого расплава, а также диффузионные процессы по границам микрообъемов.

УЗС характеризуется малой энергоемкостью, легко поддается автоматизации, является высокоэффективным технологическим процессом.

Разработка технологии УЗС состоит из следующих основных пяти этапов:

- 1) предварительная оценка возможности получения сварного соединения;
- 2) оценка энергетических затрат при сварке и энергетических возможностей источника ультразвуковых колебаний;
- 3) расчет параметров режима сварки;
- 4) проверка результатов расчета экспериментальными методами;
- 5) выдача рекомендаций, заполнение карты технологического процесса сварки.

К основным технологическим параметрам режима точечной ультразвуковой сварки относятся:

- 1) амплитуда колебаний рабочего торца инструмента  $\xi_{св} = f(\tau)$ ;
- 2) усилие сжатия при сварке  $F_{св} = f(\tau)$ ;
- 3) длительность включения ультразвуковых колебаний  $\tau_{св}$ ;
- 4) форма и размеры инструмента;
- 5) время проковки (для сварки сталей)  $\tau_{ков}$ .

Циклограмма процесса УЗС одной точки представлена на рисунке 1.4.

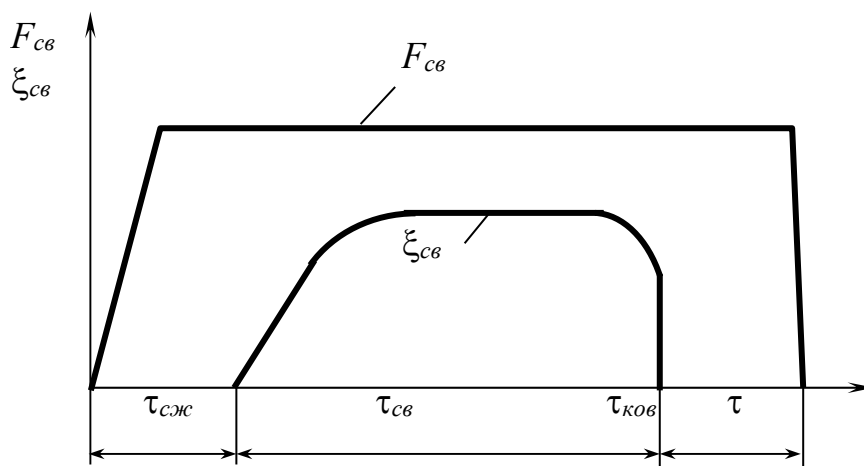


Рисунок 1.4 – Циклограмма процесса ультразвуковой сварки

## 1.2 Оборудование и материалы

- 1 Машина для ультразвуковой сварки.
- 2 Мерительная линейка.
- 3 Штангенциркуль.
- 4 Набор слесарного инструмента.
- 5 Образцы для сварки.

## 1.3 Последовательность выполнения работы

- 1 Изучить конструкцию и назначение основных узлов, машины.
- 2 Исследовать взаимодействие узлов машины на «холостом» ходу и в рабочем режиме.
- 3 Открыть вентили, подводящие сжатый воздух и воду.
- 4 Подать напряжение на машину.
- 5 С помощью регулятора давления установить давление воздуха.
- 6 Включить ультразвуковой генератор, проверить правильность установки параметров ультразвуковых колебаний.
- 7 Настроить машину на ориентировочный режим в зависимости от марки и толщины пластмассы.
- 8 Подготовить образцы для сварки.
- 9 Произвести сварку на настроенном режиме.
- 10 По указанию руководителя, подобрать режим, при котором образуется непровар, и произвести сварку нескольких образцов. Разрушить их, результаты измерений и наблюдений занести в таблицу 1.1.
- 11 Подбором параметров режима добиться получения прочного соединения. Разрушить образцы, результаты измерений и наблюдений занести в таблицу 1.1. На каждом режиме сварить не менее трех образцов.
- 12 Испытать сваренные образцы на отрыв.
- 13 Построить зависимости  $P_{cp} = f(F_{св})$ ;  $P_{cp} = f(\tau_{св})$ .

Таблица 1.1 – Результаты измерений и наблюдений

Порядковый номер	$F_{св}$ , Н	$\tau_{св}$ , с	$\tau_{ков}$ , с	Частота УЗК, кГц	$P_{cp}$ , Н

## 1.4 Содержание отчета

- 1 Марка и назначение узлов изученной машины.
- 2 Таблица результатов УЗС.
- 3 Циклограмма процесса УЗС.
- 4 Графические зависимости.
- 5 Выводы по работе.



### Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные узлы машины для УЗС, их назначение.
- 2 Назовите основные параметры режима сварки.
- 3 Причины образования дефектов при УЗС.
- 4 Объясните порядок настройки ультразвукового генератора и самой машины на заданный режим.
- 5 Техника безопасности при работе на машине для УЗС.

## 2 Лабораторная работа № 2. Изучение конструкции машины и исследование процесса ударно-конденсаторной сварки

**Цель работы:** освоение технологии ударно-конденсаторной сварки.

### 2.1 Краткие теоретические сведения по теме

Конденсаторная сварка является самым распространенным способом сварки аккумулированной энергией.

Сварка аккумулированной энергией – это технологический процесс, при котором сварное соединение металлов осуществляется за счет джоулевой теплоты или теплоты при дуговом разряде, выделяемой сварочным током, который получается при использовании заранее накопленного количества энергии.

Бестрансформаторная конденсаторная сварка осуществляется разрядом батареи конденсаторов  $C_p$  непосредственно на свариваемые детали 1 и 2, закрепленные в электродном устройстве машины 3. Из всех способов бестрансформаторной конденсаторной сварки широкое применение нашла ударная конденсаторная сварка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2.1.

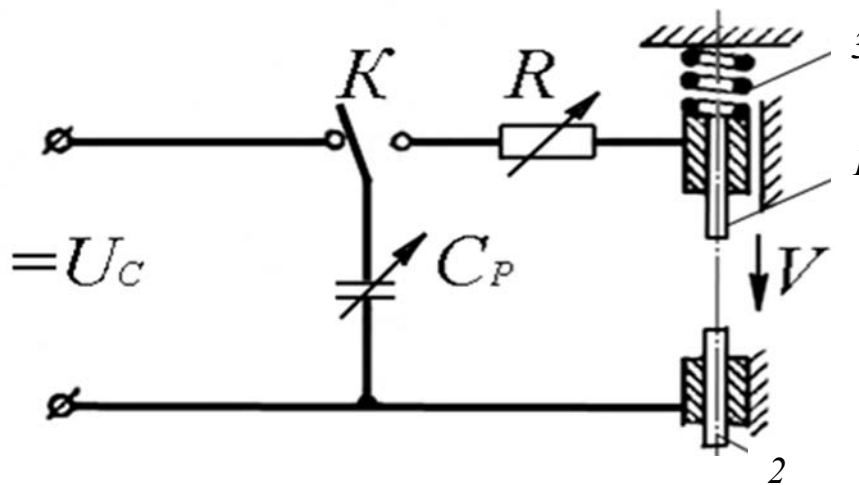


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема конденсаторной бестрансформаторной сварки

Как следует из рисунка 2.1, источник зарядки при нахождении коммутатора  $K$  в левом положении заряжает батарею конденсаторов  $C_p$  до установленного напряжения  $U_c$ . При этом в батарее конденсаторов аккумулируется энергия  $W_c$ , Дж:

$$W_c = \frac{C_p \cdot U_c^2}{2}, \quad (2.1)$$

где  $C_p$  – емкость батареи конденсаторов, Ф;

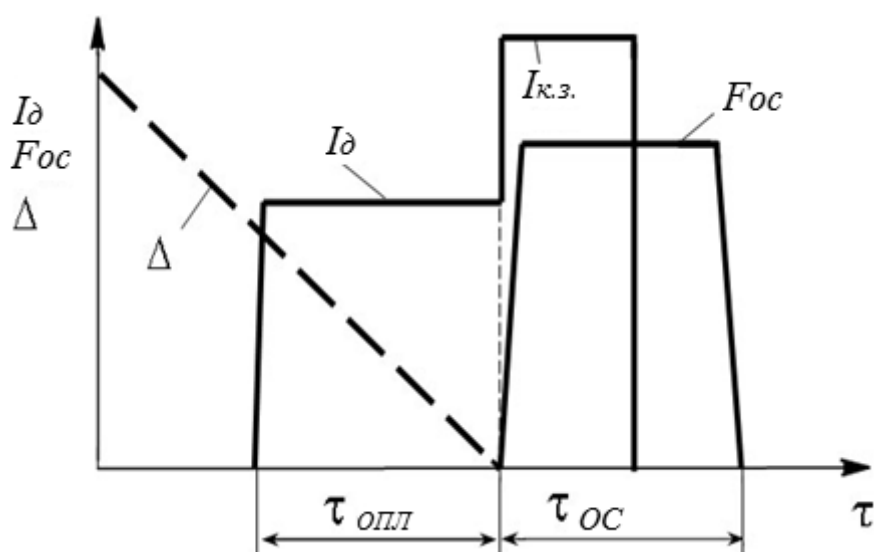
$U_c$  – напряжение зарядки батареи конденсаторов, В.

После зарядки батареи конденсаторов коммутатор устанавливается в правое положение, и батарея  $C_p$  разряжается. Формула (2.1) показывает, что при конденсаторной сварке энергия  $W_c$  может регулироваться изменением емкости батареи конденсаторов и напряжения ее зарядки.

Процесс УКС можно разделить на три стадии:

- 1) возбуждение дуги;
- 2) горение дуги, во время которого происходят нагрев стыкуемых поверхностей и их очистка от пленки окислов и адсорбированных газов;
- 3) осадка свариваемых деталей, при которой расплавленный металл полностью или частично удаляется из зоны стыка.

Циклограмма процесса УКС представлена на рисунке 2.2.



$I_d$  – ток дуги;  $I_{к.з.}$  – ток короткого замыкания;  $F_{ос}$  – усилие осадки;  $\Delta$  – величина зазора между свариваемыми деталями;  $\tau_{опл}$  – время горения дуги;  $\tau_{ос}$  – время осадки

Рисунок 2.2 – Циклограмма процесса УКС с предварительным зазором между свариваемыми деталями

В последнее время в промышленности широко используется способ УКС шпилек и болтов. Он позволяет осуществлять T-образные соединения при соотношении диаметра свариваемых деталей и толщины листа до 10:1 и обеспечивает высокую производительность и стабильность качества

соединений.

С целью создания благоприятных условий для возбуждения дуги на торце шпильки (болта) сечением  $3...50 \text{ мм}^2$  делается выступ. Форма выступа может быть различной: цилиндрической, конической или сферической, но во всех случаях его сечение должно быть достаточно малым для успешного протекания процесса сварки, три стадии которого показаны на рисунке 2.3.

В соответствии с положением деталей перед началом оплавления различают сварку шпилек с предварительным контактом со второй свариваемой деталью (см. рисунок 2.3, а) и с предварительным зазором между ними (см. рисунок 2.3, б).

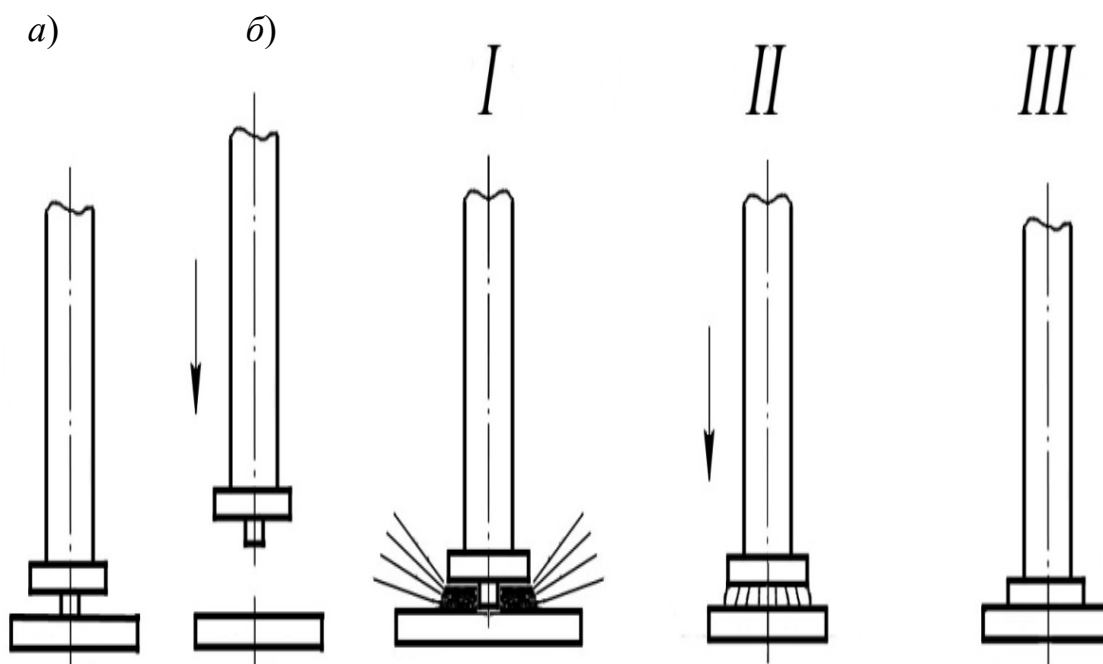


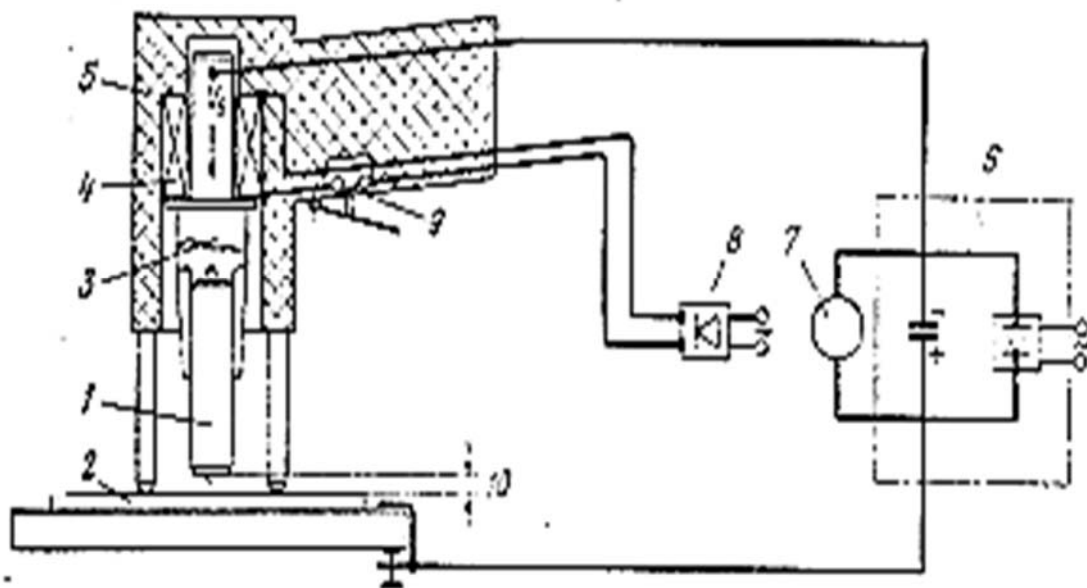
Рисунок 2.3 – Стадии процесса ударной конденсаторной сварки шпилек

Ударно-конденсаторной сваркой свариваются низкоуглеродистые и низколегированные стали, высоколегированные хромистые стали, цветные металлы (алюминий), сплавы цветных металлов (медные и алюминиевые сплавы).

Установка для ударно-конденсаторной приварки болтов показана на рисунке 2.4.

## 2.2 Оборудование и материалы

- 1 Машина для ударно-конденсаторной сварки.
- 2 Мерительная линейка.
- 3 Штангенциркуль.
- 4 Набор слесарного инструмента.
- 5 Образцы для сварки.



1 – болт; 2 – подкладка; 3 – зажим; 4 – пружина для выполнения удара; 5 – ручной сварочный пистолет; 6 – зарядная часть конденсатора; 7 – панель зарядного напряжения; 8 – размыкатель; 10 – зазор болта

Рисунок 2.4 – Установка для ударно-конденсаторной приварки шпилек и болтов

### 2.3 Последовательность работы

- 1 Изучить конструкцию и назначение основных узлов машины.
- 2 Исследовать взаимодействие узлов машины на «холостом» ходу и в рабочем режиме.
- 3 Подать напряжение на машину.
- 4 Настроить машину на ориентировочный режим в зависимости от марки и диаметра болта.
- 5 Произвести сварку на настроенном режиме.
- 6 Разрушить сваренный образец, оценить качество сварки. Внести поправки в подобранный режим.
- 7 Освоить технику выполнения УКС болтов и исследовать влияние параметров режима на качество соединения.
- 8 Подготовить образцы для сварки.
- 9 По указанию руководителя, подобрать режим, при котором образуется непровар, и произвести сварку нескольких образцов. Разрушить их, результаты измерений и наблюдений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и наблюдений

Порядковый номер	$U_c$ , В	$C_p$ , мкФ	Площадь отрыва, см <sup>2</sup>	$F_{отр}$ , Н	Характер разрушения соединения
1					
2					

## **2.4 Содержание отчета**

- 1 Марка изученной машины.
- 2 Назначение узлов машины.
- 3 Циклограмма процесса УКС
- 4 Принципиальная схема УКС.
- 5 Таблица результатов УКС и испытаний.
- 6 Графические зависимости  $F_{отр} = f(U_c)$ ,  $F_{отр} = f(C_p)$ .
- 7 Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Перечислите основные узлы машины для УКС, их назначение.
- 2 Назовите основные параметры режима сварки.
- 3 Причины образования дефектов при УКС.
- 4 Объясните порядок настройки машины на заданный режим.
- 5 Техника безопасности при работе на машине для УКС.

## **3 Лабораторная работа № 3. Изучение конструкции машины и исследование процесса точечной конденсаторной микросварки**

**Цель работы:** изучение взаимодействия основных функциональных узлов и блоков машины для конденсаторной микросварки и зависимости формы кривой сварочного тока от параметров его регулирования, освоение техники выполнения точечной микросварки.

### **3.1 Оборудование и материалы**

- 1 Машина для точечной конденсаторной микросварки.
- 2 Описание машины с поясняющими чертежами и схемами.
- 3 Осциллограф.
- 4 Штангенциркуль.
- 5 Пластины из сталей толщиной 0,2...0,5 мм.
- 6 Ацетон для обезжиривания образцов.
- 7 Плоскогубцы.

### **3.2 Краткие теоретические сведения**

**Контактная конденсаторная сварка** – это способ сварки металлов аккумулярованной энергией, при котором их неразъемное соединение образуется за счет выделения тепла во время прохождения сварочного тока (возникающего при использовании заранее накопленной в конденсаторах электрической энергии) через зону контактирования свариваемых деталей. Она

является наиболее известным и распространенным способом сварки аккумулированной энергией.

Принципиальная схема взаимосвязи аккумулирующей системы (рабочая батарея конденсаторов емкостью  $C_p$ , заряженная до напряжения  $U_c$ ) с источником зарядки  $ИЗ$  и сварочным контуром  $СК$  (сварочной цепью) при всех способах конденсаторной сварки имеет вид, представленный на рисунке 3.1.

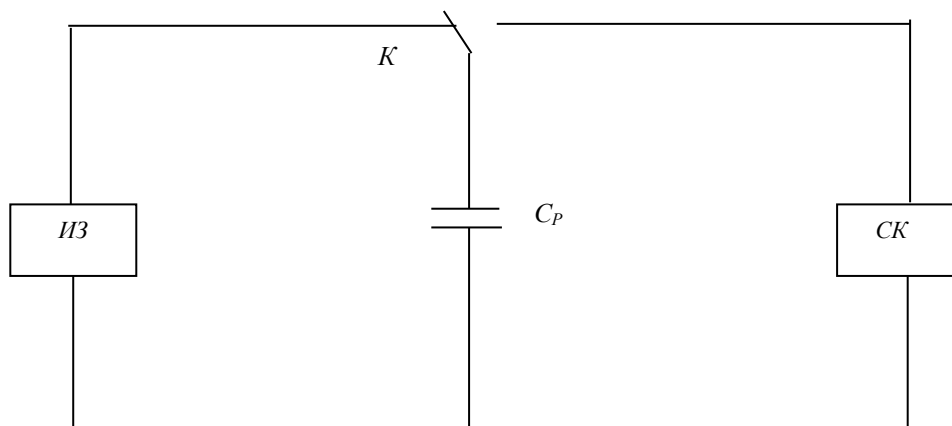


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема взаимосвязи аккумулирующей системы  $C_p$  с источником зарядки  $ИЗ$  и сварочным контуром  $СК$

Зарядка конденсатора  $C_p$  (левое положение коммутатора  $K$ ) до напряжения  $U_c$  обуславливает аккумулирование в нем энергии  $W_c$ , Дж:

$$W_c = \frac{C_p \cdot U_c^2}{2}, \quad (3.1)$$

где  $C_p$  – емкость батареи конденсаторов, Ф;

$U_c$  – напряжение зарядки батареи конденсаторов, В.

Из приведенной формулы следует, что энергия  $W_c$  может регулироваться изменениями емкости конденсаторов и напряжения их зарядки, а также одновременно изменениями  $C_p$  и  $U_c$ .

Различают две разновидности контактной конденсаторной сварки: **бестрансформаторную сварку**, когда конденсатор разряжается непосредственно на свариваемые детали, и **трансформаторную сварку**, когда конденсатор разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора, а свариваемые детали находятся во вторичной его цепи. Контактная трансформаторная конденсаторная сварка обычно выполняется как сварка сопротивлением.

Энергетическим преимуществом конденсаторной сварки является менее значительная по сравнению со сваркой на однофазных машинах переменного тока мощность, потребляемая из сети. Например, для точечной сварки латуни толщиной (0,7 + 0,7) мм нужна однофазная машина переменного тока мощностью 25...30 кВ·А, а для конденсаторной – только 0,6...0,8 кВ·А.

Конденсаторная сварка имеет и ряд технологических преимуществ.

Основные из них следующие:

– в конденсаторах накапливается точно контролируемое при каждой сварочной операции количество электрической энергии, что имеет важное значение для получения качественных соединений из тонких и ультратонких материалов (вплоть до тысячных долей миллиметра);

– возможность получения неразъемных соединений металлических деталей при огромной разнице в их толщине или диаметрах (например 10000 : 1 и более), а также при их различных теплофизических свойствах;

– возможность получения различных по форме импульсов сварочного тока, что обеспечивает высокое качество соединений из разнородных и трудно-свариваемых материалов;

– благодаря применению жестких режимов сварки повышается стойкость электродов;

– кратковременность процесса конденсаторной сварки и высокая стабильность качества соединений позволяют создавать высокопроизводительное оборудование.

Наиболее проста и часто применяется точечная трансформаторная конденсаторная сварка с двусторонним расположением электродов листов 2 равных и неравных толщин (рисунок 3.2, *а–г*). По схемам *а* и *б* широко применяется точечная микросварка металлов и сплавов толщиной до  $(0,7 + 0,7)$  мм. На рисунке 3.2, *в* приведена схема точечной сварки пакетов из трех и более деталей. Для исключения вмятин на лицевой поверхности изделия рекомендуется применять электрод 1 или 3 с большой контактной поверхностью. При использовании схем, представленных на рисунке 3.2, *г*, *д*, можно получить две одновременно образующиеся точки. Электрод 3 выполнен со сдвоенными частями-вставками.

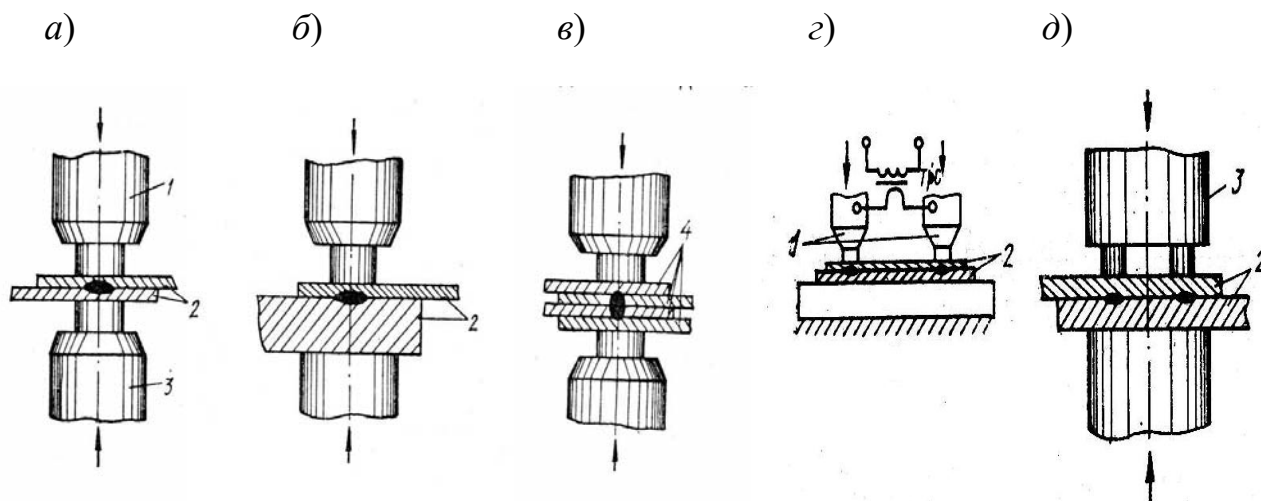
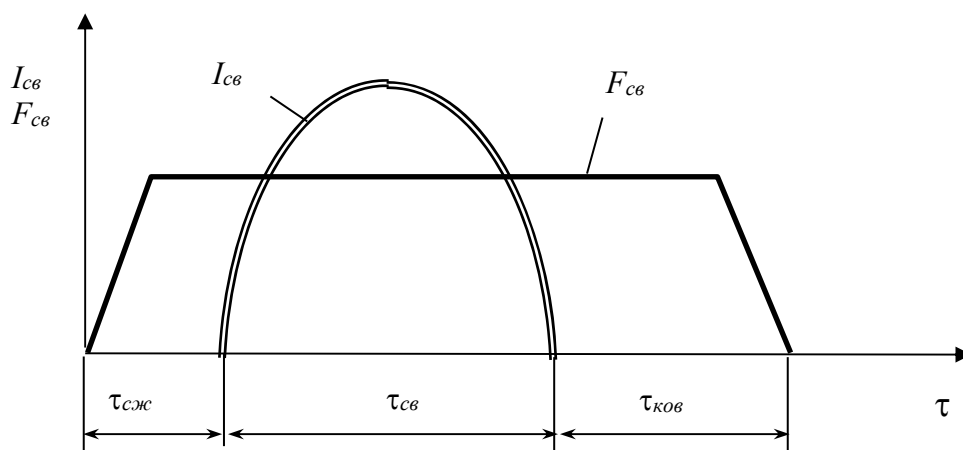


Рисунок 3.2 – Схемы точечной конденсаторной микросварки

На рисунке 3.3 приведена наиболее часто применяемая циклограмма процесса точечной и рельефной конденсаторной микросварки.



$F_{св}$  – усилие сжатия;  $I_{св}$  – униполярный импульс сварочного тока;  $\tau_{сж}$  – время предварительного сжатия;  $\tau_{св}$  – длительность импульса сварочного тока;  $\tau_{ков}$  – время проковки

Рисунок 3.3 – Циклограмма процесса микросварки

Основными параметрами режима точечной конденсаторной микросварки являются:

- сварочный ток  $I_{св} = f(\tau_{св})$ ;
- усилие сжатия  $F_{св}$ ;
- время проковки  $\tau_{ков}$ ;
- полярность импульса тока;
- форма и размеры электродов.

Теоретические и экспериментальные исследования процесса образования точки при контактной сварке сопротивлением металлов показали, что важнейшим энергетическим условием его стабильности является равенство теплового баланса:

$$Q_{зс}(\tau) = Q_{см}(\tau),$$

где  $Q_{зс}(\tau)$  – тепло, выделяемое на участке «электрод – электрод»;

$Q_{см}(\tau)$  – тепло, необходимое для образования точки.

Основными факторами, которые могут обусловить изменение закона ввода тепла  $Q_{зс} = f(\tau)$ , являются:

- изменения толщины свариваемых деталей и покрытий на них;
- изменение фактической площади контактов «электрод – деталь» и «деталь – деталь» от сварки к сварке;
- колебания напряжения зарядки батареи конденсаторов  $U_c$ ;
- изменение сопротивления сварочного контура;
- наличие непостоянных шунтирующих контактов.

Конденсаторная сварка сопротивлением выполняется в основном нагревом зоны сварки **униполярным импульсом тока**. При таком характере кривой сварочного тока проявляются и имеют практическое значение **полярные явления Пельтье и Томсона**.

**Явлением Пельтье** называется выделение или поглощение (в зависимости



от направления тока) тепла, избыточного над джоулевым, которое происходит в контакте разнородных проводников или полупроводников при прохождении постоянного тока. Тепло Пельтье определяется по формуле

$$Q_n = \pm k_n I_{св} \tau_{св},$$

где  $k_n$  – коэффициент Пельтье;

$I_{св}$  – величина длительного сварочного тока;

$\tau_{св}$  – время протекания сварочного тока.

**Явлением Томсона** называется выделение или поглощение тепла, избыточного над джоулевым, при прохождении постоянного тока по неравномерно нагретому проводнику или полупроводнику. Тепло Томсона определяется по формуле

$$Q_m = \pm k_m (t_2 - t_1) I_{св} \tau_{св},$$

где  $k_m$  – коэффициент Томсона;

$(t_2 - t_1)$  – разница температур;

$I_{св}$  – величина длительного сварочного тока;

$\tau_{св}$  – время протекания сварочного тока.

Таким образом, в зависимости от направления тока на участке цепи «электрод-электрод» в контактах разнородных металлов, а также в зонах неравномерного нагрева металла межэлектродного пространства выделяется или поглощается тепло Пельтье и Томсона. Общее количество тепла  $Q_{общ}$ , которое выделяется на отдельных участках межэлектродного пространства, равно:

$$Q_{общ} = Q_{дж} + Q_n + Q_m,$$

где  $Q_{дж}$  – тепло, выделяемое током по закону Джоуля – Ленца.

Выделение дополнительного тепла на одних участках и поглощение на других очень часто приводят к смещению литого ядра точки относительно границы раздела свариваемых металлов. Детали оказываются не сваренными, т. к. литое ядро находится в одном из свариваемых металлов, а не в зоне контакта «деталь – деталь». Смещение литого ядра вызывается тем, что при протекании униполярного импульса сварочного тока на одном из контактов «электрод-деталь» выделяется тепло Пельтье, а на другом – поглощается. Это приводит к несовпадению плоскости теплового равновесия с плоскостью свариваемого контакта. Сближение плоскости теплового равновесия с плоскостью «деталь – деталь» можно достичь путем уменьшения отвода тепла от того контакта «электрод – деталь», в зоне которого тепло поглощается.

Регулирование электрических параметров сварки, подогрева и термообработки.

К электрическим параметрам режимов точечной и рельефной конденсаторной сварки относятся сварочный ток и время сварки.

Сварочный ток характеризуется следующими значениями (рисунок 3.4): амплитудой  $I_{свmax}$ , которая достигается на участке от начала разряда конденсаторов до точки  $A$  на кривой  $I$ ; рядом мгновенных значений  $i_{св1}$ ,  $i_{св2}$ ,  $i_{св3}$  и т. д. (точки 1, 2, 3, 4); двумя нулевыми значениями на кривой  $i_{св}$  в начале разряда конденсаторов в точке 0 ( $t = 0$ ) и в конце – в точке  $B$  ( $t = t_{св}$ ).

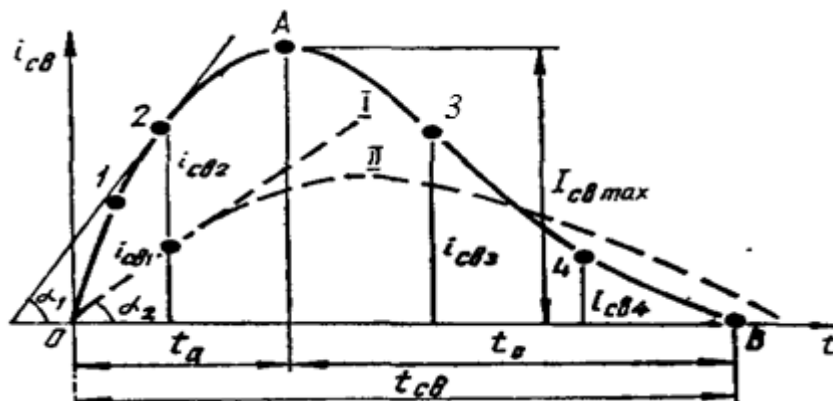


Рисунок 3.4 – Зависимость тока  $i_{св}$  от времени  $t$

Очень важной характеристикой кривой сварочного тока конденсаторных машин является скорость его нарастания от начала разряда конденсаторов до амплитудного значения  $I_{свmax}$ , которая определяется положительной величиной  $di_{св}/dt_{св}$  и характеризуется углом  $\alpha_1$ , образуемым касательной, например, в данной точке 2 с осью абсцисс. Поэтому принято считать, что у кривой  $i_{св}$  тем круче передний фронт, чем больше угол  $\alpha_2$ , и, наоборот, при малых значениях последнего аналогичная кривая II характеризуется существенной пологостью переднего фронта ( $\alpha_2 < \alpha_1$ ).

Время сварки  $t_{св}$  в конденсаторных машинах в принципе является тем отрезком времени, в течение которого конденсаторы разряжаются, причем в случае колебательного разряда сюда входит и время обратной полуволны. Однако практически на всех маломощных точечных и рельефных конденсаторных машинах имеет место аperiodический разряд конденсаторов и сварка производится униполярными импульсами сварочного тока, что видно из рисунка 3.5.

В целом время  $t_{св}$  состоит из следующих составляющих (см. рисунок 3.4):

$$t_{св} = t_a + t_0,$$

где  $t_a$  – время, в течение которого сварочный ток достигает своего амплитудного значения  $I_{свmax}$  и при этом в зоне сварки довольно интенсивно выделяется значительная доля суммарного тепла  $Q_{з.с.}$ ;

$t_0$  – время, на протяжении которого величина сварочного тока падает от  $I_{свmax}$  до нуля (то есть при этом  $di_{св}/dt_{св}$  имеет уже отрицательный знак), однако тепловыделение в зоне сварки продолжается до точки  $B$ .

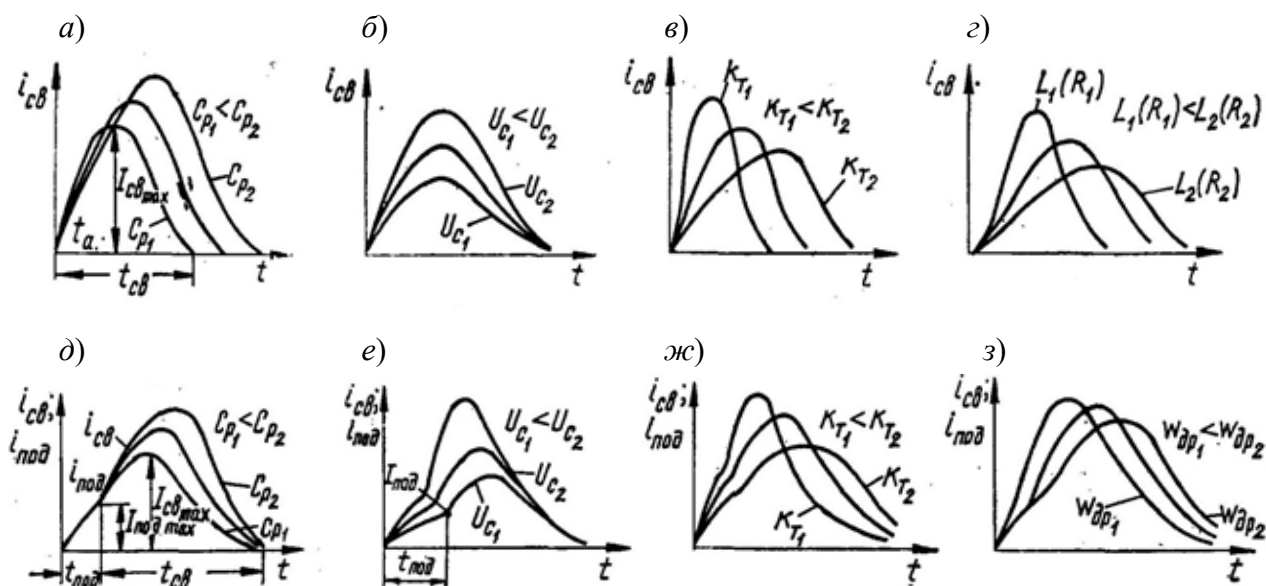


Рисунок 3.5 – Формы токов подогрева  $i_{под}$  и сварки  $i_{св}$  при конденсаторной сварке

При конденсаторной сварке сопротивлением ток  $i_{св}$  и время  $t_{св}$  являются функцией ряда следующих параметров: емкости конденсаторов  $C_p$  – при ее увеличении максимальная величина тока  $i_{св}$  растет незначительно, но довольно заметно растет время  $t_{св}$  (см. рисунок 3.5, а); напряжения зарядки конденсаторов  $U_c$  – при его увеличении сварочный ток существенно возрастает, а время практически не изменяется (см. рисунок 3.5, б); коэффициента трансформации сварочного трансформатора  $K_T$  (для способов трансформаторной конденсаторной сварки сопротивлением) – при большом коэффициенте, что соответствует уменьшению вторичного напряжения сварочного трансформатора, ток снижается, а время растет (см. рисунок 3.5, в); индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$  сварочной машины и зоны сварки – при увеличении этих параметров ток  $i_{св}$  уменьшается, время  $t_{св}$  возрастает (см. рисунок 3.5, г). Необходимо особо отметить, что, поскольку при точечной и рельефной конденсаторной сварке имеет место небольшой диапазон изменения индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$ , обычным является регулирование сварочного тока главным образом путем изменения  $U_c$ ,  $K_T$  (и лишь частично  $C_p$ ), а времени  $t_{св}$  – за счет разных значений  $C_p$ ,  $K_T$ .

На конденсаторных машинах сравнительно простыми средствами (см. рисунок 3.5) достигается возможность регулирования в довольно широких пределах таких параметров, как величина сварочного тока и крутизна его нарастания, а также время  $t_{св}$  и его составляющие  $t_a$  и  $t_0$ .

Требование регулирования крутизны переднего фронта кривой сварочного тока возникло при конденсаторной микросварке сопротивлением в связи с необходимостью получения сварных соединений без образования выплесков. Так как при изменении различных параметров этого способа сварки (см. рисунок 3.5, а–г) крутизна тока получается довольно значительной, появились разные технические решения, направленные на ее сглаживание. Сравнительно

простым является последовательное включение в разрядную цепь конденсатора насыщающегося дросселя с регулируемым числом витков  $\omega_{др}$ , что позволяет не только уменьшить крутизну переднего фронта тока, но и получить при этом регулируемый термический цикл «подогрев – сварка». Анализ показывает, что при использовании этого дросселя токи подогрева  $i_{нод}$  и сварки  $i_{св}$ , время подогрева  $t_{нод}$  и время  $t_a$  (достижения током  $i_{св}$  своего максимального значения) являются функцией следующих установочных параметров режима сварки: емкости конденсаторов  $C_p$  – при увеличении  $C_p$  возрастают  $i_{св}$  и  $t_a$ , а  $i_{нод}$ ,  $t_{нод}$  и  $i_{св}$  почти не изменяются (см. рисунок 3.5, д); напряжения зарядки  $U_c$  – при увеличении  $U_c$  растут значения  $i_{нод}$ ,  $i_{св}$ , но уменьшаются  $t_a$  и  $t_{нод}$  (см. рисунок 3.5, е), коэффициента трансформации  $K_T$  (определяемого отношением количества витков первичной обмотки от ее конца до точки подключения дросселя к числу витков вторичной обмотки сварочного трансформатора) – при увеличении  $K_T$  уменьшаются  $i_{св}$  и  $i_{нод}$ , а  $t_a$  и  $t_{нод}$  возрастают (рисунок 3.5, ж); количества витков дросселя насыщения  $\omega_{др}$  – при увеличении  $\omega_{др}$  возрастают  $i_{нод}$ ,  $t_{нод}$ , а  $t_a$  и  $t_{св}$  – уменьшаются (см. рисунок 3.5, з).

Влияние индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$  сварочной машины и зоны сварки на изменение параметров импульса тока сварки аналогично процессу при обычном разряде конденсаторов  $C_p$  (см. рисунок 3.5, з).

### 3.3 Последовательность выполнения работы

1 Изучить размещение и взаимодействие основных функциональных узлов и блоков конденсаторной машины.

2 Изучить работу электрической схемы в целом и назначение основных ее блоков.

3 Включить машину в сеть. Поставить переключатель режима работы машины в положение «Настройка» и опробовать работу и взаимодействие переключателя и механизма сжатия электродов.

4 Выяснить возможные пределы регулирования основных параметров режима сварки: напряжения зарядки батареи конденсаторов  $U_c$ , емкости батареи конденсаторов  $C_p$ , коэффициентов трансформации сварочного трансформатора  $K_T$ , усилия сжатия электродов  $F_{св}$ .

5 По справочным материалам подобрать параметры режима сварки имеющихся пластин.

6 Установить подобранные параметры режима сварки на машине. Произвести пробную сварку. Внести поправки в подобранный режим.

7 Сварить три одноточечных образца, разрушить соединения, измерить диаметры литого ядра.

8 Установить на машине минимальную емкость батареи конденсатора.

9 Установить коэффициент трансформации сварочного трансформатора  $K_T = 60$ .

10 Установить напряжение зарядки конденсаторов  $U_c = 250 \dots 300$  В.

11 Произвести настройку электронного осциллографа.

12 Вставить между электродами медную пластинку толщиной 1...2 мм, нажать педаль и зафиксировать с помощью осциллографа форму импульса сварочного тока, соответствующую базовому режиму (см. пп. 8–10).

13 Изменить поочередно один из установочных электрических параметров режима сварки:

- напряжение  $U_c$ ;
- емкость батареи конденсаторов  $C_p$ ;
- коэффициент трансформации  $K_T$ ;
- количество витков дросселя насыщения  $W_{др}$ .

14 Зафиксировать кривые тока осциллографом. Зарисовать и сравнить между собой кривую тока базового режима с кривыми, полученными при изменении одного из установочных параметров. Результаты представить в виде четырех отдельных графиков, на которых указать фактические значения всех параметров, характеризующих форму импульса тока (см. рисунок 3.5).

15 Для освоения техники выполнения точечной микросварки и получения качественных соединений на стали толщиной 0,2...0,5 мм подготовить образцы под сварку и обезжирить их ацетоном.

16 Подготовить машину к сварке.

17 Путем ряда проб по сварке подобрать ориентировочный режим точечной сварки, при котором получается вырыв точек (с помощью плоскогубцев), когда в одной из деталей остается рваное отверстие.

18 Произвести сварку на настроенном режиме 5–10 образцов.

19 Разрушить образцы, оценить прочность точек и характер формирования соединений (наличие вмятин, выплесков, следов от электродов на поверхности сваренных образцов и др.)

20 Составить таблицу подобранных режимов сварки (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Результаты точечной сварки

Номер образца	Параметры режима сварки						Диаметр точки, мм	Оценка качества соединения
	$d_s$ , мм	$U_c$ , В	$K_T$	$F_{св}$ , Н	$W_{др}$	$C_p$ , мкФ		
1								
2								
3								
4								
5								

### 3.4 Содержание отчета

Отчет должен быть представлен в виде протокола лабораторных исследований, в котором приводятся:

- название работы, ее цель и задачи;
- основные технические данные машины;
- состав и назначение основных блоков и узлов машины;

- формы импульсов тока и их основные параметры для каждого изменения установившегося параметра;
- заполненная таблица 3.1;
- конкретные выводы по результатам работы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Поясните сущность контактной микросварки.
- 2 Назначение основных узлов и блоков машины.
- 3 Назовите основные характеристики импульса сварочного тока.
- 4 Какие способы регулировки сварочного тока предусмотрены в машине?
- 5 Как изменяется форма импульсов тока при изменении параметров  $U_c$ ,  $C_p$ ,  $K_T$ ,  $W_{др}$ ?

## **4 Лабораторная работа № 4. Изучение конструкции машины и исследование процесса сварки трением**

***Цель работы:*** исследование сварочного цикла машины для сварки трением и освоение технологии сварки.

### ***4.1 Краткие теоретические сведения по теме***

Сварка трением – способ сварки давлением, при котором нагрев осуществляется трением, вызванным относительным перемещением свариваемых частей или инструмента.

При сварке трением механическая энергия, подводимая к свариваемым деталям, преобразуется в тепловую энергию непосредственно в месте будущего соединения.

Работа, затрачиваемая на преодоление сил трения, при относительном вращении свариваемых заготовок преобразуется в тепло, которое выделяется на поверхностях трения и приповерхностных слоях металла, нагревая их до температуры сварки.

Металл, ставший пластичным в процессе трения, выдавливается из стыка в радиальных направлениях под действием осевого усилия. В результате осадки выдавленный металл приобретает форму сдвоенного кольца, симметрично располагающегося по обе стороны плоскости стыка. Окисные пленки, покрывавшие торцовые поверхности деталей до начала сварки, разрушаются и частично удаляются с выдавленным металлом.

Стадия нагрева завершается прекращением относительного вращения свариваемых деталей. В этот момент в контакт оказываются вовлеченными ювенильные поверхности металла, доведенного до состояния повышенной пластичности. Для завершения процесса получения прочного соединения этот металл подвергается проковке усилием  $F_{ков}$  в течение времени  $\tau_{ков}$ . Ковочное

усилие  $F_{ков}$  может быть повышенным или равным усилию при нагреве  $F_n$  (рисунок 4.1).

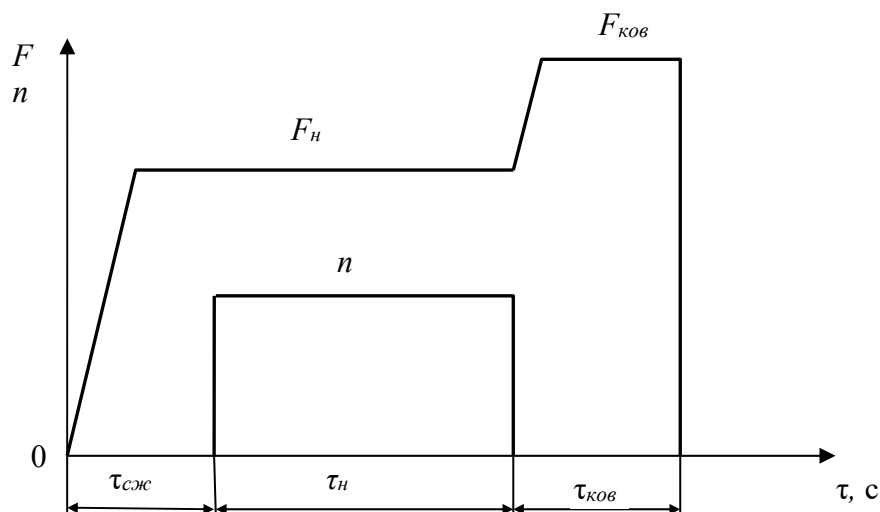


Рисунок 4.1 – Циклограмма процесса сварки трением

Прочность соединения определяется свойствами металла свариваемых деталей, степенью пластического деформирования их концов при нагреве и режимом проковки.

Основными параметрами режима сварки трением являются (см. рисунок 4.1)

- усилие при нагреве  $F_n$ ;
- усилие при проковке  $F_{ков}$ ;
- время нагрева  $\tau_n$ ;
- время проковки  $\tau_{ков}$ ;
- частота вращения  $n$ ;
- величина осадки при нагреве  $\Delta_n$ ;
- величина суммарной осадки  $\Delta_{сум}$ .

При сварке черных металлов и окружной скорости, равной 1...2 м/с, частота вращения  $n$ , мм/с, определяется из следующего соотношения:

$$n \cdot d = (0,3...0,6) \cdot 10^3,$$

где  $d$  – диаметр свариваемых заготовок, мм.

Оптимальные параметры режима сварки трением назначают, используя табличные данные по опробованным в литературе режимам.

После сварки металл в зоне соединения имеет измельченную структуру, что предопределяет высокие механические характеристики соединения. В некоторых случаях после сварки применяется дополнительная термообработка. Удаление грата может производиться как на отдельном рабочем месте, так и непосредственно на сварочной машине (резцом или с помощью пуансона). Сварку трением применяют при изготовлении режущего инструмента, выпускных клапанов двигателей, деталей тракторов, автомобилей и





#### **4.4 Содержание отчета**

- 1 Назначение узлов машины.
- 2 Кинематическая схема машины.
- 3 Диаграмма цикла сварки трением.
- 4 Таблица результатов измерений и наблюдений, графики.
- 5 Выводы по работе.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Перечислите основные узлы машины.
- 2 Как осуществляется регулирование параметров режима сварки?
- 3 Как влияют параметры режима сварки на качество соединения?
- 4 Объясните порядок настройки машины для работы.
- 5 Техника безопасности при работе на машине для сварки трением.

### **5 Лабораторная работа № 5. Технологические особенности микроплазменной сварки и резки. Выбор параметров режима сварки**

**Цель работы:** изучение взаимодействия основных функциональных узлов и блоков машины для микроплазменной сварки, освоение техники выполнения плазменной микросварки и резки.

#### **5.1 Оборудование и материалы**

- 1 Машина для плазменной микросварки МПУ-2у.
- 2 Описание машины с поясняющими чертежами и схемами.
- 3 Осциллограф.
- 4 Штангенциркуль.
- 5 Пластины из сталей толщиной 0,2...0,5мм.
- 6 Ацетон для обезжиривания образцов.
- 7 Плоскогубцы.

#### **5.2 Краткие теоретические сведения**

При микросварке плавлением используется электрическая дуга, горящая между неплавящимся вольфрамовым электродом и изделием. Дуга горит в среде инертного газа (аргона, гелия или их смеси), обеспечивающего защиту электрода и изделия от воздействия окружающей среды.

**Микроплазменная дуга** является разновидностью дуги, горящей между неплавящимся электродом и изделием. Для увеличения плотности энергии в месте нагрева столб дуги сжимают путем охлаждения его дополнительным

потоком газа. Сжатие столба дуги осуществляется в специальном устройстве – **плазмотроне**. Для повышения температуры и мощности обычной дуги и превращения ее в плазменную используется два процесса: сжатие дуги и принудительное вдувание в дугу плазмообразующего газа. Схема получения плазменной дуги приведена на рисунке 5.1.

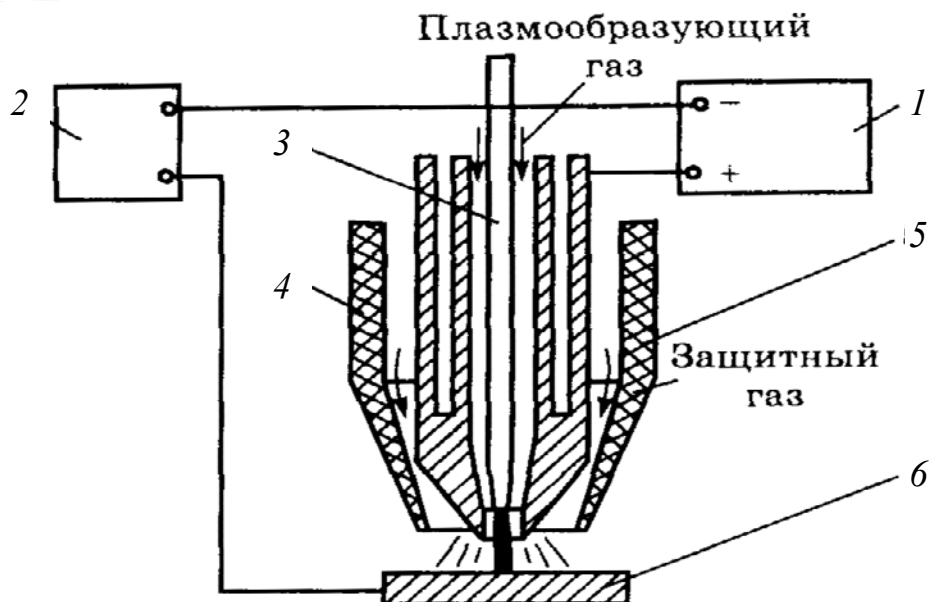


Рисунок 5.1 – Схема процесса микроплазменной сварки

Сжатие дуги осуществляется за счет размещения ее в специальном устройстве – плазмотроне, стенки которого интенсивно охлаждаются водой. Вследствие сжатия уменьшается поперечное сечение дуги и возрастает ее мощность – количество энергии, приходящееся на единицу площади. Температура в столбе обычной дуги, горящей в среде аргона, и паров железа составляет  $5000\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 7000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура в плазменной дуге достигает  $30000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Одновременно со сжатием в зону плазменной дуги вдувается плазмообразующий газ, который нагревается дугой, ионизируется и вследствие теплового расширения увеличивается в объеме в 50–100 раз. Это заставляет газ истекать из канала сопла плазмотрона с высокой скоростью. Кинетическая энергия движущихся ионизированных частиц плазмообразующего газа дополняет тепловую энергию, выделяющуюся в дуге вследствие электрических процессов. Поэтому плазменная дуга является более мощным источником энергии, чем обычная.

Основными чертами, отличающими плазменную дугу от обычной, являются:

- более высокая температура;
- меньший диаметр дуги;
- цилиндрическая форма дуги (в отличие от обычной конической);
- давление дуги на металл в 6–10 раз выше, чем у обычной;
- возможность поддерживать дугу на малых токах (0,2...30 А).

В зависимости от силы сварочного тока различают три разновидности плазменной сварки: микроплазменная ( $I_{св} = 0,1 \dots 25$  А); сварка на средних токах ( $I_{св} = 50 \dots 150$  А); сварка на больших токах ( $I_{св} = 50 \dots 150$  А). Наиболее распространенной является микроплазменная сварка. В связи с достаточно высокой степенью ионизации газа в плазмотроне и при использовании вольфрамовых электродов диаметром 1...2 мм плазменная дуга может гореть при очень малых токах, начиная с 0,1 А. Схема процесса микроплазменной сварки приведена на рисунке 5.1.

Специальный малоамперный источник питания постоянного тока *1* предназначен для получения дежурной дуги, непрерывно горящей между электродом *3* и медным водоохлаждаемым соплом *4*. При подведении плазмотрона к изделию *6* зажигается основная дуга, которая питается от источника *2*. Плазмообразующий газ подается через сопло плазмотрона, имеющее диаметр 0,5..1,5 мм. Защитный газ подается через керамическое сопло *5*. Плазменная горелка охлаждается водой. Для зажигания дуги в сварочной установке имеются осцилляторы дежурной и основной дуги.

Микроплазменная сварка является весьма эффективным способом сварки изделий малой толщины (до 1,5 мм). Диаметр плазменной дуги около 2 мм, что позволяет сконцентрировать тепло на ограниченном участке изделия и нагревать зону сварки, не повреждая соседние участки. Так как плазменная дуга имеет цилиндрическую форму, глубина проплавления и другие параметры шва мало зависят от длины дуги, что позволяет при манипуляциях сварщиком горелкой избежать прожогов, характерных для обычной аргонодуговой сварки тонкого металла.

Основным газом, используемым в качестве плазмообразующего и защитного, является аргон. Однако в зависимости от свариваемого металла к нему могут осуществляться добавки, увеличивающие эффективность процесса сварки. При сварке сталей к защитному аргону целесообразна добавка (8 %...10 %) водорода, что позволяет повысить тепловую эффективность плазменной дуги. Это связано с диссоциацией водорода на периферии столба дуги и последующей его рекомбинацией с выделением тепла на поверхности свариваемого металла. При сварке низкоуглеродистых сталей к аргону возможна добавка  $CO_2$ , при сварке титана – добавка гелия.

Установки для микроплазменной сварки позволяют осуществлять сварку в различных режимах: непрерывный прямой полярности, импульсный прямой полярности (позволяет регулировать тепловложение), разнополярными импульсами (для алюминия обеспечивает разрушение оксидной пленки), непрерывный обратной полярности. Наиболее распространенной установкой для микроплазменной сварки является МПУ-2у.

К основным параметрам процесса микроплазменной сварки относятся сила тока, напряжение, расход плазмообразующего и защитного газа, диаметр канала сопла, глубина погружения в сопло электрода, диаметр электрода. Зависимости силы сварочного тока от толщины свариваемого металла и скорости сварки приведены на рисунке 5.2.

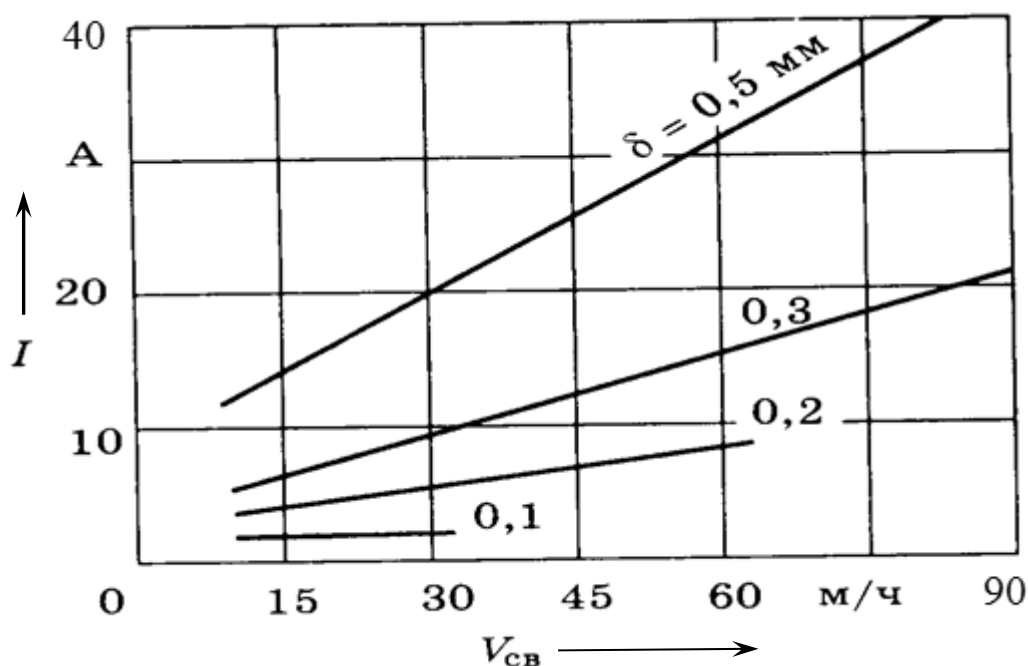


Рисунок 5.2 – Влияние толщины металла и скорости сварки на величину сварочного тока при микроплазменной сварке

### 5.3 Последовательность выполнения работы

1 Изучить размещение и взаимодействие основных функциональных узлов и блоков машины.

2 Изучить работу электрической схемы в целом и назначение основных ее блоков.

3 Включить машину в сеть. Поставить переключатель режима работы машины в положение «Настройка» и опробовать работу и взаимодействие переключателей.

4 Выяснить возможные пределы регулирования основных параметров режима сварки: напряжение  $U_{св}$ ; сила тока  $I_{св}$ .

5 По справочным материалам подобрать параметры режима сварки имеющихся пластин.

6 Установить подобранные параметры режима сварки на машине. Произвести пробную сварку. Внести поправки в подобранный режим.

7 Сварить три образца, разрушить соединения, измерить размеры сварного шва.

8 Изменить поочередно один из установочных электрических параметров режима сварки:

- напряжение  $U_{св}$ ;
- сила тока  $I_{св}$ .

9 Зафиксировать кривые тока осциллографом. Результаты представить в виде двух отдельных графиков, на которых указать фактические значения всех параметров.

10 Для освоения техники выполнения микроплазменной сварки и

получения качественных соединений на стали толщиной 0,2...0,5 мм подготовить образцы под сварку и обезжирить их ацетоном.

11 Подготовить машину к сварке.

12 Путем ряда проб по сварке подобрать ориентировочный режим.

13 Произвести сварку на настроенном режиме 5–10 образцов.

14 Разрушить образцы, оценить прочность соединения и характер формирования соединений (наличие брызг, дефектов сварки и др.)

15 Составить таблицу подобранных режимов сварки (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты наблюдений и измерений

Порядковый номер	$U_{св}$ , В	$I_{св}$ , А	Площадь разрушения, см <sup>2</sup>	$F_{отр}$ , Н	Характер разрушения соединения
1					
2					
3					
4					
5					

#### **5.4 Содержание отчета**

Отчет должен быть представлен в виде протокола лабораторных исследований, в котором приводятся:

- название работы, ее цель и задачи;
- основные технические данные машины;
- состав и назначение основных блоков и узлов машины;
- основные параметры режима для каждого изменения установившегося параметра;
- заполненная таблица 5.1;
- конкретные выводы по результатам работы.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Поясните сущность микроплазменной сварки.
- 2 Поясните назначение основных узлов и блоков машины.
- 3 Назовите основные характеристики параметров режима сварки.
- 4 Какие способы регулировки сварочного тока предусмотрены в машине?

## Список литературы

- 1 **Мусин, Р. А.** Специальные методы сварки давлением: учебное пособие / Р. А. Мусин, Г. В. Конюшков. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. – 696 с.
- 2 **Холопов, Ю. В.** Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов / Ю. В. Холопов. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 224 с.
- 3 **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением: учебное пособие / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
- 4 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / В. П. Куликов. – Минск: Новое знание, 2017. – 412 с.
- 5 Микроплазменная сварка / Б. Е. Патон [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1979. – 248 с.
- 6 **Березиенко, В. П.** Основы технологии современных способов сварки давлением: учебное пособие / В. П. Березиенко. – Могилев: ММИ, 1994. – 98 с.
- 7 **Моравский, В. Э.** Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки / В. Э. Моравский, Д. С. Ворона. – Киев: Наукова думка, 1985. – 272 с.
- 8 Сварка трением: справочник / В. К. Лебедев [и др.]. – Ленинград: Машиностроение, 1987. – 236 с.