

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

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ
И ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Электротехнологические промышленные установки»
для студентов направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Курган 2015

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электротехнологические промышленные установки»
(направление подготовки 13.03.02).

Составил: канд. техн. наук, доцент В.А. Савельев.

Утверждены на заседании кафедры «26» марта 2015 г.

Рекомендованы методическим советом университета «19» декабря 2014 г.

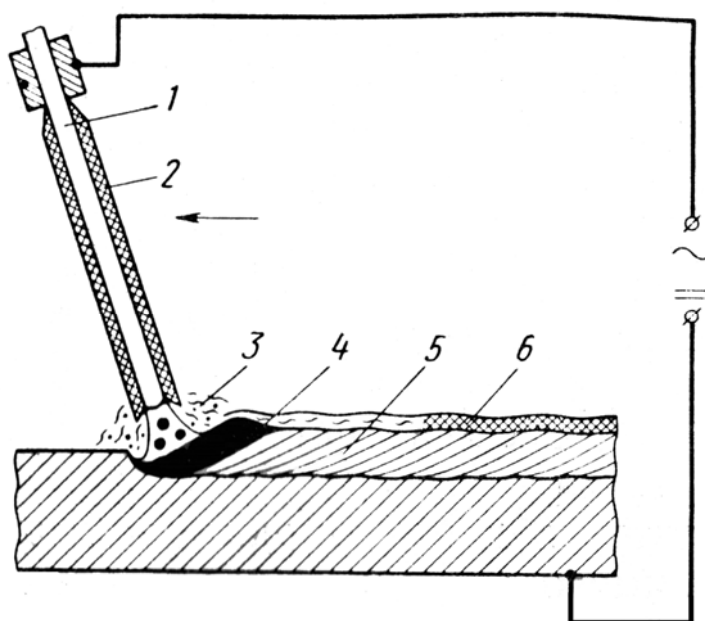
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Цель работы: изучение технологии получения неразъемного соединения деталей электрической сваркой плавлением металла и применяемых источников питания сварочной дуги.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

Сваркой плавлением называют технологический процесс получения неразъемных соединений за счёт нагрева и расплавления металла свариваемых элементов дуговым разрядом, возникающим между основным металлом и электродом в месте их соприкосновения. В столбе дуги (рисунок 1) выделяется значительное количество теплоты. Энергию, необходимую для образования и поддержания дугового разряда, получают от источников питания постоянного или переменного тока.

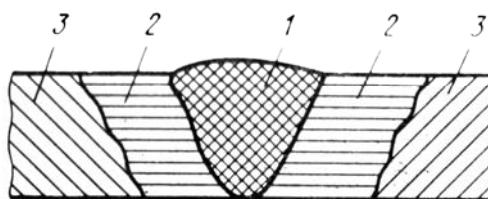


*1 – электрод; 2 – покрытие; 3 – газошлаковая защита; 4 – сварочная ванна;
5 – шов; 6 – шлаковая корка*

Рисунок 1 – Сварка плавлением

Расплавленный основной металл (деталь) и дополнительный (электрод) образуют общую жидкую сварочную ванну. По мере удаления источника нагрева происходит затвердевание – кристаллизация металла сварочной ванны и формирование за счет образования атомно-молекулярных связей между элементарными частицами сопрягаемых деталей монолитного соединения, называемого сварным швом.

Полученное соединение имеет литую структуру и включает: собственно шов, металл зоны термического влияния после нагрева и основной металл, не претерпевший никаких изменений (рисунок 2).

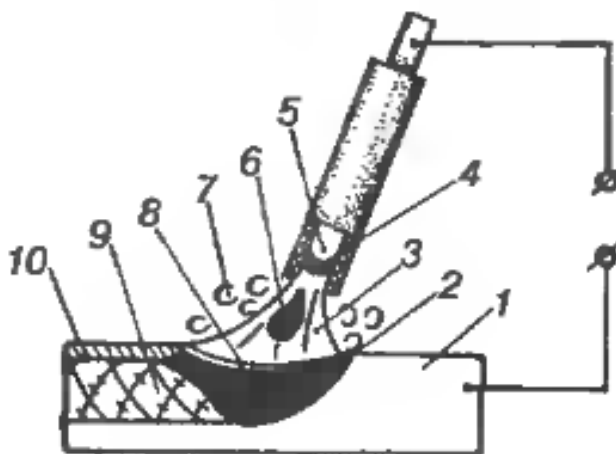


1 – металл шва; 2 – металл зоны термического влияния; 3 – основной металл

Рисунок 2 – Сварное соединение

РУЧНАЯ СВАРКА ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Покрытые электроды применяют в основном при ручном процессе. Эти электроды представляют собой металлический стержень из проволоки круглого сечения заданного химического состава. Стержень покрывается специальной обмазкой, замешанной на жидком стекле. В обмазку вводятся добавки, защищающие расплавленный металл от окисления кислородом и азотом окружающего воздуха (рисунок 3).



1 – свариваемый металл; 2 – сварочная ванна; 3 – дуга; 4 – электродное покрытие; 5 – электрод; 6 – капля; 7 – газопаровая оболочка; 8 – жидкий шлак; 9 – шов; 10 – затвердевший шлак

Рисунок 3 – Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом

При сварке расплавляются электрод 5 и покрытие 4 образующее газшлаковую защиту 7, изолирующую зону дуги и сварочную ванну от атмосферного воздуха. По мере удаления дуги происходит остывание и кристаллизация металла сварочной ванны 2 и формирование шва 9. Расплавившееся покрытие всплывает на поверхность и после остывания образует шлаковую корку 10.

Сварку покрытыми электродами выполняют во всех пространственных положениях как в стационарных условиях, так и в условиях монтажа. Сваривают

черные и цветные металлы и различные сплавы практически любой толщины, а также выполняют наплавку разнородных материалов. Основной объем работ при ручной сварке выполняется электродами диаметром 2-6 мм при силе тока 100-400 А и напряжении дуги 18-30 В. Металл шва формируется главным образом за счет вводимого в шов электродного металла, и поэтому производительность процесса определяется количеством электродного металла, переходящего в шов за единицу времени.

При ручной сварке плавящимся электродом все операции, необходимые для образования шва, выполняют электродами длиной 250-450 мм, а для обеспечения возможности подвода тока к электродному стержню на один из его концов на длине 20-35 мм покрытие не наносят. Длина неплавящегося электрода составляет 200-300 мм. Для подвода тока к электроду служит специальный держатель. В процессе сварки держатель находится в руке сварщика. Технологический процесс ручной дуговой сварки заключается в подготовке материалов и оборудования и проведении электросварочных работ на специальном рабочем месте - сварочном посту (рисунок 4). Сварочный пост включает верстак, источник питания сварочной дуги, ширмы для предохранения от светового излучения и брызг металла, приточно-вытяжную вентиляцию.

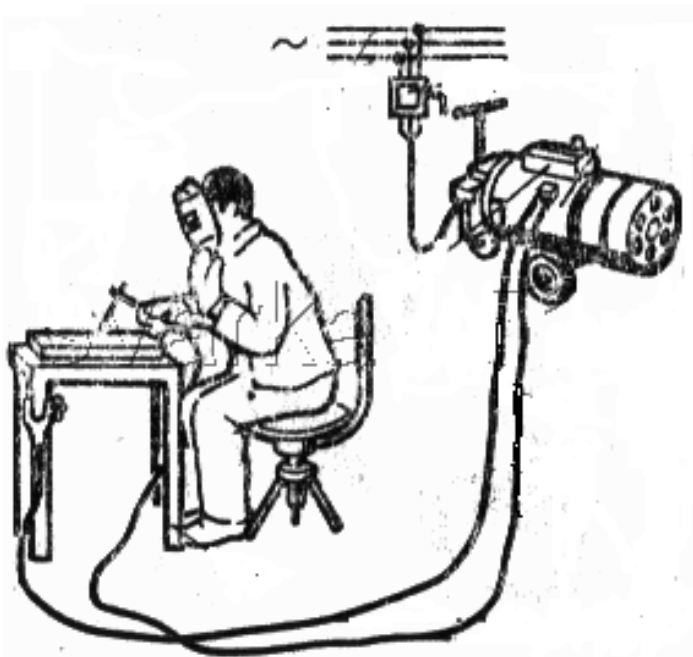


Рисунок 4 – Пост ручной дуговой сварки

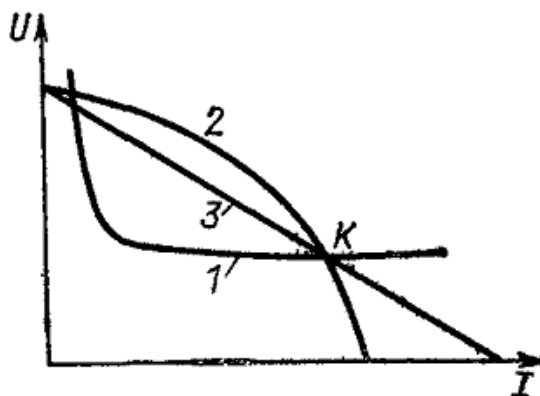
Рабочий, выполняющий сварочные операции, должен иметь специальную одежду, предохраняющую от ожогов, рукавицы и маску для защиты лица. Перед началом работы необходимо проверить соединения источника питания с изделием и держателем электрода. Выбор типа и диаметра электрода зависит от толщины и марки свариваемого металла, положения и типа соединения, а также предварительной обработки краёв свариваемых деталей. Сварочную дугу возбуждают касанием свободным от покрытия торцом электрода к основному металлу, а прерывают дугу – отрывом от него.

Выбор режима сварки заключается в определении диаметра электрода и силы сварочного тока и зависит от толщины свариваемых элементов. Рекомендации выбора режима, величины и рода тока, полярности указываются производителем электродов на упаковке, а также приводятся в справочной технической литературе.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Специфическим свойством сварочных источников тока является способность выдерживать многочисленные технологические короткие замыкания во вторичной цепи. Они происходят при зажигании дуги касанием электродов, а также во время сварки, когда скорость подачи плавящегося электрода не согласуется со скоростью его плавления. Вследствие нелинейности вольт-амперной характеристики дуги, имеющей падающий и жесткий участки (рисунок 5, кривая 1), вольт-амперная характеристика источника питания должна иметь соответствующий вид.

Внешняя характеристика источника питания, представляет собой зависимость напряжения источника от тока нагрузки. Сварочная дуга, являющаяся потребителем тока, в свою очередь характеризуется определённой зависимостью напряжения на дуговом промежутке от сварочного тока (статическая характеристика дуги).



1 – статическая характеристика дуги; внешние характеристики источника питания: 2 – крутопадающая, 3 – пологопадающая

Рисунок 5 – Сварочная дуга

Устойчивое горение дуги возможно при соответствии формы внешней характеристики источника питания форме статической характеристике дуги.

Для дуговой сварки создаются специальные источники питания постоянного и переменного токов, которые должны:

- а) иметь напряжение холостого хода в момент зажигания дуги, достаточное для ее возбуждения, но не превышающее пределов, безопасных для жизни сварщика;
- б) надежно работать на режимах частых технологических коротких замыканий;

- в) иметь внешнюю характеристику, соответствующую ВАХ дуги, и иметь достаточную мощность;
- г) снабжаться специальными устройствами для плавного изменения тока;
- д) соответствовать требованиям удобства эксплуатации и экономичности.

Тепловой режим источника питания оценивается относительными ПР и ПВ, обусловленными прерывистым рабочим процессом сварки. Продолжительность работы определяют как отношение продолжительности рабочего периода источника питания к длительности полного цикла работы. Она выражается в процентах:

$$ПР = \tau_p / \tau_{\text{ц}} \cdot 100\%,$$

где τ_p – время работы под нагрузкой;

$\tau_{\text{ц}}$ – длительность полного цикла.

Условно принято считать, что в среднем $\tau_p = 3$ мин, $\tau_{\text{ц}} = 5$ мин, т.е. среднее оптимальное значение $ПР = 60\%$. ПР отличается от ПВ тем, что в первом случае источник питания во время паузы не отключается от сети, а работает в режиме холостого хода, во втором случае источник питания полностью отключается от сети.

Для ручной дуговой сварки при жесткой статической характеристикой дуги внешняя характеристика источника питания должна быть крутопадающей (рисунок 5, кривая 2). Чем больше крутизна в рабочей части внешней характеристики источника питания (точка *K* на рисунке 5), тем меньше колебания тока при изменении длины дуги. При падающей характеристике напряжение холостого хода источника питания значительно превышает необходимое рабочее напряжение дуги, что облегчает первичное и повторное зажигание дуги, особенно при сварке на переменном токе.

В лабораторной работе ознакомление с технологией ручной дуговой сварки производится с использованием источников постоянного тока: сварочного преобразователя ПСО-500 и инверторного аппарата САИ-200.

СВАРОЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПСО-500

Преобразователи серии ПСО предназначены для различных видов дуговой сварки плавлением. Преобразователь представляет собой сварочный генератор, приводимый от трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, собранные в одном корпусе.

Стабилизированное напряжение вырабатывается самим генератором, для чего он снабжен дополнительной щеткой *c*. Магнитный поток в той части генератора, где расположены щетки, питающие намагничивающую обмотку НО при любом режиме работы генератора практически постоянен, так как потоки, создаваемые размагничивающей обмоткой РО и обмоткой якоря в этой части генератора, взаимно уничтожаются, и результирующий поток здесь равен половине потока, создаваемого намагничивающей обмоткой НО.

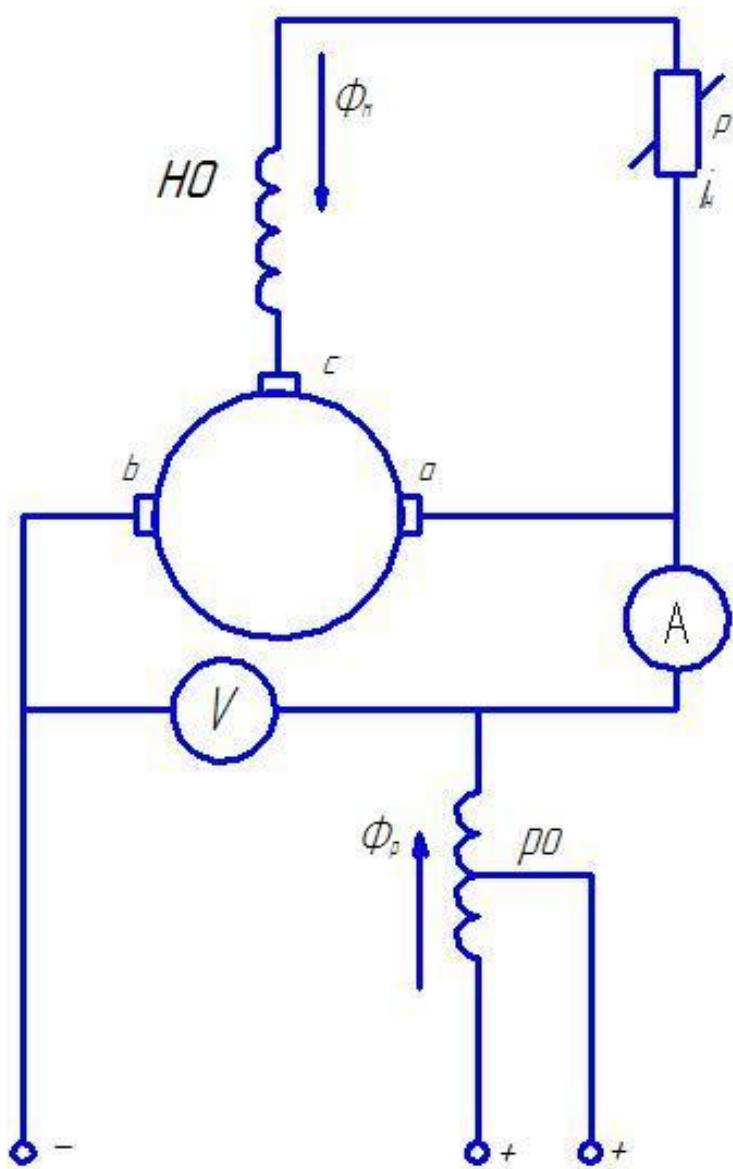


Рисунок 6 – Схема генератора с размагничивающей обмоткой

Падающие характеристики всех генераторов данной серии обеспечиваются размагничивающим действием последовательных обмоток, создающих встречный магнитный поток, пропорциональный току нагрузки генератора. Последовательные обмотки размещаются на второй паре главных и на дополнительных полюсах и обычно разбиваются на две секции с различным числом витков, что позволяет получить две ступени сварочного тока. Главная настройка режима внутри этих ступеней осуществляется изменением напряжения холостого хода при помощи реостата в цепи намагничивающей обмотки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы необходимо:

- 1) прочитать методические указания к выполнению лабораторной работы;
- 2) проверить наличие и подключение проводов к технологической пробе (изделию) и держателю электрода. Соединение их должно быть надёжным;

- 3) студент, выполняющий операцию сварки должен надеть соответствующую одежду – куртку, брюки и рукавицы, иметь защитный шлем со светофильтром;
- 4) студенты, снимающие показания приборов в процессе сварки, должны иметь защитные маски от светового излучения;
- 5) на рабочем месте необходимо иметь соответствующие электроды;
- 6) включение источника питания производить нажатием кнопки пускателя на крышке преобразователя;
- 7) установить реостатом на вольтметре напряжение холостого хода $U_{xx} = 50 \text{ В}$;
- 8) вставить электрод в держатель и зажечь дугу. Произвести наплавку валика, длиной 2...3 см;
- 9) замерить время сварки, ток дуги I_d , напряжение на дуге U_d , и занести показания в протокол испытаний.

Таблица 1 – ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Наименование показателя	1 опыт	2 опыт
1 Напряжение холостого хода $U_{xx}, \text{В}$	50	50
2 Напряжение на дуге $U_d, \text{В}$		
3 Величина тока дуги $I_d, \text{А}$		
4 Диаметр электрода $d_{эл}, \text{мм}$	3	4
5 Длина шва $l_{ш}, \text{см}$		
6 Время горения дуги $t_d, \text{с}$		
7 Удельный расход электроэнергии кВтч/м		
8 Плотность тока, А/мм^2		

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

Расход электрической энергии за время сварки определим по формуле:

$$W = U_d \cdot I_d \cdot t_d,$$

где U_d – напряжение на дуге в процессе сварки, В,

I_d – ток дуги, А,

t_d – время горения дуги, с.

Удельный расход на погонный метр шва определим по формуле:

$$W_\ell = W / l_{ш} \cdot 100.$$

Плотность тока определим по формуле:

$$i = 4 \cdot I_d / \pi d_{эл}^2.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

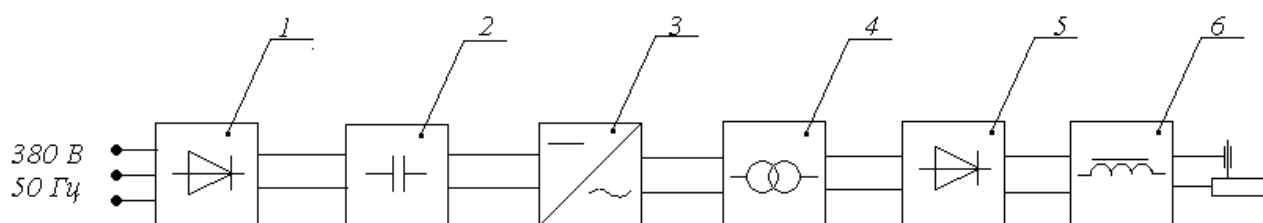
- 1 Название и цель выполнения работы.
- 2 Электрическую схему генератора ПСО-500.
- 3 Таблицу – протокол испытаний.
- 4 Пример расчета и выводы по результатам выполненной работы.

ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Инверторные источники питания сварочной дуги получили наиболее широкое распространение в настоящее время благодаря использованию современных электронных полупроводниковых элементов.

Это позволило стабилизировать процесс сварки, сократить размеры и вес аппаратов, увеличить показатели сварочного тока и продолжительности рабочего цикла. В инверторном источнике питания сварочной дуги электрическая энергия, забираемая из сети, претерпевает несколько ступеней преобразования.

Функциональная схема инверторного источника питания сварочной дуги представлена на рисунке 7.



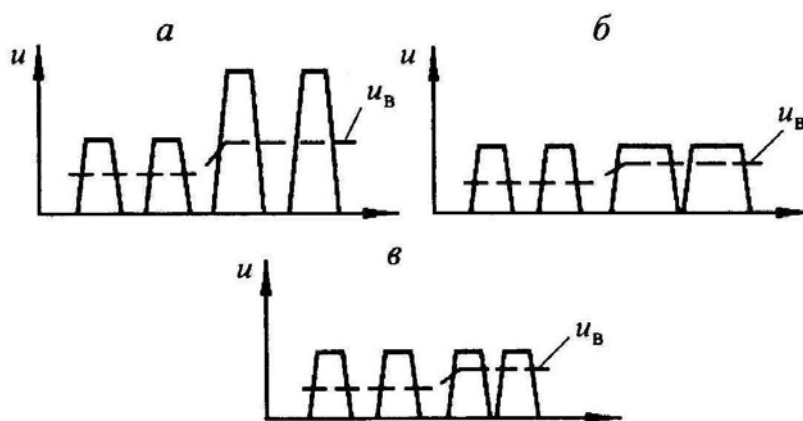
*1 – выпрямитель сетевой; 2 – фильтр; 3 – инвертор;
4 – трансформатор; 5 – блок вентилей; 6 – дроссель*

Рисунок 7 – Функциональная схема преобразования электроэнергии в инверторном источнике питания сварочной дуги

Сетевой выпрямительный блок *1* преобразует переменное напряжение сети в постоянное, которое сглаживается с помощью низкочастотного фильтра *2*. Выпрямленное напряжение преобразуется в однофазное переменное, высокой частоты с помощью инвертора *3*. Далее напряжение понижается трансформатором *4* и выпрямляется блоком вентилей *5*, проходит через высокочастотный фильтр и подается на дугу в виде сглаженного напряжения.

Инвертор – это устройство, преобразующее постоянное напряжение в высокочастотное переменное. Инвертор объединенный с трансформатором и выпрямительным блоком с фильтром называют конвертором. Конвертор понижает или повышает постоянное напряжения с промежуточным высокочастотным звеном.

Регулирование режима сварки осуществляется несколькими способами. При увеличении напряжения сетевого выпрямителя *1*, увеличивается и амплитуда высокочастотного напряжения *2* и среднее значение U_B выпрямленного напряжения (рисунок 8, *а*). С этой же целью изменяют ширину импульсов инвертора (рисунок 8, *б*). Однако более удобным и распространенным способом является изменение частоты импульсов (рисунок 8, *в*). В инверторном выпрямителе используется амплитудное, широтное и частотное регулирование режима. Дросселем изменяется крутизна вольт-амперной характеристики.



а) амплитудное; б) широтное; в) частотное

Рисунок 8 – Регулирование напряжения в инверторном источнике

Потребительские свойства инверторных источников питания существенно выше других источников питания сварочной дуги за счёт быстрогодействия инвертора. Длительность переходного процесса инверторного выпрямителя составляет 0,001 с, а других источников 0,02 с.

Инверторные источники питания весьма экономичны, имеют малую массу и размеры. Это объясняется тем, что сердечники высокочастотных трансформаторов имеют очень малое сечение, массу. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) таких устройств близок к 1, т.к. они не потребляют реактивной мощности, КПД таких источников питания 0,7-0,9.

Главный недостаток инверторного аппарата чрезмерная сложность устройства и низкая ремонтпригодность.

СВАРОЧНЫЙ АППАРАТ ТСС САИ-200

Сварочный аппарат ТСС САИ-200 инверторного типа предназначен для ручной дуговой сварки и наплавки штучными покрытыми электродами на постоянном токе различных металлов в производственных и бытовых условиях.

В инверторных источниках питания сварочной дуги применены современные электронные полупроводниковые элементы, которые стабилизируют процесс сварки во время работы. Использование передовой технологии позволило сократить размеры и вес аппарата, повысить режимы сварки и продолжительность рабочего цикла.

Использование транзисторов высокой мощности, способных работать при повышенной температуре, позволяет увеличить продолжительность включения сварочных аппаратов этого типа до ПВ 80% и делает эксплуатацию более надежной.

Регулируемый форсаж дуги (Force Arc) – функция, увеличивающая сварочный ток в момент отделения капли металла от электрода. Она предотвращает прилипание электрода к изделию, обеспечивает минимальное разбрызгивание и глубокое проплавление при сварке.

Функция Hot Start повышает плотность тока при начальном зажигании электрода и способствует улучшению начального зажигания, полностью ис-

ключает вероятность «примерзания» электрода и уменьшает «стартовую» пористость.

Функция Antistick (антиприлипание электрода) – автоматическое снижение сварочного тока при залипании электрода и предотвращение его прокаливания, сохраняет и позволяет легко отделить электрод от металла для продолжения работы.

Расширению области применения аппаратов САИ-200 способствует широкий диапазон регулировки сварочного тока от 30 А (для работы с тонкими материалами – электродами диаметром 2-3 мм) до величины тока 200 А (для полноценной работы электродами 4-5 мм).

Технические характеристики аппарата САИ-200

Параметры	Модель	САИ-200
1 Номинальное напряжение, В		220
2 Величина тока, А		30-200
3 Максимальная потребляемая мощность, кВт		8,7
4 Род сварочного тока		постоянный
5 Напряжение холостого хода 58		58
6 Коэффициент продолжительности включения (ПВ) %		80
7 Диаметр электрода, мм		1,6-5
8 Габаритные размеры, мм		350×160×240
9 Масса, кг		6,7

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Подключите к клеммам аппарата электрододержатель и зажим массы, как показано на рисунке 9. Зажим массы подключать как можно ближе к месту сварки. Стандартное подключение проводов «прямая полярность» – «минус» на электроде.

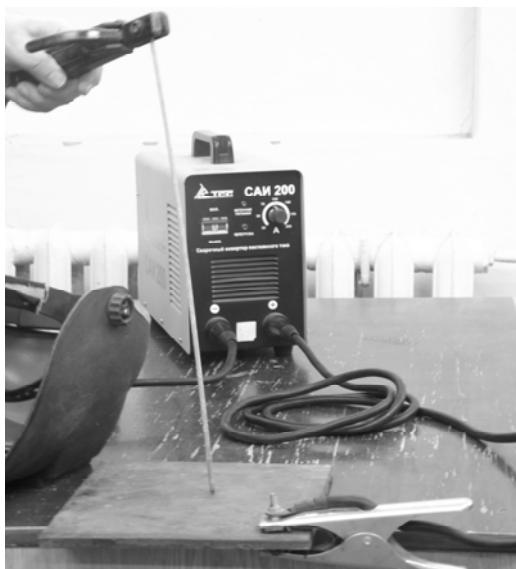


Рисунок 9 – Схема подключения оборудования перед сваркой

- 2 Переведите выключатель в положение ВКЛ. – загорается светодиодный индикатор.
- 3 Регулятором тока на лицевой панели аппарата установите необходимую силу тока сварки. Для электродов 3-4 мм – 90..140 А.
- 4 Вставьте электрод в держатель и убедитесь в его надёжном зажиме.
- 5 Зажгите сварочную дугу чирканьем электрода по свариваемой детали.
- 6 В процессе сварки совершайте электродом колебательные движения (зигзаг, восьмёрка, петля). Это обеспечит требуемое проплавление и хорошее качество шва.
- 7 Перед работой студент, выполняющий сварку, должен надеть куртку, брюки, рукавицы и шлём сварщика.
- 8 При перегреве элементов схемы аппарат автоматически отключается и переходит в режим остывания. При понижении температуры до рабочих пределов он автоматически включается. О перегреве информирует светодиодный индикатор красного цвета.
- 9 В процессе работы студенты фиксируют время сварки и паузы и заносят эти данные в протокол испытаний.

Таблица 2 – ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

Наименование показателя	1 опыт	2 опыт
1 Установленный ток сварки $I_{д}$, А		
2 Диаметр электрода $d_{эл}$, мм	3	4
3 Время горения дуги $\tau_{д}$, с		
4 Время паузы $\tau_{п}$, с		
5 Продолжительность работы ПР, %		

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

Продолжительность работы определим по формуле

$$ПР = \tau_{д} / (\tau_{д} + \tau_{п}).$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схемы генератора ПСО – 500 и функциональную инвертора.
- 3 Протоколы испытаний аппаратов (таблицы 1,2)
- 4 Выводы по результатам проведённой работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что называется сваркой плавлением?
- 2 Зачем нужно покрытие электрода?
- 3 Особенности технологии сварки плавлением.
- 4 Что показывает вольт-амперные характеристики источников питания?

- 5 Особенности технологии сварки плавлением в различных положениях.
- 6 Требования к источникам питания при сварке плавлением.
- 7 Технология ручной сварки штучными электродами.
- 8 Конструкция сварочных преобразователей.
- 9 Основные положения охраны труда при сварке.
- 10 Пожаробезопасность при сварке плавлением.
- 11 Особенности инверторных источников питания сварочной дуги.
- 12 Подбор режимов сварки плавлением.
- 13 Что показывает статическая характеристика дуги?
- 14 Как зажигается электрод?
- 15 Какие бывают вольт-амперные характеристики источников питания?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электротехнические установки и их источники питания : учебное пособие для вузов по спец. «Промышленная электроника» / сост. В. И. Бар. Тольятти : Изд-во Тольяттинского гос. ун-та, 2002.
- 2 Евтюкова И. П., Кацевич Л. С., Некрасова Н. М. и др. Электротехнологические промышленные установки : учебник для вузов / под ред. А. Д. Свенчанского. М. : Энергоиздат, 1982.
- 3 Манин А. В. Электротехнологические процессы и установки. Ч. 1 : учебное пособие. Рыбинск : Изд-во Рыбинской гос. авиационной техн. академии им. П. А. Соловьёва, 2010. 188 с.
- 4 Соловьёв Г. И. Источники питания для сварки: методические указания к выполнению лабораторных работ. Курган : Изд-во КГУ, 2004.

Виктор Андреевич Савельев

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ
И ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Электротехнологические промышленные установки»
для студентов направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Редактор Е. А. Могутова

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ	Тираж 20	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.