



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Порошковая металлургия, сварка  
и технология материалов»**

**Л. С. Денисов**

## **ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

**Методическое пособие**

**Часть 2**



**Минск  
БНТУ  
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Порошковая металлургия, сварка  
и технология материалов»

Л. С. Денисов

## ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Методическое пособие  
по лабораторным работам

В 2 частях

Часть 2

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 621.791 (075.8)

ББК 30.61я7

Д33

**Р е ц е н з е н т ы :**

*С. В. Медведев*, д-р техн. наук, заведующий лабораторией синтеза технических систем Объединенного института проблем информатики;  
*А. А. Радченко*, канд. техн. наук, заместитель директора Института сварки и защитных покрытий ИСЗП

**Денисов, Л. С.**

Д33      Оборудование сварки плавлением : методическое пособие по лабораторным работам : в 2 ч. / Л. С. Денисов. – Минск : БНТУ, 2012–2014. – Ч. 2. – 2014. – 62 с.

ISBN 978-985-550-464-2(Ч. 2).

Рассмотрены требования к современным источникам питания сварочной дуги при сварке плавлением, в том числе обеспечение высокого и стабильного качества технологических процессов, а также надежности источников и оборудования, рационального расходования электроэнергии.

Особое внимание уделено исследованию состояния устойчивости системы «источник – дуга», динамике вольт-амперных характеристик и современным инверторным цифровым источникам, в том числе с микропроцессорным управлением и синергетическим режимом работы.

Рекомендуется для студентов высших технических учебных заведений. Может быть полезно инженерам, магистрантам и аспирантам технических специальностей.

Часть 1 вышла в 2012 г.

**УДК 621.791 (075.8)**

**ББК 30.61я7**

**ISBN 978-985-550-464-2 (Ч. 2)**

**ISBN 978-985-550-080-4**

© Денисов Л. С., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК И ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ АРГОДУГОВОЙ СВАРКИ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ.....	5
Лабораторная работа № 1. Сварка постоянным током.....	18
Лабораторная работа № 2. Сварка переменным током.....	18
2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СЖАТОЙ ДУГИ.....	19
Лабораторная работа № 3. Сварка постоянным и переменным током.....	23
3. ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ.....	25
Лабораторная работа № 4. Управляемый перенос электродного металла.....	34
Лабораторная работа № 5. Импульсно-дуговая сварка в аргоне... ..	36
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ТИПА TRANS SOCKET.....	37
Лабораторная работа № 6. Сварка методом MMA.....	43
Лабораторная работа № 7. Сварка методом WIG.....	44
Лабораторная работа № 8. Сварка импульсной дугой методом WIG.....	45
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ТИПА TRANS TIG И MAGIC WAVE С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	47
Лабораторная работа № 9. Сварка плавящимся стержневым электродом.....	48
Лабораторная работа № 10. Сварка WIG.....	49
6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ, ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И РЕЖИМОМ SYNERGIC ТИПА TRANS PULS SYNERGIC.....	50
Лабораторная работа № 11. Сварка MIG/MAG с режимом Synergic.....	51
Лабораторная работа № 12. Сварка плавящимся стержневым электродом.....	52
7. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ИСТОЧНИКАМИ ТОКА.....	53
Литература.....	56
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Диагностика неполадок источника тока.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Уход, техническое обслуживание и утилизация.....	61

## ВВЕДЕНИЕ

Высокая производительность сварочного процесса и операций по изготовлению сварных конструкций достигается применением прогрессивных сварочных процессов, механизацией, автоматизацией и роботизацией сварочного производства. Автоматизация и роботизация сварки являются факторами значительного улучшения качества процессов и их стабильности. Высокая надежность, мобильность и управляемость сварочного оборудования, в свою очередь, являются важнейшими факторами обеспечения требуемого качества сварных соединений.

Благодаря созданию нового поколения источников тока с применением силовых выпрямительных вентилей и промежуточного высокочастотного устройства – инвертора – оказалось возможным резко уменьшить массу (показатель А/кг увеличен с 2 до 5 А/кг) и габариты источника, в разы улучшить его динамические свойства, регулировать процессы переноса металла, управлять формированием сварного соединения и выполнять другие важные функции при сварке.

Начало применения инверторных источников было положено в конце 1980-х годов. С этого времени они непрерывно совершенствуются. Сегодня эксплуатируются источники на основе биполярных транзисторов IGBT на частотах до 24 кГц, полевых моп-транзисторов серии MOSFET на частотах до 49 кГц и выше, весом 4–21 кг, на токи 130, 140, 200, 250 А. Дальнейшие разработки направлены на повышение надежности работы источников и частоты тока до 80–100 кГц и выше.

В последние годы на рынке сварочного оборудования предлагаются новейшие цифровые источники тока инверторного типа с микропроцессорным управлением, например, сварочные аппараты Trans Tig 2200, Trans Tig 2500/3000, Magic Wave 2500/3000, Trans Puls Synergic и др. Весь сварочный процесс регулируется центральным блоком управления и подключенным к нему цифровым обработчиком сигналов. В процессе сварки непрерывно производятся сбор фактических данных и реагирование на обнаруживаемые изменения, а управляющие алгоритмы обеспечивают поддержку заданного состояния, что обеспечивает высокое качество процессов сварочных работ.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты изучают особенности работы источников питания и оборудования: устойчивость системы «источник–сварочная дуга», внешние характеристики источника и их взаимосвязь со статической характеристикой сварочной дуги, перенос жидкого металла в сварочную ванну, управление сварочной дугой и другие важные механизмы, обеспечивающие устойчивость сварочного процесса и формирование качественных соединений. Особое внимание уделяется технике безопасности при подготовке источника к работе и в процессе сварки.

## 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК И ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ АРГОДУГОВОЙ СВАРКИ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ

К специализированным источникам тока принято относить источники для сварки неплавящимся электродом в инертном газе (способ TIG), источники тока для сварки сжатой дугой и источники для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Объектами сварки, как правило, являются тонкостенные конструкции (толщиной до 5–6 мм) из высокопрочных, нержавеющей сталей и сплавов, а также алюминиевых и титановых металлов и их сплавов, рис. 1.1.

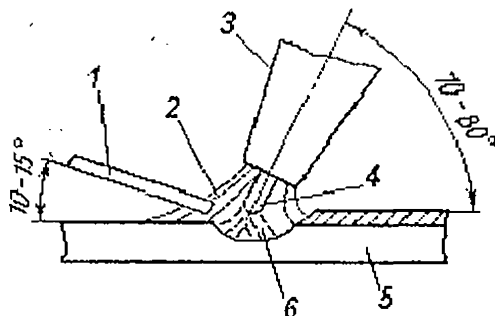


Рис. 1.1. Схема дуговой сварки неплавящимся электродом в инертных газах:  
1 – присадочный пруток; 2 – защитный инертный газ; 3 – мундштук;  
4 – электрод; 5 – изделие; 6 – сварочная дуга

Источники тока для аргодуговой сварки могут различаться по роду сварочного тока (постоянный или переменный) и характеру модуляции тока (непрерывный, импульсный, высокочастотный).

Источники постоянного тока УДГ-350, Master TIG-2500 и аналогичные им применяются для аргонодуговой сварки в инертном газе. На рис. 1.2 приведены блок-схема и циклограмма источника постоянного тока.

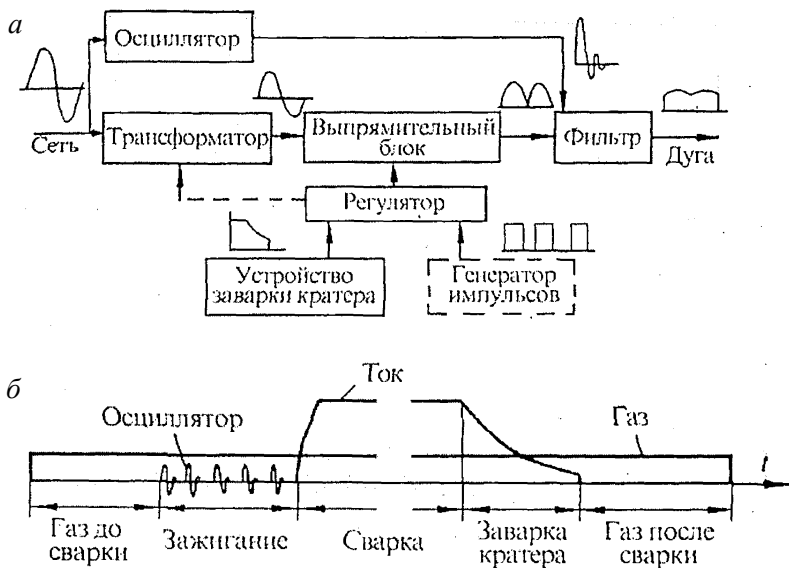


Рис. 1.2. Блок-схема (а) и циклограмма (б) источника постоянного тока для аргонодуговой сварки

**Источник постоянного тока** рекомендуется для сварки металлов и сплавов преимущественно толщиной до 12 мм, см. рис. 1.2.

Сварка выполняется дугой прямой полярности (минус на электроде). В сравнении с дугой обратной полярности здесь более благоприятное распределение тепла дуги, поскольку большая его часть идет в анод – свариваемое изделие. Это позволяет увеличить токовую нагрузку на электрод и скорость сварки. Обычно источник представляет собой выпрямитель, состоящий из трансформатора и выпрямительного блока на диодах или тиристорах. В последнее время применяются инверторные выпрямители. Внешняя характеристика источника должна быть крутопадающей с напряжением холостого хода около 50–80 В, т. е. в четыре–шесть раз превышающим рабочее. При этом обеспечиваются устойчивость процесса сварки и ста-

бильность тока при колебаниях длины дуги, что особенно важно при сварке изделий малой толщины.

Начальное зажигание дуги выполняется бесконтактным способом с помощью высоковольтного высокочастотного генератора – осциллятора или возбудителя, поскольку при контактном способе зажигания наблюдаются недопустимое загрязнение шва вольфрамом и повышенный расход электрода. Зажигание дуги коротким замыканием допустимо, если источник обеспечивает установку тока короткого замыкания ниже сварочного.

Защита основного источника от высокого напряжения высокочастотного генератора осуществляется с помощью фильтра высоких частот.

Заварка кратера при механизированной сварке должна обеспечиваться благодаря плавному снижению тока с помощью специального устройства. Это же устройство иногда используют для обеспечения плавного нарастания тока в начале сварки, что защищает электрод от разрушения, поэтому регулирование тока должно быть плавным с очень высокой кратностью – не менее пяти. Обычно регулятор тока воздействует на тиристорный выпрямительный блок или обмотку управления трансформатора, в новейших конструкциях регулирование выполняется с помощью инвертора или полупроводникового коммутатора.

**Программное управление.** Последовательность включения и выключения отдельных устройств источника обеспечивает цикл сварки, подачу газа перед сваркой в течение 0,5–3 с, включение осциллятора, зажигание дуги, сварку изделия, заварку кратера в течение 3–15 с, защиту шва газом в течение 3–30 с после сварки.

**Источник переменного тока,** рис. 1.3, используют при сварке алюминиевых сплавов. На него распространяются все требования, относящиеся к источнику постоянного тока.

При сварке на переменном токе к источнику предъявляют особые требования. Одно из них связано с наличием постоянной составляющей сварочного тока  $I_{\text{пост}}$ , поскольку среднее значение  $I_{\text{пр}} > I_{\text{обр}}$ . Постоянная составляющая вызывает чрезмерное намагничивание сердечника трансформатора, его перегрев, сильную вибрацию и повреждение изоляции обмоток. Подавление постоянной составляющей тока выполняется специальным устройством. С технологической точки зрения постоянная составляющая тока полезна. Более того, ее ино-



гда специально усиливают для увеличения проплавления основного металла током прямой полярности. Еще одно требование вызвано затруднениями в повторном зажигании дуги при переходе к полупериоду обратной полярности. Надежное зажигание обеспечивается с помощью импульсного стабилизатора, генерирующего импульс напряжения, достигающий значений 200–500 В. Стабилизатор с частотой следования импульсов 50 Гц стимулирует зажигание дуги.

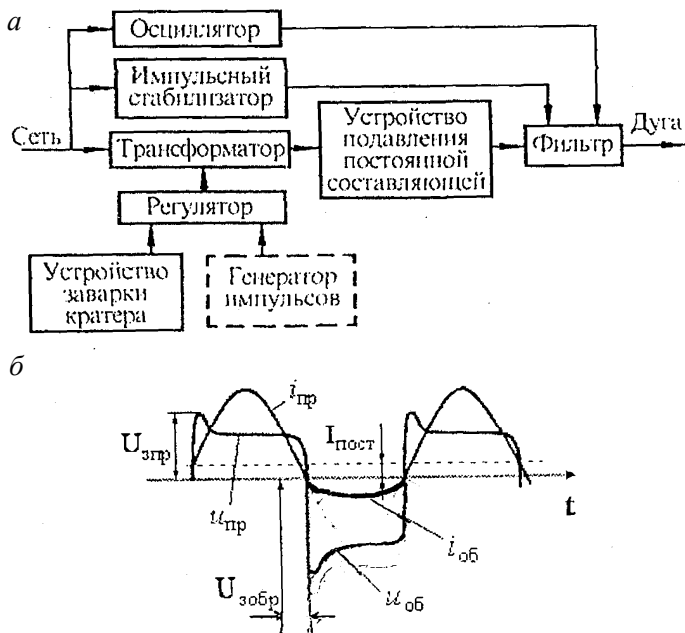


Рис. 1.3. Блок-схема (а) и осциллограммы тока и напряжения (б) источника переменного тока для аргонодуговой сварки

Необходимо учитывать различие физических свойств тугоплавкого вольфрамового электрода и сравнительно легкоплавкого основного металла – алюминия. В полупериоде прямой полярности, когда катодом является нагретый до температуры выше 4000 К вольфрамовый электрод, мощная термоэлектронная эмиссия обеспечивает значительный ток  $i_{пр}$  и интенсивное плавление основного металла. Напряжение зажигания почти равно напряжению дуги  $U_{пр}$  и при короткой дуге в аргоне может составлять всего 10 В. В полупериоде

обратной полярности для зажигания дуги за счет механизма автоэлектронной эмиссии требуется очень большое напряжение  $U_{3обр}$  – до 200 В, так как термоэлектронная эмиссия со сравнительно холодного алюминиевого катода ничтожно мала. Велико и напряжение горения дуги обратной полярности  $u_{обр}$ , оно превышает 20 В. Ток обратной полярности  $i_{обр}$  на 20–50 % ниже по сравнению с током прямой полярности.

Импульсный источник для сварки пульсирующей дугой рекомендуют для соединения деталей малой толщины, поскольку при правильном подборе параметров импульса и паузы удается снизить опасность прожога, рис. 1.4.

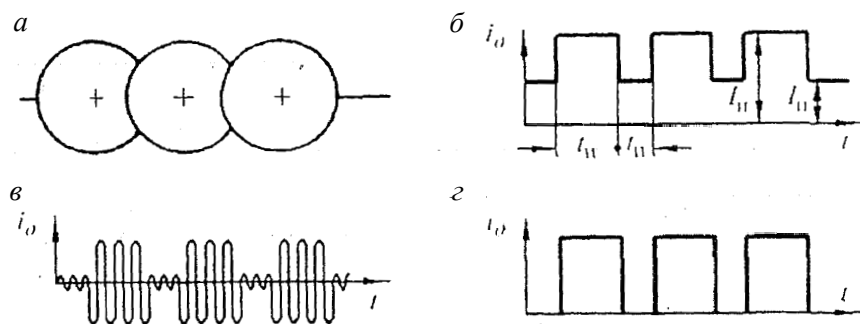


Рис. 1.4. Схема формирования шва (а) и осциллограммы тока (б, в, г) при сварке пульсирующей дугой

Сварка пульсирующей дугой рекомендуется для соединения деталей малой толщины при использовании покрытых и неплавящихся электродов. В отличие от импульсно-дуговой сварки с управляемым переносом здесь импульсы имеют вид, позволяющий управлять формированием шва на весу, рис. 1.4, б. За время импульса  $t_n$  на изделии образуется круглая ванночка небольших размеров, металл которой в течение паузы  $t_п$  успевает закристаллизоваться. Параметры импульса – ток  $I_n$  и время  $t_n$  – подбираются так, чтобы обеспечить полное проплавление без прожога изделия, а параметры паузы – в основном время  $t_п$  – так, чтобы гарантировать перекрытие ванночек для получения сплошного шва, рис. 1.4, а. Ток паузы  $I_п$  необходим только для поддержания межэлектродного промежутка

в ионизированном состоянии с целью повышения устойчивости пульсирующей дуги, иногда он может и вообще отсутствовать. Пульсирующая дуга может питаться и от источника переменного тока.

Кроме сварки тонкого металла пульсирующая дуга используется также при выполнении вертикальных и потолочных швов, где четкое дозирование энергии предотвращает стекание сварочной ванны.

Программное управление током осуществляется с помощью маломощного генератора импульсов – полупроводникового мультивибратора, рис. 1.4, в.

Время импульса и время паузы должны настраиваться плавно и независимо друг от друга в интервале 0,04–1 с. Токи импульса и паузы также должны настраиваться плавно и независимо. Глубина модуляции, т. е. отношение тока импульса к току паузы  $I_{и}/I_{п}$ , должна изменяться от 1 до 10.

**Источник разнополярных импульсов** предназначен для сварки алюминиевых сплавов, рис. 1.5.

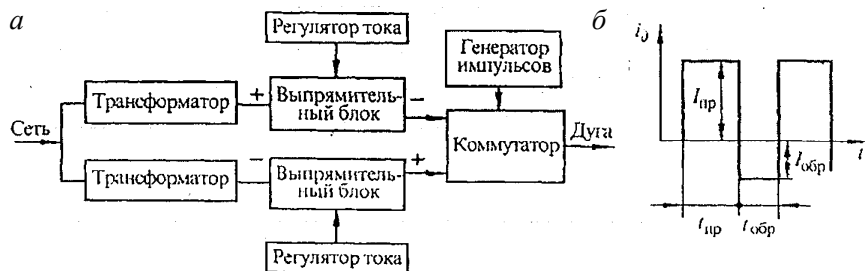


Рис. 1.5. Блок-схема (а) и осциллограмма (б) источника разнополярных импульсов

Обычно он имеет два силовых канала, каждый из которых включает в себя трансформатор и выпрямительный блок. Один канал предназначен для питания дуги прямой полярности, другой – дуги обратной полярности. С помощью силового полупроводникового коммутатора каналы попеременно подключаются к дуге, генерируя прямоугольные импульсы прямой и обратной полярности, рис. 1.5, б.

Время импульса прямой полярности настраивается в интервале  $t_{пр} = 0,001–0,1$  с, обратной полярности  $t_{обр} = 0,001–0,01$  с. Регулирование токов  $I_{пр}$  и  $I_{обр}$  обычно осуществляется плавно и независимо в каждом из каналов. Как правило, ток обратной полярности  $I_{обр}$

устанавливается небольшим, но достаточным для удаления оксидной пленки. Ток прямой полярности  $I_{пр}$  настраивают в зависимости от толщины изделия и диаметра электрода, он может превышать ток обратной полярности в 1,5–4 раза.

**Высокочастотный инверторный источник** создается на базе инвертора, рис. 1.6. Как известно, переменный высокочастотный ток получается путем попеременного включения вентилей VT1 и VT2. На дугу может подаваться как переменный ток от трансформатора Т, рис. 1.6, б, так и несглаженный выпрямленный с блока V2 рис. 1.6, в и г. Пульсирующий ток также может быть получен из постоянного с помощью высокочастотного полупроводникового.

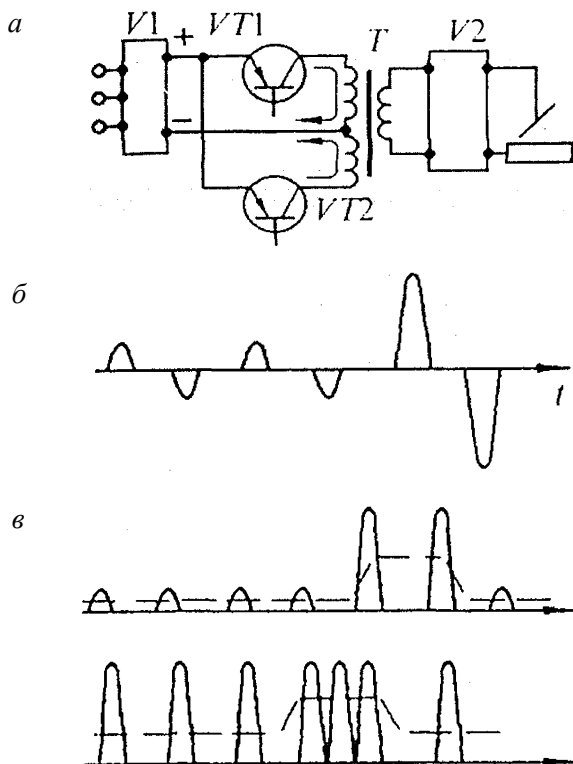


Рис. 1.6. Инверторный импульсный источник:  
 а – упрощенная схема; б – импульсный переменный ток; в – амплитудное модулирование тока; г – частотное модулирование тока

Высокочастотный ток придает дуге вместо конической эллипсоидную форму, это ограничивает ее блуждание и повышает пространственную устойчивость, особенно при малых токах. Испытаны источники на частоту до 25 кГц.

Рассмотрим установку УДГ-350 (СЭЛМА), предназначенную для аргонодуговой сварки как непрерывной, так и пульсирующей дугой.

В ее состав, рис. 1.7, входят автоматический выключатель QF1, сетевые фильтры C1–C6, дроссели L1–L3, сетевой выпрямительный блок VD, сглаживающий дроссель L4 и четыре транзисторных инверторных модуля A1–A4. Каждый инверторный модуль собран на 10 транзисторах по двухтактной полумостовой схеме. В состав каждого модуля входят высокочастотный трансформатор и выпрямительный блок с фильтром. Это повышает надежность работы источника, поскольку после выхода из строя одного из модулей установка продолжает работать, хотя и при меньшем токе. Частота инвертирования достигает 16 кГц. Внешние характеристики установки сформированы за счет обратной связи по току. Установка обеспечивает плавное регулирование тока с высокой кратностью, а также плавное нарастание тока в начале сварки и заварку кратера.

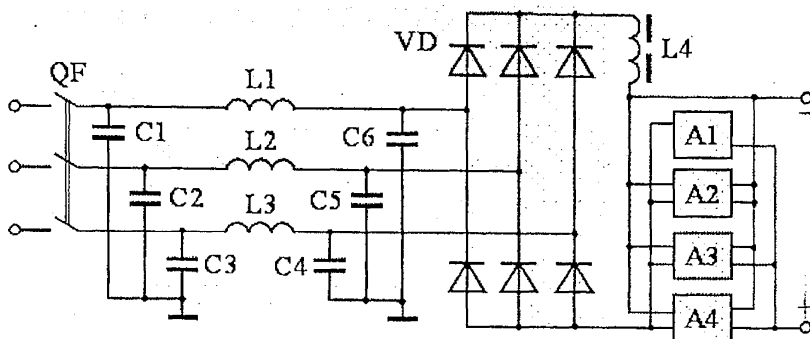


Рис. 1.7. Упрощенная силовая схема установки УДГ-350

Универсальная аргонодуговая установка MasterTIG 2500 AC/DC (КЕМПИ) имеет в своем составе универсальный источник для сварки на постоянном токе униполярными (DC) и разнополярными импульсами (AC). Семейство источников Master в качестве основы имеет

унифицированный инвертор на биполярных транзисторах с изолированным затвором, а приспособление отдельных моделей для разных способов сварки обеспечивается разработкой специализированных схем управления.

Панель управления установки содержит элементы, обеспечивающие выполнение следующих функций, рис. 1.8:

- 1 – индикация напряжения сети;
- 2 – индикация перегрева;
- 3 – индикация вентиляции;
- 4 – индикация пульта дистанционного управления;
- 5 – регулирование настраиваемого параметра;
- 6 – панель импульсного режима с настройкой импульсного и базового тока, частоты и длительности импульсов;
- 7 – настройка спада тока (1–5 с);
- 8 – выбор аргонодуговой сварки (TIG) с бесконтактным зажиганием (HF);
- 9 – выбор аргонодуговой сварки (TIG) с мягким пуском (CONTACT);
- 10 – панель ручной сварки покрытым электродом (MMA) с выбором переменного или постоянного тока (AC, DC), полярности дуги («–» или «+» на электроде), сварки прерывистой дугой (BROKENARC), настройкой форсирования дуги (-9-0-9);
- 11 – панель запоминания и хранения настроенных режимов (10 каналов);
- 12 – выбор типа цикла (двух-, четырехтактный);
- 13 – выбор сварки точками с настройкой времени (до 10 с);
- 14 – панель разнополярных импульсов с настройкой частоты (50–200 Гц) и баланса (очистка – проплавление) для разных диаметров электрода (1,6–4 мм);
- 15 – панель стартового тока (к основному току мягкий пуск до –70 %, горячий пуск до +50 %);
- 16 – панель двухрежимной настройки (к основному току 12 от –80 до +20 %);
- 17 – дисплей с указанием настраиваемой величины и ее значения (в примере – частота 121 Гц).

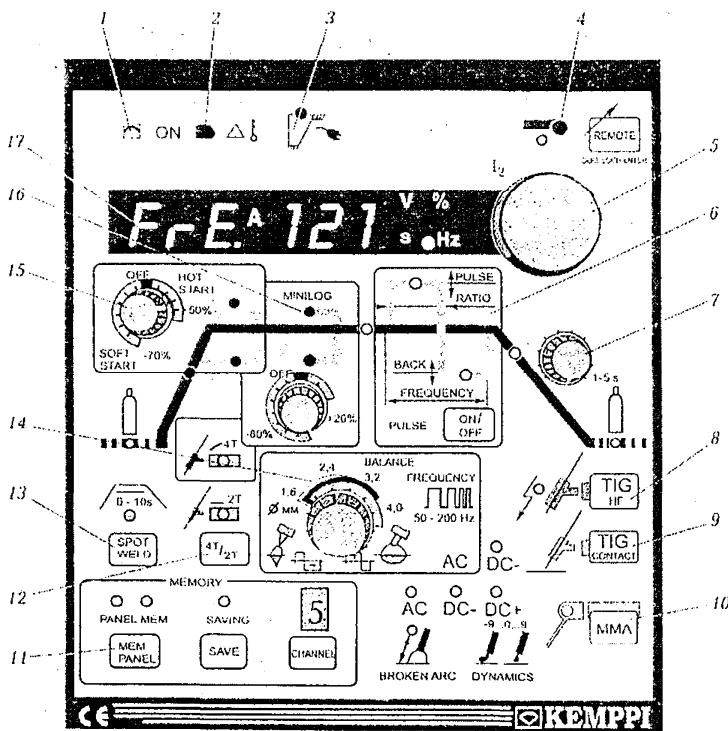


Рис. 1.8. Панель управления установки MasterTIG 2500 AC/DC

Система управления установкой обеспечивает циклограмму, показанную на рис. 1.9, а также настройку параметров режима.



Рис. 1.9. Циклограмма аргодуговой сварки

Предварительная подача газа до сварки выполняется в течение  $t_{\text{пред}} = 0,5-1$  с для облегчения возбуждения дуги и защиты начала шва. Зажигание дуги выполняется высокочастотным разрядом в течение не более 1 с или мягким пуском. Длительность мягкого пуска  $t_{\text{мп}}$  обычно не настраивается. Она ограничивается либо прекращением контакта электрода с деталью, либо отпуском кнопки на горелке. Плавное нарастание основного тока в интервале  $t_{\text{нар}}$  обеспечивает постепенный нагрев электрода и предотвращает начальный выплеск сварочной ванны. Далее в течение длительного времени идет сварка при заранее установленном токе. Спад тока в течение  $t_{\text{спад}}$  до 20 с необходим для заварки кратера, этот интервал увеличивается при большой толщине свариваемых деталей и высоком токе. Последующая подача газа необходима для защиты шва в процессе кристаллизации и остывания, ее длительность  $t_{\text{посл}} = 2-25$  с зависит от размеров сварочной ванны.

Управление циклом при аргонодуговой сварке с помощью кнопки на горелке может выполняться в двух вариантах: с двух- и четырехтактным циклом.

При двухтактном цикле, когда нажимают кнопку (стрелка вниз), последовательно проходят этапы предварительной подачи газа, зажигания, нарастания тока и собственно сварки, а для завершения цикла кнопку отпускают (стрелка вверх), в результате установка переходит к процессам снижения тока и последующей подачи газа. Такой цикл предпочтителен при сварке с выполнением коротких швов.

Четырехтактный цикл идет в следующем порядке. После нажатия на кнопку следуют подача газа до сварки, зажигание и работа в режиме поисковой дуги (мягкий пуск, пока нажата кнопка). После отпускания кнопки происходит нарастание тока и длительная сварка до следующего нажатия на кнопку. При втором нажатии начинается снижение тока для заварки кратера, а при отпуске кнопки отсчитывается время подачи газа после сварки. Такой цикл рекомендуется при выполнении длинных швов. Циклограмма может быть усложнена предварительной настройкой двух уровней тока  $I_{\text{д1}}$  и, например в целях попеременной сварки, то в нижнем, то в вертикальном положении. Переход от одного режима к другому осуществляется кратковременным нажатием кнопки на горелке.

Настройка режима заключается в выборе и установке следующих параметров: род тока и полярность дуги, марка и диаметр элект-



рода, диаметр присадочного прутка, сила тока, длина и напряжение дуги, расход аргона, скорость сварки.

В лабораторных работах № 9 и 10 будут рассмотрены современные цифровые сварочные аппараты, в том числе импульсные с микропроцессорным управлением и синергетикой. Это сварочные аппараты серии Trans Synergic (TS), Trans Puls Synergic, Trans Tig, Magic Wave и аналогичные им аппараты других производителей.

### *Лабораторная работа № 1*

## **СВАРКА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ**

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями специализированных источников постоянного тока аргонодуговой сварки, выполнить наплавку и сварку образцов по установленным режимам и провести анализ устойчивости горения дуги по схеме «источник–дуга».

**Оборудование:** установка типа УДГ-350.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством источника, его рабочими характеристиками и принципиальной электрической схемой.

2. Под непосредственным руководством инструктора по сварке (инженера, мастера) тщательно изучить правила безопасности при работе с источником, его заземление и включение. Изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, работу вентилятора и другие особенности.

3. Установить режим сварки, в том числе  $I$ ,  $A$ ,  $U$ ,  $B$ , диаметр электрода, мм,  $v$ , м/ч, расход газа, л/с.

4. Включить источник.

5. При непосредственном участии и контроле инструктора выполнить наплавку валиков и сварку пластин из алюминия встык и внахлестку в нижнем положении.

6. Показатели  $I$ ,  $A$ , и  $U$ ,  $B$  занести в таблицу. Провести анализ качества швов, правильность установленных режимов сварки и устойчивость процессов сварки по схеме «источник–дуга».

## Сварка и измерение $I, A, U, B$

№ п/п	Наплавка и сварка пластин	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/ч$	Расход газа, л/с
1	Наплавка валиков (три валика)					
2	Сварка встык $S = \quad I =$ $S = \quad I =$					
3	Сварка внахлестку $S = \quad I =$ $S = \quad I =$					

7. В координатах  $U, B$ , и  $I, A$ , построить график пересечения внешней характеристики источника и вольт-амперной характеристики дуги, представленной на рисунке. Дать объяснения явлениям в точках  $A$  и  $B$ .

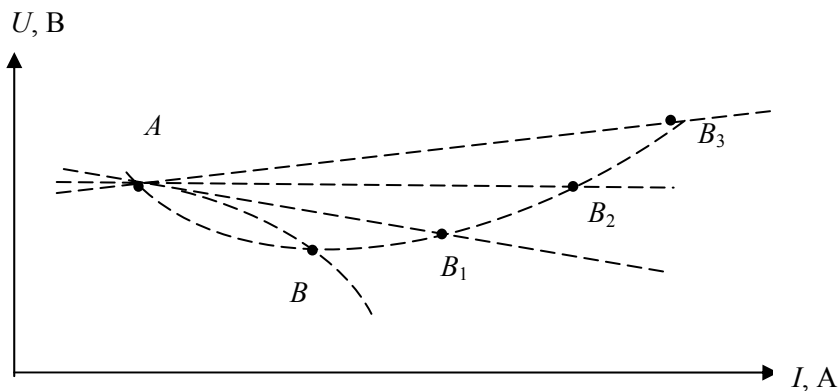


График пересечения кривых ВАХ и СВАЗ

8. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–7. Сделать выводы по п. 7 о правильности режимов и моменте наступления устойчивости системы «источник–дуга».

## Лабораторная работа № 2

### СВАРКА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями специализированных источников переменного тока, выполнить наплавку и сварку образцов аргонодуговой сваркой и провести анализ устойчивости горения дуги по схеме «источник-дуга».

**Оборудование:** аргонодуговая установка Master TIG 2500 AC/DC.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством источника, его рабочими характеристиками и принципиальной электрической схемой.

2. Под непосредственным руководством инструктора по сварке (инженера, мастера) тщательно изучить правила безопасности при работе с источником, его заземление и включение. Изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, работу вентилятора и другие особенности.

3. Установить режим сварки, в том числе  $I$ ,  $A$ ,  $U$ ,  $B$ , диаметр электрода, мм,  $v$ , м/ч, расход газа, л/с.

4. Включить источник.

5. При непосредственном участии и контроле инструктора выполнить наплавку валиков и сварку пластин из алюминия встык и нахлестку в нижнем положении.

6. Показатели  $I$ ,  $A$ , и  $U$ ,  $B$ , занести в таблицу. Провести анализ качества швов, правильности установленных режимов сварки и устойчивости процессов сварки по схеме «источник–дуга».

#### Сварка и измерение $I$ , $A$ , $U$ , $B$

№ п/п	Наплавка и сварка пластин	$I$ , A	$U$ , B	Диаметр электрода, мм	$v$ , м/ч	Расход газа, л/с
1	Наплавка валиков (три валика)					
2	Сварка встык $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

7. В координатах  $U, V$ , и  $I, A$ , построить график пересечения внешней характеристики источника и вольт-амперной характеристики дуги, показанный на рисунке. Дать объяснение явлениям в точках  $A$  и  $B$ .

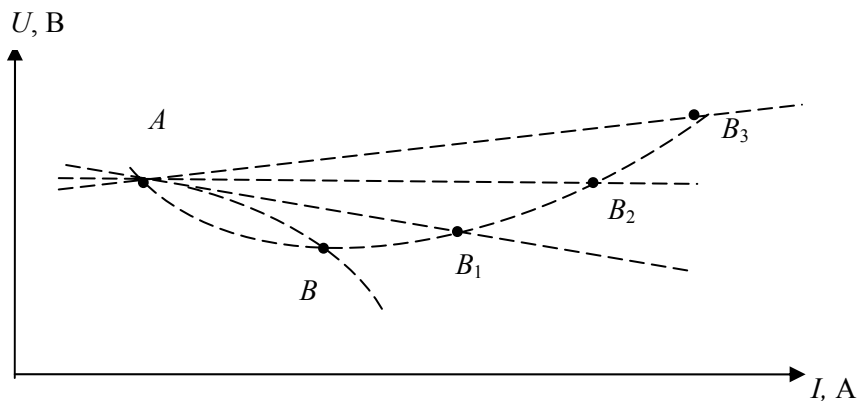


График пересечения кривых ВАХ и СВАЗ

8. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–7. Сделать выводы по п. 7 о правильности режимов и моменте наступления устойчивости системы «источник–дуга».

## 2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СЖАТОЙ ДУГИ

Сжатая (плазменная) дуга используется при сварке, наплавке, резке и напылении, а также при плазменно-механической обработке.

**Плазменная сварка и наплавка**, рис. 2.1, выполняются с помощью плазмотрона, рис. 2.2, *а* и *б*. Дуга, горящая между вольфрамовым электродом и деталью, сжимается потоком аргона, проходящего по каналу сопла диаметром 0,5–6 мм. По сравнению со свободной дугой сжатая дуга имеет более высокую температуру (до 20 000 К по оси столба), повышенную проплавливающую способность и устойчивость.

Увеличение глубины проплавления в 1,5–2 раза по сравнению со сваркой свободной дугой позволяет за один проход соединить металл толщиной до 10 мм.

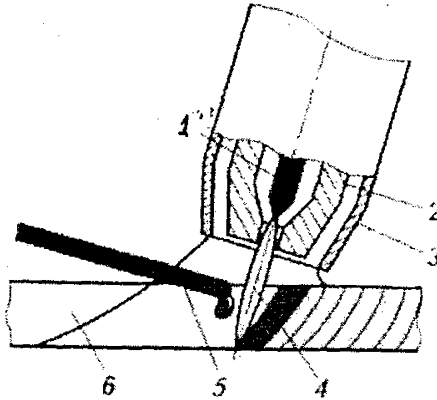


Рис. 2.1. Схема плазменной сварки:

1 – вольфрамовый электрод; 2 – корпус плазмотрона; 3 – канал подачи защитного газа; 4 – сжатая дуга; 5 – присадочный материал; 6 – свариваемое изделие

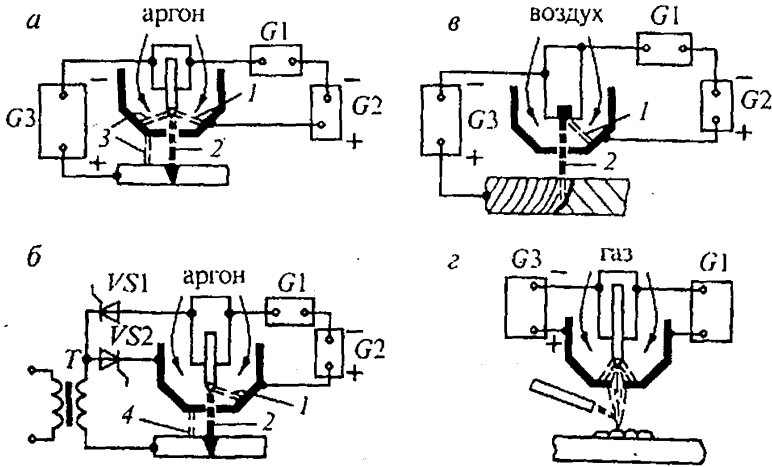


Рис. 2.2. Схемы плазменных процессов:

а – сварки на постоянном токе; б – сварки на переменном токе;

в – резки; г – напыления

Малые размеры и высокая пространственная стабильность сжатой дуги позволили рекомендовать ее и для соединения сверхтонких материалов (до 0,05 мм) без прожогов и непроваров. Эта разновидность

сварки (при токе ниже 25 А) названа микроплазменной. Внешняя характеристика источника должна быть крутопадающей, при этом обеспечиваются устойчивость дуги и стабильность проплавления. Плавное или ступенчатое нарастание основного тока снижает опасность образования двойной дуги. Основной импульсный источник может применяться при сварке сжатой пульсирующей дугой.

**Источники для плазменной сварки.** В настоящее время для плазменной сварки разработано и выпускается большое число специализированных установок типов УПС, УПНС и др. Наиболее типичными из них являются установки типа УПНС.

Принципиальная схема установки УПНС-304 (электрик) приведена на рис. 2.3. Она предназначена для сварки большинства металлов сжатой дугой током прямой полярности и алюминиевых сплавов током обратной полярности как в непрерывном, так и в импульсном режиме. В состав установки входят порошковый питатель и насадка на плазматрон, позволяющие выполнять плазменную наплавку.

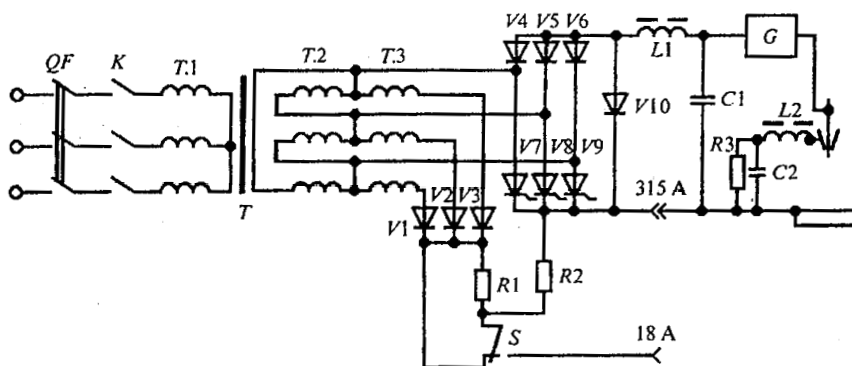


Рис. 2.3. Принципиальная схема УПНС-304

Такие источники имеют диодный или тиристорный выпрямитель с падающей внешней характеристикой. Для зажигания дежурной дуги высокочастотным разрядом используются осциллятор или импульсный возбудитель, при контактном зажигании дежурной дуги такие устройства не нужны.

Источник питания имеет автоматический выключатель QF, мощный пускатель K, понижающий трансформатор T, силовой блок вы-

прямления V4–V9, блок выпрямления дежурной дуги V1–V3 с балластным реостатом, переключатель диапазонов S и блок поджига с возбудителем G.

В диапазоне больших токов (315 А) основная дуга «электрод–деталь» питается от вторичных обмоток T2, соединенных треугольником, и управляемой трехфазной мостовой схемы, собранной из диодов V4–V6 и тиристоров V7–V9. Крутопадающие внешние характеристики, рис. 2.4, а, формируются тиристорами за счет обратной связи по току.

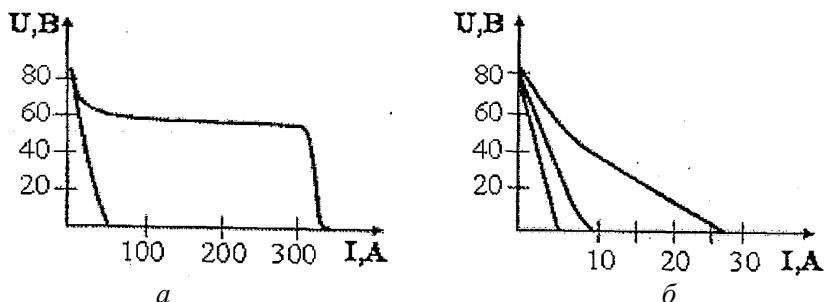


Рис. 2.4. Внешние характеристики в диапазоне больших токов (а), малых токов (б) установки УПНС-304

Диапазон малых токов обеспечивается после перестановки разьема в положение 18 А благодаря включению в цепь силового блока выпрямлена балластного реостата R2. Полученные при этом крутопадающие характеристики показаны на рис. 2.4, б.

Сглаживание сварочного тока осуществляется в обоих диапазонах фильтром V10, L1. Так как при большом угле управления тиристоров ток сглаживается неэффективно, дополнительно используется подпитка, которую по совместительству обеспечивает блок питания дежурной дуги. В этом случае вторичные обмотки T2 и T3 образуют треугольник с длинными сторонами, что приводит к увеличению напряжения холостого хода. Выпрямленный ток подпитки создается трехфазной мостовой схемой, собранной из диодов V1–V6, а крутопадающая характеристика формируется балластным реостатом R1.

Зажигание дуги выполняется возбудителем по цепи в G–C1–C2–L2–сопло–электрод–G, после чего появляется ток дежурной дуги в цепи V1–V2–V3–R1–R2–R3–L2–сопло–электрод–G–L1–V4–V5–V6.

В момент касания потоком плазмы поверхности изделия возникает основная дуга «электрод–деталь», ток которой плавно нарастает. В конце сварки предусмотрено плавное снижение тока. Модуляция тока при сверке пульсирующей дугой осуществляется с помощью тиристоров V7–V9.

Для микроплазменной сварки применяют источник MICRO-PLASMA 50 (EWM), источник имеет отдельный инвертор тока для вспомогательной дуги.

### *Лабораторная работа № 3*

## **СВАРКА ПОСТОЯННЫМ И ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ**

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями специализированных источников питания переменной дугой, выполнить наплавку и сварку образцов и провести анализ устойчивости горения дуги.

**Оборудование:** установка УПНС-304.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством источника, его рабочими характеристиками и принципиальной электрической схемой.

2. Под непосредственным руководством инструктора по сварке (инженера, мастера) тщательно изучить правила безопасности при работе с источником, его заземление и включение. Изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, работу вентилятора и другие особенности.

3. Установить режим сварки, в том числе  $I$ ,  $A$ ,  $U$ ,  $B$ , диаметр электрода, мм,  $v$ , м/ч, расход газа, л/с.

4. Включить источник.

5. При непосредственном участии и контроле инструктора выполнить наплавку валиков и сварку пластин из алюминия встык и нахлестку в нижнем положении.

6. Показатели  $I$ ,  $A$ , и  $U$ ,  $B$ , занести в таблицу. Провести анализ качества швов, правильность установленных режимов сварки и устойчивость процессов сварки по схеме «источник–дуга».



## Сварка и измерение $I, A, U, B$

№ п/п	Наплавка и сварка пластин	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/ч$	Расход газа, л/с
1	Наплавка валиков (три валика)					
2	Сварка встык $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

7. В координатах  $U, B$ , и  $I, A$ , построить график пересечения внешней характеристики источника и вольт-амперной характеристики дуги, показанный на рисунке. Дать объяснение явлениям в точках  $A$  и  $B$ .

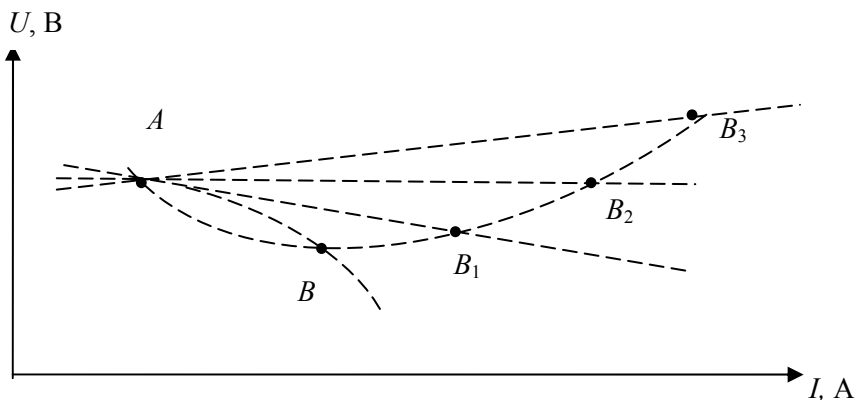


График пересечения кривых ВАХ и СВАЗ

8. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–7. Сделать выводы по п. 7 о правильности режимов и моменте наступления устойчивости системы «источник–дуга».

### 3. ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Способ механизированной сварки плавящимся электродом в аргоне или смесях газов ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ) с модулированием тока называется импульсно-дуговой сваркой. Такой процесс обеспечивает управляемый перенос электродного металла в жидкую ванночку соединяемых (свариваемых) элементов.

Главным достоинством импульсно-дуговой сварки является возможность в два–три раза уменьшить нижний предел тока, при котором еще обеспечивается мелкокапельный перенос, и, следовательно, сваривать металл сравнительно малой толщины без опасности прожога и недопустимого разбрызгивания. Поскольку импульсный ток гарантирует направление переноса капли вдоль оси электрода, это облегчает сварку в вертикальном положении.

Механизм переноса электродного металла показан на рис. 3.1, *а*. Капля расплавленного металла на электроде находится под действием нескольких сил. Сила тяжести  $F_T$  направлена вниз, она зависит от диаметра капли  $d_k$ . Сила реактивного давления  $F_p$  паров испаряющегося металла отбрасывает каплю от ванны. Сила поверхностного натяжения  $F_n$  стремится уменьшить поверхность капли и поэтому препятствует ее отделению. Электродинамическая сила, вызванная прохождением тока, пропорциональна квадрату силы тока, ее радиальная составляющая  $F_{\text{р}}$  стремится пережать шейку капли, а осевая составляющая  $F_{\text{о}}$  отбрасывает каплю к детали.

Проанализируем зависимость характера переноса, без коротких замыканий, от силы тока при сварке плавящимся электродом, рис. 3.1, *б*. При малом токе электродинамическая сила невелика и капля переносится под действием силы тяжести  $F_T$  при достижении достаточно большого размера  $d_k$ . Такой крупнокапельный перенос, как правило, имеет нерегулярный характер, отрицательно влияет на устойчивость процесса сварки, приводит к плохому формированию шва.

При увеличении тока возрастает влияние электродинамической силы на перенос жидкого металла, что приводит к более раннему отрыву капли и, следовательно, снижению размеров капли ( $d_k < d_3$ ). Если ток увеличить значительно, то активное пятно дуги охватывает не только торец, но и боковую поверхность электрода, которая также оплавляется. В результате конец электрода приобретает фор-

му конуса, с вершины которого жидкий металл стекает мелкими частицами ( $d_k < 0,5 d_3$ ), образующими непрерывную струю. При мелкокапельном и струйном процессе перенос становится направленным вдоль оси электрода в сторону детали, разбрызгивание уменьшается, а формирование шва улучшается, особенно в вертикальном и потолочном положении. Ток, характеризующий переход к струйному переносу, назван критическим  $I_{кр}$ .

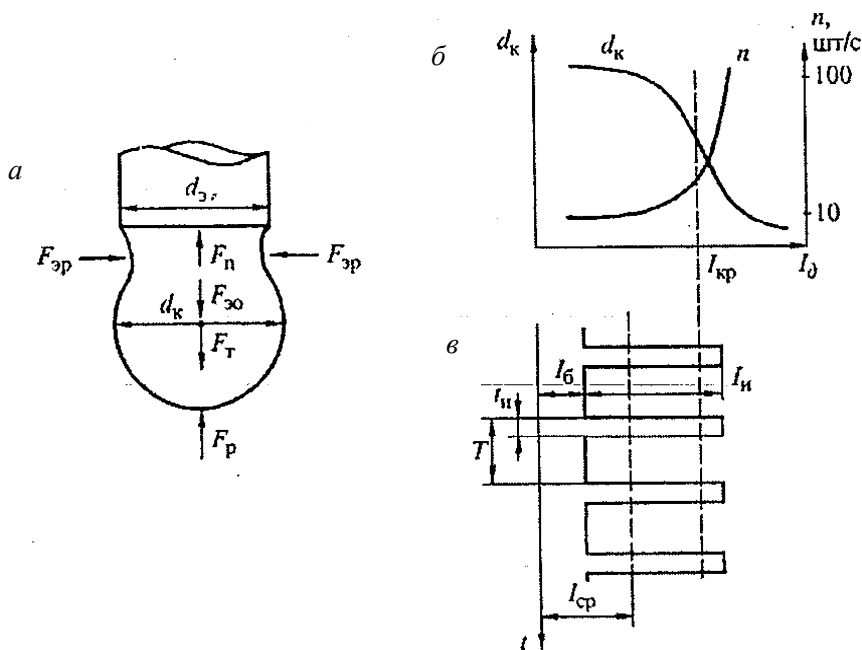


Рис. 3.1. Управление переносом электродного металла:  
 а – силы, действующие на каплю электродного металла; б – зависимость частоты переноса и размеров капли от силы тока; в – осциллограмма тока при импульсно-дуговой сварке

**Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом в аргоне** выполняется при подаче мощных пиковых импульсов тока, рис. 3.1, в. В результате резкого возрастания электродинамической силы происходит сбрасывание капли с диаметром  $d_k$ , существенно меньшим диаметра электрода  $d_3$ . Ток импульса  $I_n$  для надежного сбрасывания капли должен превышать критический ток  $I_{кр}$ . Базовый ток  $I_6$  назна-

чается в зависимости от толщины свариваемого металла и положения шва в пространстве. Частоту подачи импульсов  $f_{и}$  – величину, обратную периоду их следования  $T(f_{и} = 1/T)$ , подбирают так, чтобы каждым импульсом сбрасывать одну каплю.

Управление переносом при наличии технологических коротких замыканий каплями на ванну, которые наблюдаются при сварке покрытыми электродами и механизированной сварке в защитных газах, наталкивается на серьезные технические трудности. В этом случае процесс плавления электрода имеет не столь регулярный характер, а капля, как правило, несоосна электроду, так что импульс тока может привести к выбрасыванию ее за пределы ванны.

С появлением быстродействующих силовых транзисторов возникла возможность управления процессом переноса, оптимально удовлетворяющего как требованиям снижения разбрызгивания, так и обеспечения устойчивости.

Рассмотрим последовательно все этапы такого процесса. В конце стадии дугового разряда предусмотрено снижение тока (пауза) до значения  $I_{п}$ , при этом реактивное давление паров на каплю снижается, а сама капля приближается к ванне. В начале короткого замыкания в течение  $t_{кн} = 1-3$  мс ток резко снижают путем уменьшения напряжения источника, что гарантирует слияние капли с ванной, затем напряжение источника восстанавливают, что приводит к нарастанию тока короткого замыкания в течение  $t_{к} = 5-10$  мс и перетеканию капли в ванну. В конце стадии короткого замыкания в течение  $t_{кк} = 1$  мс ток снова снижают, что обеспечивает разрыв перемычки между каплей и электродом без газодинамического удара. Вслед за этим напряжение источника восстанавливают или даже кратковременно повышают для надежного повторного зажигания дуги. В этом случае удастся существенно снизить разбрызгивание при высокой устойчивости процесса.

Программное управление отдельными стадиями процесса сварки (циклограмма), рис. 3.2, предполагает задание длительности нарастания тока  $t_{нар}$  в начале и длительности спада  $t_{спад}$  в конце сварки.

Плавное нарастание тока в начале сварки полезно при механизированной сварке тонкого металла, чтобы предотвратить начальный прожог. Плавное снижение тока в конце сварки особенно широко используется с целью постепенного заполнения кратера шва при механизированной сварке неплавящимся электродом. Иногда в источ-

нике заранее настраивают два ( $I_{д1}$ ,  $I_{д2}$ ) или более различных режимов с тем, чтобы в процессе сварки быстро перейти от одной ступени к другой. Такая необходимость возникает при изготовлении изделий из заготовок разных толщин и сварке в различных пространственных положениях. Циклограмму наносят непосредственно на пульте источника, располагая регуляторы тока и времени вблизи соответствующих участков циклограммы, что существенно облегчает настройку.

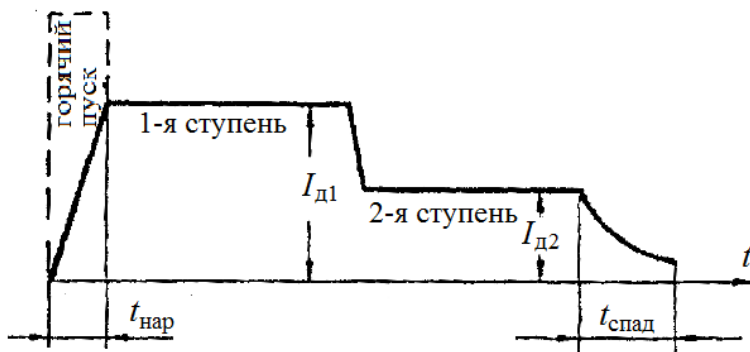


Рис. 3.2. Циклограмма процесса дуговой сварки

Наибольшее распространение получили тиристорные и транзисторные (инверторные) источники питания. Последним достижением в разработке импульсных источников является конструкция с транзисторным коммутатором, рис. 3.3. Транзистор VT (рис. 3.3, а) управляет током выпрямителя V, обеспечивая необходимый ток и в импульсе, и в паузе. Закон изменения сварочного тока определяется характером тока базы транзистора. Ток базы, в свою очередь, сформирован слаботочной системой управления с широкими возможностями раздельной настройки импульсного и базового тока, а также времени импульсов и периода их следования. Таким образом, частота импульсов может настраиваться плавно в диапазоне от 20 до 200 Гц. При этом частота может меняться даже в процессе сварки, например, при изменении толщины детали и силы тока рис. 3.3, б. Импульс может иметь различную форму: прямоугольную, экспоненциальную с регулируемой скоростью нарастания и спада тока, ступенчатую и т. д., рис. 3.3, в.

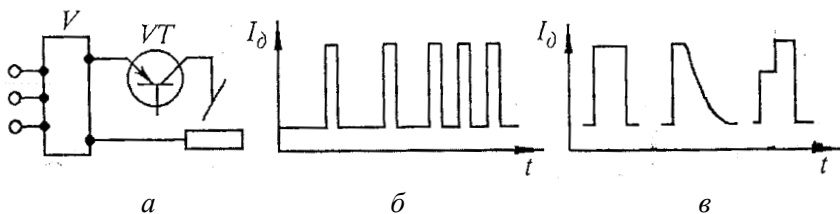


Рис. 3.3. Упрощенная схема (а), осциллограмма (б) и форма импульсов (в) источника с транзисторным коммутатором

Базовый ток  $I_b$  существенно ниже тока импульса. Среднее значение тока  $I_{cp}$  назначается в зависимости от толщины свариваемого металла и положения шва в пространстве, средний ток настраивается изменением скорости подачи электродной проволоки.

Внешние характеристики источников базового  $I$  и импульсного  $2$  тока различны, рис. 3.4. Рассмотрим их совместно с характеристикой дуги  $3$  при ее нормальной длине, а также при короткой ( $l_{d \min}$ ) и длинной ( $l_{d \max}$ ) дуге. Источник базового тока должен иметь жесткую или пологопадающую характеристику  $I$ , с тем чтобы при колебаниях длины дуги отклонения тока от точки  $A$  к  $A_1$  или  $A_2$  были значительными, что и обеспечивает высокое быстродействие процесса саморегулирования. При малых токах для повышения устойчивости горения дуги при ее удлинении до  $l_{d \max}$  (точка  $A_2$ ) необходимо увеличение напряжения, что достигается применением крутопадающего участка  $I'$ .

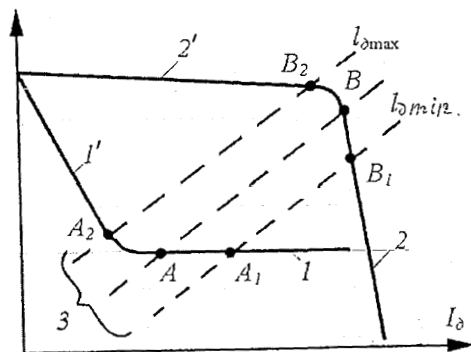


Рис. 3.4. К выбору внешних характеристик импульсного тока

В целом характеристика базового тока имеет L-образный вид. Источник импульсного тока должен иметь характеристику 2 с основным вертикальным участком, в этом случае при колебаниях длины дуги в точках  $B$  и  $B_1$  обеспечивается стабильность тока и энергии импульса. В то же время при чрезмерном удлинении дуги до  $l_{d \max}$  сбрасывание капли каждым импульсом нежелательно, поэтому полезно уменьшение тока импульса в точке  $B_2$  благодаря наличию жесткого участка 2'. В целом характеристика импульсного тока должна иметь Г-образную форму.

Импульсно-дуговая сварка может осуществляться от питающих систем, состоящих из основного сварочного источника и импульсной приставки либо от автономного источника, выполняющего функции питающей системы. Наибольшее распространение получили автономные тиристорные источники.

Источники для импульсно-дуговой сварки с подающим устройством входят в состав полуавтоматов.

Рассмотрим работу источника ВДГИ-302 (СЭЛМА), рис. 3.5, а. Сетевое напряжение с помощью автоматического выключателя QF и пускателя КМ подается на однофазный понижающий трансформатор Т с нормальным рассеянием. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется блоком вентилей VD1–VD2, VS1–VS6 с двумя дросселями L1 и L2. В этом блоке диоды работают в любом режиме, а тиристоры включаются на разных стадиях процесса. Тиристоры VS1, VS2 используются для генерирования пиковых импульсов  $I_n$ , рис. 3.5, б. Амплитуда и длительность импульсов задаются углом управления тиристоров, частота (50 или 100 Гц) зависит от того, один или оба тиристора используются. Тиристоры VS3, VS4 создают базовый ток  $I_b$ , сглаженный дросселем L1 (рис. 3.5, в). Фазовое управление тиристорами VS3, VS4 используется для настройки напряжения дуги. Однако при глубоком регулировании в кривой базового тока появляются провалы, поэтому схема дополняется цепью подпитки, обеспечивающей небольшой, но хорошо сглаженный ток  $I_n$ , рис. 3.5, г. В ней применены оптронные тиристоры VS5 и VS6, управляемые вспышкой светодиодов, что обеспечивает гальваническую развязку, т. е. независимость работы цепей управления от воздействия высокочастотных помех сварочной цепи. В цепи подпитки используется дроссель L2 с большой индуктивностью. Выпрямитель может работать как в режиме импульсного, рис. 3.5, б, так и базового тока, рис. 3.5, в.

Однако преимущественно используется совместный режим работы всех цепей, при котором сварочный ток получается как сумма токов импульсного, базового и подпитки, рис. 3.5, д.

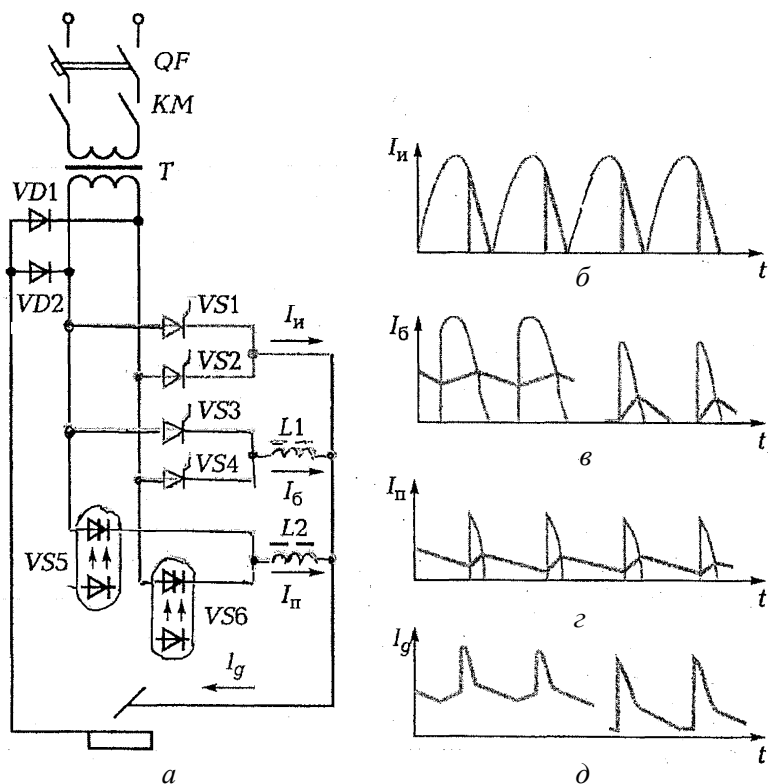


Рис. 3.5. Принципиальная схема (а) и осциллограммы тока (б–д) выпрямителя ВДГИ-302 в сокращенном виде

**Инверторные источники** для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом выполняют как универсальные. Действительно, конструкция мощного инвертора на ток более 250 А, как правило, не зависит от способа сварки. Такие источники позволяют выполнять ручную дуговую сварку (ММА), аргодуговую (TIG), сварку плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG). Их называют мультисистемами.



Универсальные источники комплектуются микропроцессорной системой управления, в частности синергетической, см. лабораторные работы № 11, 12.

Инверторный источник марки **Invertec STT II** (LINCOLN ELECTRIC) показан на рис. 3.6, а. В состав источника входят сетевой автоматический выключатель QF, входной выпрямительный блок VD1, пакетный переключатель SA1, электромагнитный контактор KM, два инверторных модуля A1 и A2, понижающий трансформатор Т, выходные выпрямительные блоки VD2 и VD3, сглаживающий дроссель L и транзисторный модуль A3 с блоком управления A4. Источник рассчитан для подключения как к однофазной, 220 В, так и к трехфазной, 3 × 380 В, сети, поэтому в схеме предусмотрен переключатель SA1. Два инвертора A1 и A2 обеспечивают двухтактное преобразование постоянного напряжения в высокочастотное переменное.

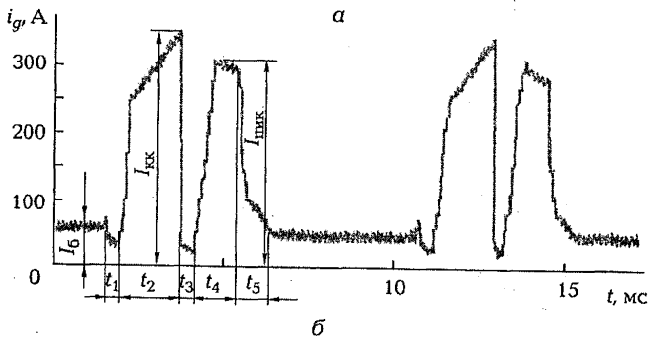
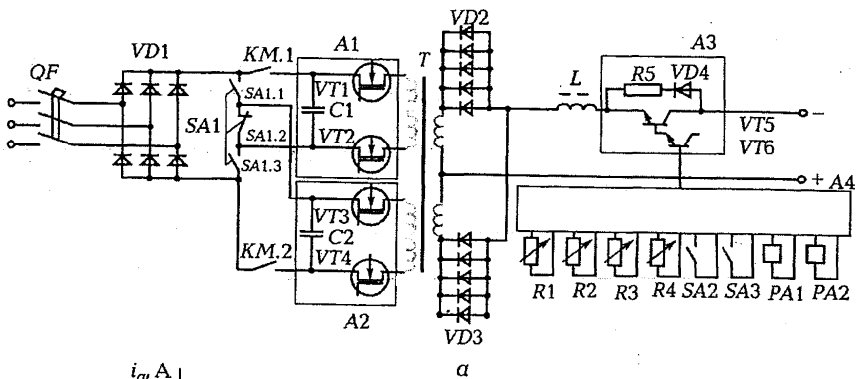


Рис. 3.6. Принципиальная схема (а) и осциллограмма тока (б) источника Invertec STT II в сокращенном виде

Каждый инвертор собран на отдельной плате из двух транзисторов и конденсатора – VT1, VT2, C1 и VT3, VT4, C2. Трансформатор Т с увеличенным рассеянием понижает напряжение, которое затем выпрямляется блоками VD2 и VD3 и сглаживается дросселем L. Сложный алгоритм управления током при переносе капель задается блоком А4 и реализуется с помощью быстродействующего полупроводникового регулятора А3, состоящего из двух транзисторов VT5 и VT6. Для пропускания небольшого неуправляемого тока параллельно регулятору включен балластный реостат R5 с диодом VD4.

Источник разработан специально для сварки в углекислом газе с управлением переносом капель электродного металла по методу STT (Surface Tension Transfer), т. е. за счет сил поверхностного натяжения. Управление переносом, рис. 3.6, б, при наличии технологических коротких замыканий каплями на ванну, которые наблюдаются при механизированной сварке в углекислом газе, становится возможным благодаря использованию быстродействующего ключа на основе силовых транзисторов VT5 и VT6. На стадии завершения образования капли дуга горит при настроенном базовом токе  $I_6$ . Момент касания капель ванны улавливает датчик напряжения, и в течение интервала  $t_1 = 0,5–0,8$  мс ЭДС и ток источника быстро снижаются, что позволяет капле слиться с ванной. Затем ток резко увеличивается в течение  $t_2 = 1,5–3$  мс до уровня тока  $I_{\text{кк}}$ , настраиваемого в зависимости от диаметра проволоки. Прекращение короткого замыкания также происходит по команде датчика напряжения, потому что к моменту разрыва перемычки между каплей и электродом напряжение начинает резко увеличиваться. Далее в течение интервала  $t_3 = 0,7–1$  мс ток снова снижается, что гарантирует отделение капли без взрыва и газодинамического удара по ванне. Затем по команде таймера ток восстанавливается до настроенного пикового значения  $I_{\text{пик}}$  и поддерживается в течение времени  $t_4 = 1–2$  мс, что необходимо для надежного повторного зажигания дуги. Последующий плавный спад тока в течение интервала  $t_5$  настраивается в зависимости от марки электродного металла. На схеме блока управления показаны регулировочные и контрольные устройства. Базовый ток  $I_6$  настраивается потенциометром R1 и контролируется цифровым индикатором PA1. Пиковый ток  $I_{\text{пик}}$  настраивается потенциометром R2 и контролируется индикатором PA2. Спад тока регулируется потенциометром R3. Тумблер SA2 с положениями «< 1 мм» и «> 1 мм» используется для регулирования

тока короткого замыкания в зависимости от диаметра проволоки. Тумблер SA3 имеет два положения и позволяет изменять интервал  $t_5$  в зависимости от марки электродного металла.

В источнике предусмотрена также возможность горячего пуска с увеличением тока на 25–50 % в сравнении с настроенным сварочным и регулировкой его длительности потенциометром R4 до 4 с.

Синергетическое управление имеют инверторные источники PICOMIG 180 PULS (EWM), TransPuls Synergic 2700 (FRONIUS), HighPULSE 350 K (MERKLE), FastMig Pulse 450 (KEMPPPI), P 5500 (LORCH).

Управляемый перенос жидкой капли электродного металла позволяет существенно снизить разбрызгивание и экономию металла, а также выделение дыма и аэрозолей. Сварку в защитных газах стало возможным выполнять без опасности прожогов, поскольку ток короткого замыкания капель строго ограничен, а размеры ванны и общий нагрев основного металла снижены при сохранении необходимой глубины проплавления.

### *Лабораторная работа № 4*

## **УПРАВЛЯЕМЫЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА**

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями специализированных источников тока, для импульсно-дуговой сварки и плавящимся электродом. Выполнить наплавку и сварку образцов.

**Оборудование:** ВДГИ-302 (СЭЛМА). Управление переносом электродного металла.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством источника, его рабочими характеристиками и принципиальной электрической схемой.

2. Под непосредственным руководством инструктора по сварке (инженера, мастера) тщательно изучить правила безопасности при работе с источником, его заземление и включение. Изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, работу вентилятора и другие особенности.

3. Установить режим сварки, в том числе  $I$ ,  $A$ ,  $U$ ,  $B$ , диаметр электрода, мм,  $v$ , м/ч, расход газа, л/с.

4. Включить источник.

5. При непосредственном участии и контроле инструктора выполнить наплавку валиков и сварку пластин из алюминия встык и нахлестку в нижнем положении.

6. Показатели  $I, A$ , и  $U, B$ , занести в таблицу. Провести анализ качества швов, правильности установленных режимов сварки и устойчивости процессов сварки по схеме «источник–дуга».

### Сварка и измерение $I, A, U, B$

№ п/п	Наплавка и сварка пластин	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/ч$	Расход газа, л/с
1	Наплавка валиков (три валика)					
2	Сварка встык $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

7. В координатах  $U, B$ , и  $I, A$ , построить график пересечения внешней характеристики источника и вольт-амперной характеристики дуги, показанный на рисунке. Дать объяснение явлениям в точках  $A$  и  $B$ .

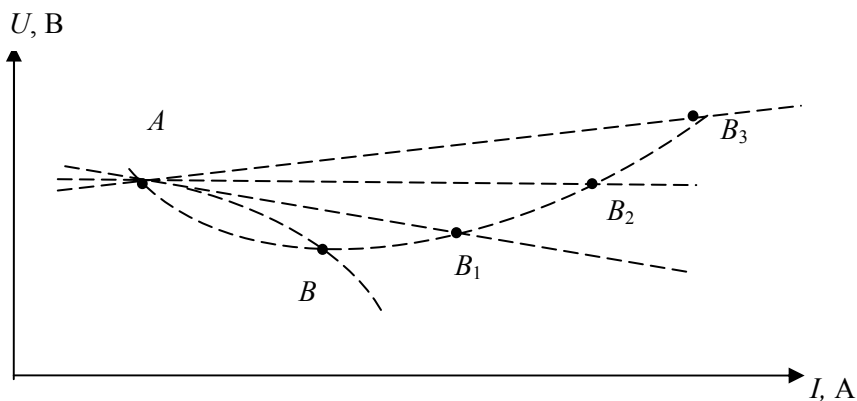


График пересечения кривых ВАХ и СВАЗ

8. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–7. Сделать выводы по п. 7 о правильности режимов и моменте наступления устойчивости системы «источник–дуга».

### Лабораторная работа № 5

## ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА В АРГОНЕ

**Цель работы:** ознакомиться с особенностью работы инверторных источников тока для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Выполнить наплавку и сварку образцов.

**Оборудование:** источник марки Invertec STT II (Lincoln Electric).

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством источника, его рабочими характеристиками и принципиальной электрической схемой.

2. Под непосредственным руководством инструктора по сварке (инженера, мастера) тщательно изучить правила безопасности при работе с источником, его заземление и включение. Изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, работу вентилятора и другие особенности.

3. Установить режим сварки, в том числе  $I$ ,  $A$ ,  $U$ ,  $B$ , диаметр электрода, мм,  $v$ , м/ч, расход газа, л/с.

4. Включить источник.

5. При непосредственном участии и контроле инструктора выполнить наплавку валиков и сварку пластин из алюминия встык и нахлестку в нижнем положении.

6. Показатели  $I$ ,  $A$ , и  $U$ ,  $B$ , занести в таблицу. Провести анализ качества швов, правильности установленных режимов сварки и устойчивости процессов сварки по схеме «источник–дуга».

### Сварка и измерение $I$ , $A$ , $U$ , $B$

№ п/п	Наплавка и сварка пластин	$I$ , А	$U$ , В	Диаметр электрода, мм	$v$ , м/ч	Расход газа, л/с
1	2	3	4	5	6	7
1	Наплавка валиков (три валика)					

1	2	3	4	5	6	7
2	Сварка встык $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

7. В координатах  $U, B$ , и  $I, A$ , построить график пересечения внешней характеристики источника и вольт-амперной характеристики дуги, показанный на рисунке. Дать объяснение явлениям в точках  $A$  и  $B$ .

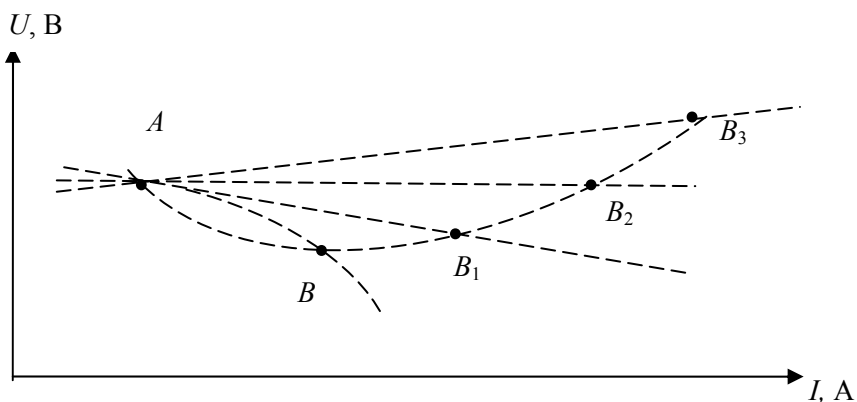


График пересечения кривых ВАХ и СВАЗ

8. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–7. Сделать выводы по п. 7 о правильности режимов и моменте наступления устойчивости системы «источник–дуга».

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ТИПА TRANSPOCKET

Источники тока TransPocket (TP) 2500/3500 являются представителями нового поколения инверторных сварочных источников и предназначены для ручной дуговой сварки на постоянном токе штучными электродами всех типов, в том числе целлюлозным, и для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом на постоянном токе.

Источники мобильны и защищены от ударов и повреждений и могут применяться практически на любых объектах сварочных работ. Технические характеристики некоторых источников тока ТР приведены ниже.

***Технические характеристики ТР 2500, ТР 2500 RC,  
ТР 2500 TIG***

Сетевое напряжение	380–460 В
Допуск по напряжению сети	±10 %
Частота сети	50 / 60 Гц
Сетевой предохранитель	16 А, инерционный
Подключение к сети <sup>1</sup>	Возможны ограничения
Потребляемый ток (100 % ПВ <sup>2</sup> )	10,3 А
cos φ (при 250 А)	0,99
КПД (при 175 А)	89 %
Диапазон сварочного тока:	
сварка электродом	15–250 А
WIG	15–250 А
Сварочный ток: при 10 мин / 40 °С (104 °F)	
35 % ПВ <sup>2</sup>	250 А
60 % ПВ <sup>2</sup>	200 А
100 % ПВ <sup>2</sup>	175 А
Сварочная мощность:	
при 35 % ПВ <sup>2</sup>	10,42 кВА
60 % ПВ <sup>2</sup>	8,15 кВА
100 % ПВ <sup>2</sup>	7,10 кВА
Максимальное сварочное напряжение:	
сварка электродом	20,6–30 В
WIG	10,4–20 В
Напряжение холостого хода	
Стандартная версия	88 В
ТР 2500 VRD, ТР 2500 TIG VRD	12 В
Класс защиты	IP 23
Вид охлаждения	AF
Класс изоляции	F

Знак соответствия стандартам	CE
Маркировка безопасности	S
Размеры (Д × Ш × В)	430 × 180 × 320 мм 16,93 × 7,09 × 12,6 дюйма
Вес	12,5 кг 27,56 фунта

<sup>1</sup> К электросети общего пользования 230/400 В и 50 Гц.

<sup>2</sup> Продолжительность включения.

### *Технические характеристики TP 2500 и TP 2500 TIG*

Сетевое напряжение	200–240 В 380–460 В
Допуск по напряжению сети	±10 %
Частота сети	50 / 60 Гц
Сетевой предохранитель:	
200–240 В	20 А инерционный
380–460 В	16 А инерционный
Подключение к сети <sup>1</sup>	Возможны ограничения
Потребляемый ток (100 % ПВ <sup>2</sup> )	17,1 А
cos φ (при 250 А)	0,99
КПД (при 175 А)	89 %
Диапазон сварочного тока в трехфазном режиме:	
сварка электродом	15–250 А
WIG	15–250 А
Диапазон сварочного тока в однофазном режиме:	
сварка электродом	15–140 А
WIG	15–140 А
Сварочный ток: при 10 мин / 40 °С (104 °F)	
35 % ПВ <sup>2</sup>	250 А
60 % ПВ <sup>2</sup>	200 А
100 % ПВ <sup>2</sup>	175 А



Сварочная мощность:	
при 35 % ПВ <sup>2</sup>	9,95–10,42 кВА
60 % ПВ <sup>2</sup>	7,90–8,15 кВА
100 % ПВ <sup>2</sup>	6,75–7,10 кВА
Макс. сварочное напряжение	
Сварка электродом	20,6–30 В
WIG	10,4–20 В
Напряжение холостого хода	
стандартная версия	88В
TP 2500 VRD, TP 2500 TIG VRD	12В
Класс защиты	IP 23
Вид охлаждения	AF
Класс изоляции	F
Знак соответствия стандартам	CE, CSA
Маркировка безопасности	S
Размеры (Д × Ш × В)	430 × 180 × 320 мм 16,93 × 7,09 × 12,6 дюйма
Вес	13,5 кг 29,76 фунта

<sup>1</sup> К электросети общего пользования 230/400 В и 50 Гц.

<sup>2</sup> Продолжительность включения.

### ***Технические характеристики TP 3500, TP 3500 RC, TP 2500 TIG***

Сетевое напряжение	380–460 В
Допуск по напряжению сети	±10 %
Частота сети	50 / 60 Гц
Сетевой предохранитель	25 А инерционный
Подключение к сети <sup>1</sup>	Возможны ограничения
Потребляемый ток (100 % ПВ <sup>2</sup> )	16,6 А
cos φ (при 350 А)	0,99
КПД (при 350 А)	87 %
Диапазон сварочного тока:	
сварка электродом	10–350 А
WIG	10–350 А

Сварочный ток: при 10 мин / 40 °С (104 °F)	
35 % ПВ <sup>2</sup>	350 А
60 % ПВ <sup>2</sup>	280 А
100% ПВ <sup>2</sup>	230 А
Сварочная мощность:	
при 35 % ПВ <sup>2</sup>	21,17 кВА
60 % ПВ <sup>2</sup>	15,69 кВА
100 % ПВ <sup>2</sup>	11,00 кВА
Максимальное сварочное напряжение:	
сварка электродом	20,4–34 В
WIG	10,4–24 В
Напряжение холостого хода:	
стандартная версия	89 В
TP 3500 VRD, TP 3500 TIG VRD	12 В
Класс защиты	IP 23
Вид охлаждения	AF
Класс изоляции	F
Знак соответствия стандартам	CE
Маркировка безопасности	S
Размеры (Д × Ш × В)	500 × 190 × 380 мм 19,68 × 7,48 × 14,96 дюйма
Вес	18,5 кг 40,8 фунта

<sup>1</sup> К электросети общего пользования 230/400 В и 50 Гц.

<sup>2</sup> Продолжительность включения.

### ***Технические характеристики TP 3500 и TP 3500 TIG***

Сетевое напряжение	200–240 В 380–460 В
Допуск по напряжению сети	±10 %
Частота сети	50 / 60 Гц
Сетевой предохранитель	40 А инерционный 25 А инерционный
200–240 В	
380–460 В	
Подключение к сети <sup>1</sup>	Возможны ограничения

Потребляемый ток (100 % ПВ <sup>2</sup> )	27,6 А
cos φ (при 350 А)	0,99
КПД (при 350 А)	87 %
Диапазон сварочного тока в трехфазном режиме:	
сварка электродом	10–350 А
WIG	10–350 А
Диапазон сварочного тока в однофазном режиме:	
сварка электродом	15–140 А
WIG	15–140 А
Сварочный ток: при 10 мин / 40 °С (104 °F)	
35 % ПВ <sup>2</sup>	350 А
60 % ПВ <sup>2</sup>	280 А
100 % ПВ <sup>2</sup>	230 А
Сварочная мощность:	
при 35 % ПВ <sup>2</sup>	21,69 кВА
60 % ПВ <sup>2</sup>	15,74 кВА
100 % ПВ <sup>2</sup>	11,00 кВА
Максимальное сварочное напряжение:	
сварка электродом	20,4–34 В
WIG	10,4–24 В
Напряжение холостого хода:	
стандартная версия	89В
TP 3500 VRD, TP 3500 TIG VRD	12В
Класс защиты	IP 23
Вид охлаждения	AF
Класс изоляции	F
Знак соответствия стандартам	CE, CSA
Маркировка безопасности	S
Размеры (Д × Ш × В)	500 × 190 × 380 мм 19,68 × 7,48 × 14,96 дюйма
Вес	18,5 кг 40,8 фунта

<sup>1</sup> К электросети общего пользования 230/400 В и 50 Гц.

<sup>2</sup> Продолжительность включения.

## *Лабораторная работа № 6*

### **СВАРКА МЕТОДОМ ММА**

**Цель работы:** ознакомиться с источниками тока нового поколения Trans Pocket (TP) инверторного типа, изучить способы настройки для сварки методом ММА, выполнить наплавку и сварку образцов.

**Оборудование:** источник тока TP 2500/3500.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить правила техники безопасности, элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.

2. Под руководством инструктора изучить панель управления источником TP 2500/3500, подготовку источника к работе, подключение, заземление, работу вентилятора, регулирование током, работу индикатора VRD.

3. Изучить сварку стержневым способом, в том числе подготовку к сварке, выбор метода сварки, настройку сварочного тока, зажигание дуги.

4. Под руководством инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали встык и внахлестку:

- настройка функции горячего старта;
- настройка функции мягкого старта;
- настройка функции Anti Stick.

5. Изобразить на рисунке настройку параметра «Динамика» и настройку параметра сварочного тока, принятых на лабораторных занятиях.

6. Полученные показатели наплавки и сварки пластин встык и внахлестку, с настройкой:

- параметра «динамика»;
  - параметра графической характеристики CEL
- занести в таблицу.

## Наплавка, сварка и измерение параметров сварки

№ п/п	Наплавка валиков и сварка пластин	I, А	U, В	Диаметр электрода, мм	v, м/с	Расход газа, л/с	Действующие функции		
							Hot Stop	Soft Stop	Cel
1	Наплавка валиков (три валика)								
2	Сварка встык (два шва) S =     I = S =     I =								
3	Сварка внахлестку (два шва) S =     I = S =     I =								

7. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–6 с выводом о стабильности системы «источник–дуга» и работе функций Hot-Start, Soft-Start, Cel (представить на графике).

### *Лабораторная работа № 7*

## СВАРКА МЕТОДОМ WIG

**Цель работы:** ознакомиться с источниками тока нового поколения Trans Pocket (TP) инверторного типа, изучить способы настройки для сварки методом TIG (WIG).

**Оборудование:** источник тока TP 2500/3500.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при работе с источником, элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.

2. Изучить сварку методом TIG. Выполнить подготовку, настройку расхода защитного газа, настройку сварочного тока, режима и зажигания дуги.

2. Под руководством инструктора изучить панель управления источником TP 2500/3500, подготовку источника к работе, подклю-

чение, заземление, работу вентилятора, регулирование током, работу индикатора VRD.

3. Изучить сварку стержневым способом, в том числе подготовку к сварке, выбор метода сварки, настройку сварочного тока, зажигание дуги.

4. Под руководством инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали, встык и внахлестку с настройкой параметров «Динамика» и графической характеристики Cel. Показания измерений занести в таблицу.

#### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	I, А	U, В	Диаметр электрода, мм	v, м/с	Расход газа, л/с	Действующие функции
							Параметры «Динамика» и Cel
1	Наплавка валиков (три-пять валиков)						
2	Сварка встык S = I = S = I =						
3	Сварка внахлестку S = I = S = I =						

5. Изобразить настройку параметров «Динамика» и сварочного тока, выполненных на лабораторных занятиях.

6. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–5 с выводом о стабильности работы источника тока и качестве сварки.

### *Лабораторная работа № 8*

#### **СВАРКА ИМПУЛЬСНОЙ ДУГОЙ МЕТОДОМ WIG**

**Цель работы:** ознакомиться с источниками тока нового поколения Trans Pocket (TP) инверторного типа, изучить способы настройки и переключения для сварки импульсной дугой методом TIG (WIG).

**Оборудование:** источник тока TP 2500/3500.

## Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при работе с источником, элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.

2. Под руководством инструктора изучить панель управления источником, подготовку источника к работе, подключение, заземление, работу вентилятора, работу индикатора VRD.

3. Выполнить подготовку, настройку расхода защитного газа, настройку сварочного тока (режима) и зажигание сварочной дуги.

4. Под руководством инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали, встык и внахлестку с настройкой параметров «Динамика» и графической характеристики Cel. Показания измерений занести в таблицу.

### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	I, А	U, В	Диаметр электрода, мм	v, м/с	Расход газа, л/с	Действующие функции
							Описать
1	Наплавка валиков (три–пять валиков)						
2	Сварка встык (два шва) S =      I = S =      I =						
3	Сварка внахлестку (два шва) S =      I = S =      I =						

5. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–4 с выводом о стабильной работе по схеме «источник–дуга» и форме импульсов, выдаваемых источником с функцией «Динамика».

## **5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ТИПА TRANSTIG И MAGIC WAVE С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Аппараты TransTIG (ТТ) 2200/2500/3000/4000/5000, а также Magic Wave (MW) 1700/2200/2500/3000/4000/5000 представляют собой новейшие цифровые инверторные источники тока с микропроцессорным управлением для сварки WIG/TIG постоянным (BC) и переменным (AC) током, сварки MMA, импульсной дуговой сварки MIG/MAG, пайки MIG.

Сварочный процесс управляется центральным блоком управления и подключенным к нему цифровым обработчиком сигналов. В процессе сварки аппарат непрерывно производит сбор фактических данных и немедленно реагирует на обнаруженные изменения. Управляющие алгоритмы обеспечивают поддержку заданного состояния источника тока. Аппараты применяются в промышленности, строительстве на небольших предприятиях, заводах и фирмах, для ручной сварки WIG низкоуглеродистых и низколегированных сталей, а также высоколегированных хромоникелевых сплавов. Благодаря возможности настраивать частоту переменного тока аппараты Magic Wave обеспечивают сварку алюминия, алюминиевых сплавов и магния.

Все регулировки легко переключаются на панели управления. Можно выбрать рабочий режим, параметры сварки, циклы и программы. Сварщик может регулировать сварочный ток или просто выбрать толщину материала, который он хочет сварить, тогда частота и форма тока, баланс, параметры импульса, нарастание тока, параметры цикла, продувка газа и параметры подачи сварочной проволоки устанавливаются автоматически на оптимальных значениях. Аппараты обеспечивают дистанционное регулирование настроек сварочного тока, тепловую защиту, режимы Hot Start, Anti Sticking, Arc Force, в том числе поджиг дуги и другие функции.

Аппараты обеспечивают точный процесс сварки, точное воспроизведение получаемых результатов, высокое качество сварных соединений и сварных швов.



## Лабораторная работа № 9

### СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ СТЕРЖНЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

**Цель работы:** ознакомиться с цифровыми источниками тока инверторного типа с микропроцессорным управлением TransTig и MagicWave. Изучить способы настройки для ручной дуговой сварки стержневым электродом, выполнить сварку образцов.

**Оборудование:** источник типа MagicWave 2200.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при работе с источником.
2. Изучить сварку стержневым электродом и сварку WIG.
3. Изучить элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.
4. Под руководством инструктора изучить панель управления источником, подготовку источника к работе (заземление, подключение, регулирование тока, работу вентилятора и индикатора VDR), настройку параметров («Динамика», ток сварки).
5. При непосредственном участии инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали, встык и внахлестку с настройкой токов, стержневого  $I_k$ , основного сварочного тока, спад тока и тока завершения. Показания занести в таблицу. Дать схему значения токов.

#### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/с$	Описание качества сварки
1	Наплавка валиков (три-пять валиков)					
2	Сварка встык (один-два образца) $S = I =$ $S = I =$					
3	Сварка внахлестку (один-два образца) $S = I =$ $S = I =$					

6. В таблицу записать данные измерения параметров режима для ручной дуговой сварки стержневым электродом.

7. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–6. Сделать выводы о стабильности работы источника тока и качестве сварки.

### *Лабораторная работа № 10*

## СВАРКА WIG

**Цель работы:** ознакомиться с цифровыми источниками тока инверторного типа с микропроцессорным управлением TransTig и MagicWave. Изучить способы настройки для сварки WIG, выполнить сварку образцов.

**Оборудование:** источник типа MagicWave 2200.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при работе с источником.
2. Изучить сварку стержневым электродом и сварку WIG.
3. Изучить элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.
4. Под руководством инструктора изучить панель управления источником, подготовку источника к работе (заземление, подключение, регулирование тока, работу вентилятора и индикатора VDR), настройку параметров («динамика», ток сварки).
5. При непосредственном участии инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали, встык и внахлестку с настройкой токов, стержневого  $I_k$ , основного сварочного тока, спад тока и тока завершения. Показания занести в таблицу. Дать схему значения токов.

### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	$I$ , А	$U$ , В	Диаметр электрода, мм	$v$ , м/с	Описание качества сварки
1	2	3	4	5	6	7
1	Наплавка валиков (три–пять валиков)					

1	2	3	4	5	6	7
2	Сварка встык (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

6. В таблицу записать данные измерения параметров режима для ручной дуговой сварки стержневым электродом.

7. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–6. Сделать выводы о стабильности работы источника тока и качестве сварки.

## **6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ИНВЕРТОРНОГО ТИПА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И РЕЖИМОМ SYNERGIC ТИПА TRANS PULS SYNERGIC**

Аппараты Trans Puls Synergic (TPS) 2700, TPS 3200, TPS 4000 и TPS 5000, модели CMT и TIME фирмы Fronius представляют новейшие цифровые источники тока с микропроцессорным и синергетическим управлением для сварки МИГ/МАГ, сварки WIG и сварки стержневым электродом. TPS во многом идентичны аппаратам, которые рассматривались в лабораторных работах № 9 и 10. Аппараты применяются в промышленности, строительстве, в том числе и на небольших предприятиях, организациях и фирмах для ручной, механизированной и автоматизированной сварки низкоуглеродистых, легированных, оцинкованных металлических листов, хромоникелевых сплавов и алюминия. Аппараты могут использоваться:

- в автопромышленности и смежном производстве;
- в машиностроении и на предприятиях по производству железнодорожного подвижного состава;
- на производстве химического оборудования;
- в приборостроении;
- в судостроении;
- на предприятиях строительной индустрии и др.

## Лабораторная работа № 11

### СВАРКА MIG/MAG С РЕЖИМОМ SYNERGIC

**Цель работы:** ознакомиться с цифровым источником тока инверторного типа с микропроцессорным управлением и режимом Synergic типа Trans Puls Synergic (TPS) 5000, изучить способы настройки и включения для ручной дуговой сварки стержневым электродом, выполнить сварку образцов.

**Оборудование:** источник тока TPS 5000.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при подготовке источника, его включении и в процессе работы.
2. Изучить элементы управления, функции Anti-Stick, мягкого старта, «горячий пуск».
3. Под руководством инструктора изучить и освоить панель управления источником, подготовку источника к работе, настройку режима, подключение.
4. При непосредственном участии инструктора включить источник тока и выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали (наплавка валиков, сварка встык и внахлестку).
5. В таблицу записать данные измерения режимов сварки.

#### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/с$	Описание качества сварки
1	Наплавка валиков (три-пять валиков)					
2	Сварка встык (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

6. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–5. Сделать выводы о стабильности работы источника тока и сварочной дуги, оценить качество наплавки, сварки встык и нахлестку.

### *Лабораторная работа № 12*

## **СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ СТЕРЖНЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

**Цель работы:** ознакомиться с цифровым источником тока инверторного типа с микропроцессорным управлением и режимом Synergic типа Trans Puls Synergic (TPS) 5000, изучить способы настройки и включения для сварки MIG/MAG, выполнить сварку образцов.

**Оборудование:** источник тока TPS 5000.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить правила техники безопасности при работе с источником.
2. Изучить сварку стержневым электродом и сварку WIG.
3. Изучить элементы управления и правила ввода источника в эксплуатацию.

4. Под руководством инструктора изучить панель управления источником, подготовку источника к работе (заземление, подключение, регулирование тока, работу вентилятора и индикатора VDR), настройку параметров («динамика», ток сварки).

5. При непосредственном участии инструктора выполнить наплавку и сварку пластин из низкоуглеродистой стали встык и внахлестку с настройкой токов: стержневого  $I_k$ , основного сварочного тока, спад тока и тока завершения. Показания занести в таблицу. Дать схему значения токов.

6. В таблицу записать данные измерения параметров режима для ручной дуговой сварки стержневым электродом.

### Сварка и измерение параметров режима

№ п/п	Наплавка валиков и сварка	$I, A$	$U, B$	Диаметр электрода, мм	$v, м/с$	Описание качества сварки
1	2	3	4	5	6	7
1	Наплавка валиков (три–пять валиков)					

1	2	3	4	5	6	7
2	Сварка встык (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					
3	Сварка внахлестку (один-два образца) $S =$ $I =$ $S =$ $I =$					

7. Составить отчет о проделанной работе по пунктам 1–6. Сделать выводы о стабильности работы источника тока и качестве сварки.

## 7. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ИСТОЧНИКАМИ СВАРОЧНОГО ТОКА

Электрическая сварка плавлением как вид работы, связанной с эксплуатацией электрооборудования, а также возможным воздействием на оператора-сварщика сварочной дуги, вредных газов, брызг расплавленного металла и т. д., требует четкой организации лабораторного процесса и строгого соблюдения мер безопасности.

В государственном масштабе правила эксплуатации и меры безопасности при производстве работ регламентируются системой стандартов безопасности труда (ССБТ), на основе которой на каждом предприятии и в каждой отрасли разрабатывают стандарты предприятий и отраслевые стандарты, положения и инструкции по обслуживанию оборудования, в частности сварочного оборудования. Поступающее в эксплуатацию оборудование должно соответствовать техническим условиям, разработанным на предприятии-изготовителе. Обязательным в технических условиях является раздел «Правила безопасности при эксплуатации оборудования», в котором отражены необходимые меры, обеспечивающие безопасное производство работ.

Создание нормальных условий труда студентов при выполнении лабораторных работ непосредственно на рабочих местах возлагается на мастера производственного обучения. Рабочие места сварщиков должны иметь соответствующие ограждения, защитные и предохранительные приспособления, а также общую и местную вентиляцию. Кроме общих положений по технике безопасности и промыш-

ленной санитарии также должны быть учтены и особенности выполнения различных работ, связанных с эксплуатацией оборудования для электрической сварки плавлением: поражение электрическим током; отравление вредными газами или испарениями вредных веществ; получение различного рода ожогов или ослепления как от сварочной дуги, так и от расплавленного металла; получение различного рода травм при транспортировке баллонов со сжатым или сжиженным газом или сборке громоздких деталей при подготовке их к сварке.

Во избежание поражения электрическим током оборудование для электрической сварки плавлением должно отвечать соответствующим требованиям, зафиксированным в «Правилах по эксплуатации электроустановок», в частности:

- корпуса источников питания и сварочных автоматов или полуавтоматов должны быть надежно заземлены;

- электрические кабели, соединяющие источники питания, сварочные автоматы или полуавтоматы и распределительные щиты должны иметь надежную изоляцию и быть защищены от механических повреждений;

- при обнаружении повреждения электрических цепей в источнике питания, сварочном автомате, полуавтомате или распределительной сети выключить оборудование и немедленно сообщить административному лицу данного подразделения.

Перед выполнением сварочных работ внутри замкнутых пространств принять необходимые меры безопасности:

- установить деревянные щиты или резиновые коврики;

- получить защитные резиновые перчатки и галоши;

- работу выполнять с напарником, который должен находиться вне сосуда и наблюдать за производством работ.

Источники питания сварочной дуги должны быть оборудованы устройством автоматического снижения напряжения холостого хода.

При поражении электрическим током необходимо:

- немедленно выключить источник питания;

- освободить пострадавшего от обесточенной электрической цепи и обеспечить доступ к нему свежего воздуха;

- вызвать врача и приступить к искусственному дыханию.

Во избежание отравления вредными газами или испарениями вредных веществ (флюсов, газов, обмазок и т. д.) рабочие места сварщи-

ков должны иметь необходимую и достаточную местную и общую приточно-вытяжную вентиляцию, а в особо опасных местах (замкнутые сосуды, помещение или отсеки малого объема) студенту должны выдаваться индивидуальные защитные средства (маски, респираторы и т. д.) или должен быть регламентирован режим его работы (работа не более 30 мин с последующим отдыхом на свежем воздухе).

При работе на установках для электронно-лучевой сварки необходимо соблюдать требования, зафиксированные в «Правилах по эксплуатации высоковольтных электроустановок».

Во избежание получения различного рода производственных травм рабочее место должно быть укомплектовано необходимыми подъемно-транспортными механизмами (тельфером, тележкой и т. д.), а также должно быть обеспечено надежное крепление баллонов со сжатым и сжиженным газом.

Во избежание получения различного рода ожогов студент-сварщик должен иметь сухую спецодежду (куртка, брюки, рукавицы, в отдельных случаях капюшон) из брезента или специальной теплостойкой ткани. Обувь сварщика должна закрываться ботинками. Поверх брюк надевается куртка. При работе на открытой площадке требуется дополнительная спецодежда, предотвращающая охлаждение тела, а также теплостойкие эластичные подлокотники, подколенники или подстилки.



## Литература

1. Технология и оборудование сварки плавлением : учебник для вузов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства»/ под общ. ред. Г. Д. Никифорова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 320 с. ; ил.
2. Милютин, В. С. Источники питания для сварки : учебное пособие / В. С. Милютин, В. А. Коротков. – Челябинск : Metallургия Урала, 1999. – 368 с.
3. Закс, М. И. Сварочные выпрямители / М. И. Закс. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 94 с.
4. Денисов, Л. С. ГОСТ 12.3.003–86 ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности : комментарии и практика выполнения. Ж. Охрана труда / Л. С. Денисов // Практикум. – 2006. – № 1. – С. 40–51.
5. Денисов, Л. С. Меры обеспечения безопасности и охрана труда при газосварочных работах и термической резке : комментарии и практика выполнения. Ж. Охрана труда / Л. С. Денисов // Практикум. – 2010. – № 1. – С. 42–53.
6. Денисов, Л. С. Оборудование сварки плавлением : методическое пособие по лабораторным работам : в 2 ч. / Л. С. Денисов. – Минск : БНТУ, 2012– . – Ч. 1. – 50 с.
7. Денисов, Л. С. Источники питания сварочной дуги / Л. С. Денисов. – 2-е изд., доп. – Минск : Право и экономика, 2013. – 117 с.
8. Источники питания для дуговой сварки. Требования безопасности : ГОСТ Р МЭК 60974-1–2004. – М. : Стандартинформ, 2005. – 48 с.
9. Источники питания для сварки. Методы испытания сварочных свойств : ГОСТ 25616–83. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 18 с.
10. Сварочные трансформаторы для ручной дуговой сварки. Общие технические требования : ГОСТ 95–92Е.
11. Сварочные однопостовые выпрямители : ГОСТ 13 821–92Е.
12. Сварка. Калибровка, верификация и валидация оборудования, используемого в сварке, включая вспомогательные виды деятельности : СТБ ISO 17662–2012.
13. Руководство по эксплуатации источников типа Trans Pocket, Magic Wave, Trans Puls, Synergic.

### **Диагностика неполадок источника тока**

#### **Источник тока не работает**

Сетевой выключатель включен, индикаторы не горят

Причина: поврежден кабель подключения к сети, сетевой штекер не вставлен в розетку.

Устранение: проверить кабель подключения к сети, вставьте вилку сетевого кабеля в розетку.

Причина: повреждена розетка или штекер.

Устранение: заменить неисправный компонент.

Причина: сетевой предохранитель.

Устранение: заменить сетевой предохранитель.

#### **Отсутствует сварочный ток**

Сетевой выключатель включен, отображается один из сервисных кодов перегрева «to». Подробная информация о сервисных кодах «to0» – «to6» содержится в разделе «Отображаемые сервисные коды».

Причина: перегрузка.

Устранение: не превышать допустимой продолжительности включения.

Причина: сработала автоматическая функция защиты от перегрева.

Устранение: подождать, пока источник тока не остынет; после охлаждения он включится автоматически.

Причина: ограниченный приток охлаждающего воздуха.

Устранение: снять воздушный фильтр с задней стороны прибора по направлению в бок и очистить его, обеспечить доступ к каналам охлаждающего воздуха.

Причина: поврежден вентилятор в источнике тока.

Устранение: обратиться в сервисную службу.

### **Отсутствует сварочный ток**

сетевой выключатель включен, индикаторы горят.

Причина: ... неправильно подключен кабель массы.

Устранение: проверить полярность клемм и кабеля массы.

Причина: ... поврежден питающий кабель в сварочной горелке.

Устранение: заменить сварочную горелку.

---

### **Нет реакции на нажатие кнопки горелки**

Сетевой выключатель включен, индикаторы горят

Причина: Не вставлен управляющий штекер.

Устранение: вставить управляющий штекер

Причина: Сварочная горелка или ее кабель управления неисправен

Устранение: Заменить сварочную горелку

Причина: Поврежден или неправильно подключен соединительный шланговый пакет  
(кроме устройства TPS 2700)

Устранение: Проверить соединительный комплект шлангов

---

### **Нет защитного газа**

Все другие функции выполняются

Причина: Газовый баллон пуст

Устранение: Заменить газовый баллон

Причина: поврежден редуктор.

Устранение: замените редуктор.

Причина: ... не установлен, перегнут или поврежден газовый шланг.

Устранение: установите, распрямите или замените газовый шланг.

Причина: Сварочная горелка неисправна

Устранение: замените сварочную горелку.

Причина: Газовый магнитный клапан неисправен

Устранение: замените электромагнитный газовый клапан.

---

### **плохие характеристики сварки**

Причина: неверные параметры сварки

Устранение: Проверить настройки

Причина: Плохой контакт с массой

Устранение: Обеспечить хороший контакт с обрабатываемой деталью

Причина: защитного газа недостаточно или он отсутствует

Устранение: Проверить газовый редуктор, газовый шланг, газовый магнитный клапан, подвод газа на сварочной головке и т. п.

Причина: Сварочная горелка негерметична

Устранение: Заменить сварочную горелку

Причина: неподходящая или изношенная контактная трубка

Устранение: Заменить контактную трубку

Причина: неправильный состав или диаметр проволоки

Устранение: проверить установленную катушку проволоки

Причина: неправильный состав или диаметр проволоки

Устранение: проверить свариваемость основного материала

Причина: Защитный газ не подходит для данного состава проволоки

Устранение: использовать правильный защитный газ

---

### **Нестабильная скорость подачи проволоки**

Причина: На тормозе установлено слишком большое усилие

Устранение: Ослабить тормоз

Причина: Отверстие контактной трубки слишком мало

Устранение: Использовать подходящую контактную трубку

Причина: Сердечник подачи проволоки в сварочной горелке неисправен

Устранение: Проверить сердечник подачи проволоки на наличие трещин, загрязнений и т. д.

Причина: Подающие ролики не подходят для используемого проволочного электрода

Устранение: Установить подходящие подающие ролики

Причина: Неверное давление прижима подающих роликов

Устранение: Отрегулировать давление прижима

---

### **Проблемы с устройством подачи проволоки**

при работе с длинными комплектами шлангов

Причина: неправильная прокладка комплекта шлангов

Устранение: Максимально выпрямить комплект шлангов, исключить места изгиба с малым радиусом

---

### **Сварочная горелка сильно нагревается**

Причина: Сварочная горелка слишком мала для данной задачи

Устранение: Соблюдать длительность включения и пределы нагрузки

Причина: только на установках с водяным охлаждением: Расход воды слишком мал

Устранение: проверьте уровень, расход, загрязнение воды и т. д.

---

## УХОД, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ

**Общие сведения** - В нормальных условиях эксплуатации источник тока требует минимального ухода и технического обслуживания. Однако для поддержания эксплуатационной готовности сварочного аппарата в течение многих лет обязательно соблюдение некоторых пунктов.

**При каждом запуске в работу**

- Проверьте на наличие повреждений сетевой штекер, шнур питания, сварочную горелку, соединительный шланговый пакет и кабель массы.
- Убедитесь, что свободное пространство вокруг аппарата составляет 0,5 м (1 ft. 8 in.). Это необходимо для беспрепятственного притока и оттока охлаждающего воздуха.



**УКАЗАНИЕ!** Входные и выходные вентиляционные отверстия ни в коем случае не должны быть закрыты, даже частично.

**Каждые 2 месяца**

- Если имеется: Очистить воздушный фильтр

**Каждые 6 месяцев**



**УКАЗАНИЕ!** Возможно повреждение электронных компонентов. Обдуть электронные компоненты с близкого расстояния запрещено.

- Открыть устройство
- Продуть внутреннее пространство устройства сухим сжатым воздухом под небольшим давлением
- При образовании большого количества пыли дополнительно необходимо продуть каналы подачи охлаждающего воздуха

**Утилизация** - Утилизацию проводить только с соблюдением действующих национальных и региональных норм.

Учебное издание

**ДЕНИСОВ** Леонид Сергеевич

## **ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

Методическое пособие  
по лабораторным работам

В 2 частях

Часть 2

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 17.04.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 3,60. Уч.-изд. л. 2,82. Тираж 80. Заказ 234.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.