

## ДВУХПОСТОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТИГ СВАРКИ МЕДИ

**Н. А. ГРАНОВСКИЙ**, инж. (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),  
**В. В. ТИМЧЕНКО**, инж. (ГП «УкрНИИметаллургмаш», г. Славянск),  
**В. М. ИЛЮШЕНКО**, **Г. А. БУТАКОВ**, кандидаты техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана двухпостовая установка для ТИГ сварки меди в гелии, состоящая из основного блока (источника питания) и двух выносных блоков, питающихся напряжением 3×36 В и имеющих автономную систему охлаждения антифризом. Установка обеспечивает независимое друг от друга регулирование тока сварки каждого из двух постов, стабилизацию сварочного тока, надежное и быстрое возбуждение и стабильное горение дуги в гелии при сварке меди.

*Ключевые слова:* сварка ТИГ, медь, гелий, импульсы тока, силовой транзистор, дроссель, индуктивное сопротивление, регулировка тока сварки, двухпостовой источник питания

В современной технике изделия из меди и ее сплавов применяются при производстве кристаллизаторов установок электрошлакового переплава (ЭШП), машин непрерывного литья заготовок и др. Изделия больших габаритов целесообразно изготавливать в сварном варианте, что позволяет экономить дорогостоящую медь. Для сварки меди применяют различные способы — автоматическую сварку под слоем флюса [1], электрошлаковую [2], плазменную [3], а также сварку в среде защитных газов — аргона, азота или гелия неплавящимся вольфрамовым электродом (ТИГ) [4].

Сварку ТИГ целесообразно применять для швов небольшой протяженности, при сварке изделий сложной конфигурации, а также при соединении деталей небольшой толщины (до 12 мм). Простота процесса сварки, возможность визуального контроля делают этот процесс предпочтительнее других способов. В то же время при сварке ТИГ массивных изделий из меди необходим предварительный подогрев, что снижает производительность процесса сварки. Повысить его эффективность можно с помощью защитного газа — азота или гелия. Однако в швах, выполненных дуговой сваркой в азоте, часто наблюдаются поры [5]. В связи с этим при изготовлении медных изделий применяют гелиево-дуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом. Промышленность не выпускает специализированного оборудования для сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом в гелии. На предприятиях для этих целей обычно применяют оборудование, предназначенное для аргонодуговой сварки (УПС 301, УДГУ 501), либо источники питания постоянного тока доукомплектовывают горелками для сварки неплавящимся (вольфрамовым) элек-

тродом. Большие токи, необходимые при сварке меди толщиной более 10 мм, вызывают необходимость применения водоохлаждаемых горелок, что не всегда возможно зимой в цехах, не имеющих отопления. Большие размеры свариваемых деталей требуют создания оборудования, позволяющего вести сварку на значительном удалении от места подключения его к сети 380 В, при этом необходимо обеспечить регулировку сварочного тока дистанционно, непосредственно с места проведения работ. Следует отметить, что кабель управления, соединяющий сварочный пост с источником питания, должен иметь по возможности меньший диаметр по сравнению с силовым кабелем, быть легким и гибким, что важно при его большой длине. В связи с изложенным выше актуальной задачей является разработка установки для гелиево-дуговой сварки меди, удовлетворяющей перечисленным требованиям.

Описанная ниже установка предназначена для приварки фланцев из меди толщиной 60 мм к кристаллизатору ЭШП, имеющему толщину стенки 30 мм. С целью ускорения работ по изготовлению кристаллизатора установка была выполнена по двухпостовой схеме, что позволяет вести сварку одновременно в двух различных местах, при этом достигается экономия энергоресурсов на подогрев корпуса кристаллизатора как за счет сокращения времени сварки, так и за счет увеличения тепловложения в кристаллизатор от двух одновременно горящих сварочных дуг.

Установка имеет основной (рис. 1) и два выносных блока (рис. 2), которые могут быть удалены от основного блока на расстояние до 50 м каждый. Основной блок (рис. 3) включает силовой сварочный трансформатор, выпрямительный блок, два дросселя, два токоограничивающих балластных резистора и вспомогательный трехфазный трансформатор 380/36 В для питания цепей управления и систем охлаждения выносных блоков.



Рис. 1. Основной блок установки



Рис. 2. Выносной блок установки

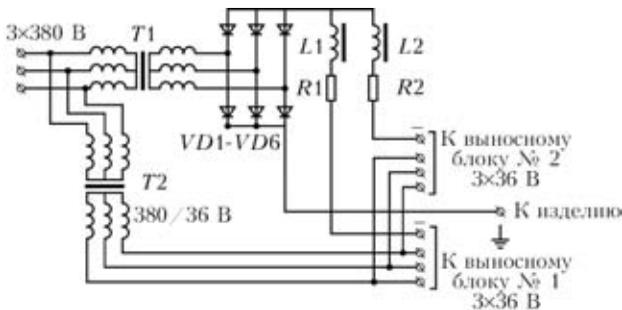


Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема основного блока:  $T1, T2$  — соответственно силовой и вспомогательный трансформатор;  $VD1-VD6$  — трехфазный мостовой выпрямительный блок;  $L1, L2$  — дроссели;  $R1, R2$  — токоограничивающие резисторы

Установка реализует принцип регулирования тока за счет изменения индуктивного сопротивления, включенного последовательно в сварочную цепь. Оба выносных блока собраны по одной схеме (рис. 4). Они имеют автономную систему охлаждения антифризом, циркуляция которого осуществляется центробежным насосом, приводимым в движение двигателем  $MI$ . Последний также приводит в действие вентилятор, продувающий воздух через радиатор охлаждения.

В сварочную цепь последовательно включен силовой транзистор  $VT1$ , работающий в ключевом режиме. Регулировка тока осуществляется изменением частоты следования импульсов, отпира-

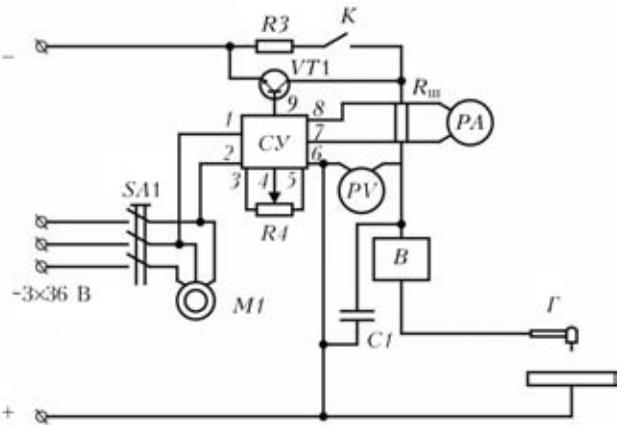


Рис. 4. Упрощенная схема выносного блока:  $SA1$  — автоматический выключатель;  $MI$  — асинхронный двигатель  $3 \times 36$  В системы автономного охлаждения;  $R3$  — балластный резистор;  $VT1$  — силовой транзистор;  $R4$  — потенциометр задания тока сварки;  $CV$  — схема управления;  $R_{ш}$  — шунт;  $C1$  — защитный конденсатор;  $B$  — возбудитель дуги;  $PV$  — вольтметр;  $PA$  — амперметр;  $G$  — горелка

ющих транзистор, при этом изменяется индуктивное сопротивление дросселей.

Под стабилизацией тока  $I_{CT}$  подразумевается стабилизация усредненного интегрального значения импульсного тока сварки.

Для переменного синусоидального тока справедливо соотношение

$$X_L = 2\pi fL, \quad (1)$$

где  $X_L$  — индуктивное сопротивление дросселя;  $f$  — частота тока;  $L$  — индуктивность дросселя.

В случае импульсного тока для использования формулы (1) необходимо разложить измеряемый сигнал в ряд Фурье и определить составляющие индуктивного сопротивления по каждой гармонике отдельно. Очевидно, что при изменении частоты следования импульсов индуктивное сопротивление дросселя также будет изменяться, причем при увеличении частоты  $I_{CT}$  будет уменьшаться, и наоборот.

Для стабилизации тока сварки использован простой пропорциональный закон регулирования:

$$\Delta f = k(I_{CT} - I^*), \quad (2)$$

где  $I^*$  — заданное значение усредненного тока сварки (резистор  $R4$  на рис. 4);  $k$  — коэффициент усиления регулятора, подобранный экспериментально из соображений устойчивости системы.

Изменение частоты импульсов сварочного тока с помощью силовых транзисторов позволяет изменять частоту  $f$ , что дает возможность получить необходимое значение  $X_L$  при меньших значениях индуктивности дросселя  $L$ , т. е. существенно уменьшить массу, габариты и стоимость дросселя. С целью улучшения стабильности горения дуги в гелии [6] силовой транзистор  $VT1$  зашунтирован балластным резистором  $R3$ , через

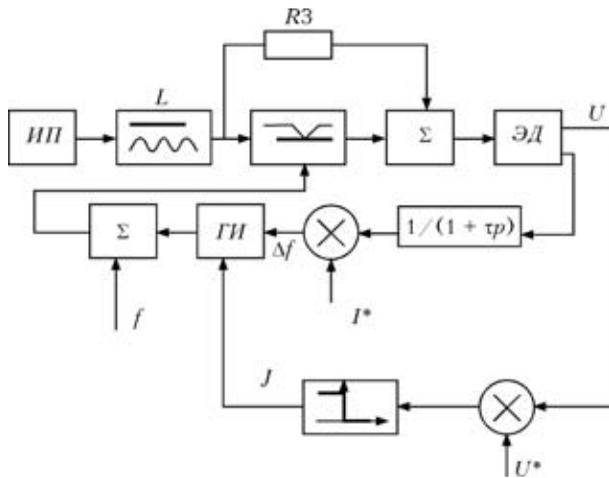


Рис. 5. Структурная схема системы управления процессом

который проходит постоянная составляющая тока дуги. Во время перерывов в сварке контактор *K* обрывает цепь дежурной дуги, а схема управления *СУ* не выдает на транзистор *VT1* управляющие импульсы, что приводит к обесточиванию горелки *Г* (см. рис. 4). В качестве последней используются горелки германской фирмы «Абикор Бинцель» с водяным охлаждением, рассчитанные на постоянный ток до 450 А, необходимый для сварки меди [4, 5]. Управление транзистором *VT1* осуществляется с помощью схемы управления *СУ*, сварочный ток задается потенциометром *R4*. Обратная связь по току осуществляется за счет напряжения, снимаемого со стандартного (500 А, 75 мВ) шунта.

В моменты случайных коротких замыканий вольфрамового электрода на изделие напряжение между выводами 6 и 7 схемы управления *СУ* падает до нескольких вольт. При этом схема блокируется и перестает выдавать отпирающие импульсы на транзистор *VT1*, что предохраняет последний от выхода из строя, балластные резисторы *R1* и *R2* служат для ограничения тока короткого замыкания, если оно произошло в момент времени, когда транзистор *VT1* открыт.

Структурная схема системы управления процессом (рис. 5) состоит из двух контуров: контура стабилизации среднего интегрального значения тока дуги и контура контроля напряжения для определения случайных коротких замыканий вольфрамового электрода на изделии. Снимаемый с *R<sub>ш</sub>* сигнал обратной связи  $I_{св}(t)$  после интегрирующего блока (формула (1)) сравнивается с заданным значением  $I^*$  и в зависимости от значения и знака рассогласования  $\Delta I$  генератор импульсов *ГИ* вырабатывает поправку  $\Delta f$ , суммирующуюся с несущей частотой *f*. Изменение частоты следования импульсов приводит к изменению индуктивного сопротивления дросселя, т. е. к стабилизации тока в сварочной цепи.

Контур контроля напряжения сварки предназначен для предохранения силового транзистора

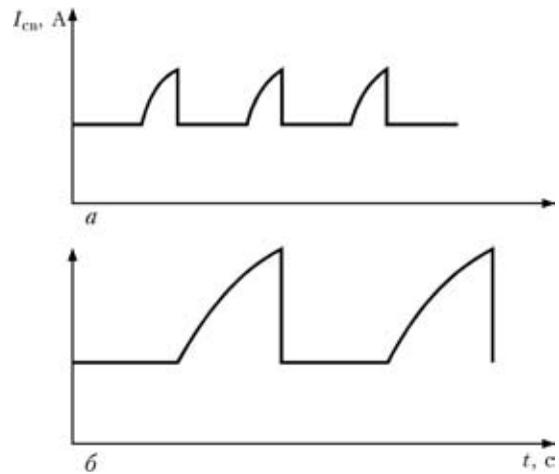


Рис. 6. Осциллограммы сварочного тока: а —  $I_{св} = 240$ ; б — 420 А

*VT1*. При коротких замыканиях электрода на изделие ток сварки возрастает, что может привести к резкому увеличению частоты импульсов. Функция выключения генератора импульсов *J* может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} J &= 1 \text{ при } U \leq U^*, (U - U^*) \leq 0, \Delta U \leq 0, \\ J &= 0 \text{ при } U > U^*, (U - U^*) > 0, \Delta U > 0. \end{aligned} \quad (3)$$

На рис. 6 приведены осциллограммы сварочного тока при сварке на средних и больших токах.

Необходимо отметить, что в моменты случайных коротких замыканий транзистор *VT1* закрыт, но в сварочной цепи продолжает протекать ток, определяемый последовательно соединенными балластными резисторами *R1* и *R3*, поэтому при отрыве вольфрамового электрода от свариваемого изделия происходит возбуждение дуги.

Первоначальное возбуждение дуги осуществляется с помощью возбудителя дуги *B*. Экспериментально установлено, что для надежного возбуждения дуги необходима энергия поджигающего импульса 0,8 Дж, что значительно выше требований (0,2 Дж) для дуги в аргоне [7], последнее объясняется более высоким потенциалом ионизации гелия [8] и большими значениями приэлектродных падений напряжения в гелии [6], обусловленных более высокими энергетическими характеристиками сварочной дуги в гелии [4, 6].

Установка прошла проверку при изготовлении медных кристаллизаторов ЭШП на ГП «УкрНИИ-металлургмаш» (г. Славянск, Донецкой области). Ее отличают надежность в работе и хорошие сварочно-технологические характеристики. Необходимо отметить, что в качестве кабеля управления при выбранной схеме установки используется обычный трехжильный кабель сечением  $3 \times 4 \text{ мм}^2$ , что позволяет легко транспортировать выносные блоки, смонтированные в виде тележек, по цеху. Оснащение установки горелками с длиной шлангового пакета 8 м позволило сваривать верхние



швы на кристаллизаторе высотой 2870 мм без подъема выносного блока.

### Выводы

1. Для сварки ТИГ в гелии массивных изделий целесообразно применять двухпостовые установки, имеющие общий источник питания, что снижает их стоимость, повышает производительность изготовления свариваемого изделия и уменьшает энергозатраты на подогрев.

2. Стабилизация усредненного интегрального значения импульсного тока при сварке меди неплавящимся электродом в гелии осуществлена путем изменения частоты импульсов сварочного тока, формируемых силовым транзистором, что позволяет изменять индуктивное сопротивление дросселя, включенного последовательно в сварочную цепь, не меняя его индуктивности.

3. Для эффективного возбуждения дуги при сварке меди вольфрамовым электродом в гелии энергия поджигающего импульса должна быть не менее 0,8 Дж.

4. Благодаря размещению транзисторного генератора импульсов в выносном блоке, а токо-

ограничивающего балластного резистора и дросселя в источнике питания уменьшается масса и габариты выносного блока, что позволяет обойтись без дистанционного управления источником питания, увеличивает мобильность выносного блока.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавления / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
2. *Лычко И. И., Илюшенко В. М., Алексеев А. П.* Электрошлаковая сварка толстолистовой меди // Автомат. сварка. — 1967. — № 10. — С. 80–83.
3. *Vennekens R., Shevers A. A.* Plasma MIG welding of copper alloys // Weld. and Metal Fabr. — 1977. — 45, № 4. — P. 227–235.
4. *Сварка в машиностроении: Справочник* / Под ред. А. И. Акулова. — М.: Машиностроение, 1978. — Т. 2. — 462 с.
5. *Гуревич С. М.* Справочник по сварке цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1981. — 607 с.
6. *Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н.* Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989. — 263 с.
7. *Белинский С. М., Каганский Б. А., Темкин Б. Я.* Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. — Л.: Энергия, 1975. — 100 с.
8. *Свойства элементов* / Под ред. Г. В. Самсонова. — М.: Металлургия, 1976. — 598 с.

The two-post machine has been developed for TIG welding of copper in helium atmosphere. The machine consists of the main unit, i.e. power supply, and two remote units powered from voltage of 3x36 V and having an independent antifreeze cooling system. In welding of copper, the machine provides independent regulation of the welding current for each post, stabilisation of the welding current, reliable and quick ignition of the arc, and its stable burning in helium.

Поступила в редакцию 26.04.2007



## **XII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА СВАРКА-2008**

24–27 июня 2008

г. Нижний Новгород

*Выставка проводится одновременно со специализированной выставкой «Машиностроение. Станки. Инструменты».*

**Организатор:** ЗАО «Нижегородская ярмарка»  
тел. (831) 277-54-96, факс: 277-55-86, 277-66-89  
E-mail: kaa@yarmarka.ru; levin@yarmarka.ru