

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

И. И. ЗАРУБА, д-р техн. наук, В. В. ДЫМЕНКО, В. В. АНДРЕЕВ, кандидаты техн. наук, А. Ф. ШАТАН, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности работы источников питания переменного тока с тиристорным регулированием, обеспечивающие высокую стабильность процесса и качество формирования сварных соединений. Приведены данные по сварке переменным током, в том числе корневых швов стыковых соединений труб.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, переменный ток, покрытые электроды, сварочный трансформатор, тиристорное регулирование, магнитное дутье, стабильность процесса сварки, трубопровод, корневой шов, стыковое соединение, испытания

Для ручной сварки ответственных соединений обычно применяют электроды типа УОНИ-13/45, ВИ-10-6 и другие, обеспечивающие необходимое качество и достаточно высокую устойчивость процесса сварки только на постоянном токе. Однако последняя характеризуется таким отрицательным явлением, как магнитное дутье, которое является следствием взаимодействия собственного магнитного поля дуги и поля сварочного контура. При этом дуга горит неустойчиво, произвольно перемещаясь с кромки на кромку, несмотря на всевозможные манипуляции, осуществляемые даже квалифицированным сварщиком, что приводит к неудовлетворительному формированию металла шва. Особые затруднения наблюдаются при выполнении первого шва стыкового соединения (с разделкой кромок или в щелевой зазор). Электромагнитная сила, действующая на дугу, пропорциональна квадрату сварочного тока и зависит от размеров конструкций свариваемых деталей и положения токоподвода по отношению к сварочной дуге. Магнитное дутье ограничивает применение высокопроизводительных режимов при сварке на постоянном токе.

Самое простое и надежное средство борьбы с магнитным дутьем при сварке — применение переменного тока. В этом случае электромагнитная сила, действующая на сварочную дугу, определяется результирующим магнитным потоком, равным геометрической сумме магнитных потоков сварочного и вихревых токов, индуцируемых в массе основного металла. Так как составляющие этих потоков находятся почти в противофазе, то результирующее значение их невелико, поэтому проявление магнитного дутья значительно ослаб-

ляется по сравнению с постоянным током. Оно становится незаметным даже при очень больших сварочных токах (до 2000 А). Таким образом, в случае использования переменного тока можно применить более производительные режимы сварки. Известны и другие преимущества переменного тока. Например, сварка в этом случае значительно экономичнее с точки зрения расхода электроэнергии: КПД сварочных трансформаторов, как правило, выше, чем у источников питания постоянного тока. Сварочные трансформаторы имеют простое устройство, требуют минимального ухода и текущего ремонта, поэтому расходы на их эксплуатацию и обслуживание сравнительно невелики.

По своему технологическому воздействию на ванну переменный ток подобен модулированному току частотой 50 Гц. Структура металла сварного шва получается более мелкозернистая, качество сварного шва на переменном токе лучше, чем при сварке на постоянном токе электродами одной и той же марки. При сварке на переменном токе алюминия и его сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах и их смесях большое значение имеет также процесс очищения свариваемого изделия от оксидных пленок. Поэтому аргонодуговая сварка алюминия неплавящимся электродом производится только на переменном токе. Однако несмотря на определенные преимущества последнего, его применение недостаточно используется в сварочной практике, особенно при выполнении ответственных сварных соединений, в том числе сопровождающихся необходимостью выполнения корневых и других типов швов. Это связано с низкой устойчивостью горения дуги переменного тока, обусловленной изменением полярности, погасанием и зажиганием дуги (100 раз в секунду при частоте 50 Гц), а также отрицательным влиянием переноса металла в этих условиях.



Исследования, выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона, и разработанное специальное устройство стабилизации горения дуги (УСГД) [1] позволяют преодолеть этот недостаток. Благодаря современной полупроводниковой элементной базе УСГД являются недорогими малогабаритными устройствами, легко размещаемыми в кожухе любого сварочного трансформатора [2]. Разработаны новые типы трансформаторов с УСГД [3, 4], которые, используя все качества источника питания переменного тока, по сварочно-технологическим возможностям не уступают сварочным выпрямителям и обеспечивают сварку с использованием практически любых электродов, предназначенных как для переменного, так и для постоянного тока.

Как показали опыты [5, 6], при питании дуги переменным током с подключением УСГД напряжение холостого хода  $U_{x,x}$  сварочного трансформатора может быть уменьшено вплоть до 37 В. Однако при этом уменьшаются амплитудное значение напряжения холостого хода и скорость его нарастания до напряжения зажигания, что неблагоприятно с точки зрения обеспечения надежного повторного зажигания дуги и стабильности процесса. Кроме того, в наиболее распространенных простых трансформаторах с механическим регулированием сварочного тока (перемещаемый магнитный шунт или подвижные обмотки) при снижении  $U_{x,x}$  внешняя вольт-амперная характеристика источника питания становится более пологой, возрастает ток короткого замыкания и соответственно разбрызгивание металла, уменьшается угол сдвига фаз между напряжением  $U_{x,x}(t)$  и током  $i_{cb}(t)$ , что также неблагоприятно с точки зрения обеспечения устойчивости процесса [7]. Поэтому понижение  $U_{x,x}$  менее 45 В нецелесообразно в трансформаторах, рассчитанных на номинальный ток до 300 А. При  $U_{x,x} = 45$  В заметно сокращается расход активных материалов, идущих на изготовление трансформатора, снижается масса и габаритные размеры, повышается КПД [2].

Серийные трансформаторы с механическим регулированием режима сварки имеют, как правило, два диапазона сварочного тока, получаемого переключением пар катушек первичных и вторичных обмоток. В диапазоне малых токов катушки включаются последовательно, больших — параллельно. В первом случае значение магнитной индукции в сердечнике трансформатора практически в 2 раза ниже, чем во втором, т. е. в диапазоне малых токов магнитопровод трансформатора оказывается недогруженным. Переключатели диапазонов сварочного тока, которыми снабжены трансформаторы, часто выходят из строя, снижая надежность оборудования. Механическое регулирование не позволяет осуществлять такие манипуляции режимом работы, как например, модуляция сварочного тока, «горячий» или «холодный» стар-

ты и пр. Поэтому совершенствование сварочных трансформаторов в первую очередь связано с переходом от механического к электронному регулированию, которое дает возможность в одном диапазоне получить требуемый сварочный ток при неизменном значении магнитной индукции в сердечнике трансформатора. Одним из наиболее важных преимуществ такого регулирования является его быстроедействие, благодаря чему можно существенно расширить технологические возможности трансформатора путем дозирования энергии, поступающей в дугу, в том числе и в переходных процессах, вызванных переносом металла.

Первые сварочные трансформаторы с устройствами тиристорного регулирования тока появились в 1980-х годах [8]. Для регулирования тока в первичные либо вторичные цепи трансформатора включали два тиристора, соединенные между собой встречно-параллельно. По сравнению с амплитудным регулированием тиристорные трансформаторы не обеспечивают получения непрерывного тока во вторичной цепи, что неблагоприятно с точки зрения стабильности процесса. При сварке под флюсом мощными закрытыми дугами ванна расплавленного металла, изолированная от окружающей среды, имеет большую тепловую инерционность, поэтому достаточно устойчивый процесс можно получить при питании дуги от трансформаторов ТДФЖ-1002, ТДФЖ-2002 с тиристорным регулированием в первичной цепи.

При сварке менее мощными открытыми дугами (например, покрытыми электродами или в защитных газах) получить стабильный процесс практически невозможно. В этом случае используют метод так называемой активной подпитки дуги от вспомогательного источника тока небольшой мощности или другие варианты поддержания дугового разряда [8]. Для поддержания стабильного горения дуги при ручной дуговой сварке покрытыми электродами достаточно, чтобы ток «подпитки» находился в пределах 10...35 А (в зависимости от диаметра электрода и режима сварки).

В ИЭС им. Е. О. Патона предложены и исследованы две схемы сварочных трансформаторов с тиристорным управлением. В первой из них силовой и вспомогательный трансформаторы выполнены в виде отдельных узлов (рис. 1). Вторая схема построена на базе единого трансформатора, имеющего силовые и вспомогательные обмотки.

Источник питания (см. рис. 1) состоит из основного (силового) трансформатора  $T1$ , рассчитанного на номинальную нагрузку, и вспомогательного  $T2$ , который выполнен с развитым рассеянием и может длительно работать в режиме короткого замыкания. Важным узлом источника является тиристорный коммутатор  $TK$  с блоком управления. Внешние вольт-амперные статические характеристики такого комбинированного ис-

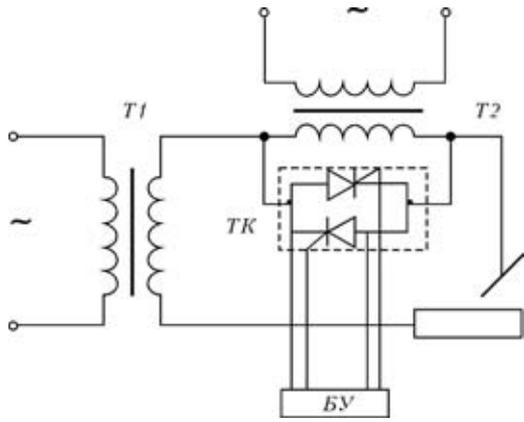


Рис. 1. Блок-схема источника питания переменного тока с тиристорным регулированием (обознач. см. в тексте)

точника питания имеют две ветви. Одна соответствует основному силовому трансформатору и отличается сравнительно небольшим напряжением холостого хода ( $U_{x,x} = 40...45$  В) и достаточно большим током короткого замыкания ( $I_{к.з} = 1,5...1,8I_{НОМ}$ ). Вторая (крутопадающая) соответствует работе вспомогательного источника питания ( $U_{x,x} = 35...40$  В,  $I_{к.з} = 25...30$  А). Таким образом, суммарное напряжение холостого хода обеих ветвей находится в пределах 80 В. Источник работает следующим образом. В процессе сварки в момент прохождения тока через нуль тиристорный коммутатор закрывается. На разрядном промежутке возникает бросок напряжения, способствующий надежному повторному зажиганию дуги. Когда блок управления вырабатывает управляющий импульс, тиристорный коммутатор открывается и сварочный ток возрастает, так как питание дуги теперь осуществляется от основного источника с пологой характеристикой, невысоким напряжением холостого хода и значительным током короткого замыкания. Плавное изменение режима в широких пределах достигается путем регулирования угла отпирания тириستоров.

На рис. 2, а приведена фазовая траектория, представляющая зависимость скорости изменения сварочного тока  $di_{св}/dt$  от значения этого тока. Внешние ветви фазовой траектории соответству-

ют горению дуги в рабочем режиме, внутренние — горению дуги при закрытом коммутаторе. Участки с низкими значениями  $di_{св}/dt = f(i_{св})$  соответствуют закрытому состоянию  $TK$ . С его открытием внутреннее сопротивление всего источника резко уменьшается, а ток, и, следовательно,  $di_{св}/dt$  резко увеличиваются. Для сравнения на рис. 2, б приведена фазовая траектория  $di_{св}/dt = f(i_{св})$ , полученная при сварке от обычного сварочного трансформатора.

При закрытом  $TK$  возрастает суммарная индуктивность сварочного контура и сдвиг фаз между током дуги и напряжением холостого хода источника питания, имеющего при этом достаточно высокое амплитудное значение. Все это способствует надежному повторному зажиганию дуги и росту коэффициента стабильности ее горения [7].

Регулируя сопротивление короткого замыкания основного  $T1$  и вспомогательного  $T2$  трансформаторов, можно формировать статические и динамические характеристики источника питания в широком диапазоне. Расчеты показывают, что подобные источники питания целесообразно выпускать на номинальный ток до 500 А.

Применение «подпитки», как и в случае с использованием УСГД, позволяет снизить напряжение холостого хода основного сварочного трансформатора. Однако при этом следует учитывать, что нарушение стабильности процесса сварки при питании переменным током [7, 9] связано с изменением полярности и с характером переноса металла, а также моментом отрыва капли в течение полупериода. Особенно опасны крупные капли, отрывающиеся от электрода на спаде полупериода синусоиды сварочного тока. Они могут настолько деионизировать столб дуги, что после изменения полярности дуга повторно уже не возобудится и процесс сварки будет прерван. Скоростная киносъемка процесса сварки и синхронное осциллографирование показали, что крупные капли переходят в ванну расплавленного металла преимущественно в конце полупериода на спаде синусоиды тока, когда электромагнитные силы

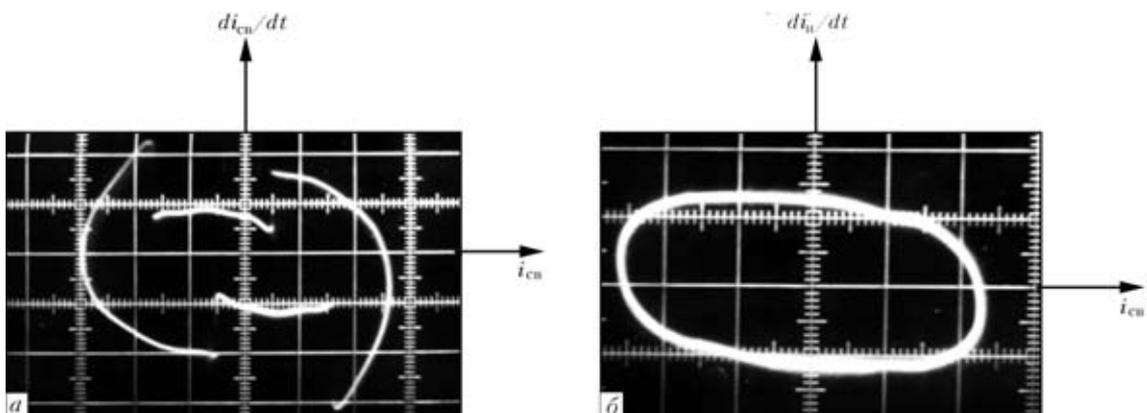


Рис. 2. Фазовые траектории  $di_{св}/dt = f(i_{св})$ , полученные от источника питания переменного тока с тиристорным регулированием (а) и от традиционного сварочного трансформатора (б)

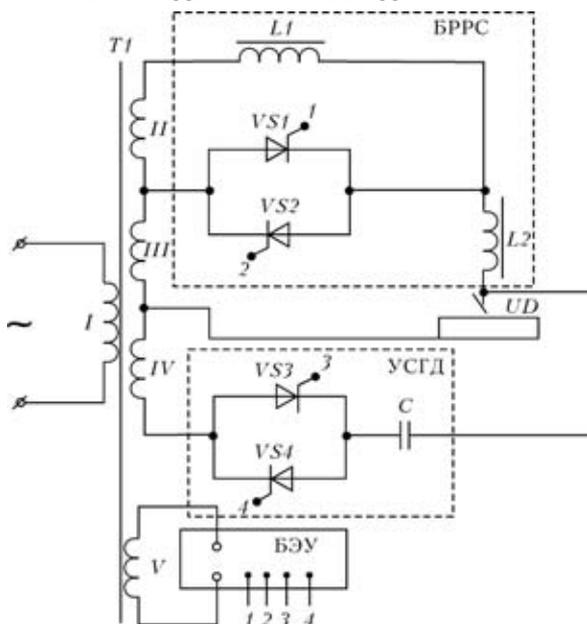


Рис. 3. Блок-схема источника питания ТДТ-251 У2 (БРРС — блок регулирования режима сварки, остальные обозначения см. в тексте)

уменьшаются до минимума и преобладает действие силы тяжести совместно с силами поверхностного натяжения. Под действием этих сил капля провисает вдоль оси электрода, а ванна выравнивается и подплывает под электрод с каплей. Поэтому перенос металла при этом весьма часто сопровождается короткими замыканиями дугового промежутка [10], что для тиристорно регулируемых трансформаторов крайне неблагоприятно. Если включение тиристорного ключа при изменении полярности и переходе источника питания на рабочий режим совпадает с коротким замыканием дугового промежутка, в цепи происходит бросок тока, вызывающий взрыв перемычки между каплей и ванной расплавленного металла и выброс капли за пределы шва. Потери металла резко возрастают и разбрызгивание его может превысить 30...35 %, что совершенно недопустимо по технологическим соображениям. В этом случае следует стремиться к тому, чтобы при разрыве перемычки ток был как можно меньше. При коротком замыкании, вызванном переносом металла, режим горения вспомогательной (низкоамперной) дуги необходимо продлить, а переключение на рабочий режим (большой ток) осуществить только после разрушения жидкой перемычки. Такой алгоритм должен быть заложен в схему управления тиристорным коммутатором.

Таким образом, при разработке тиристорных трансформаторов с УСГД появляются два обязательных требования, которые должны удовлетворяться схемой управления:

импульс энергии, вырабатываемый УСГД для повторного возбуждения дуги, необходимо подавать в разрядный промежуток не только при из-

менении полярности, но и при любых обрывах дуги в процессе сварки;

при коротком замыкании, вызванном переносом металла крупными каплями на спаде синусоиды тока, включение тиристоров в следующем полупериоде должно быть задержано до момента разрыва перемычки между электродом и ванной расплавленного металла в режиме «подпитки» дуги.

На рис. 3 показана блок-схема разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона сварочного трансформатора с тиристорным управлением, который представляет собой модификацию рассмотренного выше источника питания, два трансформатора в котором практически совмещены. На общем магнитопроводе расположены первичная I и четыре секции вторичной обмотки (II, III — соответственно вспомогательная и основная, IV — обмотка питания УСГД, V — обмотка питания блока управления тиристорами). Регулирование сварочного тока осуществляется с помощью силовых тиристоров VS1, VS2, которые на интервале открытого состояния шунтируют собой секцию II и дроссель L1. При полностью открытых тиристорах сварочный ток максимальный, при закрытых — минимальный. Значение тока определяется индуктивностью рассеяния обмоток III и II и параметрами дросселей L1, L2. Дроссель L2 вводится в сварочный контур только в том случае, если индуктивность рассеяния силовой обмотки трансформатора недостаточна для получения требуемого значения тока короткого замыкания.

Управляя работой тиристоров, можно регулировать ток в переходных процессах, вызванных переносом металла как в начальной стадии замыкания дугового промежутка, так и в момент разрушения жидкой перемычки, что способствует снижению разбрызгивания электродного металла и улучшению формирования шва.

Сварка покрытыми электродами во всех пространственных положениях, кроме нижнего, благодаря периодическому манипулированию электродом, осуществляемому сварщиком, проводится со своеобразной модуляцией тока. При перемещении электрода его торец на какое-то время отводится от ванны, дуга удлиняется, ток уменьшается и расплавленный металл не растекается на вертикальной или наклонной поверхности. Однако в этом случае часть энергии дуги бесполезно расходуется на разогрев металла в околосшовной зоне, а расплавленный металл ванны периодически остается незащищенным, что ухудшает качество сварного шва. В случае модуляции сварочного тока, осуществляемой путем тиристорного регулирования, дуга все время остается над ванной расплавленного металла, обеспечивая его защиту и при остывании металла шва, когда сварочный ток уменьшается. Модуляция сварочного тока существенно улучшает качество сварного шва, хотя

и требует определенных навыков от сварщика, которые приобретаются за очень короткое время. Как показал эксперимент, при сварке покрытыми электродами частоту модуляции следует выбирать в диапазоне 0,5...5,0 Гц, ток импульса 100...275 А, ток паузы 50 А.

В рассматриваемом источнике предусмотрены режимы «горячего» и «холодного» стартов. Для надежного начального зажигания дуги и получения требуемого проплавления корня шва применяется «горячий» старт — повышение тока в момент касания электрода с изделием в начале сварки. Он достигается путем полного открытия тиристоров на 5...10 полупериодов тока. Во избежание прожога изделия и разрушения электрода при сварке неплавящимся электродом используется «холодный» старт — понижение тока до минимального (около 50 А) при зажигании дуги контактным способом. Осуществляется он путем запираания тиристоров на 5...10 периодов тока с последующим переходом к заданному сварочному току.

Технологические испытания разработанного тиристорного трансформатора проводили по ГОСТ 25616–83, дополнительно оценивали устойчивость горения дуги. В основном применяли две марки покрытых электродов: УОНИ-13/45 — электроды с фтористо-кальциевым покрытием (для постоянного тока) и МР-3 — с рутиловым покрытием (для переменного тока). Использовали и другие электроды, например, ВИ-10-6, ОЗЛ-8 и пр. Сравнение на тех же режимах проводили при сварке от сварочного генератора ПСО-300. Установлено, что швы, полученные при питании сварочной дуги от тиристорного трансформатора, практически ничем не отличались от швов, выполненных при сварке постоянным током. Новый тиристорно регулируемый трансформатор ТДТ-251У2 (рис. 4) обеспечил высокую стабильность процесса сварки как электродами для переменного тока, так и для постоянного, ничем не уступая по этому показателю сварочным выпрямителям и генераторам [9, 11]. Преимущества ТДТ-251У2 перед сварочными источниками питания постоянного тока (генераторами и выпрямителями) заключаются в возможности обеспечить качественную сварку корневых швов в узкой разделке и в других сложных условиях, когда возникает опасность появления магнитного дугтя.

Функциональные возможности источника питания типа ТДТ позволяют вести качественную сварку покрытыми электродами любых марок, предназначенными для сварки переменным и постоянным током.

**Основные технические характеристики ТДТ-251У2**

Напряжение питания сети, В .....	380
Номинальный сварочный ток, А (при ПН = 20 %) .....	250
Первичный ток при номинальном сварочном токе, А .....	31

Диапазон регулирования сварочного тока, А .....	50...275
Напряжение холостого хода силовой обмотки, В .....	45±4
Ток холостого хода, А, не более .....	4
Номинальное рабочее напряжение, В .....	30
Номинальная мощность, кВ·А, не более .....	11,43
КПД, %, не менее .....	80
Коэффициент мощности, не менее .....	0,82
Масса, кг, не более .....	45

Источник обеспечивает сварку плавящимися электродами углеродистых, некоторых нержавеющей сталей (электродами ОЗЛ-8), чугуна (электродами ЦЧ-4), а также сварку неплавящимся электродом нержавеющей сталей, алюминия и его сплавов в аргоне.

Были проведены производственные испытания нового источника питания типа ТДТ -251У2 с УСГД при сварке стыков трубных заготовок двух типоразмеров на приведенных ниже режимах:

*образец (рис. 5, а).* Диаметр трубы 114 мм, толщина стенки 10 мм, скос кромок 70°, притупление 2 мм, зазор до 3 мм, материал — сталь СтЗсп. Сварку производили электродами УОНИ-13/45. Режимы сварки:

а) корневой шов выполняли модулированным переменным током. Частота модуляции 0,5 Гц, длительности импульса и паузы равны, значение тока импульса 110 и паузы 50 А, напряжение на дуге 22...25 В. Диаметр электрода 3 мм;

б) заполняющий шов выполняли переменным током без модуляции. Сварочный ток 140 А, напряжение дуги 24...26 В, диаметр электрода 4 мм;

в) облицовочный шов выполняли переменным током без модуляции: сварочный ток 150 А, напряжение дуги 25...26 В, диаметр электрода 4 мм;

*образец (рис. 5, б).* Диаметр трубы 57 мм, толщина стенки 4 мм, скос кромок 70°, зазор 2 мм, материал — сталь СтЗсп. Режимы сварки:

а) корневой шов: ток импульса 95...98, паузы 50 А, напряжение дуги 24 В, частота модуляции 1 Гц, диаметр электрода 3 мм;



Рис. 4. Внешний вид ТДТ- 251У2

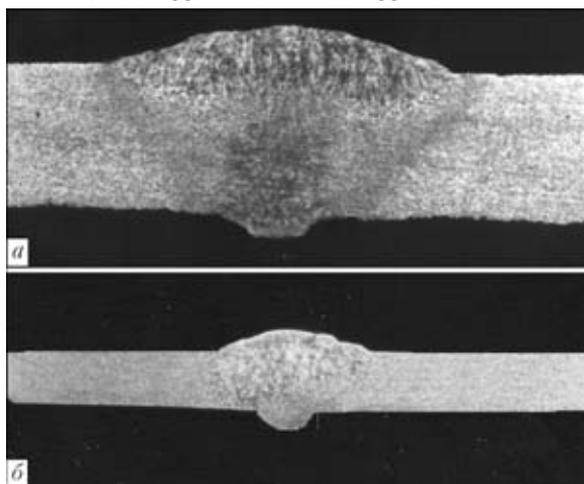


Рис. 5. Макрошлиф стыкового соединения труб диаметром 114 (а) и 57 мм (б)

б) облицовочный шов: ток импульса 110...115 А, напряжение дуги 24...25 В, диаметр электрода 3 мм.

Рентгенконтроль показал пригодность образцов для эксплуатации. Источник ТДТ -251У2 был также успешно испытан при сварке алюминиевых пластин неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне.

Таким образом, разработанный трансформатор с тиристорным регулированием позволяет вести следующие процессы:

сварку покрытыми электродами углеродистых сталей (в том числе с основным покрытием типа УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 и пр.), нержавеющей и специальных сталей (ОЗЛ-8, ОЗЛ-26, ЦЛ-34 и пр.), чугуна (ЦЧ-4);

аргонодуговую сварку неплавящимся электродом нержавеющей сталей, алюминия и его сплавов в тех случаях, когда допускается начальное зажигание дуги контактным способом;

сварку корневых, вертикальных и горизонтальных швов.

Кроме того, ТДТ-251У2 обеспечивает также следующие функции:

плавную регулировку (местную и дистанционную) сварочного тока в одном диапазоне;

импульсную стабилизацию горения дуги;

модуляцию сварочного тока;

установку перед сваркой (в зависимости от режима и диаметра электрода) необходимого тока короткого замыкания;

«горячий» (при сварке плавящимся электродом) и «холодный» (при сварке неплавящимся электродом) старты;

плавный выход на режим в начале сварки и заварку кратера в конце сварки;

продувку защитного газа после окончания сварки;

формирование различных внешних статических характеристик: от пологопадающей до штыковой.

К положительным качествам ТДТ следует отнести его технологическую многофункциональность. В нем до некоторой степени объединены возможности источников питания переменного и постоянного тока.

Отсутствие подвижных частей в ТДТ существенно повышает его эксплуатационную надежность. Стоимость блока управления компенсируется экономией электротехнических материалов при изготовлении ТДТ и электроэнергии при его эксплуатации, а также более высокими технологическими показателями по сравнению с традиционными сварочными трансформаторами и выпрямителями.

Источник питания типа ТДТ может найти применение при производстве и монтаже металлоконструкций, прокладке трубопроводов и пр., что позволяет рекомендовать его для сварки покрытыми электродами корневых и других типов сварных швов на изделиях ответственного назначения.

1. Заруба И. И., Дыменко В. В. Стабилизаторы горения дуги переменного тока с двойным управлением // Автомат. сварка. — 1982. — № 5. — С. 43–46.
2. Заруба И. И., Дыменко В. В., Болотко В. И. Сварочные трансформаторы с устройствами стабилизации горения дуги // Там же. — 1989. — № 10. — С. 46–51.
3. Заруба И. И., Андреев В. В., Дыменко В. В. Усовершенствование трансформаторов для ручной дуговой сварки // Там же. — 2001. — № 3. — С. 45–48.
4. Трансформаторы для дуговой сварки с устройствами стабилизации горения дуги / Б. Е. Патон, И. И. Заруба, В. В. Андреев и др. // Сварщик. — 2002. — № 2. — С. 8–11.
5. Пентегов И. В., Дыменко В. В., Склифос В. В. Сварочные источники питания с импульсным поджигом дуги // Автомат. сварка. — 1994. — № 7. — С. 36–39.
6. Заруба И. И., Андреев В. В., Дыменко В. В. Повышение технологической эффективности и экономичности сварочных трансформаторов // Материалы междунар. конф. «Сварка и родственные технологии 2002». — Киев, 2002. — С. 19–20.
7. Заруба И. И., Дыменко В. В. Влияние капельного переноса металла на устойчивость сварочной дуги переменного тока // Автомат. сварка. — 1983. — № 12. — С. 14–20.
8. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергия, 1986. — 657 с.
9. Zaruba I. I., Andreev V. V., Dymenko V. V. Einege Wege zur Verbesserung des. MAG-Schweißprozesses // ZIS Mitteilungen. — 1982. — № 6. — S. 592–601.
10. Заруба И. И., Дыменко В. В., Баргамен В. П. Сварка переменным током в углекислом газе // Автомат. сварка. — 1973. — № 10. — С. 64–68.
11. Заруба И. И., Андреев В. В. Пути улучшения тиристорных источников питания // Сварщик. — 1998. — № 2. — С. 20–21.

Considered are the features of operation of a.c. power sources with thyristor control, providing a high stability of the process and quality of welded joint formation. Data are given on a.c. welding, including root welds of pipe butt joints.

Поступила в редакцию 15.02.2006