

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

А. В. ВЛАДИМИРОВ, В. А. ХАБУЗОВ, кандидаты техн. наук

(ООО «Лаборатория электронных технологий», г. Санкт-Петербург, РФ),

В. А. ЛЕБЕДЕВ, С. Ю. МАКСИМОВ, доктора техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

А. А. ГАЛЫШЕВ, инж. (Санкт-Петербург. ин-т машиностроения ПИМАШ, РФ)

Рассмотрена новая конструкция универсального инверторного источника тока применительно к механизированным процессам дуговой сварки, наплавки сталей и сплавов алюминия. Источник отличается возможностью оперативной и контролируемой установки многих параметров сварочного процесса и регулирования любого вида внешних статических вольт-амперных характеристик и динамических свойств, а также реализацией импульсных режимов в широком диапазоне.

Ключевые слова: дуговая сварка, наплавка, плазменная резка, источник питания, выпрямитель, инвертор, характеристики, программное обеспечение, конструкция

В настоящее время в сварочном производстве используются как традиционные выпрямители, так и инверторные источники питания. Источники с регулируемыми выпрямителями тиристорного типа или нерегулируемыми выпрямителями еще долгое время будут востребованы на рынке благодаря сравнительной простоте, надежности и относительной дешевизне. Они могут использоваться в современных эффективных сварочных процессах, например при способе сварки с вынужденными короткими замыканиями (ВКЗ), разработанном компаниями ИТС и СЭЛМА (РФ–Украина) [1]. В настоящее время все более интенсивно в сварочное производство внедряют инверторные источники питания разной степени сложности. Для качественного выполнения сварочно-наплавочных работ, достижения высокой производительности и выполнения задач энерго- и ресурсосбережения потребители будут выбирать именно такие источники питания.

При создании инверторных источников питания можно отметить две тенденции. Первая направлена на снижение массогабаритных характеристик оборудования, повышение его КПД [2], вторая — на реализацию управления переносом электродного металла [3]. При этом последнее из обозначенных направлений требует наличия «интеллектуальных» источников, которые уже созданы или создаются и производятся различными фирмами. Их особенность состоит в возможности реализации алгоритмов управления переносом электродного металла таких, как STT (перенос металла силами поверхностного натяжения) и СМТ (холодный перенос металла).

Следует отметить, что несмотря на привлекательность разработок сварочных источников питания инверторного типа с использованием интеллектуального потенциала их программных средств до сих пор остаются нерешенным или решенными частично следующие основные задачи:

обеспечение достаточно надежных конструкторских решений по защите источников при их работе в реальных условиях производства;

реализация блочно-модульного построения силовой части для обеспечения широкого диапазона значений номинальных токов и различных уровней выходного напряжения;

оптимизация обслуживания, дополнительного программирования или перепрограммирования с целью получения качественно новых процессов сварки и наплавки, соответствующих условиям современного производства, новым технологиям и др.

Цель настоящей работы — ознакомить специалистов сварочного производства с разработкой, выполненной фирмой ООО «Лаборатория электронных технологий» (г. Санкт-Петербург, РФ) при технико-консультационной помощи специалистов ИЭС им. Е. О. Патона.

Предлагаемая к рассмотрению разработка основана на принципе разделения силовой и информационных компонент источника питания, обеспечивающего универсальность и высокий уровень унификации оборудования, а также позволяющего решить ряд проблем, связанных с управлением дуговыми процессами при сварке и резке.

Универсальность рассматривается в нескольких аспектах: возможность ведения ряда процессов сварки и наплавки, а также достижения эффективного управления процессом сварки или наплавки. Например, при механизированной сварке с короткими замыканиями (КЗ) можно обеспечить перенос электродного металла с минимальным



уровнем его потерь и качественным формированием шва. Немаловажным в плане универсальности источника питания является обеспечение его работы в разных производственных условиях. При дуговом и плазменно-дуговом процессах сварки необходимо наличие широкого диапазона значений сварочного тока ($I_{св} = 10...1500$ А) и напряжения на дуге ($U_d = 16...260$ В).

Наиболее простой путь создания универсального оборудования для сварки — это разработка мощного источника питания, обеспечивающего требуемый диапазон значений сварочного тока и напряжения для резки. Для большинства потребителей такой источник питания будет избыточным по комплектации и реализуемым характеристикам. Кроме того, он будет дорогим, а следовательно, не будет иметь ожидаемого широкого применения.

Поэтому в рассматриваемой разработке задача универсальности оборудования решена путем применения одного типового силового функционально законченного блока — модуля с минимально необходимыми параметрами, который обеспечивает высокие значения КПД, надежность, а также требуемые нагрузочные и динамические характеристики.

Управление модулем цифровое и предусматривает наличие в оборудовании энергонезависимой памяти для хранения сварочных программ и параметров настройки источника.

Каждый модуль выполнен таким образом, что радиаторы его силовых ключей расположены внутри модуля, а вся электроника — снаружи. При такой компоновке воздух проходит сквозь модуль, не соприкасаясь с электроникой и не загрязняя ее. Это особенно актуально для реальных условий эксплуатации (при высокой запыленности, наличии электропроводной среды и др.). Разработан вариант установки источника в пластиковый водонепроницаемый корпус, который можно эффективно использовать при создании нового комплектного оборудования для подводной дуговой сварки и резки металлов плавящимся электродом. Выбор силовых характеристик источника (тока и напряжения) осуществляется путем параллельного (при сварке) и последовательного (при определенных режимах сварки и резки) включения модулей. Организация требуемых для сварочного процесса внешних характеристик источника питания и их безаварийная работа осуществляется с помощью специальной компьютерной программы.

Разработанная система управления обеспечивает на выходе источника питания необходимые для каждого способа сварки динамические и вольт-амперные характеристики (ВАХ). Система управления определяет множество состояний тока и напряжения, которые могут реализоваться в

процессе работы. При этом актуальным является ясный и удобный интерфейс для ввода и коррекции характеристик источника питания.

Продemonстрируем работу системы управления источника питания на примере графического проектирования внешней ВАХ. Обычно ВАХ представляют в виде кривых, которые при пересечении с осями определяют ток КЗ и напряжение холостого хода. Их существует множество, и по заданию заказчика можно составить базу пользования.

ВАХ источника питания сварочного тока во многих аспектах определяют возможность реализации процесса сварки, его качество [4] и даже возможность получения определенного вида переноса электродного металла, как, например, упомянутый процесс с ВКЗ. Общепринятой формой представления ВАХ является график, поэтому ввод и коррекция ВАХ реализованы в графическом виде специальным редактором на ПК, подключенном через USB интерфейс к источнику питания.

С помощью специально разработанного графического редактора на экране компьютера можно нарисовать кривую требуемой ВАХ, а затем передать ее на исполнение в аппарат. Вид экрана программы редактора и кривые ВАХ представлены на рис. 1. Ввод ВАХ в большинстве случаев необходим для общей настройки аппарата в условиях производства и начального программирования, а также для исследовательской и технологической практики, что мы считаем наиболее важным. Память источника позволяет хранить сотни ВАХ, и сварщику остается только выбрать наиболее подходящую из них для конкретных условий сварки, сварочных материалов и режимов.

Известно [5], что дуговая сварка плавящимся электродом является сложным динамическим процессом, который включает как быстротекущие (например, формирование и перенос капель), так и длительные (например, формирование сварного шва) процессы. Для качественного выполнения сварки необходимо в равной степени хорошо управлять этими процессами на любой стадии их прохождения. Разная продолжительность сварочных процессов требует и различных способов управления ими.

Важность динамической характеристики источника состоит в обеспечении скорости и характера реагирования источника питания на внесение в нагрузку возмущения (изменение нагрузки). Классическое решение состоит в использовании дросселей, которые путем изменения индуктивности нагрузки регулировали скорость нарастания и спада тока в сварочной цепи. Применение дросселей неудобно, поскольку регулировка их индуктивности должна быть ступенчатой, что требовало выключения аппарата для выполнения коммутации. В большинстве новых разработок источников питания сварочного тока из-

вестных фирм (например, реализация функции QSet-автоматический выбор оптимальной частоты КЗ данной комбинации газ/проволока в последней разработке шведского концерна ESAB) необходимые скорости нарастания и спада тока достигаются с помощью средств электроники, так называемых электронных дросселей.

В большинстве случаев продолжительность нарастания (спада) тока при сварке составляет приблизительно нескольких миллисекунд. В рассматриваемой нами разработке подобные задачи решаются также за счет программируемых средств электроники, при этом энергетические возможности модуля позволяют достигать максимальных значений сварочного тока на порядок быстрее. Следовательно, система управления даже для наиболее быстрого реагирования на внесение возмущения должна «тормозить» модуль, замедляя быстрый рост тока. Это можно сделать, например, посредством выдачи системой управления через 0,1 мс команды на увеличение тока на 10 % целевого значения. Таким образом изменяют скорость нарастания тока и в необходимых для сварки и резки диапазонах получают требуемые динамические характеристики источника питания.

В источнике питания, в котором достаточно просто регулируются динамические и выходные ВАХ, можно реализовать любой из известных алгоритмов управления переносом электродного металла, что, как следует из анализа сварочного оборудования известных фирм-производителей, является приоритетной задачей, решение которой обеспечивает качественное и эффективное ведение сварочных процессов. Заметим, что при апробировании системы графического проектирования характеристик сварочного процесса возникло несколько новых алгоритмов управления, в числе которых управление on-line регулированием фронтов нарастания и спада импульсов, а также совместное управление источником питания и приводом импульсной подачи электродной проволоки [6]. Последнее решение, по нашему мнению, является одним из направлений дальнейшего совершенствования источника питания сварочного тока и комплектного оборудования для механизированной и автоматической сварки в целом.

В настоящее время разработаны практически все уровни управления процессами сварки и способы их реализации. В источнике питания прошли апробацию все известные алгоритмы управления импульсно-дуговым процессом с широким диапазоном параметров изменяемых характеристик (уровня, скважности, частоты и формы импульсов) [7].

Система управления источником питания содержит встроенные датчики тока и напряжения, которые используются как для решения внутренних задач, связанных с управлением параметрами

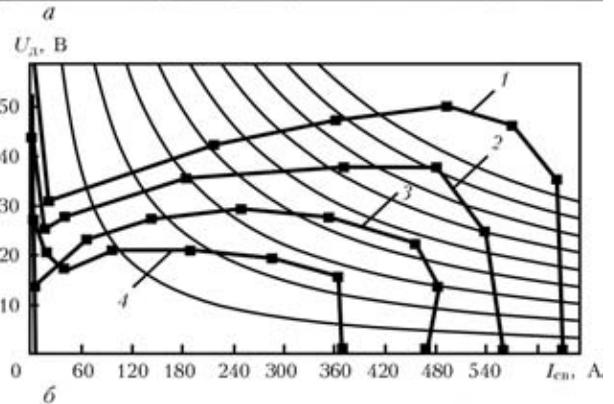
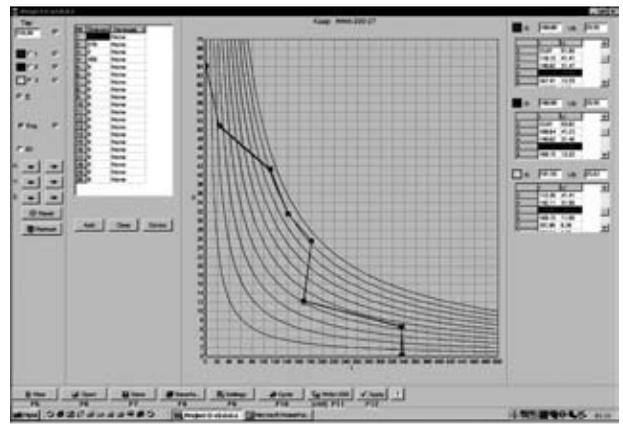


Рис. 1. Вид экрана программы-редактора для ввода ВАХ в источник питания (а) и кривые ВАХ, полученные при механизированной сварке на различных режимах (б): 1 — $I_{св} > 250$; 2 — 150...250; 3 — 100...150; 4 — 50...150 А

дугового процесса, так и передачи информации внешним устройствам.

Все возможности системы управления источником питания обеспечиваются цифровой обработкой текущего состояния, поэтому можно говорить о полном цифровом управлении сварочным процессом (ЦУСП). При этом уместно оперировать таким понятием, как графическое проектирование характеристик источника питания для любого возможного способа дуговой сварки с параметрами, которые технологи считают необходимыми и наиболее эффективными.

Для удобства пульт управления источником питания выполнен с использованием графического дисплея, с помощью которого по специальной программе реализуются различные интуитивно понятные алгоритмы управления и контроля.

Можно также отметить две важные особенности новой разработки. Модернизация существующих и освоение новых сварочных технологий существенно упрощаются, поскольку есть возможность подбора ВАХ и динамических характеристик источника питания в лабораторных условиях на достаточно высоком уровне. Эти характеристики можно передать через Интернет или по почте для установки на любой источник питания. Как показал опыт, простота встраивания их в существующие производственные системы



Рис. 2. Вариант конструктивного исполнения источника сварочного тока ЛЭТ 350 с металлической обшивкой и дисплеем сенсорного типа

не вызывает трудностей. Еще одним преимуществом новой разработки, которое, однако, пока не реализуется отечественными потребителями при выполнении сварки, является возможность дистанционного объективного контроля за выполнением сварного соединения. Это осуществляется двумя способами: либо источник питания записывает в свою память все параметры процесса, а затем отправляет отчет о произведенной работе в архив, либо передает их на специальный сервер, производящий контроль и учет выполненной работы.

Следует отметить, что по согласованию с заказчиком источник питания может иметь клапан газового отсекавателя и регулируемые электроприводы постоянного тока для механизма подачи электродной проволоки с необходимыми элемен-

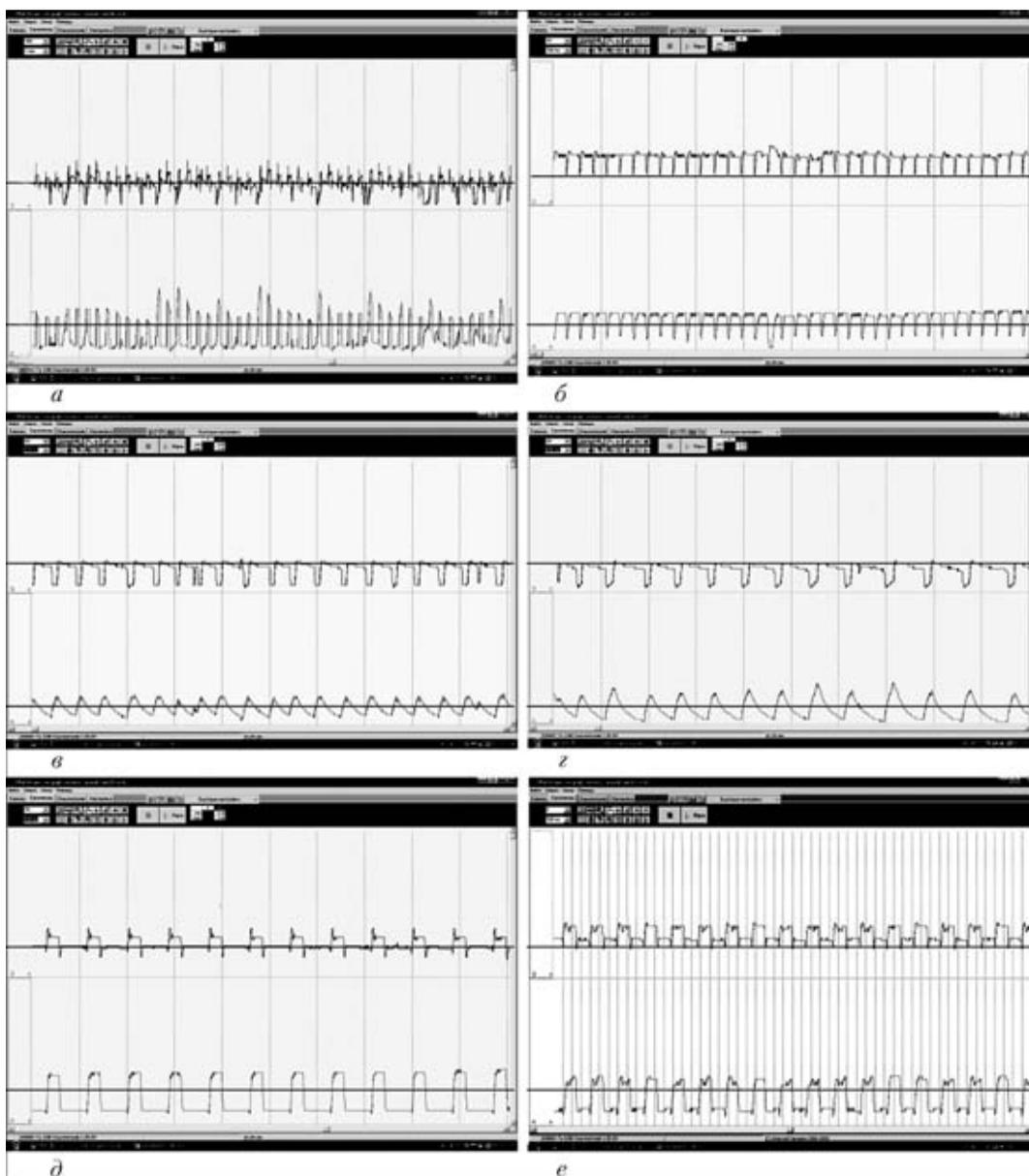


Рис. 3. Осциллограммы сварочного тока (верхняя кривая) и напряжения на дуге (нижняя кривая) процесса сварки, реализуемого с применением источника ЛЭТ (масштаб взят по осциллограмме): а-е — см. в тексте

тами их программного включения по циклу сварки.

При оценке возможностей новой разработки специалистами ООО «Лаборатория электронных технологий» и ИЭС им. Е. О. Патона в течение нескольких рабочих дней на источнике ЛЭТ 350 (см. рис. 2) со стандартным подающим механизмом типа ПДГО-510, горелка которого закреплена в клицу сварочной тележки, выполнен комплекс исследований с изменением ВАХ, динамических характеристик источника питания, а также с применением импульсных воздействий и пр. Все параметры источника устанавливались в режиме *on-line* и оценивались по качеству валиков наплавленного металла, осциллограммам тока и напряжения. При этом использовали электродную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Защитной средой являлся углекислый газ. Основные режимы были выбраны по рекомендациям работы [4].

Для примера рассмотрим несколько вариантов процессов сварки. Сварку выполняли на сварочном токе 90...140 А и напряжении на дуге 18...24 В. На рис. 3, а показана осциллограмма сварочного процесса с относительно небольшим значением индуктивности в сварочной цепи (менее 0,1 мГн) при равномерной жесткой ВАХ и отсутствии импульсного режима работы источника питания. Значение напряжения на дуге находилось на нижнем пределе рекомендуемого диапазона. Видно, что процесс сварки протекал с КЗ, при этом перенос электродного металла был достаточно хаотичным. При повышении индуктивности процесс сварки с точки зрения переноса упорядочивается и стабилизируется. При этом можно четко фиксировать периоды горения дуги и КЗ, что хорошо видно на рис. 3, б. Далее при повышении индуктивности сварочной цепи частота КЗ снижается и меняется скважность цикла переноса, что можно проследить по осциллограммам на рис. 3, б-г. В результате появляется возможность регулирования тепловложений в сварочную ванну за счет программного изменения индуктивности. Осциллограммы на рис. 3, д, е также показывают возможность управления переносом электродного металла за счет использования различных ВАХ источника питания и применения импульсной составляющей напряжения с параметрами, близкими к параметрам естественного переноса. В данном случае сварку выполняли на комбинированной ВАХ по типу, представленному на рис. 4, при этом изменяли параметры *A*, *B* и *B*. На рисунке также видны изменения в скважности цикла переноса.

Таким образом, очевидно, что, изменив по определенным алгоритмам два параметра источника питания сварочного тока (постоянную времени сварочной цепи за счет динамических характеристик и форму ВАХ), можно существенно влиять на пе-

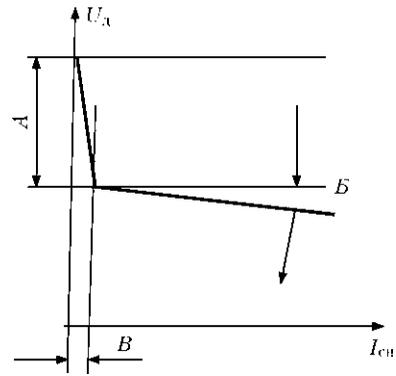


Рис. 4. Комбинированная ВАХ источника сварочного тока: *A* — напряжение холостого хода источника сварочного тока; *B* — жесткость внешних ВАХ; *B* — зона действия повышенного напряжения

ренос электродного металла, стабилизируя его и управляя его энергетическими характеристиками, а следовательно, коэффициентом расплавления электрода и проплавлением основного металла.

К настоящему времени составлена программа исследования возможностей, которые предоставляют конструкцию источника питания ЛЭТ и системы программирования. На первом этапе исследований предполагается определить влияние индуктивности, ВАХ, импульсных алгоритмов на сварочный процесс и формирование сварного соединения, а на втором — различных структур обратных связей и использование силовых воздействий на перенос электродного металла.

Выводы

1. ЦУСП обеспечивает качественную настройку оборудования на конкретную работу, быстрое воспроизводство настроек и их повторяемость. Основным преимуществом разработки ООО «Лаборатория электронных технологий» [8] является обеспечение качества сварного соединения на основе принципов цифрового синтеза сварочного процесса.

2. Реализация концепции универсального аппарата для сварки и резки с ЦУСП упрощает и удешевляет сложившиеся системы проектирования, производства и эксплуатации сварочного оборудования, при этом обеспечивается высокое качество сварки.

3. Универсальность источников питания выгодна для крупных производств, на которых работают сотни сварочных аппаратов различного назначения и мощности за счет упрощения их эксплуатации и возможности маневра с одной площадки на другую, с одного способа сварки на другой. Эксплуатация оборудования одного типа, состоящего из нескольких типовых блоков, гораздо проще и дешевле, чем различного оборудования от разных производителей [9].

4. Будущее сварки и резки состоит именно в применении ЦУСП. Сварочные производства, ко-



торые раньше начнут использовать изложенные здесь принципы, получат естественное преимущество перед конкурентами в плане себестоимости и качества выпускаемой продукции.

1. *Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах* / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский, В. И. Беспалов, Д. Н. Работинский // Автомат. сварка. — 2004. — № 12. — С. 38–41.
2. *Особенности применения инверторных источников сварочного тока и направления их совершенствования* / И. А. Рубан, Н. А. Горяйнов, В. А. Лебедев, С. И. Притула // Междунар. конф. «Сварка и родственные технологии в третье тысячелетие», Киев, 24–26 нояб. 2008 г. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2008. — С. 104–105.
3. *Можайский В. А. Колюпанов О. В., Квасов Ф. В. Сварочное оборудование фирмы «Lincoln Electric»* // Свароч. пр-во. — 1998. — № 8. — С. 37–41.

4. *Потаповский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом.* — М.: Машиностроение, 1974. — 240 с.
5. *Львов Н. С., Гладков Э. А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов.* — М.: Машиностроение, 1982. — 302 с.
6. *Патон Б. Е., Лебедев В. А., Микитин Я. И. Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке* // Свароч. пр-во. — 2006. — № 8. — С. 27–32.
7. *Стабилизация процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом* / Б. Е. Патон, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. О. Шимановский // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 3–6.
8. *Vladimirov A., Khabuzov V. Development concept for arc welding equipment* // Proc. of the IIV Intern. conf., Graz, 2008. — Graz, 2008. — P. 227–228.
9. *Лебедев В. А., Мошкин В. Ф. Выбор оборудования для механизированной дуговой сварки, наплавки и резки* // Автомат. сварка. — 2000. — № 2. — С. 50–55.

A new design of an all-purpose inverter current source is considered for mechanized processes of arc welding and surfacing of steels and aluminium alloys. The source features the capability of fast and controllable setting of many parameters of the welding process and as regulation of any appearance of external static volt-ampere characteristics and dynamic properties, as well as realization of pulsed modes in a wide range.

Поступила в редакцию 01.02.2010

KYIV TECHNICAL TRADE SHOW 2011

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ

12–14 апреля 2011 г.



Одновременно пройдут выставки



СВАРКА. РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ-2011 ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ-2011 НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ-2011

Оргкомитет: ООО «ТДС-Экспо»
Тел./факс: (+38044) 596-93-08, 596-91-84, 596-92-20
E-mail: olga@welding.kiev.ua, exhibit@welding.kiev.ua