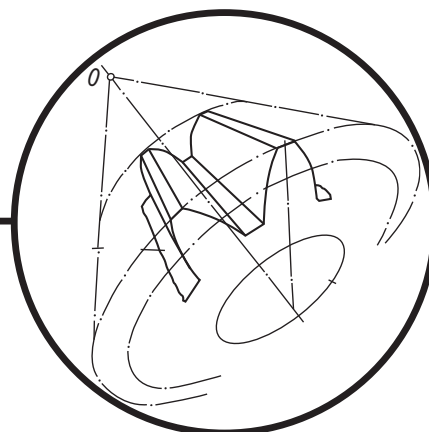


ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ



DOI 10.15589/jnn20170406

УДК 621.791.037

ЛЗЗ

METHODS OF CONTROLLING ELECTRODE WIRE FEEDING AT MECHANIZED ARC WELDING AND SURFACING

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ

Volodymyr O. Lebediev

office@paton.kiev.ua

ORCID: 0000-0002-0006-3576

Hennadii V. Zhuk

dktbpaton@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6615-8239

Stanislav V. Drahan

welding@nuos.edu.ua

ORCID:0000-0001-8634-782X

В. А. Лебедев¹,

д-р. техн. наук

Г. В. Жук²,

директор

С. В. Драган³,

канд. техн. наук

¹*The E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine*

²*SF "EDTO E.O. Paton EWI NASU"*

³*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

¹*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев*

²*ГП «ОКБ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ»*

³*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. The article analyzes the conventional and new methods and control systems for electrode wire feeding in the arc welding and surfacing equipment. Special attention is paid to the feed rate control (stabilization) systems. The major part of the paper considers pulsed and oscillatory feed systems. They allow obtaining a number of technological effects that significantly improve the quality of the welded joint and expand the scope of application of the mechanized equipment, including the spheres of manufacture and repair in shipbuilding and ocean engineering. It is shown that advanced technical means allow solving virtually any technical problem related to control of the electrode metal transfer.

Keywords: arc welding; mechanized process; feed system; improvement; development; pulsed control algorithm.

Анотація. Подано аналіз традиційних і нових способів і систем управління подачею електродного дроту в обладнанні для дугового зварювання й наплавлення, особливу увагу приділено системам регулювання (стабілізації) швидкості подачі. Значну частину роботи присвячено імпульсним і коливальним системам подачі, що дозволяють отримати ряд технологічних ефектів, які істотно підвищують якість зварного з'єднання й розширюють сферу застосування механізованого устаткування, у тому числі при виготовленні та ремонті об'єктів суднобудування та океанотехніки. Показано, що сучасні технічні засоби дають можливість вирішити практично будь-які технічні завдання, пов'язані з управлінням перенесенням електродного металу.

Ключові слова: дугове зварювання; механізований процес; система подачі; вдосконалення; розвиток; імпульсні алгоритми управління.

Аннотация. Представлен анализ традиционных и новых способов и систем управления подачей электродной проволоки в оборудовании для дуговой сварки и наплавки, особое внимание уделено системам регулирования (стабилизации) скорости подачи. Значительная часть работы посвящена импульсным и колебательным системам подачи, позволяющим получить ряд технологических эффектов, существенно повышающих качество сварного соединения и расширяющих сферу применения механизированного оборудования, в том числе при изготовлении и ремонте объектов судостроения и океанотехники. Показано, что современные технические средства дают возможность решить практически любые технические задачи, связанные с управлением переносом электродного металла.

Ключевые слова: дуговая сварка; механизированный процесс; система подачи; совершенствование; развитие; импульсные алгоритмы управления.

REFERENCES

- [1] Goloborodko Zh. G., Dragan S. V., Simutenkov I. V. *Avtomaticheskaya naplavka pod flyusom konstruksionnykh staley s poperechnymi vysokochastotnymi impulsnymi peremeshcheniyami elektroda* [Automatic flux surfacing of structural steels with transverse high-frequency pulsed electrode movements]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding], 2013, no. 6, pp. 35–39.
- [2] Doncker R. *Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control*. Springer, 2011. 453 p.
- [3] Zhuk G. V., Lebedev V. A. *Avtomatizirovannaya i mekhanizirovannaya svarka i naplavka s upravlyaemoy dozirovannoy podachey elektrodnoy provoloki* [Automated and mechanized welding and surfacing with controlled electrode wire feeding]. *Inzheneriya poverkhnosti i renovatsiya izdeliy. Materialy 17-oy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proceedings of the 17th International Scientific and Technical Conference “Surface engineering and product renovation”]. Odessa, 2017, pp. 249–251.
- [4] Krampit N. Yu. *Sposoby upravleniya plavlaniem i perenosom elektrodnoy metalla (obzor)* [Methods for the control of electrode metal melting and transfer (review)]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding Production], 2009, no. 3, pp. 31–35.
- [5] Lebedev V. A. *Osobennosti raboty planetarnogo mekhanizma podachi provoloki dlya svarochnogo oborudovaniya* [Special features of the planetary wire feeder as part of the welding equipment]. *STIN*, 2013, no. 4, pp. 30–34.
- [6] Lebedev V. A. *Elektroprivody v sovremennom mekhanizirovannom i avtomatizirovannom oborudovanii dlya dugovoy svarki* [Electric drives in the advanced mechanized and automated arc welding equipment]. *Elektrotekhnicheskie i kompyuternye sistemy* [Electrotechnical and Computer Systems], 2013, no. 11 (87), pp. 7–16.
- [7] Lebedev V. A., Gulyy M. V. *Bystrodeystvuyushchiy ventilnyy elektroprivod dlya oborudovaniya mekhanizirovannoy dugovoy svarki* [High-speed valve electric drive for the mechanized arc welding equipment]. *Mekhatronika. Avtomatizatsiya. Upravlenie*. [Mechatronics. Automation. Control.], 2014, no. 6, pp. 47–51.
- [8] Lebedev V. A., Zhuk G. V. *Upravlenie perenosom elektrodnoy metala na osnove impulsnykh algoritmov funktsionirovaniya sistem s dozirovaniem podachi elektrodnoy provoloki pri mekhanizirovannoy dugovoy svarke* [Control of the electrode metal transfer based on pulsed algorithms for the functioning of the systems with dosed electrode wire feeding in mechanized arc welding]. *Tyazheloe mashinostroenie* [Heavy Engineering], 2017, no. 6, pp. 27–32.
- [9] Lebedev V. A., Maksimov S. Yu. *Sovremennoe mekhanizirovannoe oborudovanie dlya svarki i naplavki i ego tekhniko-tekhnologicheskie vozmozhnosti* [Advanced mechanized welding and surfacing equipment and its technical and technological capabilities]. Kyiv, Osnova Publ., 2012. 232 p.
- [10] Lebedev V. A., Plyushch D. V. *Sistemy podachi elektrodnoy provoloki mekhanizirovannogo oborudovaniya dlya svarki i naplavki* [Electrode wire feeding systems for mechanized welding and surfacing equipment]. Kyiv, Osnova Publ., 2013. 432 p.
- [11] Lebedev V. A., Plyushch D. V. *Tekhnicheskie vozmozhnosti rolikovogo mekhanizma pri impulsnoy podache elektrodnoy provoloki* [Technical capabilities of the roller mechanism for the pulsed electrode wire feeding]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding Production], 2012, no. 10, pp. 20–24.
- [12] Lebedev V. A., Dragan S. V., Trunin K. K. *Avtomaticheskaya svarka pod flyusom s impulsnoy podachey shagovym dvigatelem elektrodnoy provoloki* [Automatic flux welding with pulsed electrode wire feeding with a stepper motor]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding Production], 2016, no. 2, pp. 27–34.
- [13] Lebedev V. A., Pichak V. G., Smolyarko V. B. *Mekhanizmy impulsnoy podachi elektrodnoy provoloki s regulirovaniem parametrov impulsov* [Mechanisms of pulsed electrode wire feeding with the pulse parameters adjustment]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding], 2001, no. 5, pp. 31–37.

- [14] Lebedev V. A., Dragan S. V., Goloborodko Zh. G., Simutenkov I. V. *Tekhnologicheskie kharakteristiki avtomaticheskoy naplavki pod flyusom s vysokochastotnymi kolebaniyami tortsa elektroda* [Technological characteristics of automatic flux surfacing with high-frequency oscillations of the electrode end]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding], 2014, no. 8, pp. 35–38.
- [15] Maksimov S. Yu., Lebedev V. A., Lendel I. V. *Germetizatsiya trub teploobmennikov «mokroy» svarkoy na glubine 200 m.* [Sealing of heat exchanger tubes by means of “wet” welding at the depth of 200 m]. *Voprosy materialovedeniya* [Problems of Materials Science], 2015, no. 1, pp. 199–204.
- [16] Brunov O. G., Fedko V. T., Kryukov A. V. *Mekhanizm podachi svarochnoy provoloki* [Welding wire feeding mechanism]. Patent RF no. 2254969, 2005.
- [17] Paton B. Ye., Lebedev V. A., Lendel I. V., Poloskov S. Yu. *Ispolzovanie mekhanicheskikh impulsov dlya upravleniya protsessami avtomaticheskoy i mekhanizirovannoy svarki plavyashchimsya elektrodom* [Using mechanical pulses to control the processes of automatic and mechanized welding with a consumable electrode]. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics], 2013, no. 6, pp. 16–20.
- [18] Chvertko A. I., Paton V. Ye., Belfor M. G., Gologovskiy G. M. *Apparatura dlya mekhanizirovannoy dugovoy i elektroshlakovoy svarki i naplavki* [Equipment for mechanized arc and electroslag welding and surfacing]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1978. 200 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Широко распространённые способы механизированной дуговой сварки и наплавки в защитной среде или с использованием самозащитных электродных проволок постоянно совершенствуются на основе применения новых технико-технологических разработок, более эффективных сварочных материалов. При этом зачастую выявляются ранее неизвестные или нереализуемые технологические возможности и приёмы указанных способов.

Сказанное выше в полной мере относится к одной из основных систем оборудования для механизированной и автоматической дуговой сварки и наплавки — системе подачи электродной проволоки. К основным звеньям этой системы, определяющим успешное ведение дугового процесса, принадлежат электродвигатель с устройствами управления и регулирования, движители проволоки, тракты её движения и элементы токоподвода и токопередачи. Элек-

тродвигатель с движителями электродной проволоки образуют механизм подачи сварочного автомата или полуавтомата.

Совершенствование систем подачи электродной проволоки представляет одну из актуальных проблем развития техники и технологий механизированного и автоматического оборудования в целом.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Выполненный анализ основных направлений разработок механизма подачи с учетом алгоритма управления движением электродной проволоки (рис. 1) позволил сделать следующие обобщающие выводы.

1. Системы ступенчатого регулирования (с использованием механического редуктора со сменными шестернями и комплекта подающих роликов разного диаметра) и параметрического регулирования (путем включения резистора в цепь питания электродвигателя) отличаются простотой и надёжностью



Рис. 1. Основные направления разработок механизма подачи электродной проволоки для механизированного оборудования (без учета приводов с электромагнитными регуляторами)

работы. Такие системы могут комплектоваться приводным электродвигателем любого типа как постоянного тока, так и асинхронным, но практически не имеют перспектив для развития вследствие больших массогабаритных показателей и ограниченных функциональных возможностей. Основная задача таких систем — обеспечение и регулирование скоростей подачи электродной проволоки в определённом, достаточно узком диапазоне [10].

2. Регуляторы на основе локальных полупроводниковых устройств достаточно распространены как средство задания и поддержания скорости подачи электродной проволоки в механизмах с коллекторными электродвигателями постоянного тока [6]. К преимуществам таких систем регулирования можно отнести:

- относительную простоту поддержания заданной скорости подачи за счёт введения обратных связей, стабилизирующих частоту вращения вала приводного электродвигателя;
- возможность установки диапазонов параметров режима, расширяющих технологические возможности способов сварки (наплавки), в том числе и настройку модулированных режимов работы; обеспечение качественного начала и окончания процесса;
- осуществимость создания резервных комплектов для ремонта и др.

В то же время основные недостатки таких устройств заключаются в следующем:

- ограничения изменений алгоритмов работы электропривода; повышенная материалоемкость из-за наличия понижающего редуктора;
- низкая надёжность коллекторного электродвигателя при работе в особых условиях, например, в составе полуавтоматов и автоматических систем для мокрой подводной сварки.

Расширенные возможности систем на основе локальных полупроводниковых регуляторов обеспечиваются дополнительными устройствами, функционирующими по жестким программам.

3. Системы подачи электродной проволоки в полуавтоматах для сварки и наплавки, оснащенные коллекторными электродвигателями с регуляторами на основе отдельных микропроцессорных или общих компьютеризованных блоков управления и регулирования, представляют собой устройства, интегрированные в общую систему управления [2]. Неоспоримы возможности таких систем с точки зрения различных алгоритмов управления подачей электродной проволоки, однако, они ограничиваются частотными характеристиками используемых электромеханических систем, которые не позволяют получить импульсное движение с управляемыми параметрами (частотой, скважностью, амплитудой, формой импульса).

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — обоснование выбора наиболее эффективных направлений в области разработки

механизмов подачи электродной проволоки на основе анализа современных конструкций и новых алгоритмов регулирования и управления электроприводом.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Одно из современных направлений совершенствования оборудования для дуговой механизированной сварки и наплавки основано на управлении переносом электродного металла при импульсном воздействии на электродную проволоку [4], вследствие чего достигается улучшение большинства показателей применения дугового процесса (качество наплавленного металла, формирование сварного соединения, экономия материальных и энергетических ресурсов и др.).

Из достаточно большого числа систем с механизмами импульсной подачи электродной проволоки (ИПЭП) наряду с простыми конструкциями механических движителей с односторонними захватами в сварочном производстве находит все большее применение новый класс механизмов на основе квази-волновых преобразователей (КВП) с движителями в виде традиционных пар подающих и прижимных роликов.

Если первые системы практически не позволяют осуществлять регулировку при формировании импульса, то вторые обеспечивают управление частотой, амплитудой и формой импульсов подачи, что является исключительно важным при подаче порошковых электродных проволок [16]. При этом одна часть параметров подачи регулируется за счёт изменения частоты вращения вала приводного электродвигателя, другая часть — за счёт механических регулировок самого КВП, в том числе с возможностью получения реверсивного движения в импульсе [13]. Несомненное достоинство такой системы — применение в качестве движителей традиционных конструкций роликов с некоторыми усовершенствованиями для создания надёжного сцепления с электродной проволокой, что необходимо из-за достаточно больших ускорений во вращательном движении роликов в импульсе подачи [11]. В частности, в системах с импульсной подачей целесообразно профилировать (калибровать) канавку сцепления роликов с проволокой с обеспечением многоточечного контакта взаимодействия, а также применять ролики из специальных материалов, например керамических [9]. В качестве электродвигателей в таких конструкциях можно использовать распространённые типы коллекторных электродвигателей с регуляторами всех рассмотренных выше типов, при этом установка дополнительных редукторов не требуется. Подающие механизмы с КВП надёжны в эксплуатации и достаточно просты в наладке персоналом любого уровня квалификации. К числу недостатков систем с КВП можно отнести пока достаточно большую материалоемкость и относительную

сложность конструкции, а также ещё недостаточные возможности по формированию параметров импульса, например, регулирование скважности. Механизмы с КВП могут быть применены в действующих конструкциях полуавтоматов, оснащенных, в том числе, локальными полупроводниковыми регуляторами частоты вращения вала приводного электродвигателя, соответственно, частоты подачи электродной проволоки и, естественно, интегрального значения скорости подачи.

Рассмотренные системы управления обеспечивают получение формы кривой, описывающей скорость импульсной подачи электродной проволоки, лишь в виде частей гармонических колебаний с определёнными ограничениями в ускорении движения электрода.

Формирование импульсов с другими необходимыми параметрами позволяют решить новые разработки — компьютеризованные электроприводы на основе специальных высокомоментных быстродействующих вентильных электродвигателей. Такой электродвигатель, являясь основным узлом системы подачи, имеет на валу момент, достаточный для установки на нём подающих роликов без промежуточного редуктора, что, кроме всего прочего, дает возможность в 1,5...2,0 раза снизить массогабаритные характеристики механизма подачи в целом. Основным достоинством такого технического решения является получение импульсного движения с достаточно высокими программно задаваемыми и управляемыми параметрами: частотой, скважностью, амплитудой, а также осуществимости реверсивного движения в импульсе. Для поддержания выбранных характеристик импульсного движения и стабилизации момента на валу вентильный электропривод снабжен инкрементальным датчиком частоты вращения, информация с которого в виде отрицательной обратной связи введена в компьютеризованный регулятор электропривода. Имеется возможность интегрирования датчика с узлом обработки сигнала в конструкцию самого электродвигателя [7].

Так, например, разработан комплектный вентильный электропривод «Импульс 2 ПМ-80» (рис. 2), раз-

личные модификации которого успешно используются в механизированном оборудовании как для сварки сплошными стальными и наплавки порошковыми электродными проволоками в обычных условиях, так и для сварки и резки под водой «мокрым» способом. Небольшие габариты вентильного электродвигателя и блока управления к нему делают конструкцию полуавтомата достаточно компактной. Параметры импульса подачи задаются непосредственно с блока управления, который можно встраивать в любой конструктивный узел механизированного оборудования.

При применении вентильного электропривода реализуется принцип жесткого управления по заранее составленным алгоритмам, использующим иногда более шести параметров импульсной подачи, что позволяет достичь ряда положительных технико-технологических эффектов [17]. В частности, изменяются форма и размеры валика при наплавке (рис. 3), а также наблюдается структуризация всех составляющих металла, наплавленного с ИПЭП (рис. 4). Последнее связано, по нашему мнению, с вибрационными воздействиями энергии импульсов подачи электродной проволоки на жидкую ванну, вызывающих ее повышенную дегазацию и активное измельчение кристаллитов.

Вместе с тем, реализация принципа жесткого управления электроприводом требует повышенных затрат времени на установку параметров и наличия уже наработанного банка данных о результатах применения импульсной подачи сварочной проволоки разных типов при сварке или наплавке на разных режимах, что снижает эффективность использования указанного принципа.

В последнее время разработан способ импульсной подачи с обратной связью по параметрам дугового сварочного процесса [3].

В отличие от известного синергетического подхода к управлению режимом сварки с применением инверторных источников тока, указанный способ основан на формировании импульсов подачи электродной проволоки в зависимости от состояния дугового процесса, которое характеризуется одноименными энер-

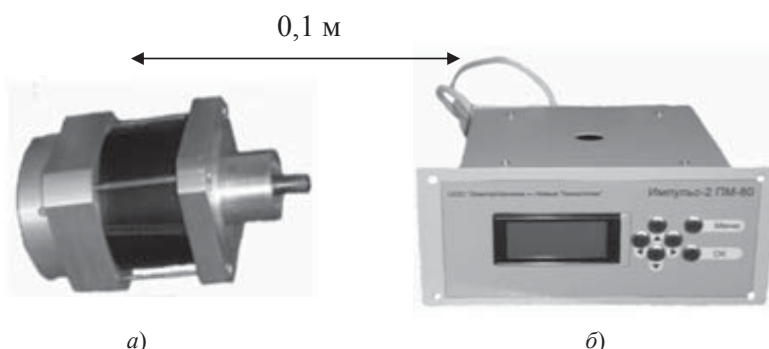


Рис. 2. Общий вид вентильного электродвигателя (а) и блока управления к нему (б) для импульсной подачи электродной проволоки

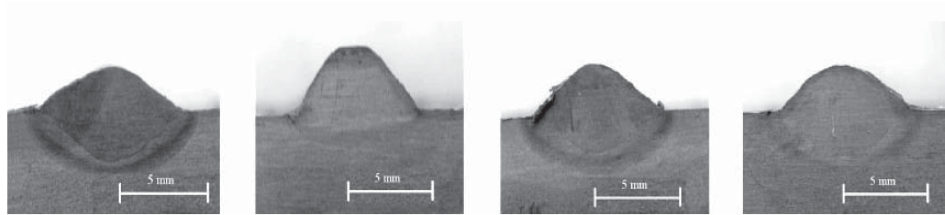


Рис. 3. Макрошрифты валков, наплавленных с разными параметрами режима ИПЭП

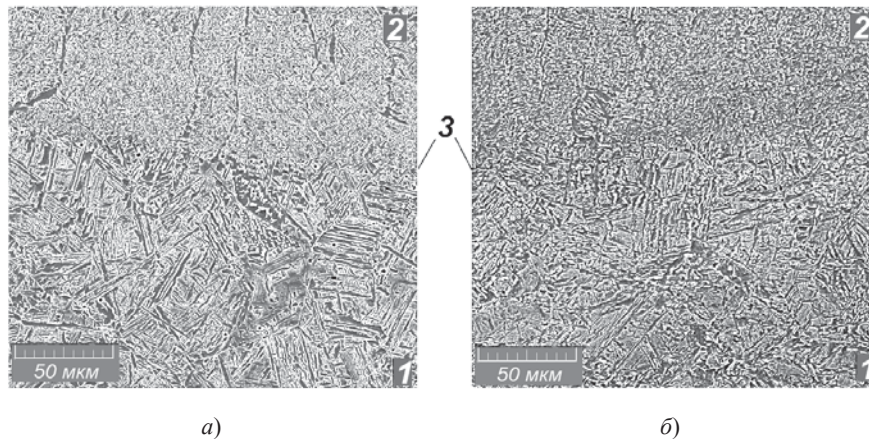


Рис. 4. Микроструктура стали (данные электронной микроскопии, $\times 1000$) в районе линии сплавления при подаче электродной проволоки: *a* — с постоянной скоростью; *b* — в импульсном режиме; 1 — основной металл (09Г2С); 2 — наплавленный металл (30ХГСА); 3 — линия сплавления

гетическими параметрами (значениями тока и напряжения) сварочной дуги и процессов образования, роста и перехода капли электродного металла в ванну.

В систему управления вентильным электродвигателем вводится в зависимости от решаемых задач обратная информационная связь по току либо напряжению на дуге или по их сочетанию. Наиболее эффективной, как показали многочисленные исследования, является обратная связь по току дугового промежутка. Процесс с обратной связью для формирования импульса подачи назван процессом с дозированной подачей электродной проволоки.

Обратная связь даёт возможность автоматической самонастройки электропривода механизма подачи по параметрам в соответствии с естественной (физической) природой горения сварочной дуги и, что очень важно, исключает трудоёмкую настройку частоты и скважности следования механических импульсов, параметры которых определить заранее весьма сложно.

В соответствии с алгоритмом (рис. 5) импульс подачи запускается в точке *C*, а движение проволоки с точным торможением прекращается в точке *B*. Команды на формирование импульсов в указанных точках определяются соответственно значениями токов $I_{св\ min}$ и $I_{св\ max}$, измерение которых является достаточно сложной задачей. Использование шунта для диагностирования силы тока сопряжено с возможно-

стью искажения сигнала на фоне измеряемого напряжения (до 75 мВ) при высоком уровне помех во время сварки. Для получения помехоустойчивого сигнала с высоким уровнем разработан специальный датчик на основе магнитоуправляемого генератора с оригинальным алгоритмом обработки и представления выходного сигнала — напряжения, пропорционального току дугового процесса.

Рассмотренная система с управляемым переносом электродного металла через дуговой промежуток с короткими замыканиями или без них позволяет выполнять сварку сплошными и порошковыми, в том числе самозащитными, электродными проволоками. При этом существенно упрощается настройка всех параметров импульсной подачи.

В целом, комплекс технических решений по системе с дозированной подачей электродной проволоки является новым в сварочной технике и обеспечивает достижение новых технологических возможностей механизированной сварки [8]. Так, например, при наплавке на вертикальной плоскости с одинаковой скоростью обычным способом и с дозированной подачей электродной проволоки (рис. 6) качество формирования валика во втором случае существенно выше. Технология механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками с использованием системы дозированной подачи весьма перспективна при

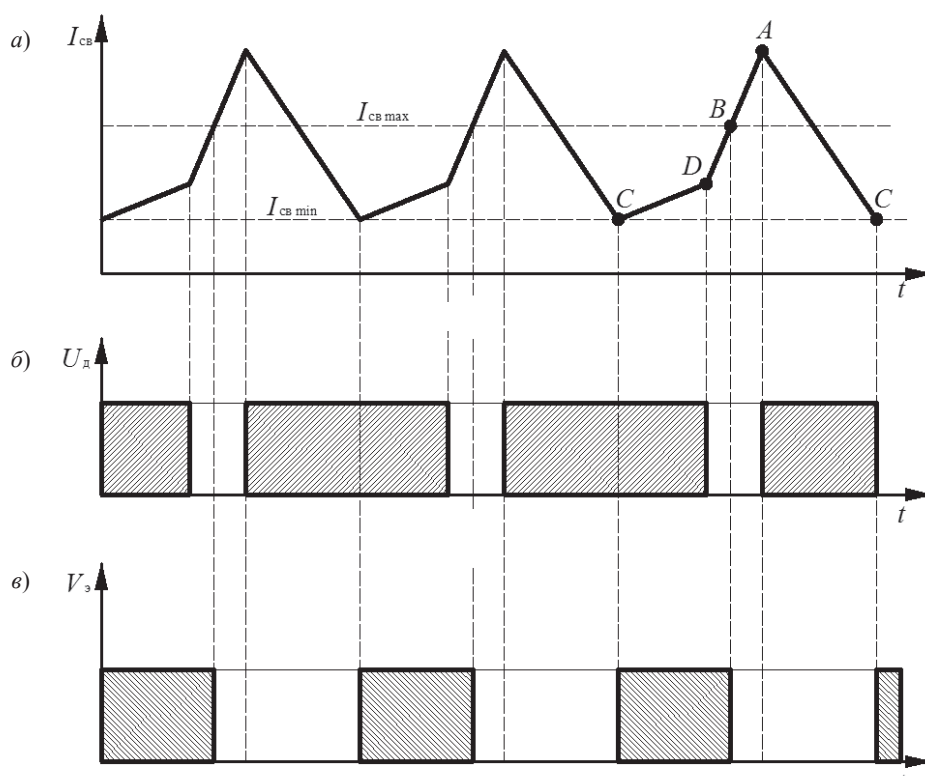


Рис. 5. Алгоритм работы системы управления переносом электродного металла, связанной с параметрами дугового процесса: *a* — схематизированная осциллограмма сварочного тока $I_{св}$; *б* — схематизированная осциллограмма напряжения на дуге U_d ; *в* — циклограмма работы электропривода ($v_э$ — скорость подачи электродной проволоки); *A* — начало перехода капли электродного металла в сварочную ванну; *B* и *C* — моменты достижения сварочным током установленной максимальной и минимальной величины соответственно; *D* — начало короткого замыкания дугового промежутка

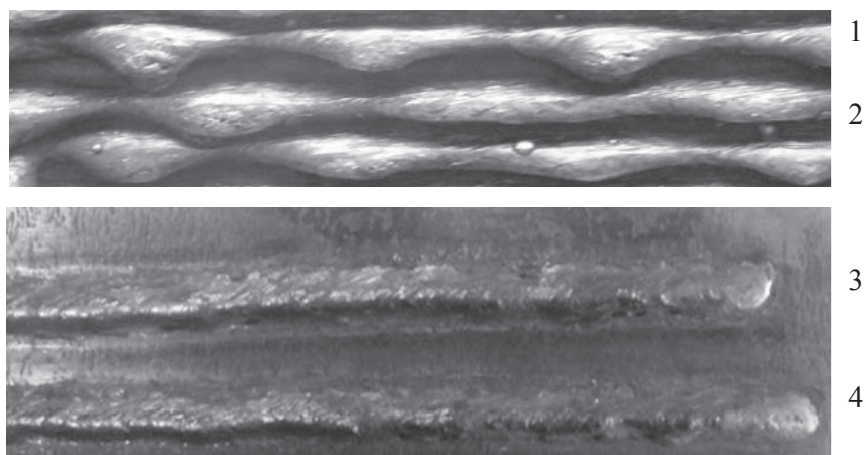


Рис. 6. Фрагменты валиков, наплавленных в горизонтальном положении на вертикальной плоскости с непрерывной 1, 2 и дозированной 3, 4 подачей самозащитной порошковой проволоки Ø1,6 мм (Режимы наплавки: 1 — $I_{св} = 230$ А, $U_d = 28$ В; 2 — $I_{св} = 180$ А

выполнении монтажных соединений крупных объектов морской инфраструктуры.

Важным при этом является получение устойчивого дугового процесса на прямой полярности с удовлетворительным формированием сварного шва и на-

плавленного валика при повышении производительности процесса на 20...30%.

Кроме того, способ сварки (или наплавки) с дозированной управлением переносом электродного металла отличается значительным снижением энер-

гозатрат, как и вообще сварочные процессы с импульсной подачей электродной проволоки. Так, при сварке сплошной проволокой на прямой полярности током силой 200 А экономия электроэнергии может достигать 30%.

Следует, однако, отметить, что серийное производство описанного механизма подачи пока отсутствует, в Украине он выпускается лишь мелкими партиями. Вместе с тем, ведутся работы по использованию серийно выпускаемых комплектных электроприводов на основе шаговых электродвигателей [12].

Ещё одно из направлений управления подачей электродной проволоки основано на применении ее внеосевых колебаний. Здесь можно выделить два основных способа: с колебаниями специального суппорта токоподводящего наконечника.

Первый способ, обеспечивающий частоту колебаний до нескольких герц, реализуется посредством большого числа технических решений при сварке для заполнения широкой разделки кромок или при ширококослойной наплавке [18]. Низкочастотные колебания электродной проволоки могут создаваться за счёт специального колебателя, установленного на самом механизме подачи (рис. 7), как это выполнено, например, в конструкции автомата для глубоководной сварки [15]. В таком устройстве частота колебаний горелки пропорциональна частоте вращения эксцентрично

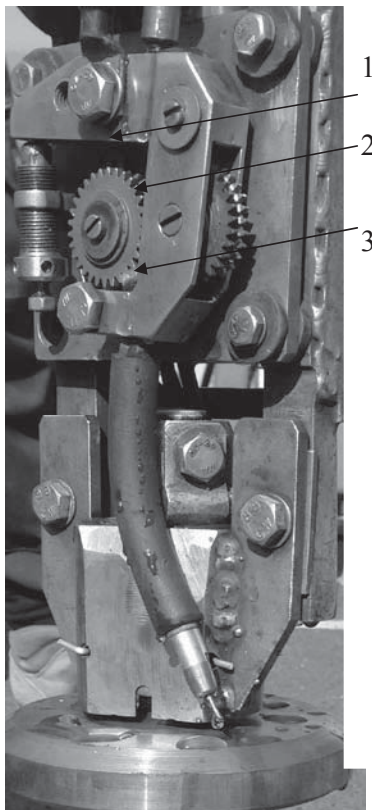


Рис. 7. Сварочная горелка с колебателем: 1 — эксцентрично установленный подающий ролик; 2 — прижимной рычаг; 3 — колебатель

установленного ролика. Применение таких устройств оправдано очевидной простотой конструкции (отсутствуют дополнительные приводные устройства) и возможностями сварки по неконтролируемому зазору.

Второй способ, связанный с перспективами применения, основан на установке дополнительных приводов колебаний сварочной горелки или вибрации собственно электродной проволоки. Одна из разновидностей указанного способа заключается в создании условий для изменения характера переноса электродного металла через дугу под воздействием высокочастотных (более 100 Гц) поперечных механических колебаний электрода. В результате импульсных воздействий на электродную проволоку торец электрода отклоняется в поперечном направлении на угол α (рис. 8), а сила инерции, приложенная по касательной к торцу, возбуждает колебательный процесс, обеспечивая принудительный отрыв капель расплавленного металла при значении меньшем, чем в случае приложения по нормали.

Благодаря вибрации электродной проволоки в широком диапазоне частот гарантируется управление производительностью плавления электрода, геометрией валика, структурой и свойствами поверхностного слоя при автоматической наплавке под флюсом [1, 14]. Рассредоточение теплового потока в поперечном направлении приводит к увеличению ширины наплавляемого валика, снижению глубины проплавления основного металла и доли его участия в наплавленном слое (рис. 9).

Описанная система апробирована в автоматическом режиме при изготовлении и ремонте гребных валов для судов различных типов.

Эффективность применения систем с внеосевыми колебаниями электродной проволоки предусматривает поиск таких технических решений, которые могли бы использоваться в механизированном оборудовании.

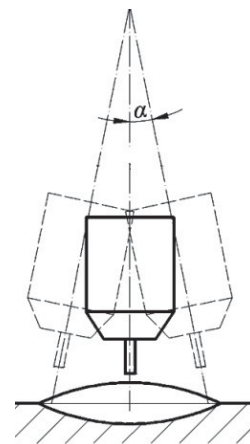


Рис. 8. Схема внеосевых колебаний электродной проволоки

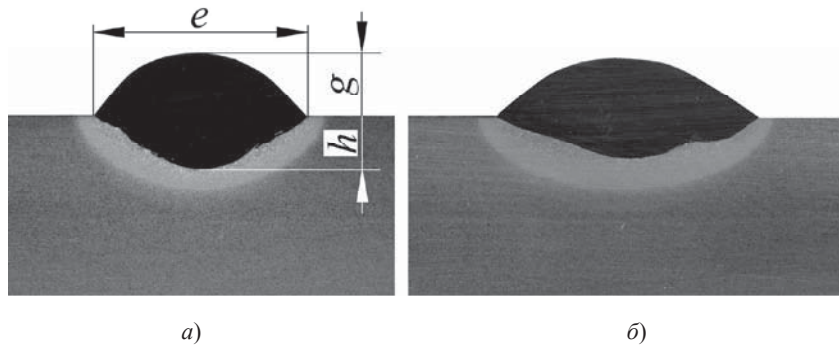


Рис. 9. Геометрия валиков, наплавленных под флюсом с подачей электродной проволоки: *a* — без поперечных колебаний; *б* — при колебаниях с частотой 125 Гц (*e* — ширина валика, *g* — высота; *h* — глубина проплавления основного металла)

довании — полуавтоматах, в том числе и для сварки (наплавки) в защитном газе. В настоящее время разработано несколько вариантов вибраторов на основе электромагнитных приводов и малогабаритных электродвигателей.

Все вышеуказанные способы и устройства управления подачей электродной проволоки являются целенаправленными решениями. Однако существуют и такие изменения в подаче (зачастую нежелательные), которые представляют собой следствия физических явлений в подаче, например упругие автоколебания электродной проволоки при прихватках в токоподводящем наконечнике. Задача управления сводится к выбору таких соотношений между проволокой и каналом, при которых эти колебания минимальны. Применение импульсной подачи практически нивелирует действие автоколебаний.

Существует один вид автоколебаний, которые являются следствием применения механизмов подачи с планетарными роликами — крутильные колебания, снижающие сопротивление подаче электродной проволоки в направляющем канале [5]. Управление параметрами таких колебаний состоит в выборе конструктивных характеристик всего тракта подачи.

ВЫВОДЫ. 1. В современном сварочном производстве наряду с традиционными средствами управления механизмами подачи электродной проволоки все более широкое применение находят компьютеризованные системы с импульсными алгоритмами управления, значительно расширяющие технологические возможности механизированного и автоматизированного оборудования для дуговой сварки и наплавки.

2. Перспективные направления в области разработки механизмов подачи предполагают применение специальных высокомоментных быстродействующих вентильных электродвигателей с электроприводами, использующими самонастройку по параметрам сварочной дуги и позволяющими реализовать дозированную подачу электродной проволоки разного типа.

3. Системы подачи с механическими внеосевыми колебаниями электродной проволоки в широком диапазоне частот, доказавшие свою эффективность при автоматической наплавке под флюсом, определяют необходимость разработки малогабаритных вибраторов для использования в механизированном оборудовании, в том числе и для сварки (наплавки) в защитном газе.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Голобородько Ж. Г. Автоматическая наплавка под флюсом конструкционных сталей с поперечными высокочастотными импульсными перемещениями электрода [Текст] / Ж. Г. Голобородько, С. В. Драган, И. В. Симутенков // Автоматическая сварка. — 2013. — № 6. — С. 35–39.
- [2] Doncker R. Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control. [Текст] / R. Doncker // Springer. — 2011. — 453 с.
- [3] Жук Г. В. Автоматизированная и механизированная сварка и наплавка с управляемой дозированной подачей электродной проволоки [Текст] / Г. В. Жук, В. А. Лебедев // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 17-ой международной научно-технической конференции. — Одесса, 2017. — С. 249–251.
- [4] Крампит Н. Ю. Способы управления плавлением и переносом электродного металла (обзор) [Текст] / Н. Ю. Крампит // Сварочное производство. — 2009. — № 3. — С. 31–35.
- [5] Лебедев В. А. Особенности работы планетарного механизма подачи проволоки для сварочного оборудования [Текст] / В. А. Лебедев // СТИН. — 2013. — № 4. — С. 30–34.

- [6] **Лебедев В. А.** Электроприводы в современном механизированном и автоматизированном оборудовании для дуговой сварки [Текст] / В. А. Лебедев // Электротехнические и компьютерные системы. — 2013. — № 11 (87). — С. 7–16.
- [7] **Лебедев В. А.** Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки [Текст] / В. А. Лебедев, М. В. Гулый // Мехатроника. Автоматизация. Управление. — 2014. — № 6. — С. 47–51.
- [8] **Лебедев В. А.** Управление переносом электродного металла на основе импульсных алгоритмов функционирования систем с дозированием подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке [Текст] / В. А. Лебедев, Г. В. Жук // Тяжелое машиностроение. — 2017. — № 6. — С. 27–32.
- [9] **Лебедев В. А.** Современное механизированное оборудование для сварки и наплавки и его технико-технологические возможности [Текст] / В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов. — К. : Основа. — 2012. — 232 с.
- [10] **Лебедев В. А.** Системы подачи электродной проволоки механизированного оборудования для сварки и наплавки [Текст] / В. А. Лебедев, Д. В. Плющ. — К. : Основа. — 2013. — 432 с.
- [11] **Лебедев В. А.** Технические возможности роликового механизма при импульсной подаче электродной проволоки [Текст] / В. А. Лебедев, Д. В. Плющ // Сварочное производство. — 2012. — № 10. — С. 20–24.
- [12] **Лебедев В. А.** Автоматическая сварка под флюсом с импульсной подачей шаговым двигателем электродной проволоки [Текст] / В. А. Лебедев, С. В. Драган, К. К. Трунин // Сварочное производство. — 2016. — № 2. — С. 27–34.
- [13] **Лебедев В. А.** Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов [Текст] / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, В. Б. Смолярко // Автоматическая сварка. — 2001. — № 5. — С. 31–37.
- [14] **Лебедев В. А.** Технологические характеристики автоматической наплавки под флюсом с высокочастотными колебаниями торца электрода [Текст] / В. А. Лебедев, С. В. Драган, Ж. Г. Голобородько, И. В. Симутенков и др. // Автоматическая сварка. — 2014. — № 8. — С. 35–38.
- [15] **Максимов С. Ю.** Герметизация труб теплообменников «мокрой» сваркой на глубине 200 м. [Текст] / С. Ю. Максимов, В. А. Лебедев, И. В. Лендел // Вопросы материаловедения. — 2015. — № 1. — С. 199–204.
- [16] **Пат. 2254969 (РФ).** Механизм подачи сварочной проволоки [Текст] / О. Г. Брунов, В. Т. Федько, А. В. Крюков и др. Опубл. 27.06.2005. Бюл. №18. — 6 с.
- [17] **Патон Б. Е.** Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом [Текст] / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, И. В. Лендел, С. Ю. Полосков // Сварка и Диагностика. — 2013. — № 6. — С. 16–20.
- [18] **Чвертко А. И.** Аппаратура для механизированной дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки [Текст] / А. И. Чвертко, В. Е. Патон, М. Г. Бельфор, Г. М. Гологовский. — К. : Наукова думка. — 1978. — 200 с.

© В. А. Лебедев, Г. В. Жук, С. В. Драган,

Надійшла до редколегії 23.11.17

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. О. М. Дубовий