

## АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКОЙ-НАПЛАВКОЙ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, Г. В. Жук

ИЭС им.Е.О.Патона НАН Украины

**Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные вопросы, связанные с управлением переносом электродного металла при электродуговой сварке плавящимся электродом. Проанализированы основные способы воздействия на капли электродного металла, в современном оборудовании для механизированной и автоматической дуговой сварки. Отмечено, что в настоящее время большое внимание уделяется способу сварки с импульсной подачей электродной проволоки. Рассмотрен новый принцип сварки с дозированной импульсной подачей электродной проволоки.

**Ключевые слова:** дуговая сварка, алгоритмы, управление, электродный металл, перенос, наплавка, валики, система подачи

### Введение

Механизированная дуговая сварка и наплавка постоянно совершенствуются, а истоками этого являются новые виды сварочных материалов, защитных сред, разработок технологий, но, по нашему мнению, наиболее эффективное влияние оказывают новые технические решения, которые, в основном, базируются на возможностях современной элементной базы, компонентов мехатроники и других современных технологиях.

Можно заметить, что одним из основных направлений совершенствования рассматриваемого процесса является изыскание способов и средств управления переносом электродного металла и связанного с этим расширения возможностей применения оборудования для сварки и наплавки, в том числе по изменению геометрических размеров швов и валиков, улучшению структуры и физических характеристик наплавленного металла, повышению показателей энерго- и ресурсозатрат.

Целью настоящей работы является анализ влияния управляемых импульсных вибрационных воздействий на сварочный процесс для создания оптимальных условий переноса капли металла в сварочную ванну, а также поиск способов дальнейшего развития направлений совершенствования оборудования для дуговой сварки и наплавки сплошными и порошковыми проволоками.

При современной разработке дугового оборудования существуют несколько способов получения импульсных и вибрационных воздействий на сварочный процесс (рис. 1). Его можно осуществить с помощью нестационарных импульсных процессов, которые реализуются двумя основными способами:

- управление переносом электродного металла, основанное на импульсном питании сварочной дуги;
- механическое программирование перехода капли в сварочную ванну при помощи импульсной подачи проволоки.

В современных условиях развития новых сварочных технологий наибольшее применение нашло целенаправленное импульсное воздействие на дуговой процесс за счет использования современных конструкций источников сварочного тока (инверторы) [3], которые обеспечивают два основных воздействия на сварочный процесс:

- управляют переносом электродного металла путем отрыва капли и ее транспортирования в сварочную ванну, как основное воздействие импульса тока;
- вибрационные колебания ванны расплавленного металла, как сопутствующее воздействие вследствие влияния электродинамических сил.

© Б. Е. Патон, В. А. Лебедев,  
Г. В. Жук, 2019



Рис. 1. Блок-схема получения импульсных и вибрационных воздействий на сварочный процесс

Известно, что оптимальным является вариант управляемого процесса переноса каплей электродного металла при непрерывной подаче электродной проволоки, при котором на

стадии формирования капли стабилизируется напряжение источника, а на стадии разрыва шейки капли, между электродом и ванной, подается импульс тока (рис.2)

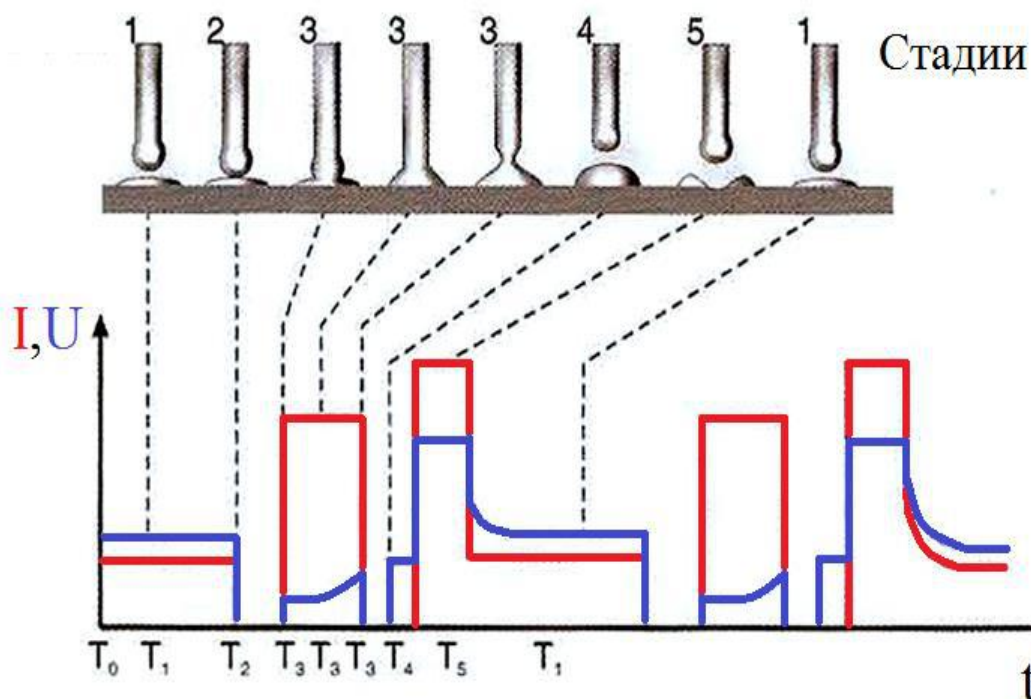


Рис.2. Алгоритм работы системы управления импульсного источника сварочного тока

Управляемый перенос каплей электродного металла при сварке импульсным источником

сварочного тока устойчив в широком диапазоне параметров, так как стабилизация тока импульса

обеспечивается за счет изменения длительности фазы успокоения капли, а стабилизация напряжения на стадии формирования капли – за счет скорости его возрастания и спада.

Вышеизложенное показывает, что для обеспечения управляемого переноса капель электродного металла необходимо решить проблему программного обеспечения регулирования устойчивого перетекания капель малого объема для импульсных сварочных технологий.

В настоящее время развиваются способы сварки с импульсной подачей электродной проволоки, при которых проволока подается импульсами, по определенной программе, где ускорение движения направлено вдоль оси подачи. Существует достаточно способов и устройств, обеспечивающих такой характер перемещения электродной проволоки в зону горения дуги – от жестко заданных механическими преобразователями параметров импульсов [4] до управляемых.

Импульсный характер движения электродной проволоки позволяет получить управляемый

перенос электродного металла в сварочную ванну, а механическое воздействие на каплю электродного металла, вызываемое движением электродной проволоки, является дополнительным положительным фактором, влияющим на стабильность процесса сварки.

Малое значение кинетической энергии движения капли в момент соприкосновения с металлической ванной исключает их упругое соударение, но в то же время способствует ускорению втягивания капли объемом металла сварочной ванны.

На основе кадров скоростной видеосъемки было установлено, что в процессе сварки нержавеющей сталей при управляемом каплепереносе электродного металла в смеси газов  $\text{Ar}$ - 82%,  $\text{CO}_2$  18%, не происходит смещения капли на боковую поверхность электрода, что вызвано увеличением площади активного пятна и расширением столба дуги, и процесс протекает в пять последовательных этапов (рис. 3).

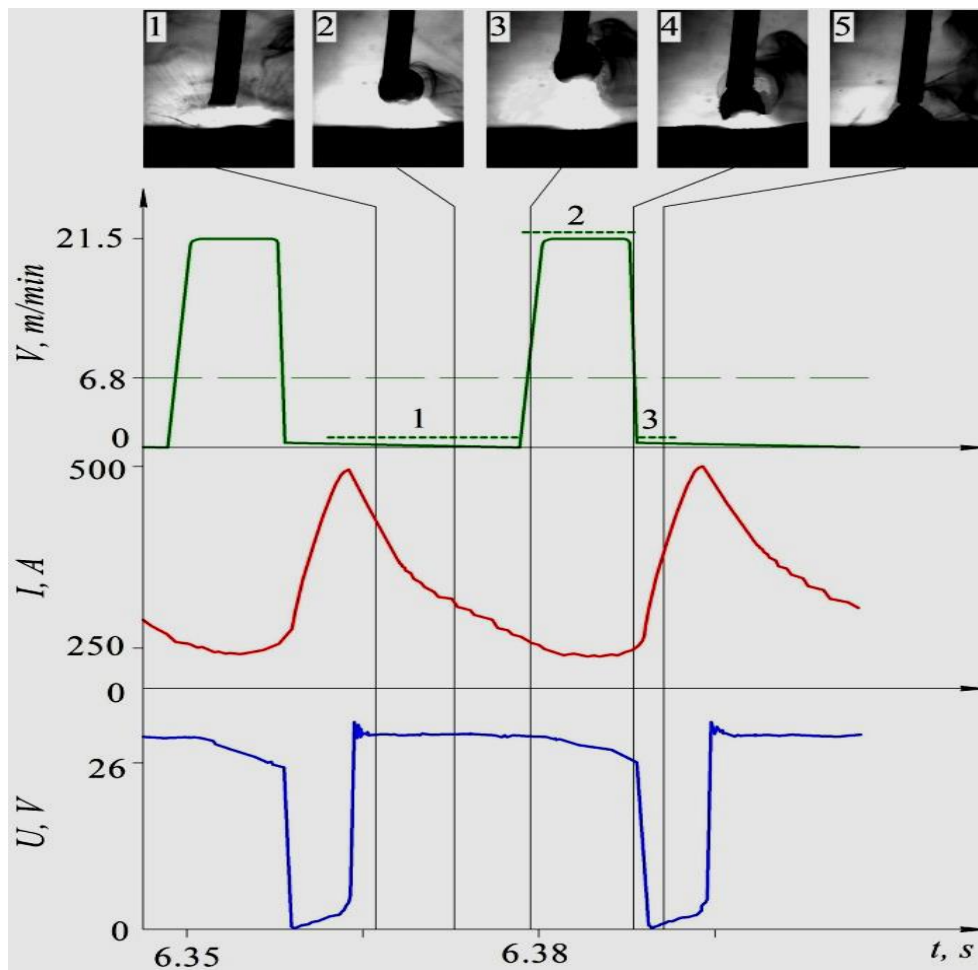


Рис.3. Алгоритм работы системы управления импульсной подачи электродной проволоки  
1- Возбуждение дуги; 2. Горение дуги; 3. Образование капли; 4. Импульс подачи электрода;  
5. Управляемое короткое замыкание

Следует отметить, что с использованием способа импульсной подачи электрода при сварке-наплавке достигаются хорошие результаты выполнения работ во всех пространственных положениях, в том числе и в потолочном положении.

На рис. 4 показаны возможности сварки с управляемой импульсной подачей конструкций

из тонколистовых алюминиевых сплавов толщиной 0,9 мм электродной проволокой диаметром 1,0 мм на токах 25...35 А. Полученный результат практически не отличается по качеству и свойствам от аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом, но по производительности превосходит последнюю в 1,5...2,0 раза.

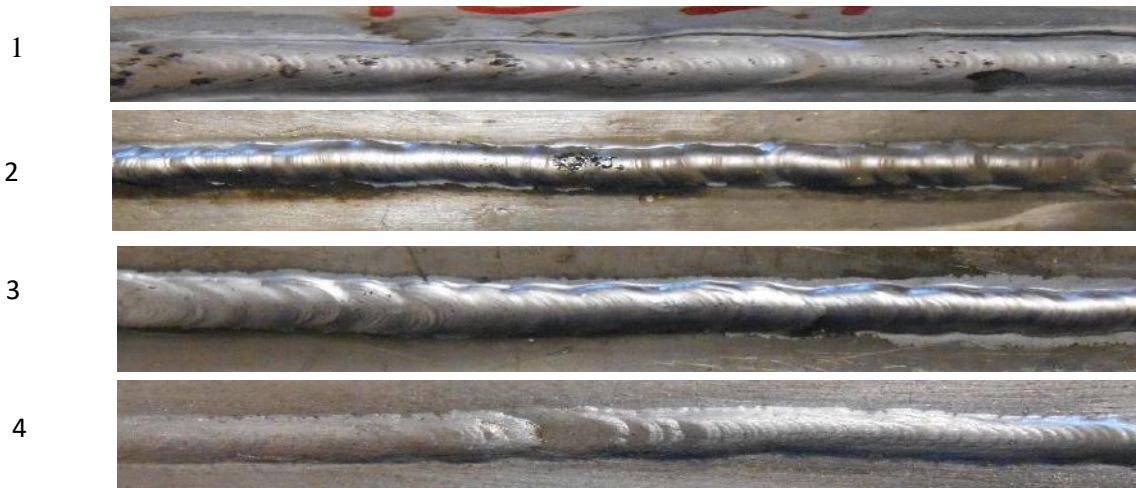


Рис. 4. Фрагменты валиков на тонколистовых металлоконструкциях, наплавленных полуавтоматом и автоматом: 1 – валик, полученный при сварке с управляемой импульсной подачей электродной проволоки; 2, 3 (стыковой шов); 4 (автоматический режим) – валики, полученные при дозированной подаче электродной проволоки

Применение рассматриваемого процесса позволяет улучшить структуру металла шва (снизить размер зерна, дезориентировать структуру металла), уменьшить зону термического влияния и тем самым повысить эксплуатационные свойства соединения или наплавленного слоя, при этом снизить энерго- и ресурсозатраты, обеспечить процесс в различных пространственных положениях и разных условиях. Имеются также и технические преимущества применения такого способа сварки – наплавки, основные из которых – уменьшение, в сравнение с обычной импульсной подачей числа регулировок, что, в частности и определяет предложенный способ сварки - наплавки как синергетический.

Следует отметить, что способ применим для разных типов электродных проволок, включая порошковые самозащитные и алюминиевые. При этом возможно получение результатов как с короткими замыканиями дугового промежутка так без них.

Этот процесс позволяет управлять формой

сварного соединения и наплавленным слоем, существенно повышать механические свойства сваренной или наплавленной конструкции из сталей и сплавов алюминия, обеспечить сварку более тонкого металла, обеспечив качественное формирование шва без прожогов и деформации [7]. Получаемые результаты являются следствием управляемого переноса электродного металла с заданными характеристиками переносимых капель, а также вибрационному воздействию процесса переноса на жидкий металл, позволяющему дегазировать ванну, обеспечить удаление неметаллических соединений и тем самым повысить эксплуатационные свойства сварного шва или наплавленного слоя.

На рис. 5. показаны возможности сварки-наплавки - горизонталь на вертикальной плоскости с непрерывной и импульсной-дозированной подачей электрода.





Рис.5. Валики, наплавленые самозащитной электродной проволокой диаметром 1,6 мм на вертикальной плоскости (ток 230 А; напряжение 28 В) с применением подачи: 1-непрерывной; 2-дозированной

Реализация способа сварки с дозированной подачей электродной проволоки базируется на использовании компьютеризованного вентильного электропривода специальной оптимизированной конструкции в варианте с безредукторным механизмом подачи. Это техническое решение подробно описано в работе [8]. Дополнительно для такой конструкции разработано специальное программное обеспечение и проведена адаптация работы системы управления электропривода к сигналам обратной связи по силовым характеристикам горения дуги. Разработка такого уровня системы управления дуговым процессом является новой для промышленности Украины.

Для синхронизации (совпадения) механических импульсов (импульсов подачи) с частотой коротких замыканий дугового промежутка в систему управления введена информационная обратная связь по параметрам дуги таким образом, чтобы пауза в подаче всегда начиналась после короткого замыкания. Именно в этот момент каплю надо несколько приподнять над поверхностью ванны. Длительность паузы можно установить по току сварки, который уменьшается по мере удлинения дуги. По окончании паузы включается подача электродной проволоки и ее движение идет до короткого замыкания и цикл повторяется. Рассмотренный алгоритм схематически представлен на графиках рис. 6.

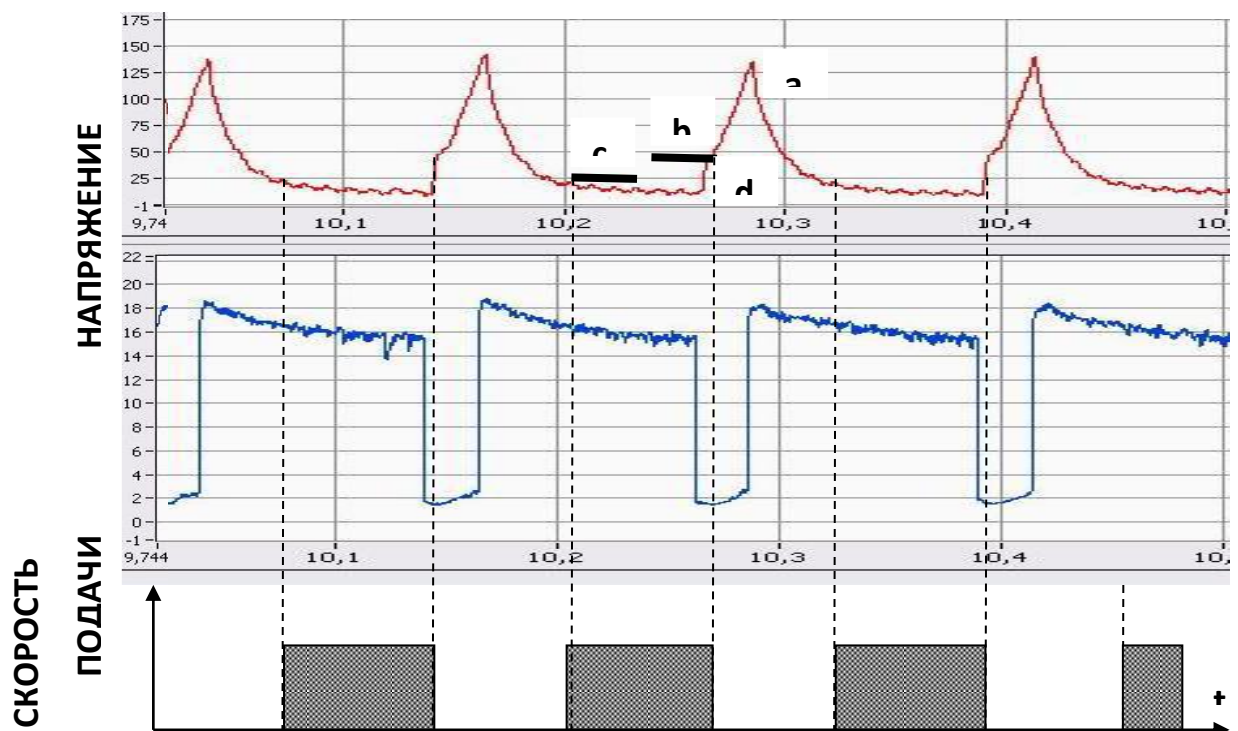


Рис. 6. Алгоритм работы системы дозированного управления переносом электродного металла, связанный с током дугового процесса, на основе осциллограмм реального процесса:  $I_{св}$ , - ток сварки; а – переход капли в ванну; b – зона паузы в скорости подачи; с – зона пуска подачи; d – короткое замыкание

Получить короткие замыкания на длинной дуге, и тем самым исключить случайные, хаотичные прикосновения капли к ванне, что наблюдается при короткой дуге, возможно при импульсной подаче электродной проволоки при работе с новой системой управления. При импульсной подаче во время паузы движения электрод оплавляется и длина дуги увеличивается, удаляя каплю от ванны и предотвращая возможность случайного прикосновения капли к ванне, так как капля совершает хаотичные движения на торце электрода. После окончания паузы движения есть возможность перенести каплю в ванну с большей скоростью подачи электрода и, таким образом, совместить длинную дугу с короткими замыканиями, что ранее невозможно было выполнить.

Можно заметить, что остановку в подаче можно осуществлять или в начале короткого замыкания, или при его завершении. Этот прием или изменение в алгоритме дает изменение в глубине проплавления.

Обратная связь дает возможность автоматической самонастройки электропривода механизма подачи по параметрам по естественной (физической) природе сварочной дуги и, что очень

важно, исключает трудоемкую настройку частоты и скважности следования механических импульсов, параметры которых предопределишь весьма сложно.

Рассматриваемый процесс нами не рассматривается как импульсный с заранее выбранными параметрами следования импульсов. В предлагаемом способе проволока подается порционно или дозировано в соответствии с параметрами тока или напряжения сварки-наплавки.

Важными результатами применения сварки и наплавки с дозированной подачей электродной проволоки являются снижение на 8...23% расхода электроэнергии на ведение процесса, а также возможность получения сварных швов и наплавленных валиков как на обратной, так и на прямой полярности с хорошим формированием и с минимальными потерями электродного металла. Этот результат востребован, в частности, для получения наплавленных слоев с минимальным перемешиванием основного и электродного металла.

В табл. 1 приведены результаты наплавки в  $\text{CO}_2$  углеродистой стали электродной проволокой Св08Г2С (ток 170...200 А) при применении различных способов подачи.

Таблица 1

Эффекты от применения разных способов подачи электродной проволоки

ЭФФЕКТЫ	СПОСОБ ПОДАЧИ		
	Конвенциональная (непрерывная)	Импульсная управляемая	Дозированная
Возможность управления геометрическими размерами наплавленного валика	Ограничена	До 20...25 %	Более 25 %
Потери электродного металла, %	8...12	Менее 5	2...4
Снижение затрат электроэнергии, %	Естественная	7...22	До 30
Уменьшение зерна металла шва, %	-	20...30	30...50
Снижение выгорания легирующих элементов, $\text{Mn}_{\leq} \%$	1,10	1,06	$\leq 1,05$
Средний темп износа, $\text{мм}^3/\text{км}$	4,2	3,3	$\leq 3,1$
Возможность качественной наплавки в вертикальном и потолочном положениях положения	Ограничена	Имеется возможность на некоторых режимах	Расширена возможность в широком диапазоне режимов
Возможность сварки на разных полярностях	С рядом недостатков	Имеется возможность на некоторых режимах	Расширена возможность в широком диапазоне режимов
Число операций установления параметров движения	1	до 6	3

В качестве ближайших перспектив развития дуговой сварки и наплавки с импульсными и вибрационными воздействиями следует считать техническое совершенствование систем и способов для реализации этих воздействий, их внедрение в разные сферы применения, включая подводную сварку и резку с применением импульсной подачи электродной проволоки. При этом следует уделить внимание разработке адаптивных технологий по примеру [9].

К числу фундаментальных задач мы относим разработку новых способов импульсных и вибрационных воздействий, основу которых, исходя из нашего опыта, должны составлять комбинированные воздействия, сочетающие в себе достоинства разных составляющих комбинации. К числу примеров можно отнести процесс с одновременным импульсным воздействием источника сварочного тока, с импульсными алгоритмами механизма импульсной подачи, с определёнными закономерностями взаимодействия, например импульсная подача и модулированные режимы работы. [10].

В заключение необходимо отметить, что судя по анализу патентной и технической литературы, разработанный новый способ сварки-наплавки с дозированной подачей электродной проволоки прямых аналогов не имеет и может быть отнесен к разработкам с научной новизной, заключающейся в определении условий оптимального переноса электродного металла за счет применения быстродействующих регуляторов и введения обратных связей с выбранным, согласно предложенной нами математической модели, процессом формирования капель расплавленного электродного металла.

#### Список использованной литературы

1. Патон, Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций [Текст] // Автоматическая сварка. – 2003. Октябрь – ноябрь. – С. 7–13.
2. Маковецкая, О. К. Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008-2011 гг. и прогноз его развития (Обзор) [Текст] // Автоматическая сварка – 2012. – № 6. – С. 4–50.
3. Миронов, С. Инверторные источники питания для дуговой сварки [Текст] // Сварочное производство. 2003. № 4. С. 41–43.
4. Патон, Б. Е., Лебедев, В. А., Лендел, И. В., Полосков, С. Ю. Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящим-

ся электродом [Текст] // Сварка и Диагностика. 2013. № 6. С.16–20.

5. В. А. Лебедев Механизированная синергетическая сварка с импульсной подачей электродной проволоки [Текст] // Научно-технические технологии в машиностроении. 2016. № 2. С.19–24.
6. Лебедев, В. А., Жук, Г. В., Управление переносом электродного металла на основе импульсных алгоритмов функционирования систем с дозированием подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке [Текст] // Тяжёлое Машиностроение № 6, 2017 С. 27–32.
7. Лебедев, В. А., Жук, Г. В. Решение задачи механизированной сварки тонколистовых алюминиевых сплавов на основе применения программируемых электроприводов механизма подачи. [Текст] // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2017. № 9. С.21–24.
8. Лебедев, В. А., Гулый, М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки [Текст] // Мехатроника. Автоматизация, Управление. 2014. № 6. С.47–51.
9. Сараев, Ю. Н. Адаптивные импульсно-дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов. [Текст] // Сварочное производство. 2002, № 1, С.4–11.
10. Патон, Б. Е. Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, Я. И. Микитин [Текст] // Сварочное производство. – 2006. – № 8. – С. 27–32.

#### References

1. Paton, B. Ye. (2003), Modern directions of research and development in the field of welding and structural strength [Sovremennyye napravleniya issledovaniy i razrabotok v oblasti svarki i prochnosti konstruktсий], Automatic welding. October - November. - pp. 7–13.
2. Makovetskaya, O. K. (2012) Major trends in the welding equipment market in 2008-2011 and forecast of its development (Review) [Osnovnyye tendentsii na rynke svarochnoy tekhniki v 2008-2011 gg. i prognoz yego razvitiya (Obzor)] Automatic welding № 6. - p. 4–50.
3. Mironov, S. (2003) Inverter power sources for arc welding [Invertornyye istochniki pitaniya dlya dugovoy svarki] Welding production.. No. 4. P. 41–43.
4. Paton, B.Ye., Lebedev, V.A., Lendel, I.V., Poskolkov, S.Yu. (2012) Use of mechanical impulses to

control the processes of automatic and mechanized welding with consumable electrode [Ispol'zovaniye mekhanicheskikh impul'sov dlya upravleniya protsessami avtomaticheskoy i mekhanizirovannoy svarki plavyashchimsya elektrodom] Welding and Diagnostics. № 6. C.16–20.

5. V. A. Lebedev. (2016) Mechanized synergistic welding with pulsed electrode wire feed [Mekhanizirovannaya sinergetiche-skaya svarka s impul'snoy podachey elektrodnoy provoloki] High technology in mechanical engineering. No. 2. P.19–24.

6. Lebedev, V. A., Zhuk, G. V. (2017) Control of the transfer of electrode metal on the basis of pulsed algorithms for the functioning of systems with metering of the supply of electrode wire in mechanized arc welding [Upravleniye pere-nosom elektrodnogo metala na osnove impul'snykh algoritmov funktsionirovaniya sistem s dozirovaniyem podachi elektrodnoy provoloki pri mekhanizirovannoy dugovoy svarke] Heavy Machinery number 6, P. 27–32.

7. Lebedev, V. A., Zhuk, G. V. (2017) Solution of the problem of mechanized welding of thin-sheet aluminum alloys based on the use of programmable electric drives of the feeder [Resheniye zadachi mekhanizirovannoy svarki tonkolistovykh

aluminiumyevykh splavov na osnove primeneniya programiruyemykh elektroprivodov mekhanizma podachi] Installation and special works in construction. № 9. P.21–24.

8. Lebedev, V. A., Guly, M. V. (2014) High-speed valve motor drive for equipment of mechanized arc welding [Bystrodeyst-vuyushchiy ventil'nyy elektroprivod dlya oborudovaniya mekhanizirovannoy dugovoy svarki] Mechatronics. Automation, Management. 2014. № 6. C.47–51.

9. Saraev, Yu. N. (2002) Adaptive pulse-arc methods of mechanized welding in the construction of trunk pipelines [Adaptivnyye impul'sno-dugovyye metody mekhanizirovannoy svarki pri stroi-tel'stve magistral'nykh truboprovodov] Welding production. № 1, P.4–11.

10. Paton, B. Ye. (2006) Method of combined control of the process of transfer of electrode metal in mechanized arc welding [Sposob kombinirovannogo upravleniya protsessom perenosa elektrodnogo metalla pri mekhanizirovannoy dugovoy svarke] Welding production. №. 8. p. 27–32.

## ELECTRIC ARC MANAGEMENT ALGORITHMS MECHANIZED AND AUTOMATIC WELDING – SURFACING WITH PULSE SUPPLY ELECTRODE WIRES

**B. Ye. Paton, V. A. Lebedev, G. V. Zhuk**

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

**Abstract.** The article deals with topical issues related to the control of the transfer of electrode metal in electric arc welding with a melting electrode. The main methods of exposure to droplets of electrode metal are analyzed, which, in modern equipment for mechanized and automatic arc welding, are realized using inverter welding current sources with pulsed algorithms of functioning and formation of output parameters. The advantages of such systems are noted, allowing them to be widely applied in the designs of semi-automatic machines and automatic machines. There are also some problems, the essence of which is the choice of methods of management, organization of feedback for control systems. It has been shown that in most control systems of welding current sources the principle of synergetic control with a large number of technical and technological effects for the electrode metal transfer process is implemented. It is noted that at the present time a great deal of attention is paid to the method of welding with the pulsed filament of an electrode wire, which allows, through the mechanical impact on the drop of an electrode metal, to transfer its transfer to a welding bath. It is indicated that a controlled pulsed supply can function as a synergistic system. These properties are attributed to the impulse flow system due to the introduction of a certain set of feedback on the parameters of the arc process into the electric drive of the feed mechanism. It has been shown that implementing quite complex programs of impulse feed (a feed rate of up to 60 Hz with the possibility of reversing the flow in a pulse of motion) was possible through the use of a new development - a gearless computerized electric drive based on a special electric drive valve. A new principle of welding with metered impulse feed of an electrode wire is considered. The principle of functioning of this process is shown, which is realized with the help of feedback on the parameters of the welding. Weld with metered feed allows solving welding process problems, which were previously unavailable to mechanized equipment. In conclusion, a comparative analysis of the advantages and disadvantages of a number of systems and methods for



controlling the transfer of electrode metal is given, indicating the prospects for the development of some of them.

**Keywords:** arc welding, algorithms, control, electrode metal, transfer, cladding, rollers, feed system.

## АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВИМ МЕХАНІЗОВАНИМ ТА АВТОМАТИЧНИМ ЗВАРЮВАННЯМ-НАПЛАВЛЕННЯМ З ІМПУЛЬСНОЮ ПОДАЧЕЮ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ

Б. Є. Патон, В. А. Лебедев, Г. В. Жук

ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАН України

**Анотація.** У статті розглядаються актуальні питання, пов'язані з управлінням перенесенням електродного металу при зварюванні електродом, що плавиться. Проаналізовано основні способи впливу на краплі електродного металу, які в сучасному обладнанні для механізованого та автоматичного дугового зварювання реалізуються з використанням інверторних джерел зварювального струму з імпульсними алгоритмами функціонування і формування вихідних параметрів. Відзначено переваги таких систем, що дозволяють широко застосовувати їх в конструкціях напівавтоматів і автоматів. Вказані і деякі проблеми, суть яких полягає у виборі способів управління, організації зворотних зв'язків для систем управління. Показано, що в більшості систем управління джерелами зварювального струму реалізується принцип синергетичного управління з великим рядом техніко - технологічних ефектів для процесу перенесення електродного металу. Відзначено, що в даний час велика увага приділяється способу зварювання з імпульсною подачею електродного дроту, який дозволяє за рахунок механічного впливу на краплю електродного металу здійснити її перенесення в зварювальну ванну. Вказується, що керована імпульсна подача може функціонувати як синергетична система. Ці властивості додаються системі імпульсної подачі за рахунок введення певного комплексу зворотних зв'язків за параметрами дугового процесу в електропривод механізму подачі. Показано, що реалізувати досить складні програми імпульсної подачі (частота подачі до 60 Гц з можливістю реверсування подачі в імпульсі руху) виявилось можливим за допомогою використання нової розробки - безредукторного комп'ютеризованого електроприводу на основі вентильного електроприводу спеціальної конструкції. Розглянуто новий принцип зварювання з дозованою імпульсною подачею електродного дроту. Показаний принцип функціонування цього процесу, який реалізується за допомогою зворотних зв'язків за параметрами зварювання. з дозованою подачею дозволяє вирішувати завдання зварювального процесу, які раніше були недоступні механізованому обладнанню. На закінчення даний порівняльний аналіз переваг і недоліків ряду систем і способів управління перенесенням електродного металу із зазначенням перспектив розвитку деяких з них.

**Ключові слова:** Дугове зварювання, алгоритми, управління, електродний метал, перенесення, наплавлення, валики, система подачі

Получено 13.01.2019.



**Патон Борис Євгеньєвич**, док. техн. наук, Академік НАН України, директор Інститута Електросварки Національної академії наук України”, Президент Національної Академії наук України. 03150 ул. Боженко, 11, Київ, Україна

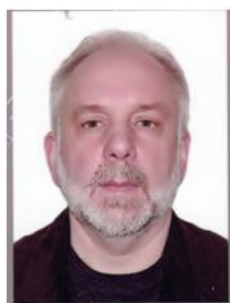
**Borys Yevhenovych Paton**, director of Paton Institute of Electric Welding, chairman of the National Academy of Sciences of Ukraine. 03150 Bogenko str., 11, Kiev, Ukraine, e-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)



**Лебедев Владимир Александрович**, док. техн. наук, профессор, главный конструктор Государственного предприятия “Опытно-конструкторского технологического бюро Института Электросварки Национальной академии наук Украины”, 03150 ул.Боженко, 15, корп. 7, г. Киев, Украина, Тел.: (+38044)-200-6524, e-mail: [dktbpaton@gmail.com](mailto:dktbpaton@gmail.com)

**Lebedev Vladimir Alexandrovich**, doc. tech. Sci., Professor, Chief Designer of the State Enterprise “Experimental Design-Technological Office of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine” 03150, Bogenko str., 15, bld. 7, Kiev, Ukraine, Tel.: (+38044)-200-6524, e-mail: [dktbpaton@gmail.com](mailto:dktbpaton@gmail.com)

**ORCID ID:** 0000-0003-0391-6113



**Жук Геннадий Владимирович**, инженер, директор Государственного предприятия “Опытно-конструкторского технологического бюро Института Электросварки Национальной академии наук Украины”, 03150, ул. Боженко, 15, корп. 7, г. Киев, Украина Тел.: (+38044)-200-6524, email: [dktbpaton@gmail.com](mailto:dktbpaton@gmail.com)

**Zhuk Hennady Vladimirovich**, engineer, director, of the State Enterprise “Experimental Design-Technological Office of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine”, 03150, Bogenko str., 15, bld., Kiev, 7, Ukraine Tel.: (+38044)-200-6524, e-mail: [dktbpaton@gmail.com](mailto:dktbpaton@gmail.com)

**ORCID ID:** 0000-0001-6615-8239