

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

В. А. Лебедев, Г. В. Жук

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

Аннотация. В работе предложено использовать способ предиктивного управления дуговой сваркой с дозированной по параметром дугового процесса подачей электродной проволоки для улучшения показателей работы регулируемого электропривода.

Рассмотрены осциллограммы процесса сварки - наплавки с выявление определённых (характерных) участков изменений тока и напряжения для выбора параметров управления регулятором электропривода механизма подачи.

Рассмотрен вариант структуры регулятора для системы подачи электродной проволоки механизированного сварочного оборудования с использованием сигналов обратных связей по параметрам дугового процесса.

Ключевые слова: механизированная сварка, перенос электродного металла, электропривод, электродвигатель, регулятор и система управления, эффективность.

Введение

Основными задачами механизированной и автоматической дуговой сварки является расширение возможностей и повышение производительности труда за счет сварочного оборудования, активно влияющего на процессы, происходящие непосредственно в зоне горения дуги. В частности это относится к управлению переносом электродного металла. Современный уровень развития микроэлектроники, силовой электроники и электромеханики дает возможность создавать сварочные комплексы, позволяющие осуществить управляемый капельный перенос электродного металла и, таким образом, существенно улучшить качество сварочного шва и снизить затраты энергии, осуществлять сварку и наплавку в различных пространственных положениях. Работа такого оборудования обычно основана на регулировании процесса сварки за счет управления напряжением и током, в том числе и за счёт регулируемой подачи сварочного электрода

Анализ последних исследований и литературы

Одним из основных способов управления процессом сварки с воздействием на систему подачи является реализация управляемой импульсной подачи, позволяющего в

свою очередь управлять переносом капель электродного металла [1], что ведёт к возможности управлять характеристиками сварочного соединения или наплавленного слоя, резко снизить энергетические и материальные затраты [2].

В последнее время в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины разработан способ сварки, позволяющий управлять дозированием движения электродной проволоки по состоянию параметров дугового процесса (ток, напряжение) [3]. Предложен алгоритм функционирования электропривода, который реализует возможность порционно подавать электродную проволоку в зависимости от значений сварочного тока или напряжения таким образом, что при определённо выбранной величине тока или напряжения, проволока подаётся в зону горения дуги, а при меньшей величине происходит её остановка. Такой алгоритм был предложен для решения актуальной задачи управления процессом сварки и наплавки порошковыми самозащитными электродами на вертикальной плоскости. При этом впервые удалось получить процесс дуговой сварки и наплавки с управляемыми короткими замыканиями, что, в конечном счёте, обусловило возможность выполнения сварки и наплавки вертикальных и горизонтальных валиков на вертикальной плоскости. Процесс с дозированной подачей электрод-

ной проволоки применим к сварке – наплавке сплошными стальными проволоками разных составов и проволоками из сплавов алюминия с использованием защитных газов.

На рис.1 представлена осциллограмма тока и напряжения при наплавке наиболее сложного для выполнения горизонтального

валика, выполненного разработанным способом порошковой самозащитной электродной проволокой на вертикальной плоскости в автоматическом цикле работы на режимах: интегральное значение тока 200 А; напряжение 28 В скорость перемещения горелки 15 м/час.

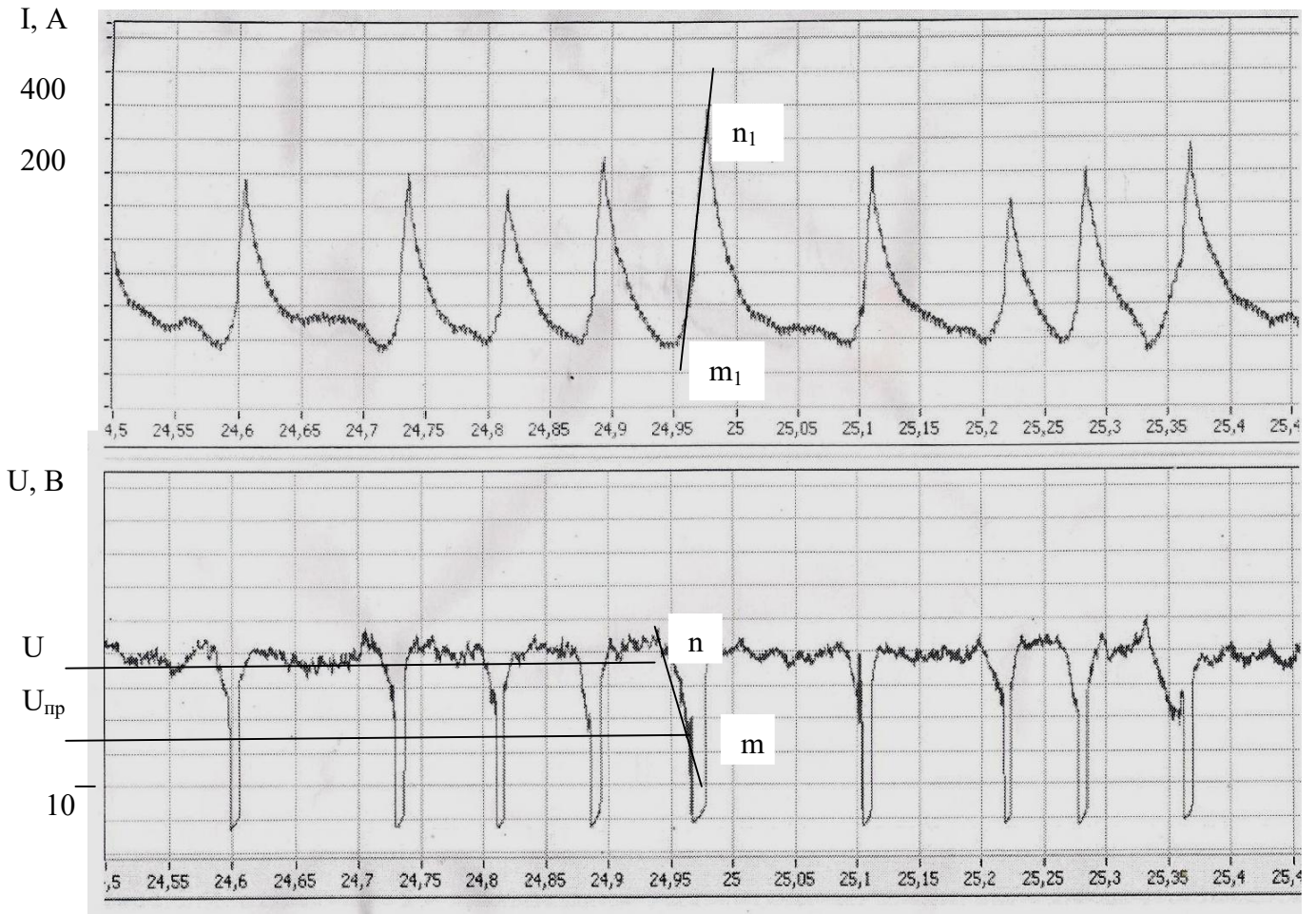


Рис.1. Осциллограммы процесса сварки порошковой самозащитной проволокой горизонтальных швов на вертикальной плоскости: ток (вверху), напряжение (внизу)

На рис 2. представлены характерные горизонтальные валики на вертикальной плоскости, выполненные при обычной подаче и по вышеописанному алгоритму с

одними и теми же интегральными значениями токов и напряжений процесса. Очевидно более благоприятное формирование наплавленного валика при использовании нового процесса.



Рис.2. Наплавленные валики при механизированном процессе: 1-обычная подача; 2, 3- с применением процесса с дозированной подачей

Цель работы.

Для реализации указанного алгоритма движения электродной проволоки с частотой 10-50 Гц требуется использование быстродействующего безредукторного высокомоментного регулируемого электропривода, удовлетворяющего следующим основным требованиям:

1. надежность работы в сложных условиях окружающей среды и непосредственно процесса сварки;
2. точность поддержания заданной частоты вращения вала электродвигателя в широком диапазоне регулирования;
3. высокое быстродействие (минимальное время переходного процесса разгона и торможения);
4. возможность программного управления электроприводом;
5. оптимальные массогабаритные показатели.

Наиболее приемлемым, удовлетворяющим перечисленным выше требованиям, является электропривод на базе вентильного электродвигателя с высококоэрцитивными постоянными магнитами. Такой вентильный электродвигатель обладает повышенной надежностью работы за счет отсутствия скользящих контактов на роторе, а наличие постоянных магнитов позволяет получить высокие показатели энергоэффективности в режимах пуска двигателя и управляемого рекуперативного торможения. Специальная конструкция такого электропривода с вентильным электродвигателем подробно описана в работе [4]. Эта разработка позволяет реализовать новый алгоритм управления, однако появляющиеся

новые задачи (управляемый перенос электродного металла без коротких замыканий и др.) требуют повышения качества работы электропривода.

Целью настоящей работы является повышение эффективности применения современных разработок электроприводов на базе вентильных электродвигателей в части быстродействия для реализации алгоритмов управления переносом электродного металла с обратными связями по параметрам дугового процесса.

Основной задачей при разработке оборудования с управлением переносом электродного металла порошковой электродной проволоки является достижение максимального быстродействия системы подачи, основу которой составляет. Быстродействие важно, как при пуске электродвигателя, так и при его остановке, т.е. при основных режимах, характерных для процесса с дозированной подачей электродной проволоки.

Несмотря на то, что специальная конструкция электропривода, выбор его регулятора, обеспечивают высокое быстродействие механизма подачи и системы подачи в целом необходимо изыскать возможности и резервы дальнейшего повышения быстродействия системы, что обеспечить точность регулирования некоторых фаз переноса электродного металла. К числу таких фаз относится фаза входа капли в короткое замыкание, когда необходимо в определенное (выбранное) время останавливать подачу или с определенными параметрами обеспечивать импульс (порцию) подачи. Максимально возможное качественное регулирование скорости подачи электродной проволоки ограничивается возможностями электропривода и инерционностью системы подачи.

Основная часть

Изменить характеристики уже имеющейся разработки электропривода со специальным можно путём повышения быстродействия системы. Решение этой задачи необходимо искать в разработке более совершенной системы управления. Это возможно несколькими методами, но наиболее перспективным и наименее затратным, на наш взгляд, основанный на анализе возможных вариантов, является использование принципа регулирования по прогнозу (предиктное регулирование), в отличие от общепринятого принципа регулирования по текущему значению величины регулируемого параметра. При этом прогнозирование может осуществляться по различным законам. Воспользовавшись результатами работы [5] можно заметить, что, в общем случае, прогнозирующая передаточная функция $W_{\text{пр}}(p)$ имеет вид

$$W_{\text{пр}}(p) = e^{p\tau_{\text{пр}}} \quad (1)$$

где $\tau_{\text{пр}}$ - время прогнозирования

Если функцию (1) разложить в ряд Тейлора и ограничиться первыми двумя её членами без существенного искажения получаемого результата, то прогнозирующая передаточная функция примет следующий линейный вид

$$W_{\text{пр}}(p) = 1 + p\tau_{\text{пр}} \quad (2)$$

В данном случае рассмотрим процесс регулирования по напряжению сварочного процесса.

Рассматривая наиболее простой линейный прогноз по двум значениям величины напряжения сварки текущему U и предшествующему $U(\tau - \Delta\tau)$, с тем, чтобы получить сигнал управления в электропривод, соответствующий или приближающийся к параметру в точке $U(\Delta\tau)$ (соответствует точке m).

Рассмотрим линейный закон изменения параметра U на основании рис.3 с угловым коэффициентом k , который можно определить в виде

$$k = \frac{U(\tau - \Delta\tau) - U}{\Delta\tau} \quad (3)$$

Прогнозируемый сигнал в точке m в виде $U(\Delta\tau)$, учитывая (1) можно найти следующим образом

$$U_{\text{пр}}(\tau) = U(1 + p\tau_{\text{пр}}) \quad (4)$$

Выражение (4), принимая во внимание (3), запишем в виде

$$U_{\text{пр}}(\tau) = U(t) + \frac{U(\tau - \Delta\tau) - U(t)}{\Delta\tau} \cdot \tau_{\text{пр}} \quad (5)$$

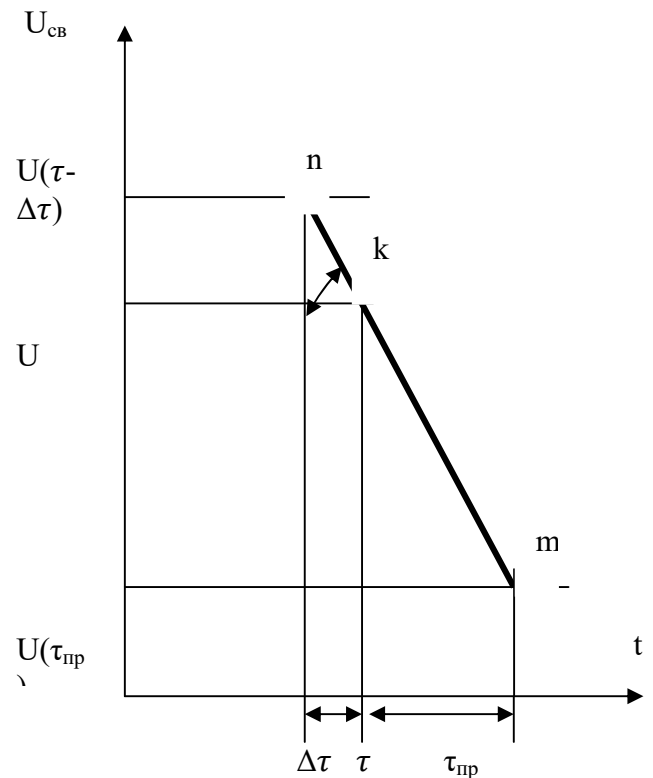


Рис. 3. Линеаризованный участок изменения напряжения сварки m-n по осциллограмме рис.1.

Можно заметить, что величина $U(\Delta\tau)$, может быть достигнута через время, определяемое как

$$\tau_{\text{пр}} = c\Delta\tau \quad (6)$$

где c - коэффициент, определяющий увеличение времени прогноза в сравнение со временем реального измерения напряжения сварки.

Учитывая выражения (5), (6) найдем регулируемую величину напряжения $U(\tau_{\text{пр}})$, кото-

рое будет достигнуто в прогнозируемый момент в достаточно простом выражении

$$U(\tau_{\text{пр}}) = U(\tau) \cdot (1 - c) + c \cdot U(\tau - \Delta\tau) \quad (7)$$

Уравнение (7) используется при выборе параметров управления в процессе программирования и наладки электропривода.

Аналогичное значение можно получить, если управление вести по току дугового процесса. При этом определение значения регулируемой величины необходимо по вышеприведенной методике вести на основе аппроксимирующей прямой $m_1 - n_1$ по рис. 1.

В работе [6] представлена методика выбора регулятора для вентильного электропривода. Показано, что для работы, а для обеспечения наибольшего быстрого действия настройка коэффициентов ПИ-регулятора скорости производится на симметричный оптимум. Однако, как показал опыт применения таких электроприводов, с учётом и затянутостью выхода на режим наибо-

лее эффективным будет ПИД - регулятор, который позволяет до некоторой степени уменьшить перерегулирование при переходных процессах.

Передаточная функция $W_{\text{ПИД}}(p)$ такого регулятора в классическом виде будет иметь вид

$$W_{\text{ПИД}}(p) = k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{T_{\text{И}} \cdot p} + K_{\text{Д}} \cdot T_{\text{Д}} \cdot p \quad (8)$$

где $k_{\text{П}}$, $k_{\text{И}}$, $k_{\text{Д}}$ - коэффициенты усиления пропорциональной, интегральной и дифференциальной частей регулятора соответственно; $T_{\text{И}}$, $T_{\text{Д}}$ - постоянные времени интегральной и дифференциальной частей регулятора.

Следует заметить, что в реальном регуляторе вентильного электропривода аналоговый ПИД - регулятор преобразуется в цифровой со всеми свойствами регулятора по (8).

Регулятор электропривода с прогностическим звеном или просто прогностический регулятор представлен на рис. 4

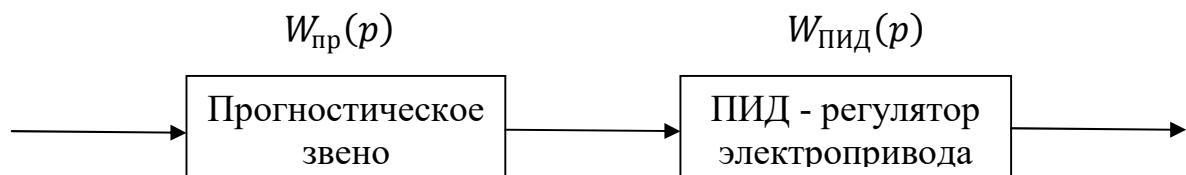


Рис.4. Структурная схема прогностического регулятора электропривода механизма подачи электродной проволоки

На основании рис.4 и выражении (1) и (8) запишем выражение, описывающее передаточ-

ную функцию для прогностического регулятора электропривода

$$\begin{aligned} W_{\text{ПИДпр}}(p) &= W_{\text{пр}}(p) \cdot W_{\text{ПИД}}(p) = (1 + p \cdot \tau_{\text{пр}}) \cdot \left(k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{T_{\text{И}} \cdot p} + k_{\text{Д}} \cdot T_{\text{Д}} \cdot p \right) = \quad (9) \\ &= k_{\text{П}} + \frac{\tau_{\text{пр}} \cdot k_{\text{И}}}{T_{\text{И}}} + \frac{k_{\text{И}}}{T_{\text{И}} \cdot p} + (k_{\text{Д}} \cdot T_{\text{Д}} + \tau_{\text{пр}} \cdot k_{\text{П}}) \cdot p + k_{\text{Д}} \cdot T_{\text{Д}} \cdot p^2 \cdot \tau_{\text{пр}} \end{aligned}$$

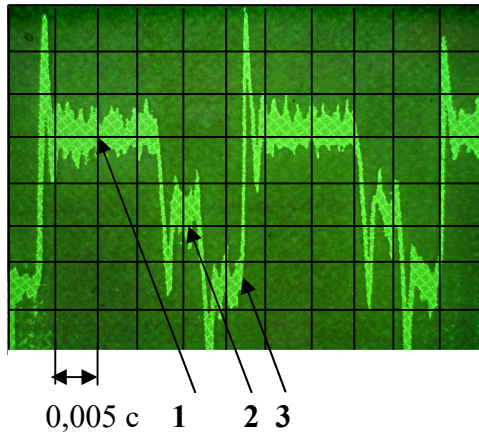


Рис.5. Осциллограмма скорости импульсной подачи с ПИД-регулятором: 1 – импульс; 2 – пауза; 3 – реверс

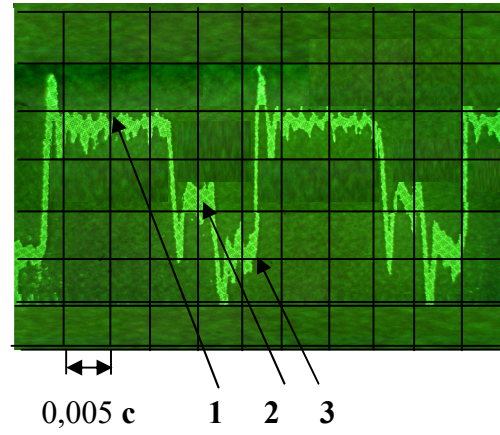


Рис.6. Осциллограмма скорости импульсной подачи при предиктном (прогностическом) регулировании: 1 – импульс; 2 – пауза; 3 – реверс

В соответствии с передаточной функцией (9) синтезирован в цифровом виде прогностический регулятор для вентильного электропривода механизма подачи электродной проволоки, который, при оптимально выбранных параметрах с применение компьютерного моделирования, позволил снизить величину динамической ошибки электропривода и повысить его быстродей-

ствие в сравнение с электроприводом, имеющем ПИД – регулятор.

На рис. 5, рис. 6 показан сравнительный пример осциллограмм скорости подачи электродной проволоки при порционном регулировании импульсов движения для электропривода с ПИД – регулятором и прогностическим регулятором.



Рис. 7. Характерные валики наплавки, полученные при использовании различных способов регуляторов подачи электродной проволоки: 19 – с прогностическим регулятором; 29 – с обычным регулятором

Экспериментирование с выполнением наплавления валиков, представленные на рис. 7, при применении электропривода с предиктным (прогностическим) регулятором показал некоторые положительные эффекты в формировании валиков на тех параметрах регулирования (уровни срабатывания, частоты), которые используются в настоящее время.

Основное преимущество таких систем состоит в улучшении динамических характеристик регулятора электропривода механизма подачи электродной проволоки – быстродействие, точность отработки сигнала управления, что является

основой для расширения области применения таких регуляторов в оборудовании сварочного производства, использующего в своих системах сигналы обратных связей по параметрам (ток, напряжение) дугового процесса.

Особо следует отметить, что применение прогностических регуляторов уменьшает динамические загрузки в системе подачи и это позволяет снизить требования к разработке специальных электродвигателей и системы подачи в целом.

Одним из направлений применения рассмотренных выше систем регуляторов является обо-

рудование с реализацией управляемых колебаний наплавляемых узлов и деталей [7].

Выводы

1. Принцип управления по прогнозу в автоматической системе может быть введён в регулятор электропривода механизма подачи электродной проволоки в оборудовании для дуговой механизированной сварки, обрабатывающего сигналы по параметрам дугового процесса.

2. Прогностический регулятор электропривода механизма подачи электродной проволоки позволяет повысить его быстродействие, снизить вероятность ошибки обработки сигнала управления, что, в свою очередь, обеспечивать расширение сферы применения регулятора.

3. Одной из наиболее эффективных областей, где, по – нашему мнению, может быть применено регулирование по прогнозу – системы с управляемыми колебаниями наплавляемых изделий, а также слежения за ведением процесса дуговой сварки, в частности со сканированием разделки сварного шва.

Список использованной литературы

1. Лендел, И. В., Максимов, С. Ю., Лебедев, В. А., Козырко, О. А. Влияние импульсной подачи электродной проволоки на формирование и износостойкость наплавленного валика, а также потери электродного металла при дуговой наплавке в CO₂ [Текст] // Автоматическая сварка. 2015. № 5-6. С. 46–48.

2. V. Lebedev, U. Reisingen & I. Lendel, Study of technological opportunities of GMAwelding and surfacing with pulse electrode wirefeed [Text] // Welding in the World. February, 2016. P.9.

3. 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 Машино-строение № 6, 2017 С. 27–32.

4. В. А. Лебедев, В. В. Рымша, И. Н. Радимов. Современные вентильные электроприводы в системах механизированного сварочного оборудования [Текст] / Электромашинобудовання та Електрообладнання. Випуск 74, Київ, Техніка, 2009, – С.22–24.

5. Пикина, Г. А. Реализация принципа управления по прогнозу в автоматических системах регулирования [Текст] // XII ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПРОБЛЕМАМ

УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2014, Москва 16-19 июня 2014 г., – С. 200–211

6. Лебедев, В. А., Гулый, М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки [Текст] // Мехатроника. Автоматизация, Управление. 2014. № 6. С.47–51.

7. Лебедев, В. А., Драган, С. В., Козырко, О. А., Новиков, С. В. Выбор параметров управляемых колебаний изделия для структуризации наплавленного металла при механизированных дуговых процессах [Текст] / Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 12. С. 24–30.

References

1. Landel, I. V., Maksimov, S. Yu., Lebedev, V. A., Kozyrko, O. A. (2015) Influence of impulse feed of an electrode wire on the formation and wear resistance of a plated roller, as well as the loss of electrode metal in arc surfacing in CO₂ [Vliyanie impul'snoj podachi ehlektrodnoj provoloki na formirovanie i iznosostojkost' naplavlennogo valika, a takzhe poteri ehlektrodno metalda pri dugovoj naplavke v CO₂] Automatic welding. № 5–6. Pp. 46–48.

2. V. Lebedev, U. Reisingen & I. Lendel (2016) Study of technological opportunities of GMAwelding and surfacing with pulse electrode wirefeed. Welding in the World. February. P.9.

3. Lebedev, V. A., Zhuk, G. V. (2017) Control of the transport of electrode metal on the basis of impulse algorithms for the functioning of systems with dosing of supply of electrode wire with mechanized arc welding [Upravlenie perenosom ehlektrodno metala na osnove impul'snyh algoritmov funkcionirovaniya sistem s dozirovaniem podachi ehlektrodnoj provoloki pri mekhanizirovannoj dugovoj svarke] Heavy Machine-building No. 6, p.p. 27–32.

4. V. A. Lebedev, V. V. Rymsha, I. N. Radimov (2009) Council-languages Modern valve actuators in the systems of mechanized welding equipment [Sovremennye ventil'nye ehlektroprivody v sistemah mekhanizirovan-nogo svarochnogo oborudovaniya] Electro-mechanical engineering and Electro-equipment. Issue 74, Kyiv, Engineering, p.22–24.

5. Pikina, G. A. (2014) Realization of the principle of control of the forecast in automatic control systems [Realizaciya principa upravleniya po prognozu v avtomaticheskikh sistemah

regulirovaniya] XII ALL-RUSSIAN MEETING ON THE PROBLEMS OF GOVERNMENT VSPU-2014, Moscow June 16-19, P. 200–211.

6. Lebedev, V. A., Guly, M. V. (2014) A fast-acting gate gear drive for the equipment of mechanized arc welding [Bystrodejstvuyushchij ventil'nyj ehlektroprivod dlya oborudovaniya mekhanizirovannoj dugovoj svarki] // Mechatronics. Automation, Management. No 6. P.47–51.

7. Lebedev, V. A., Dragan, S. V., Kozyrko, O. A., Novikov, S. V. (2016) Selection of parameters of controlled oscillations of a product for structurization of welded metal under mechanized arc processes [Vybor parametrov upravlyaemyh kolebanij izdeliya dlya strukturizacii naplavlennogo metala pri mekhanizirovannyh dugovih procesah] / Strengthening technologies and coatings.. No. 12. P. 24–30.

CONTROL SYSTEM OF THE DOSED ELECTRON WIRE FEED IN THE MECHANIZED ELECTRIC ARC WELDING

V. A. Lebedev, G. V. Zhuk

E.O.Paton Institute for Electric Welding, NAS of Ukraine

Abstract The paper deals with the control problem developed in the E.O.Paton Institute for Electric Welding by a new method of pulsed arc welding process, which uses the principle of dosed feeding of electrode wire on the basis of information on the varying parameters of arc combustion. The electrode wire is supplied by a high-speed computerized electric drive using a specially designed valve motor of an optimized design.

Recently developed a new method of arc welding with pulse feed of an electrode wire is a metered feed, which is carried out using current or voltage feedbacks of the arc process. In this case, the control pulse is formed according to the selected (set) two levels of current or voltage and is processed by a computer control system.

However, when implementing the control of the welding process with dosed feeding of electrode wire and some other processes of arc mechanized and automatic welding and surfacing, problems arise for further improving the speed of the electric drive.

In this paper, it is proposed to use a method of predictive control of arc welding with a dosed by the parameter of the arc process by feeding the electrode wire to improve the performance of the controlled electric drive of the feed mechanism.

The oscillograms of the welding process - surfacing with the identification of specific (characteristic) sections of current and voltage changes, the possibility of their linearization for selecting control parameters for the electric drive controller of the feed mechanism are considered.

A variant of the regulator structure for the electrode wire feeding system of the mechanized welding equipment is determined using feedback signals on the parameters of the arc process.

Comparative oscillograms of the speed of impulse movement of electrode wire, as well as weld beads for different variants of construction of the regulator of the electric drive are given. The positive effect of the new regulator on the characteristics of the arc process is noted.

The work contains references to a number of works on the basis of which the developments described in the article are fulfilled.

Key words: mechanized welding, dosed feed of electrode wire, transfer of electrode metal, electric drive, electric motor, regulator and control system, efficiency.

Keywords: mechanized welding, transfer of electrode metal, electric drive, electric motor, regulator and control system, efficiency

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОЗОВАНОЮ ПОДАЧЕЮ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ ПРИ МЕХАНІЗОВАНОМУ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

В. А. Лебедєв, Г. В. Жук

ІЕЗ ім. Е.О. Патона НАН України

Анотація. В роботі розглядається задача управління розробленим в ІЕЗ ім. С. Патона новим способом імпульсного процесу дугового зварювання, в якому використовується принцип дозованої подачі електродного дроту на основі інформації про змінюються параметрах горіння дуги. Подача електродного дроту здійснюється швидкодіючим комп'ютеризованим електроприводом з використанням спеціально розробленого вентиляного електродвигуна оптимізованої конструкції.

Розроблений останнім часом новий спосіб дугового зварювання з імпульсною подачею електродного дроту - дозована подача, яка здійснюється з використанням зворотних зв'язків по струму або напрузі дугового процесу. При цьому імпульс керуючого впливу формується за обраними (встановленими) двома рівнями струму або напруги і обробляється комп'ютерною системою управління.

Однак при реалізації управління процесом зварювання з дозованою подачею електродного дроту і деякими іншими процесами дугового механізованого та автоматичного зварювання та наплавлення виникають завдання подальшого підвищення швидкодії електропривода.

В роботі запропоновано використовувати спосіб інтелектуального управління дугового зварювання з дозованим по параметром дугового процесу подачею електродного дроту для поліпшення показників роботи регульованого електроприводу механізму подачі. Розглянуто осцилограми процесу зварювання - наплавлення з виявлення визначених (характерних) ділянок змін струму і напруги, можливість їх лінеаризації для вибору параметрів управління регулятором електроприводу механізму подачі.

Визначено варіант структури регулятора для системи подачі електродного дроту механізованого зварювального обладнання з використанням сигналів зворотних зв'язків за параметрами дугового процесу. Наведено порівняльні осцилограми швидкості імпульсного руху електродного дроту, а також наплавлених валиків для різних варіантів побудови регулятора електроприводу. Відзначено позитивний вплив нового регулятора на характеристики дугового процесу. В роботі виконані посилання на ряд робіт, на підставі яких виконані викладені в статті розробки.

Ключові слова: механізована зварювання, дозована подача електродного дроту, перенесення електродного металу, електропривод, електродвигун, регулятор і система управління, ефективність

Получено 25.03.2018



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

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

ORCID ID: 0000-0003-3229-0922



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

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

ORCID ID: 0000-0003-3229-0922