

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Н.Ю. Крампит, А.Г. Крампит

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Юрга, Кемеровская обл., Российская Федерация
e-mail: nkrampit@mail.ru; akrampit@mail.ru

Приведены способ и устройство для импульсно-дуговой сварки. Применение данного способа позволяет дозировать энергию, идущую на расплавление каждой капли электродного металла, начиная с момента отрыва капли. Устройство, в состав которого входит датчик фиксации отрыва капли, фиксирует момент отрыва капли по всплеску напряжения на дуговом промежутке. Дозирование энергии, идущей на расплавление каждой капли, позволяет обеспечить одинаковый размер переносимых капель электродного металла, повышая тем самым стабильность процесса и обеспечивая одинаковые начальные условия для переноса электродного металла, а в конечном итоге улучшить формирование сварного шва.

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка, устройство, капля электродного металла, сварной шов.

METHOD AND APPARATUS FOR CONSUMABLE-ELECTRODE SHIELDING-GAS PULSED-ARC WELDING

N.Yu. Krampit, A.G. Krampit

Yurginskii Technological Institute (Branch) of National Reserch Tomsk Polytechnic University, Yurga, Kemerovo region, Russian Federation
e-mail: nkrampit@mail.ru; akrampit@mail.ru

The method and apparatus for pulsed-arc welding are presented. Using this method makes it possible to dose the energy required for melting each drop of the metal electrode beginning from the moment of drop separation. The apparatus that includes a sensor for detecting a drop separation captures a moment of drop separation according to a surge of the voltage across the arc gap. Dosing of energy used to melt each drop provides the same size of transferred electrode-metal droplets, thus increasing the process stability and ensuring identical initial conditions for the electrode-metal transfer, and ultimately improves the weld formation.

Keywords: pulsed-arc welding, apparatus, a drop of electrode metal, weld.

В настоящее время на рынке представлены различные модели сварочного оборудования. Следует отметить, что за последние 5 лет практически все фирмы добавили в свою линейку оборудование для импульсно-дуговой сварки. Дальнейшее развитие цифровой техники и использование инверторов позволяют получать новые аппараты и новые способы сварки: FastMigPulse, DeepARC, ForceArc, SpeedArcTandemControlSystem-KempArcPulse TCS, CMT; Interpulse, SpeedUp, SpeedPulse, SpeedRoot, TwinPulsing, Speed-TwinPulseThermalPulse, SynergicPulseWelding, PulseMigTwinPulse, SynergicPulse MIG

welding. Однако большое число процессов, многообразие их названий и общие поверхностные сведения, касающиеся практической стороны, затрудняют восприятие сущности процессов, особенно, если сравнивать способы сварки различных фирм производителей сварочного оборудования.

Современные способы импульсного управления процессом сварки в защитных газах можно разделить следующим образом: сварка с импульсной подачей защитных газов [1, 2], электродной проволоки [3], с импульсным изменением тока и напряжения [4–7]; сварка с наложением упругих продольных колебаний ультразвуковой частоты [8]; с комбинированием перечисленных способов (например, комбинирование процессов импульсно-дуговой сварки и импульсной подачи электродной проволоки [9]).

На взгляд авторов, сварку с импульсным изменением тока и напряжения можно разделить по типу переноса электродного металла: с короткими замыканиями (короткой дугой, с вынужденными и принудительными короткими замыканиями); без коротких замыканий (длинной дугой) [5–9]; чередующийся режим с периодами с короткими замыканиями и без коротких замыканий.

Особенности механизма плавления и переноса электродного металла длинной дугой в среде углекислого газа [10] представляют большой интерес и возможности при разработке более эффективных способов управления процессом сварки в углекислом газе и устройств для их реализации. Характерной особенностью импульсно-дуговой сварки в активных газах является совмещение таких процессов, как плавление и перенос электродного металла, т.е. энергия, вносимая дугой, идет на перенос капли электродного металла и плавление следующей капли. В разработанных ранее способах импульсно-дуговой сварки [11, 12] имелся существенный недостаток, заключающийся в нестабильности размеров капель электродного металла. Во время импульса на расплавление и переноса капли дозируется общая энергия импульса. Вследствие того, что капля электродного металла может оторваться в любой момент во время действия импульса, энергия, вносимая дугой в электрод, может отличаться на разных циклах, что влияет на размер последующей формирующейся капли и изменение начальных условий для переноса электродного металла. Все это влияет на стабильность процесса сварки и является причиной химической неоднородности капель и, как следствие, химической неоднородности металла шва.

В настоящей статье предложен способ импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом [13], позволяющий стабилизировать размер переносимых капель электродного металла за счет дозирования энергии.

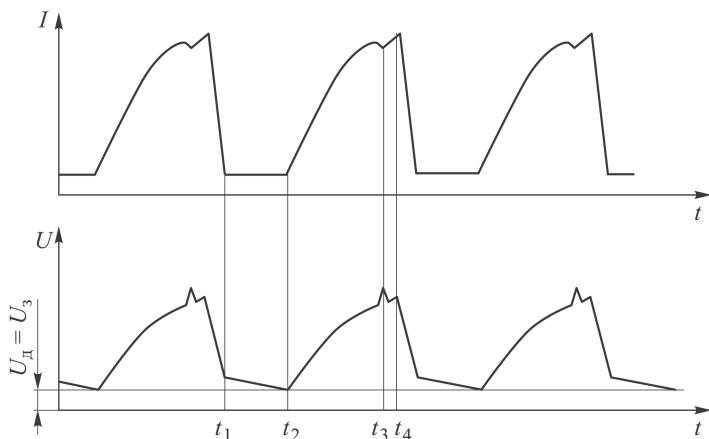


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения при импульсно-дуговой сварке:
 I — сила тока; U — напряжение на дуговом промежутке; U_d — напряжение на дуге в паузе; U_3 — заданное напряжение на дуге в паузе; t — время; t_1 — время начала паузы; t_2 — время начала импульса; t_3 — момент отрыва капли от торца электрода; $t_3 - t_4$ — время на дозирование энергии

Сущность способа заключается в следующем: во время наложения импульса происходит дозирование энергии на расплавление капли, начиная с момента отрыва капли, который фиксируется по всплеску напряжения на дуговом промежутке.

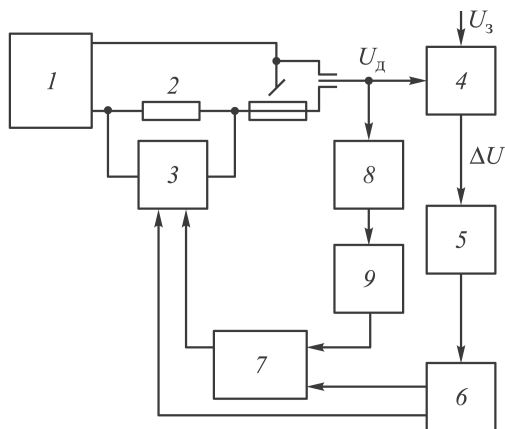
Эпюры тока и напряжения способа импульсно-дуговой сварки приведены на рис. 1.

На интервале времени t_1-t_2 горит дежурная дуга при минимальном токе (15...40 А). В это время за счет подачи проволоки происходит движение капли к соосному положению с электродом. Вследствие уменьшения газодинамического давления из-за резкого снижения тока уменьшается длина дугового промежутка напряжения. При $U_d = U_3$ подают импульс тока в момент времени t_2 . Под действием электромагнитных сил капля втягивается в столб дуги и движется в сторону ванны. В момент времени t_3 капля отрывается и ускоряется в сторону сварочной ванны, а оставшаяся часть жидкого металла несколько отесняется на боковую поверхность, создаются благоприятные условия для ввода теплоты дуги в электрод, так как жидкая прослойка минимальна. На интервале t_3-t_4 осуществляется дозирование энергии на расплавление следующей капли. Момент начала дозирования определяют по всплеску напряжения дугового промежутка в момент времени t_3 . Поскольку при этом не учитывается энергия данного импульса, унесенная ушедшей каплей, а учитывается только энергия на расплавление последней капли, то создаются условия для точной дозировки энергии и стабильности размеров капель.

Для реализации предложенного способа импульсно-дуговой сварки разработано устройство для стабилизации длины дугового проме-

Рис. 2. Функциональная схема устройства для дозирования энергии:

1 — источник питания; 2 — балластный реостат; 3 — коммутирующее устройство; 4 — блок сравнения напряжения дуги с задающим напряжением; 5 — блок формирования длительности пауз; 6 — релейный элемент; 7 — блок формирования длительности импульсов; 8 — датчик фиксации отрыва капли; 9 — усилительное устройство; U_d — напряжение на дуговом промежутке; U_3 — заданное напряжение; ΔU — разница напряжений на дуге



жутка [14], функциональная схема которого представлена на рис. 2. Момент отрыва капли электродного металла фиксируется в данном устройстве с помощью датчика по всплеску напряжения на дуговом промежутке. Датчик последовательно соединен с линией задержки, которая непосредственно соединена с коммутирующим устройством (таким образом, линия задержки выполняет роль дозирующего устройства, начиная с момента фиксации отрыва капли электродного металла).

В выходную цепь источника питания 1 включено балластное сопротивление 2, параллельно которому подсоединено коммутирующее устройство 3. К дуговому напряжению U_d (1) подключен блок 4 сравнения напряжения дуги, который соединен с блоком 5 формирования длительности пауз, выход которого подключен к релейному элементу 6. Релейный элемент 6 соединен с коммутирующим устройством 3 и одним из выходов блока 7 формирования импульсов, выход которого также подключен к коммутирующему устройству 3. Также в выходную цепь источника питания 1 подключен датчик 8 фиксации момента отрыва капли, который через усилительное устройство 9 подсоединен ко второму входу блока формирования длительности импульса.

Данное устройство позволяет дозировать энергию, идущую на расплавление каждой капли. В случае отказа датчика 8 фиксации момента отрыва капли система перейдет на режим с принудительным отключением коммутирующего устройства 3 после длительности импульса более заданного значения.

Сущность импульсно-дугового способа сварки с дозированием энергии представлена схематично на рис. 3. Выделив время отрыва капли и принимая его за точку отсчета дозирования энергии, можно обеспечить равное количество энергии, идущей на расплавление капли (на рисунке выделено серым цветом). Длительность импульса

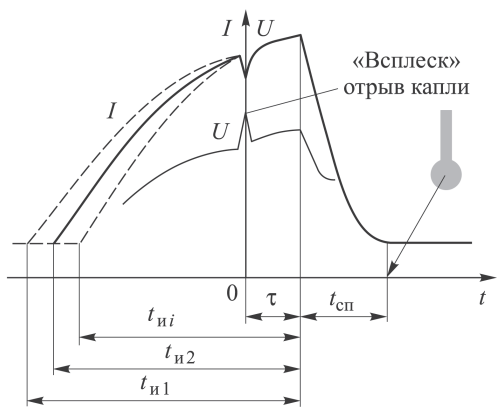


Рис. 3. Схема импульсно-дугового способа сварки с дозированием энергии:

U — напряжение; I — сварочный ток; t — длительность импульса сварочного тока; $t_{сп}$ — длительность спада импульса; τ — время на дозирование энергии в каждом импульсе ($\tau = \text{const}$); $t_{и1}$, $t_{и2}$, $t_{иi}$ — длительность первого, второго, i -го импульса соответственно

задается до момента отключения силовых тиристорov, после чего происходит спад тока и напряжения за время спада ($t_{сп}$). Сварочный ток и напряжение в паузе имеют небольшие значения и практически не меняют размеры капли электродного металла до наложения следующего импульса.

Дозирование энергии позволяет поддерживать одинаковый размер капель, обеспечивая тем самым равенство начальных условий для перехода капель электродного металла.

Таким образом, способ и устройство для импульсно-дуговой сварки обеспечивают одинаковый размер образующихся капель электродного металла, что значительно повышает устойчивость дугового промежутка и способствует стабильному переносу капель.

Выводы. 1. Способ импульсно-дуговой сварки позволяет дозировать энергию, идущую на расплавление каждой капли электродного металла, тем самым обеспечивая большую квазистабильность процесса сварки за счет одинакового размера переносимых капель электродного металла.

2. Устройство для реализации данного способа позволяет дозировать энергию, идущую на расплавление каждой капли электродного металла, начиная с момента отрыва предыдущей капли, фиксируемой по всплеску напряжения на дуговом промежутке.

3. При обеспечении одинакового размера переносимых капель повышается устойчивость дугового промежутка, что способствует стабильному каплепереносу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ дуговой сварки в среде защитных газов: патент на изобретение № 2130370 РФ: МПК-8 В23К9/00 / О.М. Новиков, В.И. Кулик; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие «НПО Техномаш». Опубл. 20.05.1999 г.

2. *Устройство* для сварки с импульсной подачей защитных газов: патент на изобретение № 2337797 РФ: МПК-8 В23К9/16 / О.М. Новиков, Э.П. Радько, Д.Ю. Квон; заявители и патентообладатели Новиков Олег Михайлович (РФ), Радько Эдуард Павлович (РФ), Квон Джей Юн (Республика Корея) Оpubл. 27.07.2007 г.
3. *Способ* управления размером капли расплавленного металла при сварке с импульсной подачей сварочной проволоки: патент на изобретение № 2238827 РФ: МПК-8 В23К9/09 Н03К3/53 / О.Г. Брунов, В.Т. Федько и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет от 27.10.2004 г.
4. *Устройство* для сварки: патент на изобретение № 2190510 РФ: МПК-8 В23К9/00 / А.Ф. Князьков, А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. Оpubл. 10.09.2002 г.
5. *Устройство* для электродуговой сварки: патент на изобретение № 2429112 РФ: МПК-8 В23К9/095 В23К9/173 / Н.Ю. Крампит, А.Г. Крампит, М.А. Крампит; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. Оpubл. 20.09.2011 г.
6. *Способ* сварки: патент на изобретение № 2191665 РФ: МПК-8 В23К9/00 / А.Ф. Князьков, А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит и др.; заявитель и патентообладатель ООО “Юргинский машиностроительный завод”. Оpubл. 27.10.2002 г.
7. *Устройство* для формирования импульсов сварочного тока: патент на изобретение № 2343051 РФ: МПК-8 В23К9/09 Н03К3/53 / А.Ф. Князьков, В.Л. Князьков и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. Оpubл. 10.01.2009 г.
8. *Способ* механизированной сварки плавящимся электродом с наложением механических наноимпульсов на подачу сварочной проволоки: патент на изобретение РФ: № 2481931: МПК-8 В23К9/173 В23К9/067 / О.Г. Брунов, С.А. Солодский и др.; заявитель и патентообладатель ФРОНИУС ИНТЕРНЭШНЛ ГМБХ (АТ). Оpubл. 20.05.2013 г.
9. *Комбинированный* способ импульсного управления процессом сварки плавящимся электродом: патент на изобретение № 2429111 РФ: МПК-8 В23К9/95 / А.Г. Крампит, А.Ф. Князьков, Н.Ю. Крампит и др.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. Оpubл. 20.09.2011 г.
10. *Крампит Н.Ю., Крампит А.Г., Князьков С.А.* Особенности импульсного управления процессом сварки длинной дугой в углекислом газе // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 12–15.
11. *Патон Б.Е., Шейко П.П., Пашуля М.П.* Автоматическое управление переносом электродного металла при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. 1971. № 9. С. 1–3.
12. *Князьков А.Ф., Зайцев А.И., Дедюх Р.И.* и др. Способ импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. / А.с. № 521089, В23К9/16, 1973.
13. *Способ* импульсно дуговой сварки: патент на изобретение № 2133660 РФ: МПК-8 В23К9/00 / А.Ф. Князьков, Н.Ю. Крампит, А.В. Петриков; заявитель и патентообладатель Производственное объединение “Юргинский машиностроительный завод”. Оpubл. 27.07.1999 г.
14. *Устройство* для сварки: патент на изобретение № 2185941 РФ: МПК-8 В23К9/00 / А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, А.Г. Крампит, А.В. Веревкин; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. Оpubл. 27.07.2002 г.

REFERENCES

- [1] Novikov O.M., Kulik V.I. Sposob dugovoy svarki v srede zashchitnykh gazov [Gas-shielded arc welding method]. Patent RF, no. 2130370, 1999.

- [2] Novikov O.M., Rad'ko E.P., Kvon D.Yu. Ustroystvo dlya svarki s impul'snoy podachey zashchitnykh gazov [Welding device with impulse preflow]. Patent RF, no. 2337797, 2007.
- [3] Brunov O.G., Fed'ko V.T. Sposob upravleniya razmerom kapli rasplavlennoogo metalla pri svarke s impul'snoy podachey svarochnoy provoloki [Control method of the drop size of molten metal at welding with impulse advance of filler wire]. Patent RF, no. 2238827, 2004.
- [4] Knyaz'kov A.F., Krampit A.G., Krampit .Yu. Ustroystvo dlya svarki [Welding device]. Patent RF, no. 2190510, 2002.
- [5] Krampit N.Yu., Krampit A.G., Krampit M.A. Ustroystvo dlya elektrodugovoy svarki [Device for electric-arc welding]. Patent RF, no. 2429112, 2011.
- [6] Knyaz'kov A.F., Krampit A.G., Krampit N.Yu. Sposob svarki [Welding method]. Patent RF, no. 2191665, 2002.
- [7] Knyaz'kov A.F., Knyaz'kov V.L. Ustroystvo dlya formirovaniya impul'sov svarochnogo toka [Device for generation of impulses of welding current]. Patent RF, no. 2343051, 2009.
- [8] Brunov O.G., Solodskiy S.A. Sposob mekhanizirovannoy svarki plavyashchimsya elektrodom s nalozheniem mekhanicheskikh nanoimpul'sov na podachu svarochnoy provoloki [Mechanized welding method by means consumable electrode with laying-on mechanical nanoimpulse for advance of filler wire]. Patent RF, no. 2481931, 2013.
- [9] Krampit A.G., Knyaz'kov A.F., Krampit N.Yu. Kombinirovannyi sposob impul'snogo upravleniya protsessom svarki plavyashchimsya elektrodom [Combined method of impulse welding process control by consumable electrode]. Patent RF, no. 2429111, 2011.
- [10] Krampit N.Yu., Krampit A.G., Knyaz'kov S.A. Impulse control features of long-arc welding process in carbonic gas. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and contemporary technology], 2002, no. 9, pp. 12–15 (in Russ.).
- [11] Paton B.E., Sheyko P.P., Pashulya M.P. Automatic control transfer of electrode metal in pulsed arc welding *Avtomaticheskaya svarka* [The Paton Welding Journal], 1971, № 9, pp. 1–3 (in Russ.).
- [12] Knyaz'kov A.F., Zaytsev A.I., Dedyukh R.I. Sposob impul'sno-dugovoy svarki plavyashchimsya elektrodom [Pulsed arc welding method using consumable electrode]. Inventor's Certificate SU, no. 521089, 1973.
- [13] A.F. Knyaz'kov, N.Yu. Krampit, A.V. Petrikov Sposob impul'sno dugovoy svarki [Pulsed arc welding method]. Patent RF, no. 2133660, 1999.
- [14] Knyaz'kov A.F., Knyaz'kov S.A., Krampit A.G., Verevkin A.V. Ustroystvo dlya svarki [Welding device]. Patent RF, no. 2185941, 2002.

Статья поступила в редакцию 23.07.2013

Андрей Гарольдович Крампит — канд. техн. наук, доцент кафедры “Сварочное производство” Юргинского технологического института (филиала) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Автор ряда научных работ в области разработки теоретических, экспериментальных и технологических основ процесса импульсно-дуговой сварки.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, Российская Федерация, 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.

A.G. Krampit — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Welding Industry” department of Yurga Institute of Technology (Branch) of National Research Tomsk Polytechnic University. Author of a number of publications in the field of development of theoretical, experimental, and technological fundamentals of the pulsed-arc welding.

Yurginskii Technological Institute (Branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, Leningradskaya ul. 26, Yurga, Kemerovo region, 652000 Russian Federation.

Наталья Юрьевна Крампит — канд. техн. наук, доцент кафедры “Сварочное производство” Юргинского технологического института (филиала) Национального исследовательского Томского политехнического университета, профессор РАН. Автор ряда научных работ в области разработки теоретических, экспериментальных и технологических основ процесса сварки в CO_2 с импульсным питанием сварочной дуги. Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, Российская Федерация, 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.

N.Yu. Krampit — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Welding Industry” department of Yurga Institute of Technology (Branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, professor of Russian Academy of Natural History. Author of a number of publications in the field of development of theoretical, experimental, and technological fundamentals of the CO_2 pulsed-arc welding.

Yurginskii Technological Institute (Branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, Leningradskaya ul. 26, Yurga, Kemerovo region, 652055 Russian Federation.