

УДК 621.791.753.037

DOI: 10.25206/1813-8225-2019-164-5-10

В. Ф. МУХИН
Е. Н. ЕРЕМИН
Ю. О. ФИЛИППОВ

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье приводятся результаты работы по исследованию применения однофазного выпрямителя с дополнительным блоком для получения импульсных режимов при ручной дуговой сварке штучным электродом тонкостенных конструкций. Предлагаемая схема дополнительного блока позволяет путем подбора параметров режима сварки обеспечить устойчивый квазистационарный процесс плавления и переноса электрода металла. Таким образом, появляется возможность производить сварку тонколистовых конструкций без снижения диаметра покрытого электрода.

Ключевые слова: сварка покрытым электродом, тиристорный однофазный выпрямитель, пульсирующий ток, перенос электродного металла, осциллограммы.

Ручная дуговая сварка покрытым электродом тонкостенных конструкций, заварка неустраняемых зазоров требуют применения малых диаметров электродов и высокой квалификации сварщиков. Все это существенно увеличивает затраты на производство. В связи с этим в современных технологических процессах сварки все более широко используются импульсные технологии, абсолютное большинство которых разработано для механизированной сварки в среде защитных газов при использовании инверторных источников питания. Наиболее значительные успехи достигнуты при разработке процессов сварки короткой «холодной дугой», когда для снижения тепловложения в свариваемый металл тонкостенной конструкции сварочный ток в перерывах между короткими замыканиями снижается до низких значений, а перенос капли электро-

дного металла осуществляется после короткого замыкания при минимальном токе. При этом величина тока короткого замыкания также ограничивается. Это адаптивные технологии с импульсным изменением тока (рис. 1), используемые в таких способах, как SteelRoot, WiseRoot [1, 2] и др. Адаптация происходит в сварочном модуле (инверторный источник — подающий механизм), имеющем дополнительные коммутирующие устройства, управляемые с помощью аналоговых или цифровых обратных связей по напряжению межэлектродного промежутка. Управление осуществляется в зависимости от состояния расплавленного металла на конце электродной проволоки.

Сущность этого управления заключается в том, что устойчивое горение дуги на малых токах в промежутках между переносом метал-

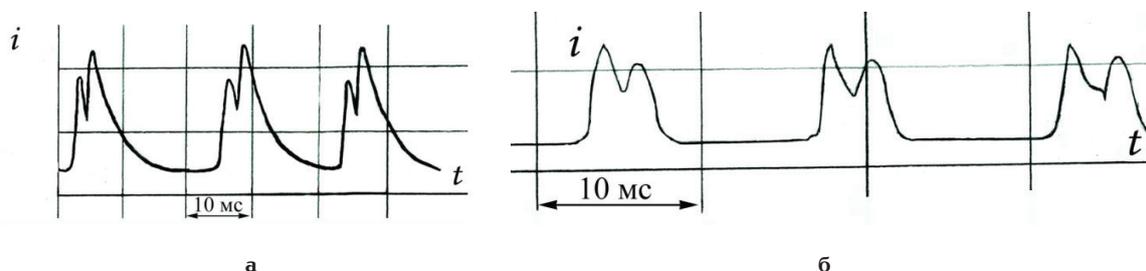


Рис. 1. Осциллограммы сварочного тока при способах сварки:
а — SteelRoot; б — WiseRoot

ла короткими замыканиями достигается подачей дополнительного импульса, который создает необходимый объем жидкого металла на конце электрода. Этого объема достаточно, чтобы дуга поддерживалась в течение относительно длительного времени на малых токах, в некоторых способах снижающихся до 10–12 А, что в обычных условиях сварки без уменьшения диаметра электродной проволоки практически невозможно.

В связи с тем, что стоимость вышеуказанных модулей с адаптивными технологиями существенно превышает стоимость источников без инвертирования, то проводятся работы по созданию источников питания обычного типа с улучшенными сварочными свойствами в том числе и для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, которые могут успешно конкурировать с инверторными источниками [3–5].

Исходя из этого, целью настоящей работы была разработка технологии и оборудования для сварки и наплавки стали толщиной 1 мм покрытым электродом с наиболее ходовым диаметром 3 мм.

Известно, что применение методов исследования процесса переноса электродного металла с помощью скоростной киносъемки, как это проводится для сварки в среде защитных газов, для сварки штучным электродом практически невозможно из-за наличия покрытия. Однако другими более сложными и затратными методами доказано, что процесс переноса также осуществляется с помощью коротких замыканий капель дугового промежутка и отражается осциллограммами тока и напряжения [6]. Анализируя осциллограммы сварки покрытым электродом при различных конструкциях сварочных выпрямителей, можно сделать вывод, что некоторые из управляемых в инверторных модулях процессов можно получить при использовании более простых и дешевых однофазных выпрямителей с тиристорным управлением. Так, применение выпрямленного пульсирующего тока с постоянной частотой при заданной длительности пульсации позволяет снизить тепловложение в свариваемый материал и обеспечить переход капли электродного металла на спаде тока или при минимальном токе без снижения устойчивости горения дуги [3]. Известно также, что пульсирующий ток при ручной дуговой сварке штучным электродом от вентильного генератора при частотах пульсации 150...400 Гц обеспечивает всегда отрыв капли на спадающей части кривой выпрямленного пуль-

сирующего тока без каких-либо дополнительных управляющих воздействий [7]. Достоинством сварки пульсирующим током двухполупериодного выпрямления является то, что максимально возможное время нарастания тока короткого замыкания не может быть больше времени нарастания тока в пульсации (максимум 5 мс при частоте сети 50 Гц при полнофазном включении тиристоров) и ток не успевает достигнуть чрезмерных величин. Таким образом, ограничивая амплитуду пульсации углом управления тиристоров, можно получить оптимальные режимы без сложных коммутационных устройств, управляемых при помощи цифровых или ограниченных аналоговых обратных связей. Для повышения устойчивости малоамперной дуги в разное время предлагался переход на сварку модулированным током, сварку от специальных однофазных выпрямителей и др. [3–5]. Все это обеспечивало существенное снижение среднего тока сварки при устойчивом процессе. Эти источники предназначались только для разработанных авторами процессов.

Чтобы обеспечить экономичный процесс пульсация (импульс), при постоянной частоте следования всегда должна совпадать с моментом короткого замыкания. Для ручной дуговой сварки рекомендуемая частота дополнительных импульсов около 100 Гц [3]. Подбор амплитуды импульсов позволяет получить в этом случае перенос электродного металла с минимальным разбрызгиванием. Переходя от дополнительных импульсов к пульсирующему выпрямленному току с дросселем в сварочной цепи, получают экономичные режимы сварки, такие как процесс «вынужденные короткие замыкания» (ВКЗ) для сварки в CO_2 или выше упомянутый процесс сварки от вентильного генератора [7], а также при сварке от однофазного источника с релейной обратной связью [8, 9]. Осциллограммы токов и напряжений таких процессов показаны на рис. 2.

Таким образом, для технологии сварки тонколистовых конструкций наиболее подходящим источником питания является однофазный выпрямитель.

При сварке от такого выпрямителя частота переноса капель электродного металла для большинства режимов кратна частоте пульсаций выпрямленного тока [10], а снижение тока при естественных пульсациях позволяет отказаться от сложных коммутирующих устройств вышеупомянутых модулей.

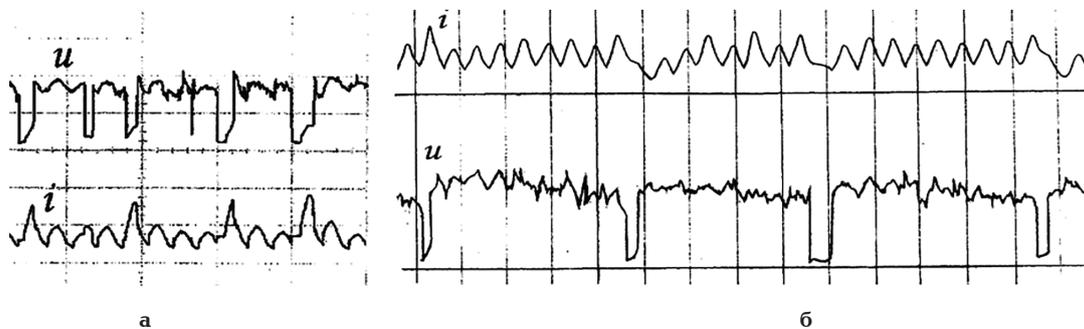


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения при сварке: а — сварка в CO_2 от трехфазного выпрямителя по способу ВКЗ [2]; б — сварка штучным электродом от однофазного выпрямителя с релейной обратной связью (отметчик времени — 20 мс) [9]

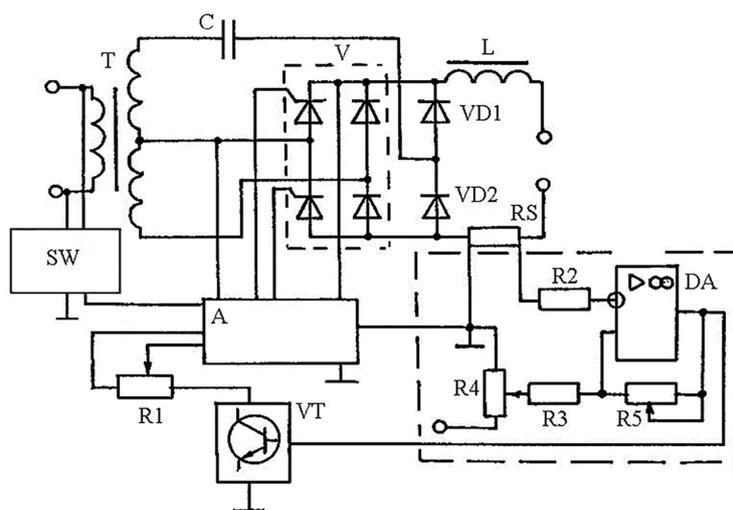


Рис. 3. Схема однофазного выпрямителя [8] с дополнительным блоком SW

Однако снижение тепловложения в свариваемый металл в вышепоказанных процессах (рис. 1) с инверторными модулями более существенно, чем при постоянно пульсирующем токе, за счет большей паузы с минимальным током. Для сварки штучным электродом подобный процесс также возможен, если обеспечить плавление электрода за одну-две пульсации с последующей паузой в течение нескольких полупериодов, когда ток поддерживается от дополнительного источника с величиной не более 10–15 А. Известно, что дуга сохраняет устойчивость при токах 10 А и менее тем дольше, чем больше остаточного расплавленного металла на конце электрода после переноса капли. Таким образом, схема однофазного выпрямителя должна обеспечить включение основного тока по аналогии с процессами сварки в среде защитных газов плавящимся электродом с частотой около 10 Гц при среднем токе в паузах менее 10 А [11], который обеспечивается дополнительным слаботочным выпрямителем. Однофазный выпрямитель [8] имеет релейную обратную связь между фазой включения тиристора и током в процессе переноса капли электродного металла во время короткого замыкания. В этом случае возможно такое управление, при котором капля электродного металла при ручной дуговой сварке покрытым электродом переносится при

коротком замыкании на спаде пульсирующего тока [9], что характерно и для вышеуказанных новых технологий, проанализированных в работе [12], в связи с чем в схему управления этого выпрямителя был введен дополнительный блок SW, обеспечивающий включение регулируемого выпрямленного сварочного тока от основного источника на два полупериода для обеспечения формирования и переноса электродного металла. Схема однофазного выпрямителя с тиристорным регулятором и дополнительным блоком показана на рис. 3, а функциональная схема блока и временная диаграмма его работы — на рис. 4а, б.

Дополнительный блок SW представляет собой электронный ключ на транзисторах VT1 и VT2, который обеспечивает включение управления тиристорами выпрямителя через импульсный трансформатор Т в течение двух полупериодов выпрямленного тока и отключение их на установленное в блоке СТ количество полупериодов. На рис. 4б показано отключение тиристорov на 6 полупериодов.

При отключенных тиристорах питание дуги осуществляется от дополнительного нерегулируемого источника, образованного диодами схемы выпрямителя и конденсатором С (рис. 3). Осциллограммы работы выпрямителя на постоянную нагрузку при различных вариан-

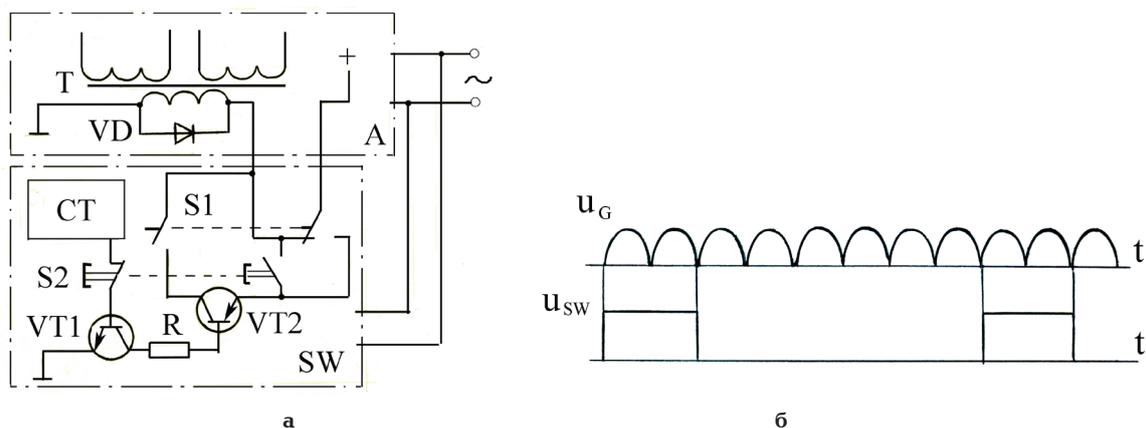


Рис. 4. Схема дополнительного блока SW — а;
временная диаграмма его работы — б

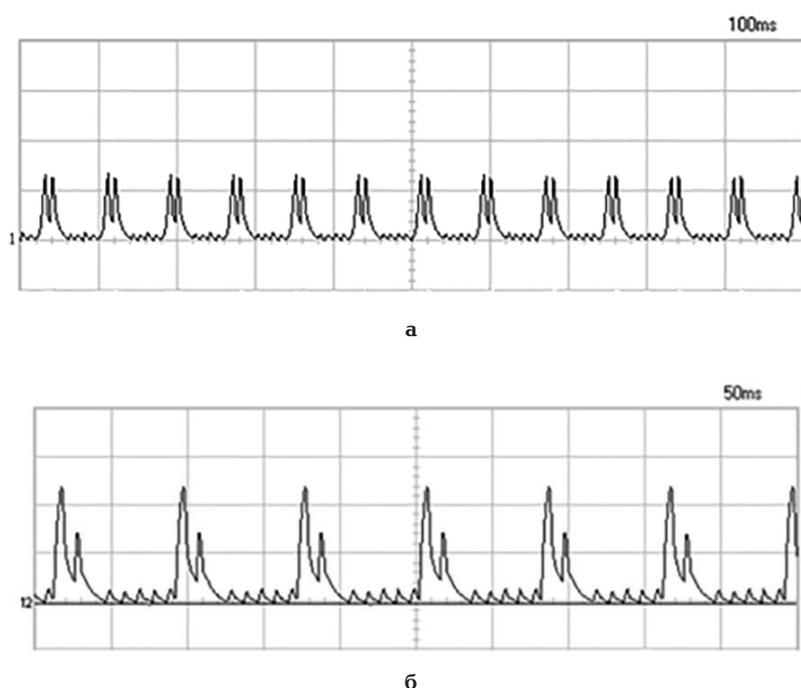


Рис. 5. Осциллограммы тока выпрямителя с дополнительным блоком при постоянной нагрузке балластным реостатом и при различной настройке амплитуд пульсаций: одинаковая (а) и различная (б) амплитуды

тах настройки релейной обратной связи показаны на рис. 5.

Исследование процесса переноса электродного металла и особенностей формирования шва при сварке проводились с электродами ОК46 и УОНИ 13/45 диаметром 3 мм. Для надежного начального зажигания дуги при сварке дополнительный блок кратковременно отключался на 1...2 с, для чего в нем были предусмотрены специальные контакты. Сварка и наплавка производились на пластины из низкоуглеродистой стали толщиной 1 или 1,2 мм.

В результате проведенных экспериментов удалось получить устойчивый квазистационарный процесс горения сварочной дуги с покрытого электрода диаметром 3 мм при пониженном тепловложении с удовлетворительным форми-

рованием наплавленного металла. Осциллограммы процесса сварки покрытым электродом показаны на рис. 6а, б и для сравнения процесса SteelRoot (рис. 6в).

Как следует из анализа осциллограмм, короткое замыкание дугового промежутка каплей электродного металла с последующим ее переносом в сварочную ванну в исследуемом процессе, в отличие от сварки в среде защитных газов, происходит только после второго импульса. Жидкая прослойка (остаточная масса жидкого металла после перехода капли в сварочную ванну) при короткой дуге достаточна для удержания дуги от погасания при малом токе. Силовое воздействие дуги при этом становится незначительным. Далее происходит постепенное удлинение дуги до критического значения, дальнейшее уд-

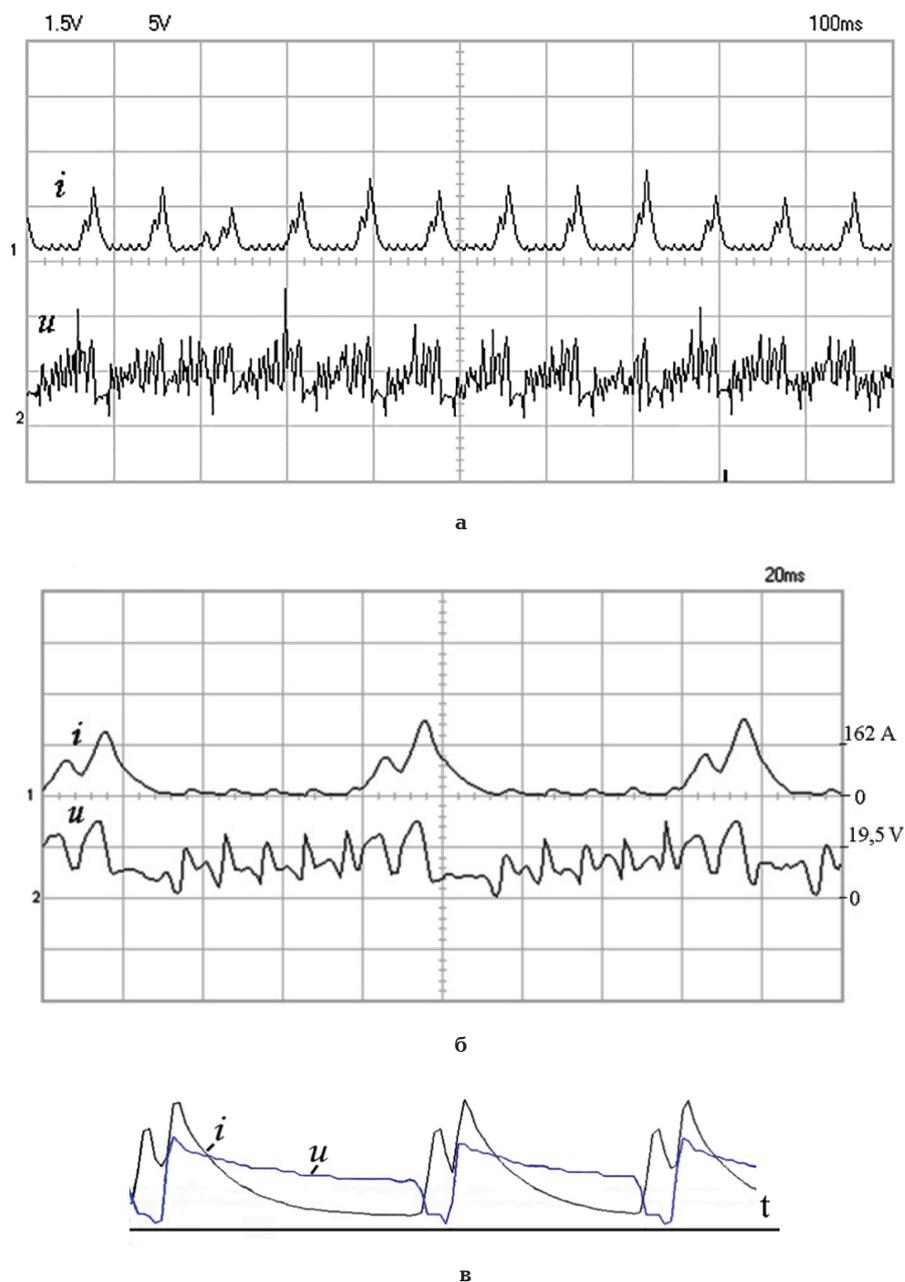


Рис. 6. Осциллограммы горения дуги в импульсном режиме при сварке штучным электродом: а — время записи 0,2 с; б — 1 с; в — при сварке способом SteelRoot

линие которой приведет к погасанию. Кратковременное первичное повышение тока способствует увеличению количества жидкого металла на электроде и сокращению длины дуги, а вторичное обеспечивает образование капли, которая на спаде тока пульсации переходит в сварочную ванну под действием сил поверхностного натяжения без существенного увеличения проплавления. Такие особенности процесса переноса позволяют производить сварку стыков тонкостенного металла на весу. Внешний вид сварного шва, сечение наплавленного металла и стыкового соединения, сваренного «на весу», представлены на рис. 7.

При этом техника сварки покрытым электродом подобна технике при сварке в защитных газах «холодной дугой». Для устойчивого процес-

са без разбрызгивания необходимо нахождение электрода в центре сварочной ванны при невысоком темпе сварки. Это обеспечивает снижение скорости охлаждения разогретого дугой торца электрода, повышая длительность дугового разряда на малых токах. Увод электрода в хвостовую часть сварочной ванны приводит либо к «примерзанию» электрода, либо, если этот момент совпадает с увеличением тока, к разбрызгиванию. Лучшие результаты достигаются на прямой полярности, так как в этом случае проявляются все положительные свойства дуги на малых токах, описанные в работе [13]. Это связано с движением сварочной ванны на прямой полярности к образуемой капле и «снятием» [6] ее, а также с повышением остаточной массы жидкого металла после перехода капли в сварочную ванну [11].

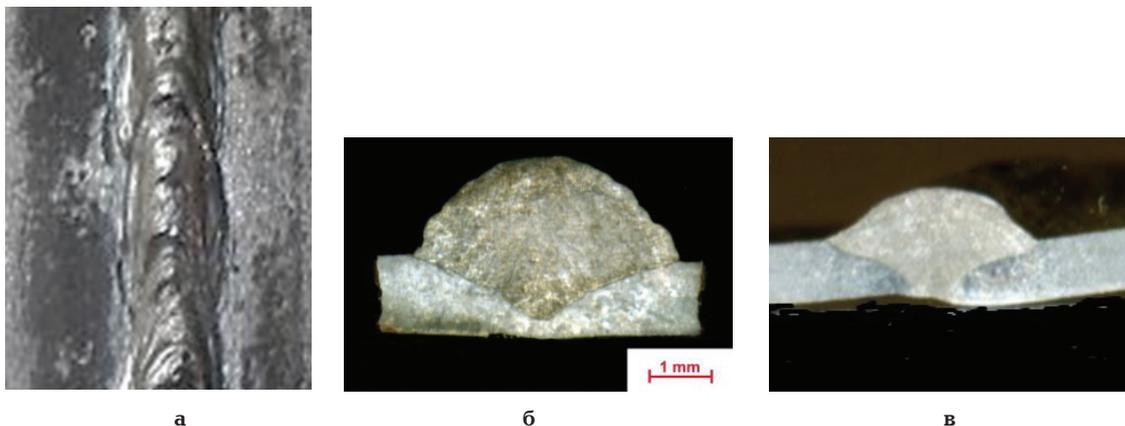


Рис. 7. Особенности формирования швов: внешний вид сварного шва — а; сечение наплавленного металла — б; сечение сварного стыка, сваренного «на весу» при толщине листа 1 мм — в

На основании проведенных экспериментов предложена схема управления однофазным выпрямителем, применение которой обеспечивает наплавку и сварку тонколистовых конструкций без снижения диаметра покрытого электрода по аналогии с известными процессами для сварки в среде защитных газов.

При этом для ручной дуговой сварки подбор параметров режима позволяет обеспечить устойчивый квазистационарный процесс плавления и переноса электродного металла без введения дополнительных аналоговых или цифровых обратных связей и коммутационных устройств снижения тока.

Библиографический список

1. Fronius International GmbH // Технологический центр Тена. URL: <http://www.tctena.ru> (дата обращения: 16.06.2013).
2. Мухин В. Ф., Еремин Е. Н. Источники питания и мультисистемы для современных технологических процессов сварки плавящимся электродом: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 94 с. ISBN 978-5-8149-1724-9.
3. Дедюх Р. И., Киселев А. С. Повышение стабильности параметров процесса дуговой сварки покрытыми электродами на малых токах // Сварочное производство. 2004. № 7. С. 3–6.
4. Мейстер Р. А., Мейстер А. Р. Сварочные свойства однофазных выпрямителей: моногр. Красноярск: СФУ, 2011. 169 с. ISBN 978-5-7638-2145-1.
5. Сагиров Д. Х. Механизированная сварка короткой дугой // Сварочное производство. 2006. № 2. С. 29–31.
6. Мазель А. Г. Технологические свойства электросварочной дуги. М.: Машиностроение, 1969. 178 с.
7. Сварочные генераторы для ручной дуговой сварки // Welding.su. URL: http://www.welding.su/articles/sources/sources_27.html (дата обращения: 15.04.2016).
8. Мухин В. Ф., Еремин Е. Н. Однофазный сварочный выпрямитель с релейной обратной связью // Сварочное производство. 2007. № 9. С. 3–5.
9. Мухин В. Ф., Руденко С. Е., Сумленинов В. К. Применение релейной обратной связи по току в тиристорных выпрямителях для ручной дуговой сварки // Динамика систем, механизмов и машин. 2012. № 2. С. 284–287.
10. Милютин В. С., Катаев Р. Ф. Сварочные свойства оборудования для дуговой сварки. М.: НАКС Медиа, 2016. 457 с. ISBN 978-5-600-01408-4.
11. Потапьевский А. Г., Лившиц М. Г., Кассов Д. С. [и др.]. К вопросу о переносе металла короткими замыканиями // Сварочное производство. 1976. № 6. С. 53–54.
12. Крампит А. Г., Зернин Е. А., Крампит М. А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 4–11.
13. Werner K. Probleme des CO₂ – Minuspolschweißens // ZIS-Mitt. 1977. Vol. 19, Issue 6. P. 716–721.

МУХИН Василий Федорович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Оборудование и технология сварочного производства».

SPIN-код: 9796-0360

AuthorID (РИНЦ): 684063

ЕРЕМИН Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение», директор машиностроительного института.

SPIN-код: 2894-2461

AuthorID (РИНЦ): 175269

ORCID: 0000-0001-7357-8194

AuthorID (SCOPUS): 6603904601

ResearcherID: J-4245-2013

ФИЛИППОВ Юрий Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Оборудование и технология сварочного производства».

SPIN-код: 4766-1795

AuthorID: 175491

AuthorID (SCOPUS): 3705205190

Адрес для переписки: weld_techn@mail.ru

Для цитирования

Мухин В. Ф., Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. Импульсная технология для ручной дуговой сварки покрытым электродом тонкостенных конструкций // Омский научный вестник. 2019. № 2 (164). С. 5–10. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-164-5-10.

Статья поступила в редакцию 21.03.2019 г.

© В. Ф. Мухин, Е. Н. Еремин, Ю. О. Филиппов