

В порядку обговорення

ОСОБЛИВОСТІ ДУГИ З ІМПУЛЬСНИМ САМОРЕГУЛЮВАННЯМ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДА ПРИ РУЧНОМУ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

С.Ю. Максимов, В.С. Сидорук, Д.М. Кражановський

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Стаття присвячена проблемі забезпечення стабільності процесу дугового плавлення електрода стосовно технології зварювання або наплавлення. Було запропоновано використати джерело струму, зібране із серійно виготовлених комплектуючих. Особливість запропонованого джерела полягає у тому, що це – джерело пульсуючого струму постійної напруги, яке живиться від побутової однофазної електромережі напругою 220 В. Показано, що процес був однаково стабільний як у разі механізованого зварювання у вуглекислому газі, так і ручного зварювання електродами для постійного струму на режимах, суттєво менших за рекомендовані розробниками електродних матеріалів. Запропонована схема джерела живлення забезпечує можливість варіювати значення струму в широких межах, що дозволить розширити технологічні можливості зварювання, у тому числі по більших зазорах між кромками і у різних просторових положеннях. Бібліогр. 15, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: саморегулювання, процес плавлення електрода, електричні параметри, коливальний характер дуги, перетікання краплі, складене джерело струму, вольт-амперна характеристика, осцилограма, гістограма, розривна довжина дуги

В основі дугового зварювання плавленням, як і споріднених процесів (наплавлення, паяння, переплав), лежить плавлення металевго електрода під дією дуги. Дугове плавлення електрода – нестационарний процес: утворення, відрив від кінця електрода і перенос краплі розплавленого металу через міжелектродний (дуговий) проміжок; несталість довжини дуги і т. д. Існує проблема керування цим процесом для збереження його стабільності. Характерні явища, що означають втрату стабільності: надмірне збільшення довжини дуги – до її природнього обриву і зменшення довжини дуги – до короткого замикання електрода на виріб.

Відомі дві можливості збереження стабільності: активне керування і саморегулювання процесу плавлення електрода.

Активне керування відоме у двох варіантах: ручне і автоматичне.

Автоматичне керування, як правило, відтворює алгоритми ручного керування засобами автоматизації. У цьому випадку у зварювальному комплексі існує крім зварювального апарата і джерела живлення третій компонент – блок керування процесом. Пріоритет на такий спосіб зварювання належить фірмі General Electric Company, P. Nobel (1920 р.) [1].

У ті часи автоматичне керування відносилось до дугового зварювання довгою дугою, переважно

під флюсом, при якому коротке замикання електрода сприймалося як катастрофа – припинення дугового процесу. В останні роки стосовно до дугового зварювання в захисних газах розроблена значна кількість процесів з автоматичним керуванням, при яких дуга періодично перемикається керованими короткими замиканнями електрода через краплю розплавленого металу [1].

Назвемо найбільш відомі.

1. STT (Surface Tension Transfer) – перенос металу поверхневим натягом [2]. Процес був запатентований фірмою Lincoln Electric Company у 1988 р. і реалізується в промисловості з 1994 р.

2. Адаптивні імпульсні процеси зварювання і наплавлення, автор Ю. М. Сарасєв [3].

3. СМТ (Cold Metal Transfer) – перенос «холодного» металу [4].

4. Автоматичне зварювання і наплавлення з використанням джерела живлення із цифровим керуванням, що відрізняється можливістю створювати зовнішню (вольт-амперну) характеристику у вигляді багатосекційної ламаної лінії [5]. Автори називають її самоадаптивною замкненою системою автоматичного керування зварювальною дугою.

Автоматичне керування зварювальною дугою забезпечує найвищу якість зварювання і незамінне при виготовленні особливо відповідальних конструкцій, переважно з тонколистового металу і з різнопрідних металів.

У масовому виробництві, а також в умовах індивідуального виробництва, зокрема, на малих підприємствах, зварювання з автоматичним керуванням поки що не конкурентне в порівнянні зі зварюванням із саморегулюванням.

Саморегулювання відрізняється від активного керування тим, що зварювальний комплекс не має у своєму складі блоку керування. Стабільність процесу зберігається завдяки тому, що джерело живлення зроблено таким чином, що воно спонтанно (мимовільно) реагує на ситуацію в дузі, причому однозначно: усякій зміні довжини дуги, а відповідно і її напруги відповідає зміною струму, спрямованою у протилежну сторону. Зі зменшенням довжини дуги (при постійній швидкості подачі електрода) джерело збільшує струм, завдяки чому швидкість плавлення електрода зростає, і довжина дуги збільшується до заданого значення. У випадку збільшення довжини дуги проти заданої реакція джерела протилежна: зменшення струму, і відповідно – зниження швидкості плавлення електрода.

Принцип саморегулювання дуги був запропонований в ІЕЗ ім. С. О. Патона В. І. Дятловим у 1942 р. [6].

Разом з тим «класичний» спосіб саморегулювання має серйозний недолік: він працює, як показав Б. Є. Патон [7], тільки при досить великій густині струму на електроді. На підставі виробничого досвіду ми встановили, що мінімально можлива густина струму (при автоматичному зварюванні під флюсом маловуглецевим дротом діаметром 5 мм) дорівнює 30 А/мм². При зварюванні в захисних газах вона може перевищувати 100 А/мм².

Виникла необхідність розробити такий алгоритм саморегулювання плавлення електрода, при якому сталість зварювального процесу була б високою при зменшенні густини струму на електроді хоча б як при ручному дуговому зварюванні (12 А/мм²). Це значить, що при зварюванні дротом «великого» діаметра при малій швидкості його подачі дуга не повинна ні обриватися при випадковому збільшенні її довжини, ні згасати в короткому замиканні при зменшенні її довжини.

Ми пішли по шляху об'єднання в одному процесі властивостей ручного дугового зварювання ($VAX_{дж}$ повинна бути крутоспадною, де $U_{x,x}$ у кілька раз вище заданої U_d), із властивістю механізованого зварювання, де $VAX_{дж}$ повинна бути пологоспадною, а $U_{x,x}$ не набагато перевищувати задане значення U_d , при цьому коливання параметрів дуги, з якими багато борються, «гасячи» їх, ми перетворюємо в інструмент технології. Яким чином нам це вдалося? Живленням дуги одночасно від двох джерел: із крутоспадною $VAX_{дж}$ як

для ручного дугового зварювання, і з пологоспадною – як при механізованому.

Оскільки зміна електричних параметрів – напруги та струму у процесі зварювання відбувається імпульсно, запропонований різновид саморегулювання був названий імпульсним [8].

Одна з характерних рис такої дуги – її коливальний характер: довжина дуги періодично зменшується – іноді (при необхідності) – до короткого замикання, після чого знову зростає (що пов'язане з відривом краплі електродного металу, що утворюється на кінці електрода, що плавиться, і переносу її в металеву ванну). У період укорочення дуги (як правило, він збігається з періодом утворення на кінці електрода краплі розплавленого металу) зварювальний струм зростає, і якщо крапля, не встигнувши відділитися від електрода, торкається металевої ванни, «примержання» електрода не відбувається завдяки вже стрибкоподібному в цей момент збільшенню струму в порівнянні зі «звичайною» амплітудою.

Цей період у циклі коливання довжини дуги має істотне значення. На відміну від процесу плавлення електрода на довгій дузі, коли крапля відділяється від кінця електрода і переноситься у зварювальну ванну через міжелектродний проміжок, тут крапля «стікає» з кінця електрода безпосередньо в металеву ванну. Таке відбувається при зварюванні на короткій дузі з періодичними короткими замиканнями, причому плавлення електрода в такі моменти не припиняється, інакше відбувалося б його «примержання» до виробу, що зварюється. На відміну від чисто дугового плавлення тут у періоди коротких замикань відбувається інший процес – контактного плавлення [8]. Періоди дугового і контактного плавлення чергуються із частотою коротких замикань електрода.

Процесом контактного плавлення можна управляти, для цього в електричній схемі джерела живлення необхідно передбачити третю складову, так сказати, третє джерело. Його основні характеристики: мала напруга холостого ходу (не більш суми катодного і анодного спадань напруги), жорстка вольт-амперна характеристика, великий струм короткого замикання.

Такий алгоритм надзвичайно ефективний для механізованого дугового зварювання з постійною швидкістю подачі електрода, де мінімальна припустима густина струму на електроді може бути зменшена в порівнянні із традиційним механізованим зварюванням у кілька раз, іноді – на порядок.

Разом з тим цей же алгоритм виявився досить корисним і затребуваним для ручного дугового зварювання/наплавлення покритими електродами.

Спорідненість алгоритмів реагування джерела живлення на ситуацію в дузі для механізованого дугового зварювання/наплавлення – з однієї сторони і для ручного – з іншої відкриває гарну перспективу для побудови універсальних джерел живлення, придатних як для механізованого, так і для ручного дугового зварювання – з відповідним вибором параметрів реагування джерела живлення.

Більше того, виявляється можливим створити джерело живлення для зварювання/наплавлення постійним струмом (точніше струмом постійної полярності), що підключається до однофазної мережі 220 В (по суті «побутової мережі»), що може залучити інтерес широкого кола користувачів, і не тільки на промислових підприємствах.

У даній роботі приводяться результати експериментів із застосуванням джерела постійної полярності, що підключається до «побутової» мережі 220В, побудованого на базі – увага! – трьох серійних трансформаторів із жорсткою вольт-амперною характеристикою і малою напругою холостого ходу 14 В: два ОСМ1–1,0 кВА та один ОСМ1–1,6 кВА.

Нижче приводиться один з варіантів схеми пропонованого «складеного» джерела живлення у варіанті із трьома низьковольтними трансформаторами на вторинну напругу 14 В, що послужили базою для трьох функціональних блоків ФБ «комбінованого» джерела (рис. 1). Ці блоки різняться формами вольт-амперних характеристик: перший – крутоспадної форми з підвищеною напругою холостого ходу U_{xx} дуги, що забезпечує сталість дуги на малому струмі при збільшеній її напрузі, другий – пологоспадної форми із середньою напругою U_{xx} , що забезпечує стійке горіння дуги на заданому «робочому» струмі, третій – із жорсткою вольт-амперною характеристикою, що забезпечує «гарячий старт» і контактне плавлення електрода. Трансформатори підключені первинними обвитками паралельно до електромережі, а їх вторинні обвитки з'єднані послідовно, завдяки чому множиться їхня вторинна напруга (холостого ходу) на загальне число вторинних обмоток. Оскільки кожний із трансформаторів має по дві вторинні обвитки з напругою 14 В, а таких трансформаторів 3, сумарна напруга холостого ходу всіх вторинних обмоток становить 84 В. Разом з випрямним блоком В1 і помножувачем напруги ПН1 ці обвитки утворюють функціональний блок ФБ1. Помножувач ПН1 використовують, коли необхідно додатково підняти U_{xx} джерела. «Круте падіння» ВАХ створюється дроселем ДР₁ і додатково – ДР₂.

Другий функціональний блок ФБ2 з пологоспадною ВАХ містить 4 послідовно включених вторинних обмоток трансформаторів, випрямний блок В2 і частину обмоток дроселя ДР₂.

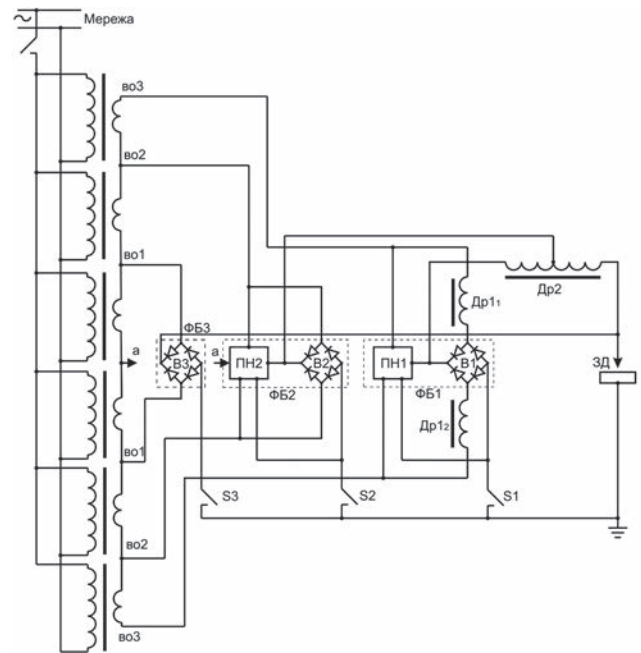


Рис. 1. Схема пропонованого «складеного» джерела живлення

Третій функціональний блок ФБ3 із жорсткою ВАХ містить 2 послідовно включені вторинні обмотки трансформаторів і випрямний блок В3.

Помітимо ще раз: згадані помножувачі напруги використовують, коли необхідно для підвищення сталості процесу підняти напругу холостого ходу на відповідному функціональному блоці джерела живлення.

Той факт, що експериментальне складене джерело живлення – однофазового підключення, і що в періоди зміни полярності струм падає до нуля, можна припустити, що стабільність процесу плавлення електрода повинна бути низькою, що робить дане джерело живлення непридатним для зварювання. Проте, експерименти показали, що це «нестандартне» джерело забезпечило сталий процес як ручного зварювання, так і механізованого у вуглекислому газі.

Використовувалися покриті електроди, придатні як для зварювання постійним струмом (УОНИ-13/55, ОЗЛ-8), так і змінним (АНО-24).

Паралельно – для порівняння – виконували експерименти з живленням від серійного випрямляча ВДУ-306.

Методика експериментів полягала в тому, що в процесі горіння дуги за допомогою інформаційно-вимірювальної системи ІВС записували із частотою 10 кГц осцилограми струму і напруги дуги (рис. 2, 3). Система обробляла за спеціальною програмою ці параметри і видавала по запиту графічне відображення в координатах $U-I$ їх конкретних значень, зафіксованих у різні моменти (останнє одержало назву вольт-амперна характеристика процесу плавлення електрода) (рис. 4).

Крім того, система видавала гістограми цих параметрів (кількість зафіксованих їхніх значень залежно від амплітуди) – рис. 5.

Розшифрування цих відображень дається нижче.

На рис.2 представлені осцилограми струму і напруги для електродів марки АНО-24 діаметром 3 мм із живленням від дослідного джерела, а на рис.3 – для електродів марки ОЗЛ-8 діаметром 3 мм із живленням як від дослідного джерела (рис. 3, а), так і від серійного ВДУ-306 (рис. 3, б).

На цих рисунках можна бачити «хвилеподібний» характер осцилограм, особливо струму.

Як можна бачити з рис. 2, коливання дуги не строго періодичні, їх частота коливається в межах від 9 Гц (див. момент 9,5 с) до 23 Гц (момент 9,75 с). Короткі замикання через краплі електродного металу відбувалися в моменти 8,97 с; 9,136; 9,33 і т. д. У той час, як «звичайна» амплітуда струму дуги становила 150 А, значення імпульсів струму в моменти замикання краплі на металеву ванну, як правило, перевищували 250 А и сягали 450 А (наприклад, момент 9,33 с), при тому, що середнє значення струму було близько 80 А, тобто імпульси струму в моменти коротких замикань перевищували середнє значення струму в 3,0...5,6 раз. Природньо, що при таких імпульсах струму ні про яке «примержання» не може бути й мови.

Пилкоподібний імпульсний характер осцилограм із частотою 100 Гц відповідає промисловій частоті струму 50 Гц.

Напруга зварювання в процесі коливання дуги перебувала в межах 20...30 В, за винятком окремих «моментів»: до значень близько 4 В при коротких замиканнях.

Чудова сталість дуги при такій «рваній» формі осцилограм струму і напруги, яку можна бачити на рис. 2, входить у суперечність з існуючими канонічними уявленнями про стабільність дуги: безперервність осцилограм струму і напруги при незначних їхніх відхиленнях від середнього значення, особливо, що стосується напруги дуги, і ставить на порядок денний формулювання умов стабільності процесу плавлення електрода при дуговому зварюванні з імпульсним саморегулюванням цього процесу.

Описаний вище коливальний процес плавлення електрода корисний з технологічної і виробничої позицій по декількох міркувань.

По-перше, зменшується окиснення краплі електродного металу атмосферою дуги за рахунок скорочення довжини «вільного її пробігу» через дуговий проміжок. По-друге, чергування протягом циклу коливання дуги підвищеного струму – при вкороченні, і підвищеної напруги – при подовженні дуги забезпечує, з одного боку, надійний провар основного металу, з іншого боку – прийнятне формування валика шва. По-третє, зсув режиму в область менших напруг створює передумови для скорочення витрати електроенергії (енергоекономії).

Останнє ілюструється результатами експериментів з використанням електродів марки ОЗЛ-

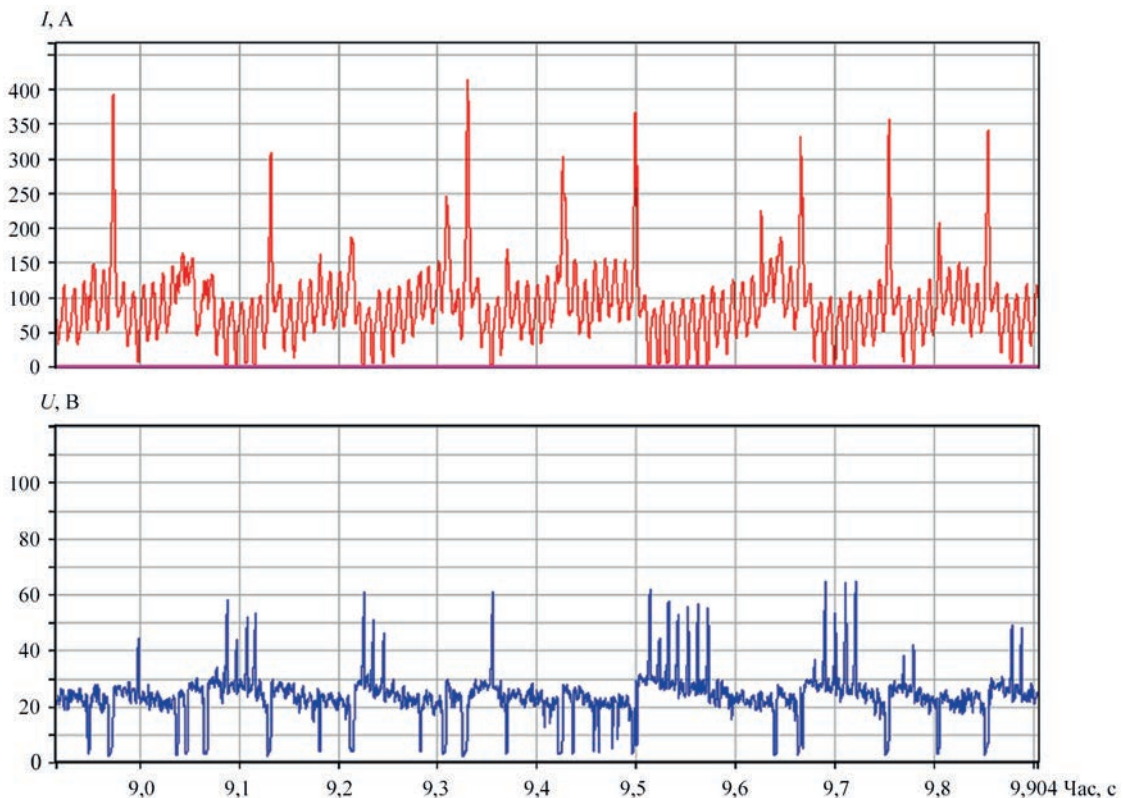


Рис. 2. Осцилограми струму і напруги процесу зварювання електродами марки АНО-24 діаметром 3 мм

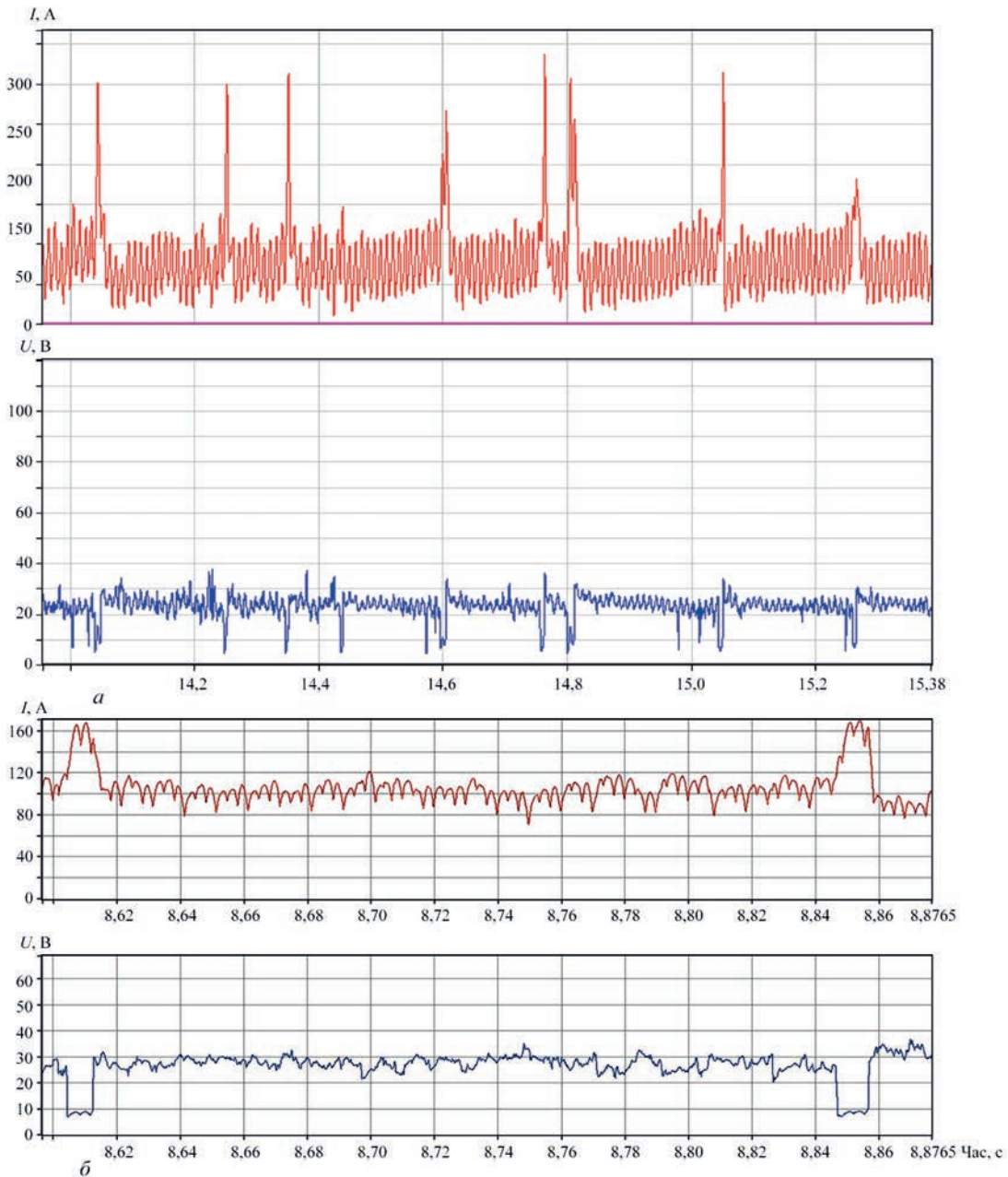


Рис. 3. Осцилограми струму і напруги, отримані при зварюванні від дослідного (а) та джерела живлення ВДУ-306 (б) з використанням електродів марки ОЗЛ-8 діаметром 3 мм

8 діаметром 3 мм. Зварювання виконували по черзі від двох джерел (для порівняння): від дослідного і від серійного ВДУ-306. На рис. 3, а показані осцилограми струму і напруги, отримані при зварюванні від дослідного джерела, на рис. 3, б – те ж – від серійного ВДУ-306. Видно, що в порівнянні з дослідним джерелом дуга від ВДУ-306 характеризується коливаннями струму і напруги з незначними амплітудами, що свідчить про режим зварювання на довгій дузі. Виключення становлять епізоди в проміжках часу, близькими до моментів 8,59657 і 8,62 с, а також між 8,84 і 8,86 с – короткі замикання через краплі електродного металу (частота замикань близько 4 Гц).

Порівняння вольт-амперних характеристик процесів (рис. 4, а, б) дозволяє встановити істотні відмінності між ними. Якщо при зварюванні від ВДУ-306 область існування режимів розташовується в зоні напруг 18...38 В в діапазоні струмів зварювання від 70 до 125 А при середньозваженому значенні струму близько 97 А (рис. 4, б), то аналогічні показники для дослідного джерела становлять по напрузі 13...30 В, а по струму – 30...160 А при середньозваженому значенні струму близько 88 А. Видно, що область режимів від дослідного джерела розташовується по напрузі значно нижче, чим від ВДУ-306. Так, при струмі 75 А напруга дуги перебувала в різні моменти на дослідному джерелі в області від 13 до 30 В

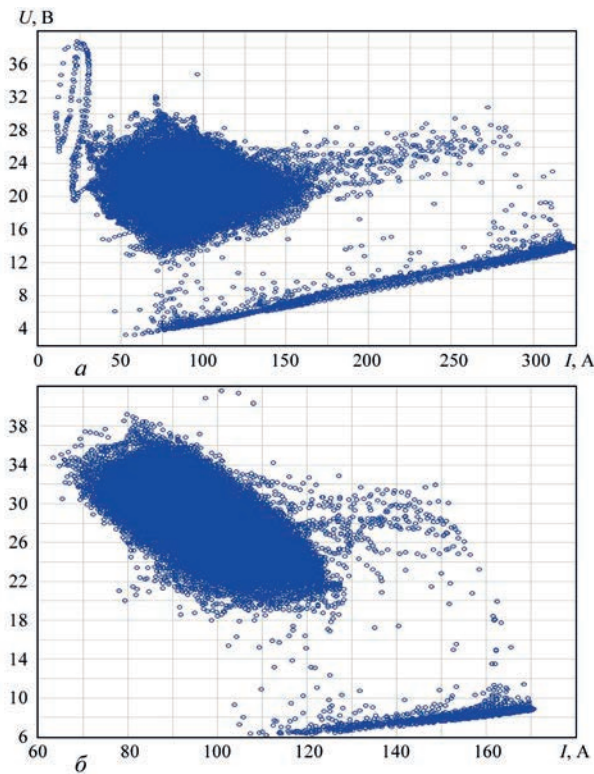


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика процесу зварювання від дослідного (а) та джерела живлення ВДУ-306 (б) з використанням електродів марки ОЗЛ-8 діаметром 3 мм

(в середньому – 21,5 В) (рис. 4, а), а від ВДУ-306 – відповідно від 28 до 36 В, в середньому – 32 В, (рис. 4, б), тобто майже в 1, 5 рази вище. Відповідно витрата енергії на дугу при тому самому струмі при зварюванні від ВДУ-306 в 1, 5 рази більше, ніж від дослідного джерела.

Інша особливість порівнюваних режимів: при використанні дослідного джерела частка енергії, що витрачається на плавлення електрода в моменти коротких замикань (це – контактне плавлення, ця область режиму плавлення розташовується окремо в нижній частині вольт-амперної характеристики у вигляді висхідної темної смуги) набагато більше, чим від ВДУ-306: тут вона охоплює область струмів короткого замикання від 75 до 325 А, у той час як від ВДУ-306 – від 115 до 170 А. Оскільки спадання напруги при коротких замиканнях в 2,6...5,0 рази менше, ніж дуги при тих же значеннях струму, то і витрата на контактне плавлення відповідно менша, ніж на дугове. А це – додатковий канал економії електроенергії.

Характерні параметри дуги при експериментальному зварюванні

Марка електрода	Параметри дуги				
	«Установлені» значення		Значення в момент розриву дуги		
	Струм дуги I_d , А	Напруга дуги U_d , В	«Розривна» довжина дуги L_d , мм	«Розривна» напруга $U_{рл}$, В	«Розривний» струм $I_{рл}$, А
АНО-24	63	23	18	38	36
УОНИ-13/55	68	23	16	40	40
ОЗЛ-8	68	23	14	40	40

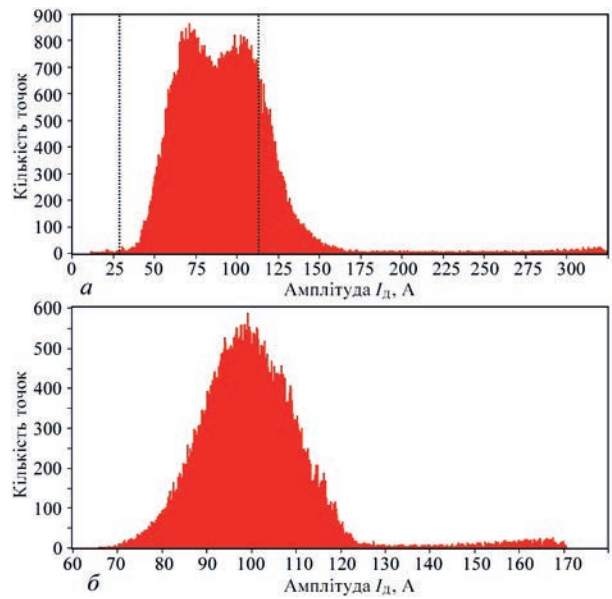


Рис. 5. Гістограма струму процесу зварювання електродами ОЗЛ-8 з живленням від дослідного (а) та серійного джерела ВДУ-306 (б)

Нижче надається таблиця характерних параметрів дуги при експериментальному зварюванні на мінімальних «установлених» значеннях зварювального струму для електродів різних марок діаметром 3 мм – із примусовим розривом дуги.

З таблиці випливає, що «установлене» значення струму малоамперної дуги при зварюванні від дослідного джерела суттєво нижче межі його паспортного значення для трьох наведених марок електродів при тому, що довжина дуги в моменти примусового розриву суттєво більше нормативного значення 2...4 мм.

Слід відмітити, що у всіх випадках зварювання, наведених у таблиці, запалювання дуги було надійне (незважаючи на низьке значення «установлено» струму), і горіння дуги було стабільним.

Тут наведений усього лише один варіант розробленої технології: ручне дугове зварювання. Показані деякі результати експериментів з використанням дослідного («саморобного») джерела постійного струму, що живиться від однофазної («побутової») мережі, і зібраного із серійних виробів: понижувальні трансформатори із жорсткою вольт-амперною характеристикою, з невлавним для зварювальної технології низькою напругою холостого ходу 14 В (звичайно застосовуваних у системах керування), діоди (можливі тиристри), дросель та ін.

На сьогодні вже пророблені деякі інші варіанти розроблюваної технології: механізоване дугове зварювання з постійною швидкістю подачі електродного дроту, спареними електродами, з комбінацією пластинчастого і дровового електрода та ін.

Отримано деякі обнадійливі результати: зменшуються вигоряння легуючих елементів і витрата електроенергії, подрібнюється мікроструктура металу шва і біляшовної зони і т. д.

Частина запропонованих технічних рішень захищена патентами ([9], [15]).

Можна відмітити, що подібне явище спостерігається і при електрошлаковому зварюванні.

Висновки

1. Експерименти зі зварювання покритими електродами різних марок з живленням від дослідного джерела, побудованого відповідно до принципу імпульсного саморегулювання дуги, показали гарне збудження дуги навіть за умови малого встановленого номінального струму, що забезпечується більшим значенням струму короткого замикання – до 450 А, а також гарну сталість дуги, що підтверджується великою її довжиною в момент примусового розриву – до 14...18 мм у порівнянні з нормативним значенням довжини дуги 2...4 мм при тому, що струм дуги був нижче його паспортного значення.

2. Оскільки експерименти були успішні з використанням джерела постійного струму (точніше, струму постійної полярності), що живиться від однофазної мережі 220 В («побутової»), користувачами такого джерела і пропонувані технологічні рішення можуть бути малі підприємства і фізичні особи.

3. Технологія припускає можливість виконувати зварювання на струмах, суттєво менших їхнього паспортного значення, при збереженні відмінного збудження і гарної стабільності дуги, що дозволяє відмовитися в деяких випадках від використання дефіцитних електродів малого діаметра.

4. Можливість варіювати значення струму в широких межах дозволяє розширити технологічні можливості зварювання, у тому числі по більших зазорах між кромками, у різних просторових положеннях, зварюванні різномірних металів, наплавленні та ін.

5. Оскільки параметри дуги при рівних струмах від дослідного джерела зміщені в порівнянні з ВДУ-306 в область менших напруг, розроблювана технологія дає реальну можливість заощаджувати електроенергію.

Список літератури

1. Pogrebisky, David M. (2016) *Welding of Metals: Classification Brief History*, development. INSTY PRINTS, Jerusalem.

- Bruce D, DeRuntz (2003) Assessing the Benefits of Surface Tension Transfer ® Welding to Industry. *J. of Industrial Technology*, **19**, 4, 2–7.
- Сараєв Ю.Н. (1995) *Разработка адаптивных импульсных технологических процессов сварки и наплавки. Автореферат дис. ... д-ра техн. наук.* Москва, ЦНИИТМАШ.
- Hacke, H., Himmelbauer, K. (2005) The CMT-Process-A Revolution in Welding Technology. *IW Doc. № XII-1875–05*.
- Zhimihng OU., Yong W., Masao U., Manabu T. (1999) New Concept for the Characteristic of an Arc Welding Power Source (Report II) *Trans. JWRI*, **28**, 1, 26–38.
- Paton E.O. (1956) *Воспоминания* (Держ. вид-во худ. літ-ри). Київ.
- Paton B.E. (1952) Self – regulation of arc welding using consumable electrode. *Аvtomaticheskaya Svarka*, **1**, 38–45.
- Paton B., Sidoruk V., Maksimov S. (2016) *Pulsed self regulation melting of electrode process*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.
- Патон Б.Є., Кривцун І. В., Сидорук В. С., Максимов С. Ю., Колесник Г. Ф. (2014) *Спосіб дугового зварювання, наплавлення або паяння електродом, що плавиться, та джерело струму для його здійснення*. Україна, Пат. 104214.
- Патон Б.Є., Сидорук В. С., Максимов С. Ю., Ключко Р. І., Кражановський Д. М. (2014) *Спосіб електричного дугового зварювання, паяння або переплаву плавким електродом з модуляцією параметрів режиму*. Україна, Пат. 106293.
- Патон Б.Є., Сидорук В. С., Максимов С. Ю., Колесник Г. Ф., Явдошин І. Р., Марченко А. Ю. (2015) *Спосіб ручного дугового зварювання або наплавлення покритими електродами з модуляцією параметрів дуги*. Україна, Пат. 110397.
- Максимов С.Ю., Сидорук В. С., Коротинський О. Є., Колесник Г. Ф., Кражановський Д. М., Захарченко С. А. (2016) *Спосіб ручного дугового зварювання або наплавлення модульованим струмом з керуванням параметрами дуги*. Україна, Пат. 110556.
- Патон Б.Є., Максимов С. Ю., Сидорук В. С. (2017) *Спосіб електродового механізованого зварювання у вертикальному та/або похилому положеннях з імпульсним саморегулюванням процесу плавлення електрода*. Україна, Пат. 113883.
- Патон Б.Є., Колесник Г. Ф., Максимов С. Ю., Сидорук В. С., Коротинський О. Є. (2017) *Джерело струму для дугового зварювання, наплавлення або паяння плавким електродом*. Україна, Пат. 114908.
- Патон Б.Є., Сидорук В. С., Максимов С. Ю. (2017) *Джерело струму для дугового зварювання, наплавлення або паяння віддалених конструкцій*. Україна, Пат. 114938.

References

- Pogrebisky, D.M. (2016) *Welding of metals: Classification, brief history, development*. INSTY PRINTS, Jerusalem.
- Bruce, D., DeRuntz (2003) Assessing the benefits of surface tension transfer ® welding to industry. *J. of Industrial Technology*, **19** (4), 2–7.
- Saraev, Yu.N. (1995) *Development of adaptive pulsed technological processes of welding and surfacing*. In: *Syn. of Thesis for Dr. of Techn. Sci. Degree*. Moscow, TsNIITMASH [in Russian].
- Hacke, H., Himmelbauer, K. (2005) *The CMT-process – a revolution in welding technology*. IW Doc. XII-1875–05.
- Zhimihng, Ou, Yong, W., Masao, U., Manabu, T. (1999) New concept for the characteristic of an arc welding power source (Report II). *Trans. JWRI*, **28** (1), 26–38.
- Paton, E.O. (1956) *Memoirs*. Derzh. Vyd-vo Khud. Lit-ry, Kyiv [in Russian].
- Paton, B.E. (1952) Self-regulation of arc welding using consumable electrode. *Аvtomatich. Svarka*, **1**, 38–45 [in Russian].
- Paton, B., Sidoruk, V., Maksimov, S. (2016) *Pulsed self regulation melting of electrode process*. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbruecken, Germany.

9. Paton, B.E., Krivtsun, I.V., Sydoruk, V.S. et al. (2014) *Method of arc welding, surfacing and soldering using consumable electrode and current supply for its realization*. Pat. Ukraine 104214 [in Ukrainian].
10. Paton, B.E., Sydoruk, V.S., Maksymov, S. Yu., Klochko, R.I. et al. (2014) *Method of electric arc welding, soldering or remelting using consumable electrode by modulation of mode parameters*. Pat. Ukraine 106293 [in Ukrainian].
11. Paton, B.E., Sydoruk, V.S., Maksymov, S. Yu. et al. (2015) *Method of manual arc welding or surfacing with coated electrodes by modulation of arc parameters*. Pat. Ukraine 110397 [in Ukrainian].
12. Maksymov, S. Yu., Sydoruk, V.S., Korotynskiy, O.A. et al. (2016) *Method of manual arc welding or surfacing by modulated current with control of arc parameters*. Pat. Ukraine 110556 [in Ukrainian].
13. Paton, B.E., Maksymov, S. Yu., Sydoruk, V.S. (2017) *Method of electric arc mechanized welding in vertical and/or inclined positions with pulsed self regulation of electrode melting process*. Pat. Ukraine 113883 [in Ukrainian].
14. Paton, B.E., Kolesnik, G.F., Maksymov, S. Yu. et al. (2017) *Current supply for arc welding, surfacing or soldering using consumable electrode*. Pat. Ukraine 114908 [in Russian].
15. Paton, B.E., Sydoruk, V.S., Maksymov, S. Yu. (2017) *Current supply for arc welding, surfacing or soldering of remote structures*. Pat. Ukraine 114938 [in Ukrainian].

FEATURES OF ARC WITH PULSED SELF-REGULATION OF ELECTRODE MELTING PROCESS IN RELATION TO MANUAL ARC WELDING

S. Yu. Maksimov, V.S. Sydoruk, D.M. Krazhanovsky

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

11 Kazymyr Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kyiv.ua

Article deals with the problem of providing stability of the electrode arc melting process with respect to welding or surfacing technology. The task of the work is to find a technical solution to the use of the method of pulsed self-regulation of the electrode melting process previously proposed for mechanical welding and surfacing, in manual arc welding using coated electrodes. To solve the specified problem, it was proposed to use a current source assembled from serially manufactured components, in particular, transformers of the brand OSM with the power of 1 and 1.6 kVA with the idle voltage of 14 V. The electric parameters of the arc and the peculiarities of the electrode melting process were experimentally studied in comparison with those that occur in the case of using the traditional current source VDU-306. The peculiarity of the proposed source is that it is a source of pulsating DC voltage, which is powered from 220V single-phase mains. It was shown that the process was equally stable both in case of mechanised welding in carbon gas, as well as during manual welding using electrodes for direct current under the conditions, which are substantially lower than those recommended by the developers of electrode material. The proposed circuit of power supply provides the ability to vary the value of the current over a wide range, which will extend the technological possibilities of welding, including larger gaps between the edges and in different spatial positions. As compared to the process of welding with the power from VDU-306, welding from an experimental source is more power-saving. The circuit diagram can be of interest to both small enterprises as well as to individual entrepreneurs. 15 Ref., 1 Tabl., 5 Fig.

Keywords: self-regulation, electrode melting process, electric parameters, arc oscillatory character, droplet overflow, complex current source, volt-ampere characteristic, oscillation pattern, histogram, breaking arc length

Надійшла до редакції
04.12.2019

Х МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «Математичне моделювання та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах»

Україна, Одеса, готель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.



Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Для участі в конференції необхідно заповнити реєстраційну картку і разом з тезами доповіді направити її в Оргкомітет до 19 червня 2020 р. До початку конференції будуть видані тези доповідей.

Збірники праць дев'яти попередніх конференцій «Математичне моделювання та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах» знаходяться у відкритому доступі на сайті:
<http://patonpublishinghouse.com/rus/proceedings>

Оргкомітет

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
вул. Казимира Малевича 11
м. Київ, 03150, Україна
тел. / факс: (38044) 200-82-77, 205-22-26
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://pwi-scientists.com/rus/mmi2020>

Контрольні дати

Надання заявок на участь та тез доповідей	до 19.06.2020 р.
Розсилка другого інформаційного повідомлення та підтвердження участі	до 17.07.2020 р.
Оплата реєстраційного внеску	до 15.09.2020 р.