



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40334 (13) U
(51) МПК (2009)
B23K 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗПЛАВНОГО ЕЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ТА НАПЛАВЛЕННІ Ю.В. БЕЛОУСОВА

1

2

(21) u200807500

(22) 02.06.2008

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл. № 7, 2009 р.

(72) БІЛОУСОВ ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA, КОРЯГІН ЄВГЕН ІВАНОВИЧ, UA, ОРЛОВА ЛАРИСА ІВАНІВНА, UA, МАРТИНЮК НІКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ
(73) ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) 1. Спосіб керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні, що включає ступінчасте регулювання напруги на дуговому проміжку і пропорційне регулювання лінійної швидкості плавлення електрода, який відрізняється тим, що ступінчасте регулювання лінійної і масової швидкостей безперервного плавлення електрода здійснюють дискретним змінням форми поперечного перерізу безперервного розплавного електрода по його довжині з описаного відрізками ла-

маної лінії контуру на описаний кривою другого порядку та навпаки.

2. Спосіб керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні за п. 1, який відрізняється тим, що процес плавлення починають застосуванням електрода з первісною круглою формою перерізу.

3. Спосіб керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні за п. 1, який відрізняється тим, що процес плавлення починають застосуванням електрода з первісною формою поперечного перерізу, описаного відрізками ламаної лінії контуру.

4. Спосіб керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні за п. 1, який відрізняється тим, що процес плавлення починають застосуванням електрода, початкова частина якого має конусоподібну і пірамідальну форму.

Корисна модель стосується зварювання, наплавлення та споріднених технологій, де використовується зварювальна дуга. Відомо [1. Технологія електрической сварки металлов и сплавов / под ред. Б.Е. Патона, - М.: Машиностроение, 1974, - 768 стр.], що умовою існування дугового процесу плавлення є рівність масової g , г/с, та лінійної V , см/с, швидкостей плавлення:

 $g, \text{ г/с} = V, \text{ см/с}.$ Якщо: а) $V, \text{ см/с} > g, \text{ г/с}$, спостерігаються короткі замкнення та, як наслідок, нестабільне горіння дуги;б) $V, \text{ см/с} < g, \text{ г/с}$, дуга розривається, дуговий розряд унеможливується.Підвищення продуктивності дугового плавлення електродів досягається зазвичай через збільшення потужності дугового процесу $E=UI$. При тому збільшується як швидкість плавлення, так і поперечний переріз зварного шва $F_{\text{шв}}, \text{ см}^2 = f(q)$, де $q = \frac{IU}{V_{\text{зв}}}$ - погонна потужність,

Дж/см.

Відомим є спосіб інтенсифікації дугового плавлення та керування переносом електродного металу шляхом періодичного накладання імпульсів електричної енергії на дугу малої потужності [2. Ленивкин В.А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги, в защитных газах. М. Машиностроение, 1989, - 264 с.]. Найчастіше процес дугового плавлення в даному способі настраюється таким чином, щоб кожний імпульс електричної енергії скидав з торця електрода одну краплю. Якщо частота накладання імпульсів та частота переносу крапель не співпадають, швидкість процесу і якість зварного шва знижуються. Тобто реалізація цього способу потребує додаткового імпульсного джерела енергії з регульованою частотою та потужністю імпульсів.

Примусове ж скидання крапель з торця розплавного електрода здійснюється за допомогою

(13) U

(11) 40334

(19) UA

механічних вібраційних пристроїв [3. Булычев В.В., Голубина С.А. Механизм подачи проволоки для полуавтоматической вибродуговой наплавки // Мат. 8-й международной практической конференции-выставки С.-Петербург, изд. Политехнического университета, 2006, с. 13-18], які зрушують самий електрод, поступно прямуючий з рівномірною швидкістю. Поперечні коливання вільного виставу електрода забезпечують скидання краплі через інерцію її маси. Вібраційні пристрої, перетворюючи рівномірну лінійну швидкість подачі електрода в нерівномірну, мають задовольняти вищенаведених рівності масової та лінійної швидкостей плавлення. Адже потрібні високоточні й достатньо складні вібраційні механізми, налаштування яких має відповідати вимогам фізичного процесу дугового плавлення залежно від потужності дуги і фізичних властивостей дроту.

Відомим є також обраний за прототип спосіб інтенсифікації дугового плавлення шляхом збільшення ширини поперечного перерізу стрічкового електрода зі ступінчастим регулюванням напруги на дуговому проміжку і пропорційним регулюванням лінійної швидкості плавлення електрода [4. Т.Г. Кравцов. Электродуговая наплавка электродной лентой. - М.: Машиностроение, 1978, - 168 с.].

Особливістю плавлення стрічки є те, що активна пляма дуги займає невелике (до 4-х мм) місце на торці електрода, через що лінії струму від розподіленого по усій ширині струмопідвода згущуються до неї. Збільшення ширини стрічкового електрода потребує збільшення зварювального струму, тоді як розмір активної плями дуги практично не змінюється. Цебто припущення щодо підвищення ефективності теплоти Джоуля при одночасному збільшенні ширини та струму на практиці не справджується.

В основу корисної моделі поставлено завдання створити новий спосіб керування плавленням безперервного розплавного електрода, в якому зміненням умов здійснення процесу плавлення досягається підвищення його продуктивності без додаткової електричної потужності.

Для вирішення поставленого завдання в собі керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні, що включає ступінчасте регулювання напруги на дуговому проміжку і пропорційне регулювання лінійної швидкості плавлення електрода, відповідно до корисної моделі ступінчасте регулювання лінійної і масової швидкостей безперервного процесу плавлення електрода здійснюють дискретним змінням форми поперечного перерізу безперервного розплавного електрода по його довжині з описаною відрізками ламаної лінії контуру на описаний кривою другого порядку та навики.

Схема керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні зображена на кресленні, де:

Фіг.1 – раптова зміна поперечного перерізу електрода з круглого на квадратний;

Фіг.2 – раптова зміна поперечного перерізу електрода з квадратного на круглий; на схемі показані: електрод 1, дуга 2, метал 3, крапля 4, джерело живлення дуги 5;

Фіг.3 – діаграма запису струму, де позиції 1-7 режиму зварювання відповідають рядкам табл. на стор. 5.

В процесі безперервного плавлення раптова зміна перерізу електрода спричиняє змінення цілої низки взаємопов'язаних та взаємообумовлених факторів, що впливають на швидкість плавлення. Перехід круглого перерізу в квадратний зменшує площу осередку плавлення, бо круглий осередок плавлення, обмежений ізотермою $T_{пл}$, виявляється вписаним в периметр твердого тіла квадрата. Обмеження площі плавлення різко змінює циклічність процесу краплеутворювання і краплеперенесення, тому що під тиском дуги плоский фронт рідкого металу угинається всередину електрода, набуваючи угнутої форми (див. Фіг.1, 2) Це зменшує товщину рідкого прошарку в центрі осередку плавлення та виключає вихід активної плями дуги на бокову поверхню твердого металу електрода квадратного перерізу, чим покращуються умови теплопередачі енергії дуги, а значить, підвищується масова та лінійна швидкості плавлення.

Таким чином, дискретне діяння на осередок плавлення раповим змінням перерізу електрода, перетворюючи плоский фронт плавлення в угнутий, концентрує теплоту дуги в центрі розплавного електрода квадратного перерізу. Сконцентрована в осередку плавлення енергія дуги викривляє фронт плавлення відповідно до закону розподілення енергії дуги (крива Гауса). Периферійні ж ділянки по кутах квадрата залишаються за межами ізотерми $T_{пл}$ (див. Фіг.1, переріз А-А), бо згідно з відомою властивістю поверхневого натягу рідини вони не досягають у плоскому перерізі квадратного електрода температури плавлення.

Наприклад, для квадратного перерізу $4 \times 4 \text{ мм}^2$

збільшення площі в $\frac{4^2}{\pi \cdot 2^2} = \frac{16}{12,6} \approx 1,27$ рази щодо

перерізу круглого електрода означає збільшення кг провідності дуги та відповідно зварювального струму. Однак експеримент показав, що струм збільшився лише на 4-5%, тобто величина струму практично не змінилася. Виходить, площа плавлення $S_{пл}$ дійсно «стягнута» лінією ізотерми $T_{пл}$, через що не може розвиватися. А значить площа поперечного перерізу Б-Б (Фіг.1), яка дорівнює різниці площ квадрата та круга $16 - 12,6 = 3,4 \text{ мм}^2$ (А-А) плавиться не досягаючи температури $T_{пл}$.

Плавлення периферійних ділянок відбувається від світлової енергії, випромінюваної дугою в радіальному напрямі, а не через активну пляму дуги. Потому світлову енергетику дуги не можна оцінювати в еквіваленті електричній енергії E , пропорційній добутку заміряних відповідним приладом величин струму й напруги $I_A \times U_B$. Це є очевидним на перерізі А-А, де ізотерму $T_{пл}$ представлено відрізками кривих: по мірі віддалення від перерізу Б-Б площа периферійних ділянок зменшується до 0. Тобто 4 периферійні ділянки, наближені за формою до піраміди, плавляться по її висоті, яка являє собою приріст стовпа дуги $\Delta U \sim I_A$.

Отже експеримент показав, що при дискретній зміні круглого перерізу на квадратний масова швидкість плавлення зросла у 1,5 рази, лінійна - у 1,12 (див. таблицю рядок 6) без додаткової елект-

ричної потужності, бо електрична енергія на плавлення периферійних ділянок не витрачається. Плавлення ж об'єму 4-х фігур, наближених до пірамід з трикутною основою та з вершинами у точ-

ках вершин квадрата, здійснюється завдяки випромінюванню дуги, яке не залежить від електричних параметрів дугового процесу.

Таблиця

N п/п	Характеристика частин електрода				Час t, c	Струм зварювання $I_{св}, A$	Макрохарактеристики плавлення			
	S, mm^2	L, cm	m, g	m/L			$j=I/S$	$v, cm/c$	$g, g/cm$	$Q, z/Aч$
1	□ 9	50	35	0,7	7	575±15	63,8	5,21	3,65	22,82
2					3	330...660		1,63	1,18	1,24
3	○12,6	25	24	0,96	7,8	600 15	47,6	3,2	3,07	18,46
4					2	515...662		1,6	1,15	1,49
5	□ 16	30	40	1,33	15	600 15	37,5	2,0	2,66	16,06
6					~0,5	575+25		1,12	1,5	1,43
7	○12,6	9,7/300	9,7	0,99	5,4/11	575±15	45,8	1,79	1,77	11,2

Наведений фізичний механізм квантової (дискретної) енергетики дугового плавлення при зміні круглого перерізу електрода на квадратний названо прямим квантовим ефектом.

При зміні квадратного перерізу електрода на круглий дугове плавлення мало відбуватися в початковому (первісному) режимі, тобто прямий квантовий ефект приросту лінійної та масової швидкостей мав нівелюватися. Проте експеримент показав, що квантовий ефект, названий супротивним, набув принципово новий характер (див. Фіг.2), який доводять відносні показники лінійної та масової швидкостей (див. таблицю рядок 4): перша зросла в 1,6 рази, друга - в 1,15.

Особливості енергетики торця розплавного електрода при раптовій зміні квадратного перерізу на початковий - круглий (показано на Фіг.2), де немає периферійних ділянок твердого металу за межами ізотерми $T_{пл}$.

Цей перехідний режим при дискретній зміні перерізу (таблиця, рядок 4) представлено кривою запису струму, яка близька до синусоїди з періодом повного коливачу приблизно 2 секунди (Фіг.3). Синусоїдальне коливання струму характеризується амплітудою $I_{min}=515A-I_{max}=662A$ (позиція 4) відносно середнього значення десь 600A.

Особливості прямого квантового переходу при зміні круглого перерізу на квадратний показано в рядку 6, де видно, що впродовж $\sim 1/2$ секунди струм збільшився на 25A і становить саме 600A.

Квантовий ефект підвищення продуктивності плавлення обумовлений успадкуванням від квадратного перерізу угнутого сфероподібного фронту плавлення. Про дискретну зміну режиму плавлення свідчить різке зростання струму до найбільшої розрахункової величини $I_{max}=662A$, котра дорівнює числовому значенню постійної Планка $h=0,662...$, збільшеному на три порядки.

Сумарний же ефект прямого та супротивного квантового переходу відбиває порівняння з первісними показниками: $V_1=1,79$ (рядок 7) і $V_2=3,2$ (рядок 3) та відповідно $g_1=1,77$ і $g_2=3,07$. Ці дані показують, що енергетична природа переходу круглого перерізу в квадратний та навпаки є квантова. Кінцевим етапом цієї серії досліджень було змінення круглого перерізу на вписаний в круг квадратний. Тут одночасно відбувалося стягування осередку плавлення, через що щільність енергії в ньому зросла, і разом з тим за межами ізотерми $T_{пл}$ опинилися периферійні ділянки розвинутого перерізу квадрата зі стороною $a=3mm$. Про своєрідність цього квантового переходу свідчить запис струму протягом перехідного процесу дискретної зміни поперечного перерізу безперервного розплавного електрода (позиція 2). Перший цикл коливачу струму виявився схожим з тим, що був при переході від квадратного перерізу до круглого, а потім нерегулярні за амплітудою і часом коливачу призвели до різкого падіння струму (при зростанні U_d) та плавного переходу до початкового режиму. Підсумкові показники збільшення майже в 3 рази лінійної швидкості та більш, ніж у 2 рази, масової швидкості переконливо доводять переваги запропонованого способу керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому плавленні.

Також експериментально виявлені особливості прямих і супротивних квантових переходів енергетики дуги при дискретній зміні перерізу площею F , описаною кривою другого порядку, на переріз площею S , описаною відрізками ламаної лінії контуру, та навпаки. Співвідношення контактуючих площ кожної із частин безперервного розплавного електрода дорівнює:

$$\frac{F}{S} = 0,604 \div 1,654$$

Для швидкого збудження дуги та скорочення перехідного процесу початкова частина електрода робиться конусовидної та пірамідальної форми. Висота конуса та піраміди розраховується за формулою:

$$h \geq V_n t,$$

де: t - час перехідного процесу,

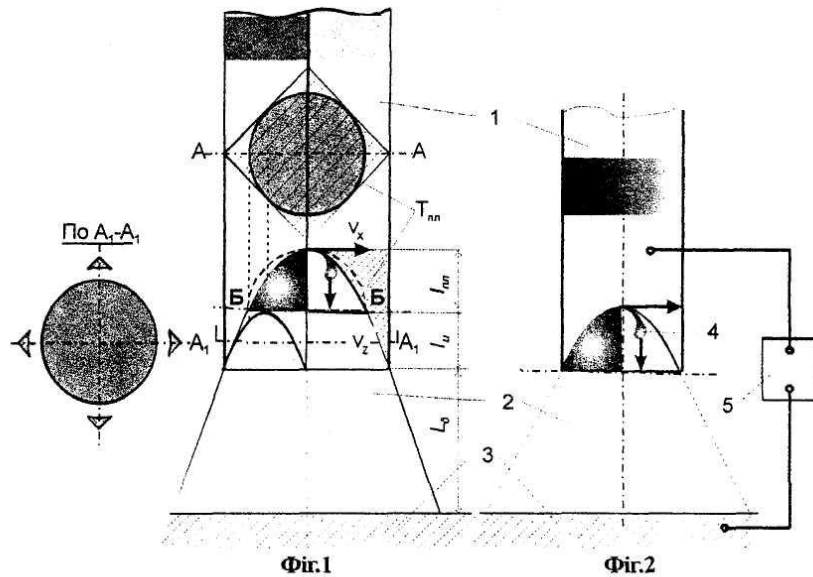
V_n - лінійна швидкість плавлення.

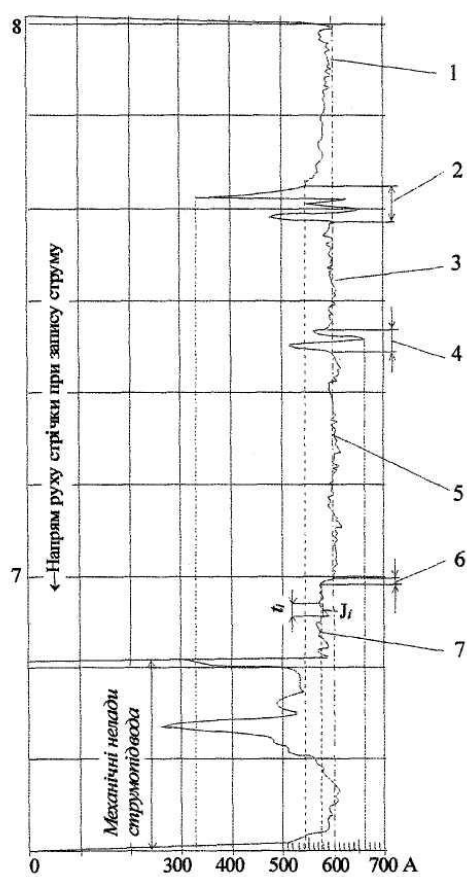
Таким чином квантові ефекти, спричинені дискретним діянням на осередок плавлення шляхом змінення форми поперечного перерізу безперервного розплавного електрода по його довжині, дозволяють даним простим способом без використання будь-яких пристроїв, складних вібраційних механізмів та без додаткових витрат електричної енергії збільшити швидкість дугового плавлення.

Новий спосіб дискретного керування плавленням безперервного розплавного електрода при дуговому зварюванні та наплавленні забезпечує підвищення продуктивності, тобто збільшення швидкості процесу зварювання, зниження енерго- і трудовитрат на 1 погонний метр зварного шва та 1 кг наплавленого металу, а також зниження погонної потужності

$$q = \frac{U_{\text{дзв}} I_{\text{дзв}}}{V_{\text{зв}}}, \frac{\text{Дж}}{\text{см}}.$$

Цей показник є дуже важливим при зварюванні високоміцних сталей. Для забезпечення високої якості зварного шва і зони термічного впливу зварювальний процес треба здійснювати на мінімальній погонній потужності. В запропонованому способі показник q істотно зменшується через підвищення швидкості зварювання при незмінній потужності дуги.





Фіг. 3