



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110397** (13) **C2**
(51) МПК

B23K 9/09 (2006.01)

B23K 9/095 (2006.01)

B23K 9/04 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

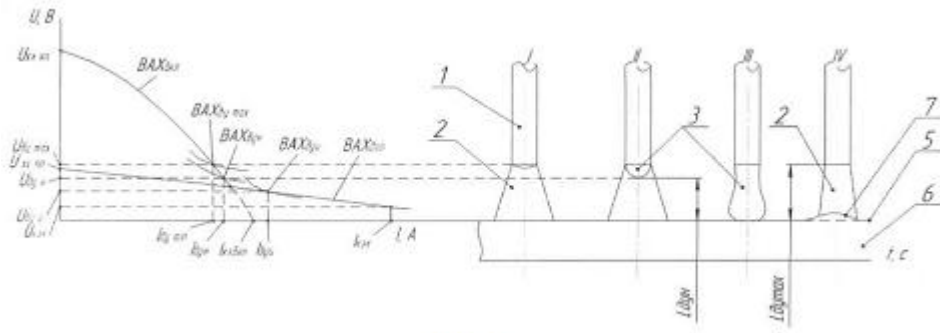
<p>(21) Номер заявки: а 2014 02301</p> <p>(22) Дата подання заявки: 06.03.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.12.2015</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.09.2015, Бюл.№ 17</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2015, Бюл.№ 24</p>	<p>(72) Винахідник(и): Патон Борис Євгенович (UA), Сидорук Володимир Степанович (UA), Максімов Сергій Юрійович (UA), Колєсник Георгій Фомич (UA), Явдошин Ігор Романович (UA), Марченко Анатолій Юхимович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА НАН УКРАЇНИ, вул. Боженка, 11, м. Київ-150, 03680 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 1050826 A, 30.10.1983 RU 2268809 C1, 27.01.2006 RU 2371288 C1, 27.10.2009 RU 2333083 C2, 10.09.2008 SU 904934 A, 15.02.1982 US 4497997 A, 05.02.1985 CN 203091930 U, 31.07.2013</p>
---	--

(54) СПОСІБ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ АБО НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ З МОДУЛЯЦІЄЮ ПАРАМЕТРІВ ДУГИ

(57) Реферат:

Винахід належить до ручного дугового зварювання і наплавлення покритими електродами. Спосіб ручного дугового зварювання або наплавлення покритими електродами з модуляцією параметрів дуги, при якому струм дуги в імпульсі збільшують, а в паузі зменшують. Струм дуги в період імпульсу збільшують у 1,2 рази і більше порівняно із струмом на початку імпульсу, при цьому забезпечують самоплинну модуляцію завдяки реакції джерела струму на зміну довжини дуги і відповідно напруги дуги (адаптивна автомодуляція), що відбувається внаслідок періодичного зростання розмірів краплі розплавленого металу, яка утворюється на торці електрода, що плавиться під дією дуги у імпульсі, та відриву згаданої краплі від електрода і переносу її у металеву ванну у паузі. Винахід забезпечує підвищення стійкості збудження дуги і стабільності її горіння; спрощення процесу зварювання в різних просторових положеннях, особливо у разі нерівномірного або підвищеного зазору між кромками основного металу, що їх зварюють; можливість заміни електродів меншого діаметра на електроди більшого діаметра, наприклад 3 мм замість 2 мм; економію електроенергії.

UA 110397 C2



Фиг. 3

Винахід належить до сфери дугового зварювання з модуляцією електричних параметрів дуги, зокрема ручного дугового зварювання покритими електродами.

Відомо, що модуляція параметрів дуги дає різнобічний позитивний ефект щодо: кінетики плавлення і кристалізації електродного і основного металу; хімічного складу і форми зварного шва; механічних властивостей зварного з'єднання і т. д.

(Дудко Д.А., Сидорук В.С., Зацерковный С.А., Тараборкин Л.А. Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на первичную структуру металла шва //Сварочное производство. - 1988. - № 5. - С. 1-3.

Дудко Д.А., Сидорук В.С., Зацерковный С.А., Тараборкин Л.А., Махлин Н.М. Зависимость химического состава металла шва от параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током. //Автоматическая сварка. - 1989. - № 3. - С. 49-52, і інш.).

В основному модуляцію параметрів дуги при ручному зварюванні здійснюють шляхом активного керування вихідними параметрами джерела струму (Устройство для сварки переменным модулированным током, авторское свидетельство СССР № 1050826, заявлено 23.11.1981, опубліковано в БИ, 1983, № 40, авторы: Дудко Д.А., Сидорук В.С., Федотенков В.Г., Махлин Н.М., Великанов А.И., Надсадин Г.П.).

У разі механізованого дугового зварювання з постійною швидкістю подавання електродного дроту і постійними вихідними параметрами джерела струму (тобто без керування ними) відоме явище автомодуляції електричних параметрів дуги, спричиненої нерівномірною швидкістю плавлення електрода (11. Сидорук В.С., Дудко Д.А., Двигун А.Ф. Автомодуляция тока при сварке под флюсом //Автоматическая сварка. - 1987. - № 5. - С. 25-28.).

Що стосується ручного дугового зварювання ручними електродами, авторам не відомі технології з автомодуляцією електричних параметрів "ручної" дуги.

Уважний аналіз кінетики плавлення штучних електродів і осцилограм струму і напруги дуги дозволяє припускати, що якась "мікроавтомодуляція" електричних параметрів дуги при цьому відбувається, але вона ефекту не створює, тому й досі невідома у технічній літературі. Разом з тим добре відомою закономірністю ручного дугового зварювання покритими електродами на невеликій щільності струму є періодичні короткі замикання дугового проміжку краплями електродного металу, які відображаються на осцилограмах струму теж періодичними "сплесками" струму у вигляді "піків", а на осцилограмах напруги - одночасних з ними "провалів" напруги до значень менше 10 В, тобто менших за мінімальні значення напруги дуги (див., наприклад, рисунок 2.6 на стор. 57 книги: Б.Е.Патон, В.К.Лебедев. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. - М.: Машиностроение, 1966). Відмічається, що такий механізм переходу крапель розплавленого металу від електрода до металеві ванни при ручному дуговому зварюванні подібний до переходу крапель при механізованому дуговому зварюванні у вуглекислому газі (CO₂) - за умов обмеження швидкості наростання струму. Відмінність процесу ручного дугового зварювання від механізованого в CO₂ полягає в тому, що у першому випадку використовують джерело струму з крутопадаючою вольт-амперною (зовнішньою) характеристикою, яка має струм короткого замикання, що ненабагато перевищує струм дуги, а тому такі джерела не генерують значного струму на електроді у разі замикання міжелектродного проміжку краплями електродного металу, як це відбувається у другому випадку - при механізованому дуговому зварюванні у CO₂, де використовують джерела струму з пологопадаючою зовнішньою характеристикою. Використовувати таке джерело (з пологопадаючою характеристикою) для ручного дугового зварювання неможливо, оскільки воно не забезпечує стабільності дуги: разом із найменшим зниженням напруги струм різко "підскакує", і навпаки, тому дуга гасне.

Існуючі джерела струму для ручного дугового зварювання/наплавлення з крутопадаючою зовнішньою характеристикою мало придатні для виконання вказаних робіт у разі досить малої щільності струму на електроді (10 А/мм² і менше). Після торкання краплею розплавленого металу поверхні металеві ванни інтенсивність тепловідводу від краплі у металеву ванну і далі у тіло зварюваного виробу може перевищувати інтенсивність теплопідводу у тому ж напрямку. Крапля охолоджується і кристалізується, з'єднуючи кінець електрода з металеві ванною, яка теж кристалізується. Відбувається так зване "примержання" електрода до виробу.

Вищевикладене ілюструється кресленнями фіг. 1, де на фіг. 1а показана спрощена схема виникнення краплі електродного металу, її росту і замикання на металеву ванну у разі малої щільності струму на електроді, а на фіг. 1б - те ж саме, але у разі підвищеної щільності струму на електроді.

На кресленні позначено:

$BAX_{\text{кр}}$ - крутопадаюча вольт-амперна (зовнішня) характеристика джерела струму;

$ВАХ_{дв\max}$ - вольт-амперна характеристика дуги, яка відповідає максимальній довжині дуги ($L_{дв\max}$), котра з'являється у момент відриву краплі розплавленого електродного металу 3 від кінця електрода 1 - стадія IV на фіг. 1 б;

5 $ВАХ_{двн}$ - вольт-амперна характеристика дуги, яка відповідає номінальній довжині дуги ($L_{двн}$), отже - номінальній напрузі дуги $U_{двн}$;

$ВАХ_{двн}$ - вольт-амперна характеристика дуги за момент до торкання краплею 3 поверхні металевої ванни 5; у цей момент струм дуги сягає свого максимуму - імпульс струму дуги $I_{двн}$;

$U_{хх}$ - напруга холостого ходу джерела струму, В;

10 $U_{дв\max}$ - максимальна напруга дуги 2 у момент початкового її збудження (фіг. 1а) і у момент відриву краплі 3 від електрода 1 на початку паузи (фіг. 1б);

$U_{двн}$ - номінальне значення напруги дуги 2, В, яке відповідає номінальному значенню струму дуги $I_{двн}$, А;

$U_{двн}$ - мінімальне значення напруги дуги 2, В за момент до торкання краплею 3 поверхні металевої ванни 5; йому відповідає $I_{двн}$ - імпульс струму, А;

15 $U_{кзк}$ - напруга короткого замикання краплею електродного металу 3 поверхні металевої ванни 5; йому відповідає імпульс струму короткого замикання $I_{кзк}$ краплі 3 на поверхню металевої ванни 5;

$L_{дв\max}$ - максимальна довжина дуги у момент початкового її збудження (на фіг. 1а) і у момент відриву краплі розплавленого електродного металу 3 від кінця електрода 5 (фіг. 1б), мм;

20 $L_{двн}$ - номінальна довжина дуги, яка відповідає номінальній напрузі $U_{двн}$, мм;

$I_{дв\min}$ - мінімальне значення струму дуги у момент, коли напруга сягає $U_{дв\max}$, А;

$I_{двн}$ - номінальне значення струму дуги, А;

$I_{двн}$ - максимальне значення струму дуги (імпульс струму дуги), А;

25 $I_{кзк}$ - максимальне значення струму короткого замикання краплею металу 3 поверхні металевої ванни 5 (імпульс струму короткого замикання), А;

$I_{кзд}$ - струм короткого замикання джерела струму, А;

1 - електрод, що плавиться;

2 - дуга;

3 - крапля розплавленого електродного металу;

30 4- крапля розплавленого електродного металу, що закристалізувався, перетворившись на "місток" між електродом 1 і металевою ванною 5, яка теж закристалізувалася, внаслідок чого електрод виявився "привареним" до деталі 6;

5 - поверхня металевої ванни;

6 - деталь, що її зварюють;

35 7 - крапля електродного металу, що відірвалася від кінця електрода 1 і "поглинається" металевою ванною 5;

I, II, III, IV - стадії: збудження дуги, появи, росту і переходу краплі 3 розплавленого електродного металу у металеву ванну 5 відповідно.

40 Розглянемо процес виникнення краплі 3 і переходу її у металеву ванну 5 у разі малої щільності струму на електроді 1 (фіг. 1а). Після збудження дуги між кінцем електрода 1 і поверхнею металевої ванни 5 (стадія I), виникає і росте крапля 3 (стадія II). У цей період і далі дуга горить між поверхнями краплі 3 і металевої ванни 5. В момент, позначений стадією III, крапля 3 торкається поверхні металевої ванни 5. Стадією IV позначено момент завершення кристалізації краплі 3 і перетворення її у "місток" 4 між електродом 1 і деталлю 6, що її зварюють, через металеву ванну 5, яка також закристалізувалася, внаслідок чого електрод 1 виявився "привареним" до деталі 6. Процес зварювання припинився. На фіг. 1а можна бачити, що при значному коливанні довжини дуги $L_{дв}$, якому відповідає коливання напруги дуги від $U_{дв\max}$ до $U_{двн}$, струм дуги змінюється малопомітно, менше ніж у 1,2 разу, і навіть струм короткого замикання $I_{кзк}$ у відповідний момент не набагато перевищує номінальне значення струму дуги $I_{двн}$ (менше ніж у 1,5 разу). У момент короткого замикання (стадія IV) струм $I_{кзк}$, що протікає краплею 3, виявляється недостатнім, аби підтримати її у розплавленому стані, і вона, кристалізуючись, перетворюється у "місток" 4.

55 Зовсім інакша ситуація у разі, коли номінальний струм $I_{двн}$ суттєво підвищують (фіг. 1б). Тут, по-перше, щільність струму в електроді і відповідно у краплі металу на стадії II значно вище ($I_{двн}$ - більше), ніж на фіг. 1а, по-друге, $I_{кзк}$ на стадії IV відповідно значно більше, ніж $I_{двн}$, оскільки $ВАХ_{кп}$ у цьому разі не така крутопадаюча. Завдяки значній щільності струму крапля 3 у момент короткого замикання залишається розплавленою, відривається від кінця електрода 1 і "перетікає" у металеву ванну (крапля 7, що поглинається ванною 5).

60 Уникнути кристалізації краплі на стадії IV у разі зварювання/наплавлення на малому $I_{двн}$ (на малій щільності струму на електроді) можна також, якщо до цього моменту штучно підвищити

струм дуги $I_{двн}$. Періодичне короткотермінове штучне підвищення струму дуги є одним із варіантів модуляції струму. Такого ефекту можна досягти, наприклад, активно зменшуючи імпеданс зварювального контуру, завдяки чому підвищується струм короткого замикання джерела струму $I_{кзд}$, а разом з ним підвищується струм дуги $I_{двн}$. Еволюцію струму дуги протягом

5 циклу модуляції показано на фіг.2. Тут позначено:

$ВАХ_{кп(п)}$ - крутопадаюча вольт-амперна характеристика джерела струму в паузі;

$ВАХ_{кп(и)}$ - крутопадаюча вольт-амперна характеристика того ж джерела в імпульсі;

$ВАХ_{дв(п)}$ - вольт-амперна характеристика дуги в паузі;

$ВАХ_{дв(и)}$ - вольт-амперна характеристика дуги в імпульсі;

10 $U_{хх}$ - напруга холостого ходу джерела струму (єдина для паузи і імпульсу), В;

$I_{кзд(п)}$ - струм короткого замикання джерела струму, що настроєний на режим паузи, А;

$I_{кзд(и)}$ - те ж саме, але для режиму імпульсу, А;

$U_{двн(п)}$ - номінальне значення напруги дуги в паузі, В;

$U_{двн(и)}$ - те ж саме, але для режиму імпульсу, В;

15 $I_{двн(п)}$ - номінальне значення струму дуги в паузі, А;

$I_{двн(и)}$ - те ж саме, але для режиму імпульсу, А.

Система управління джерелом струму працює таким чином, що в період паузи джерело має найбільшу крутизну характеристики $ВАХ_{кп(п)}$, а в період імпульсу - найменшу крутизну характеристики $ВАХ_{кп(и)}$, причому на цих характеристиках джерело працює поперемінно із заданою частотою і шпаруватістю. Після кожної зміни імпедансу і відповідно - зміни $ВАХ_{кп}$ змінюються й параметри дуги: струм і напруга - завдяки тому, що вольт-амперна характеристика дуги щоразу "переміщується" у нову точку її перетину з $ВАХ_{кп}$: від точки А (в паузі) до точки В (в імпульсі) і назад.

Один з таких варіантів регулювання представлено в роботі: [Приставка к сварочному трансформатору для модулирования сварочного тока //Сварочное производство. - 1975. - № 9, авторы В.С. Сидорук, А.Г. Арцибасов, А.И. Попадьян], де за допомогою спеціальної приставки до зварювального трансформатора періодично зменшували імпеданс зварювального контуру, підвищуючи струм короткого замикання джерела $I_{кзд(и)}$ і відповідно - струм дуги $I_{двн(и)}$.

Недоліком цього технічного рішення, взятого за прототип, є те, що, по-перше, воно потребує спеціальної системи управління джерелом струму, по-друге - перехід від паузи до імпульсу пов'язаний зі значною витратою енергії, тому що підвищення струму тут супроводжується підвищенням напруги дуги, по-третє, підвищення напруги дуги в імпульсі призводить до погіршення захисту дуги від оточуючої атмосфери.

В основу винаходу, що пропонується, поставлена задача усунути перелічені вище недоліки і розширити технологічні можливості ручного дугового зварювання/наплавлення покритими електродами завдяки зменшенню нормативної допустимої мінімальної щільності струму на електроді та зниженню напруги дуги.

Спосіб ручного дугового зварювання або наплавлення покритими електродами з модуляцією параметрів дуги, що пропонується, відрізняється від способу, взятого за прототип, тим, що має наступні відмінні ознаки:

збільшення струму дуги в період імпульсу (імпульс струму дуги перевищує струм дуги на початку імпульсу більше ніж в 1,2 разу);

означене коливання параметрів дуги (модуляція) протікає самоплинно (автомодуляція) завдяки реакції джерела струму на зміну довжини дуги і відповідно - напруги дуги (адаптивна автоматомодуляція), що відбувається унаслідок періодичного зростання розмірів краплі розплавленого металу, яка утворюється на торці електрода, що плавиться під дією дуги, - у імпульсі, та відриву згаданої краплі металу від електрода і переносу її у металеву ванну - у паузі;

у разі короткого замикання електрода на металеву ванну через згадану краплю розплавленого металу струм, що протікає краплею, збільшують у 1,8...6 разів (імпульс струму короткого замикання) порівняно із струмом на початку короткого замкнення;

у разі використання джерела струму, яке має крутопадаючу статичну (зовнішню) вольт-амперну характеристику у вигляді лінії з ухилом відповідно до співвідношення в області робочих режимів:

$$55 \quad |\Delta U / \Delta I| \geq 1,0 \text{ В / А ; (1)}$$

на згаданому джерелі додатково встановлюють параметри його статичної (зовнішньої) вольт-амперної характеристики у вигляді пологопадаючої лінії з ухилом в області робочих режимів:

$$|\Delta U / \Delta I| \geq 1,0 \text{ В / А ; (2)}$$

частота адаптивної автомодуляції параметрів дуги в цілому приблизно дорівнює частоті чергування актів виникнення, росту та переносу крапель електродного металу в металеву ванну;

щільність струму на електроді підтримують меншою за її перше критичне значення, коли процес крупнокрапельного переносу електродного металу у металеву ванну переходить у процес дрібнокрапельного переносу, але більшою, ніж її друге критичне значення, за яким інтенсивність тепловідводу від краплі в металеву ванну є меншою порівняно з інтенсивністю тепловідводу від металеві ванни у зварювальний виріб, унаслідок чого настає "примержання" електрода до зварювального виробу;

довжину дугового проміжку підтримують меншою за максимальний розмір згаданої краплі розплавленого електродного металу у проміжку між кінцем електрода, що плавиться, і металеву ванною;

задану (призначену) довжину дугового проміжку встановлюють шляхом призначення товщини покриття електрода;

електрод можна утримувати у нахиленому положенні, обпираючись його кінцем на поверхню деталі, що її зварюють ("зварювання нахиленим електродом"; друга назва способу "зварювання обпертим електродом");

електрод можна утримувати у горизонтальному положенні ("зварювання лежачим електродом").

Область робочих режимів - це проміжок між U_{\max} і U_{\min} по шкалі напруги і між I_{\max} і I_{\min} по шкалі струму, у якому може існувати дуга при всіх її коливаннях.

Пропозиція пояснюється кресленням - фіг. 3, на якому показана спрощена схема з'явлення краплі електродного металу, її росту, замикання на металеву ванну та переходу в ванну відповідно до запропонованого способу зварювання або наплавлення.

На фіг. 3 позначено:

$BA_{\text{дкп}}$ - крутопадаюча частина вольт-амперної (зовнішньої) характеристики джерела струму;

$BA_{\text{дпп}}$ - пологопадаюча частина вольт-амперної (зовнішньої) характеристики джерела струму (додаткова);

$BA_{\text{двьях}}$, $BA_{\text{двн}}$, $BA_{\text{двн}}$ - як на фіг. 1;

$U_{\text{ххкп}}$ - напруга холостого ходу джерела струму для крутопадаючої $BA_{\text{дкп}}$;

$U_{\text{ххпп}}$ - напруга холостого ходу джерела струму для пологопадаючої $BA_{\text{дпп}}$;

$U_{\text{двтаx}}$, $U_{\text{двн}}$, $U_{\text{двн}}$, $U_{\text{кзк}}$ - як на фіг. 1;

$L_{\text{двтаx}}$, $L_{\text{двн}}$, - як на фіг. 1;

$I_{\text{двтаx}}$, $I_{\text{двн}}$, $I_{\text{двн}}$, $I_{\text{кзк}}$ - як на фіг. 1;

$I_{\text{кзкдкп}}$ - струм короткого замикання джерела струму для крутопадаючої частини його вольт-амперної (зовнішньої) характеристики; 1; 2; 3; 5; 6; 7 - як на фіг. 1;

I - стадія горіння дуги на початку періоду імпульсу;

II - стадія росту краплі 3;

III - стадія короткого замикання краплі 3 на поверхню металеві ванни 5;

IV - стадія відриву краплі 3 від електрода 1 і "поглинання" її (у вигляді залишків її маси 7) металеву ванною 5. Ця стадія відповідає періоду паузи у циклі модуляції параметрів дуги.

На фіг. 3 відображені вищеназвані процеси у разі зварювання/наплавлення на "короткій дузі" - коли довжину дугового проміжку (проміжок між кінцем електрода 1 і поверхнею металеві ванни 5) підтримують меншою за максимальний розмір краплі розплавленого електродного металу 3 у зазначеному проміжку. Це один з варіантів технології ручного дугового зварювання/наплавлення покритими електродами.

У разі зварювання/наплавлення "довгою дугою", коли довжина дугового проміжку $L_{\text{двтаx}}$ перевищує максимальний розмір краплі 3 розплавленого металу, стадія 3 короткого замикання не відбувається. Тоді стадія IV і відповідно значення напруги і струму дуги будуть іншими: струм $I_{\text{кзк}}$ і напруга $U_{\text{кзк}}$ - відсутні. Крапля 3 відривається від електрода 1 і "летить" до ванни розплавленого металу 5, частково зменшуючи довжину дуги своїм електропровідним тілом. Це призводить до менш значущих коливань напруги і струму дуги. Такий варіант запропонованого способу зварювання/наплавлення, сформульований у п.1 Формули цієї заявки, за його очевидністю, тут не розглядається.

Момент збудження дуги, який позначений на фіг. 1а стадію I, на фіг. 3 не показано, оскільки тут процес горіння дуги стабільний, і немає небезпеки його припинення через "примержання" електрода 1 до деталі 6, що зварюється. У цьому разі стадія IV відриву краплі 3 від електрода 1 і переходу її у вигляді залишкової її маси 7 до ванни 5, яка "поглинає" її, подібна до стадії IV, яка показана на фіг. 1б.

Слід відзначити, що в обох випадках: на фіг. 1б і на фіг. 3 - на стадії IV відразу після відриву краплі 3 від електрода 1 відбувається повторне збудження дуги, яка горить між "оголеним" кінцем електрода 1 і залишками 7 краплі 3, що поглинається металевою ванною 5. В реальності кінець електрода 1, що плавиться, завжди покритий "плівкою" розплавленого металу, яка на початковий момент циклу модуляції струму має вигляд зачатку краплі 3, що зображено на кінці електрода 1 на стадії I (фіг. 3). Цей момент слід визнати як початковий для імпульсу струму дуги. Найбільша довжина дуги $I_{дугах}$ і відповідно - найбільша напруга дуги $U_{дугах}$ має місце у стадії IV в момент відриву краплі 3 від кінця м 1. У цей же момент спостерігається найменше значення струму дуги $I_{дугмін}$. Далі дуга горить між взаємно оберненими поверхнями згаданих краплі 3 і металевої ванни 5. Крапля 3 росте, відповідно довжина дуги и напруга дуги зменшується, а струм дуги збільшується. Цьому періоду відповідають усереднені значення напруги дуги $U_{дун}$ і пов'язаного з нею струму дуги $I_{дун}$, яке є номінальним (табличним) значенням струму дуги (стадія II). Номінальне значення струму дуги залежно від діаметра електрода призначають для різних марок покритих електродів окремо - у відповідності до властивостей покриття і призначення електрода.

За момент до замикання краплі 3 на металеву ванну 5 (перед стадією III) напруга дуги $U_{двн}$ стає найменшою з можливих, а струм дуги $I_{двн}$ - найбільшим (імпульс струму дуги). На стадії III показано момент торкання краплею 3 поверхні металевої ванни 5. Після їх з'єднання електричний опір дуги зникає, на заміну йому приходять омичний опір краплі 3 - в декілька разів менший. Раптове зменшення електричного опору між електродом 1 і металевою ванною 5 призводить до стрибка струму $I_{кзк}$ - струм короткого замикання краплі або імпульс струму короткого замикання. У цей момент напруга між електродом 3 і ванною 5 сягає свого найменшого значення $U_{кзк}$. Слід відзначити, що $U_{кзк}$ набагато менше за $U_{двн}$, яке складається з анодного U_a і катодного U_k падіння напруги і $U_{сд}$ - падіння напруги у стовпчику дуги.

В проміжку часу між стадіями III і IV відбувається контактне плавлення електрода 1 завдяки Джоулевої теплоті, що її генерує струм $I_{кзк}$, який протікає краплею:

$$W_{кл} = \eta_m \times I_{кзк} \times U_{кзк}, \quad (3)$$

де η_m - термічний коефіцієнт корисної дії процесу.

Завдяки енергії $W_{кл}$, одержаній електродом 1, він підплавляється на межі з краплею, збільшуючи її масу і не дозволяючи їй кристалізуватися.

На цьому цикл виникнення росту і "перенесення" краплі 3 у металеву ванну 5 завершується. Далі описаний цикл повторюється. Цей процес протікає циклічно завдяки модуляції параметрів дуги. Цикл модуляції розділяється на два періоди: паузи і імпульсу. Тривалість періоду паузи набагато менше, ніж періоду імпульсу. Цей період пов'язаний з процесом відриву краплі 3 від кінця електрода 1. Після імпульсного зростання струму $I_{кзк}$, який відповідає максимальному значенню площі поперечного перетину краплі 3, настає швидкий спад $I_{кзк}$ і стрімке наростання $U_{кзк}$ внаслідок зменшення площі згаданого поперечного перерізу краплі (утворюється "шийка" розплавленого металу між кінцем електрода 1 і тілом краплі 3, яка "перетікає" у металеву ванну 5). Це - початок паузи. У момент розриву "шийки" максимальне значення напруги $U_{кзк}$ стрибкоподібно переходить у напругу дуги $U_{дугмак}$, оскільки зазор між кінцем електрода 1 і поверхнею ванни 5 збільшується до свого максимального значення, яке близьке до значення довжини краплі 3, яку "поглинула" металева ванна 5. Це - кінець паузи, за яким відразу починається імпульс.

Оскільки довжина дуги безперервно зменшується: від максимальної на стадії IV до меншої - на стадії II і до нуля - на стадії III, відповідно знижується положення кривої $ВАХ_{двн}$ у координаті U : від верхнього $ВАХ_{дугмак}$ до нижнього $ВАХ_{двн}$, яке відповідає значенню $U_{двн}$. У подальшому дуга зникає, тобто завершується "дугова" частина імпульсу струму. Починається режим короткого замикання дугового проміжку краплею 3, наростає струм короткого замикання, тобто починається частина імпульсу струму, пов'язана з коротким замиканням. Імпульс струму короткого замикання досягає свого піку $I_{кзк}$, якому відповідає напруга $U_{кзк}$. На цьому цикл модуляції електричних параметрів процесу завершується.

Приклад

Процес зварювання виконували з використанням макета дослідного зразка джерела струму, який являє собою однофазний випрямляч, що має такі показники вольт-амперної характеристики: $U_{ххпн}=105$ В; $U_{ххпн}=54$ В; $I_{кздкп}=35$ А; ухил крутопадаючої вольт-амперної характеристики в області робочих режимів ($U=20\dots 50$ В, $I = 10\dots 30$ А) $|\Delta U/\Delta I| \approx 3,0$ В/А (тобто > 1 В/А); ухил полоогопадаючої вольт-амперної характеристики в області робочих режимів ($U=8\dots 30$ В, $I = 20\dots 400$ А) $|\Delta U/\Delta I| \approx 0,5$ В/А (тобто $< 0,6$ В/А).

Використовували електроди ОЗЛ-8 діаметром 3 мм. Паралельно - для порівняння - виконували експерименти з використанням серійного випрямлювача ВДУ-306. За допомогою

інформаційно-виміральної системи ИИС на частоті 10 кГц записували осцилограми струму і напруги. Система обробляла по спеціальній програмі параметри U , I і видавала по запиту їх значення у різні моменти сканування протягом усього процесу зварювання, відображаючи розподіл названих параметрів у координатах U - I (останнє має назву вольт-амперна характеристика процесу плавлення електрода).

На фіг. 4а подані осцилограми струму і напруги, одержані у разі використання дослідного джерела струму, а на фіг. 4б - у разі використання випрямляча ВДУ-306.

На фіг. 5а наведена вольт-амперна характеристика процесу у разі використання дослідного джерела струму, а на фіг. 5б - те ж саме у разі використання випрямлювача ВДУ-306.

Свідомством того, що дослідне джерело струму - однофазний випрямляч, є пульсуючий, "пилкоподібний" характер осцилограм з частотою пульсації 100 Гц.

На фіг. 4а (відповідає дослідному джерелу) чітко відрізняються "піки" струму амплітудою до 300 А і вище (координати часу: 14,05 с; 14,25 с; 14,35 с) - імпульси струму короткого замикання, а між ними - хвилеподібні "підйоми" пульсуючої осцилограми струму дуги. Найвище значення струму дуги, який можна бачити перед імпульсами струму короткого замикання, є імпульси струму дуги.

"Підйоми" струму дуги, тобто $\Delta I_{дв}$, на фіг. 4а сягають 20...30 А за середнє значення струму дуги 75...80 А, тобто пульсація струму дуги коливається у межах (25...40 %). "Пікам" імпульсів струму короткого замикання на осцилограмі напруги відповідають раптові спади напруги дуги до позначок 5...8 В (напруга короткого замикання).

"Підйомам" струму дуги відповідають спади напруги дуги, які на фіг. 4а сягають $\Delta U = (14...20)В$ за середнє значення напруги дуги (22...25)В, тобто пульсація напруги дуги коливається в межах (56...90) %.

На фіг. 4б (відповідає серійному випрямлячу ВДУ-306) також є "піки" струму - імпульси струму короткого замикання, але їх амплітуда ледве "дотягує" до 170 А (моменти 8,6 с; 8,85 с); хвилеподібні "підйоми струму" дуги між "піками" струму короткого замикання не виявляються, тобто імпульси струму дуги можна вважати відсутніми. Це свідчить про відсутність автоколивання (автомодуляції) струму дуги між моментами короткого замикання дугового проміжку краплями електродного металу. Про відсутність автоколивання (автомодуляції) струму дуги свідчить і осцилограма напруги: хоча локальні коливання напруги спостерігаються на протязі всього проміжку часу між суміжними "піками" струму, середнє значення напруги дуги (22...25)В залишається незмінним.

Що стосується вольт-амперних характеристик процесу зварювання (фіг. 5) - тут також є суттєва різниця між результатами експериментів на дослідному джерелі струму (фіг. 5а) і на випрямлячі ВДУ-306 (фіг. 5б). Так, на струмі дуги 75 А у разі дослідного джерела область існування режимів міститься у координаті напруги між 13 В і 30 В, в той час як у разі ВДУ-306 цей показник становить відповідно 28 В і 36 В. Видно, що область режимів у разі дослідного джерела міститься по шкалі напруги значно, на 6...15 В нижче, ніж у разі ВДУ-306. Відповідно витрати енергії на дугу у разі дослідного джерела нижче, ніж ВДУ-306, у 1,3 рази і більше.

Друга особливість порівнюваних режимів - частка енергії, що витрачається на плавлення електрода в моменти коротких замикань. Область режимів контактного плавлення міститься на обох кресленнях у нижній частині вольт-амперної характеристики процесу у вигляді окремої висхідної полоси, яка означає розподіл значень імпульсів струму короткого замикання у різні моменти протягом процесу плавлення електрода. Видно, що для дослідного джерела (фіг. 5а) цей показник перебуває в проміжку між 75 А і 325 А, у той час як для ВДУ-306 - у проміжку між 115 А і 170 А. Оскільки падіння напруги при коротких замиканнях у 2,6...5 разів менше ніж напруга дуги, витрати енергії на контактне плавлення відповідно менше. Цей фактор - додаткова стаття економії електроенергії.

Результати вищенаведених експериментів, по-перше, підтверджують наявність автомодуляції струму у разі зварювання запропонованим способом, у той час як у разі зварювання існуючим способом безперервною дугою такого явища не виявлено; по-друге, показують, що зменшення напруги порівняно з існуючим способом дає можливість економити електроенергію; крім того, зі зменшенням напруги дуги (її довжини) поліпшується захист дуги від оточуючої атмосфери, що позитивно позначається на якості наплавленого металу (менше насиченість воднем, менше окислювання електродного металу тощо); по-третє, виявляють перерозподіл енергії між процесами дугового і контактного плавлення електродного металу у бік посилення останнього, що є додатковим фактором економії електроенергії і поліпшення якості металу шва (запобігається вплив оточуючої атмосфери на електродний метал у період переносу його, у вигляді окремої краплі, через дуговий проміжок).

Можливість запобігти "примержанню" електрода до деталі, що її зварюють, у разі зменшення щільності струму дуги на електроді сприяє економії на електродах, дозволяючи відмовитися від електродів менших діаметрів на користь більших діаметрів, наприклад, діаметр 3 мм замість діаметра 2 мм.

5 Порівняно зі способом, взятим за прототип, запропонований спосіб зварювання або наплавлення є апріорі більш економним, оскільки в період імпульсу струму в запропонованому варіанті напруга дуги істотно зменшується, у той час як у способі - прототипі напруга дуги в той же період суттєво збільшується, тобто зменшення витрат електроенергії на плавлення електрода є самоочевидним.

10

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб ручного дугового зварювання або наплавлення покритими електродами з модуляцією параметрів дуги, при якому струм дуги в імпульсі збільшують, а в паузі зменшують, який **відрізняється** тим, що струм дуги в період імпульсу збільшують у 1,2 разу і більше порівняно із струмом на початку імпульсу, при цьому забезпечують самоплинну модуляцію завдяки реакції джерела струму на зміну довжини дуги і відповідно напруги дуги (адаптивна автомодуляція), що відбувається внаслідок періодичного зростання розмірів краплі розплавленого металу, яка утворюється на торці електрода, що плавиться під дією дуги у імпульсі, та відриву згаданої краплі від електрода і переносу її у металеву ванну у паузі.

15

20

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що у разі короткого замикання електрода на металеву ванну через згадану краплю розплавленого металу струм, що протікає краплею, збільшують у 1,8...6 разів (імпульс струму короткого замикання) порівняно із струмом на початку короткого замикання.

25

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що у разі використання джерела струму, яке має крутопадаючу статичну (зовнішню) вольт-амперну характеристику у вигляді лінії з ухилом відповідно до співвідношення в області робочих режимів:

$$|\Delta U / \Delta I| \geq 1,0 B / A ;$$

на згаданому джерелі додатково встановлюють параметри його статичної (зовнішньої) вольт-амперної характеристики у вигляді пологопадаючої лінії з ухилом:

30

$$|\Delta U / \Delta I| \geq 0,6 B / A .$$

4. Спосіб за будь-яким із пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що частота адаптивної автомодуляції параметрів дуги дорівнює частоті слідування актів процесу утворення, росту та переносу краплі електродного металу в металеву ванну.

35

5. Спосіб за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що щільність струму на електроді підтримують меншою за її перше критичне значення, коли процес крупнокрапельного переносу електродного металу у металеву ванну переходить у процес дрібнокрапельного переносу, але більшою, ніж її друге критичне значення, за яким інтенсивність тепловідводу від краплі в металеву ванну є меншою порівняно з інтенсивністю тепловідводу від металевих ванн у зварюванні виріб, внаслідок чого настає "примержання" електрода до зварюваного виробу.

40

6. Спосіб за будь-яким із пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що довжину дугового проміжку підтримують меншою за максимальний розмір згаданої краплі розплавленого електродного металу у проміжку між кінцем електрода, що плавиться, і металеву ванною.

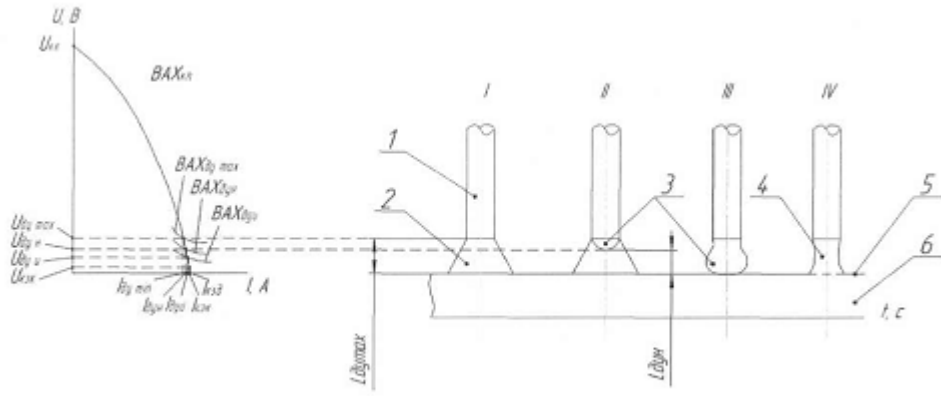
45

7. Спосіб за будь-яким із пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що задану довжину дугового проміжку встановлюють шляхом задання товщини покриття електрода.

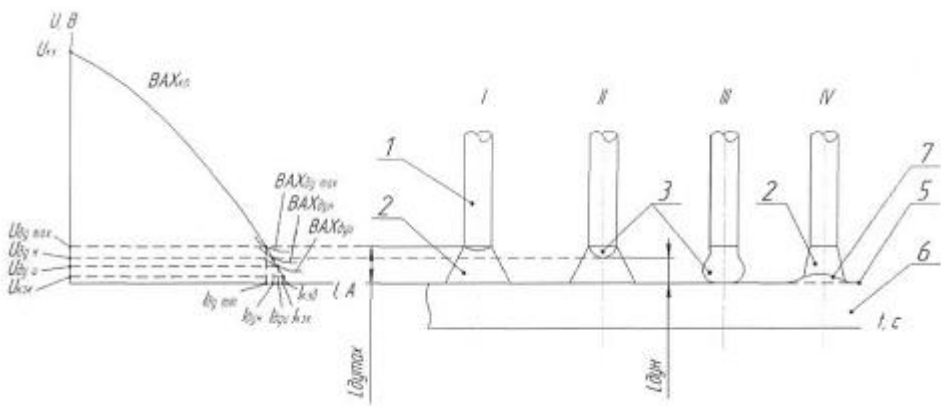
8. Спосіб за будь-яким із пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що електрод утримують обпираючись його кінцем на поверхню деталі, що зварюють (зварювання нахиленим або обпертим електродом).

50

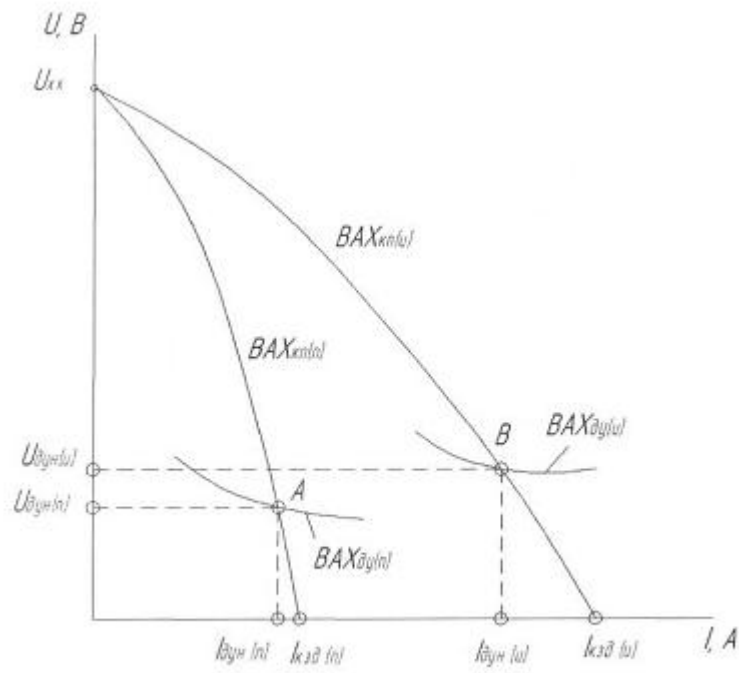
9. Спосіб за будь-яким із пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що електрод утримують у горизонтальному положенні (зварювання лежачим електродом).



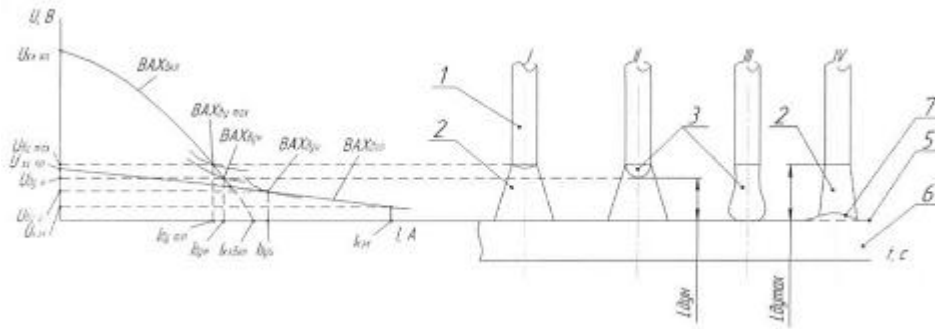
Фиг. 1а



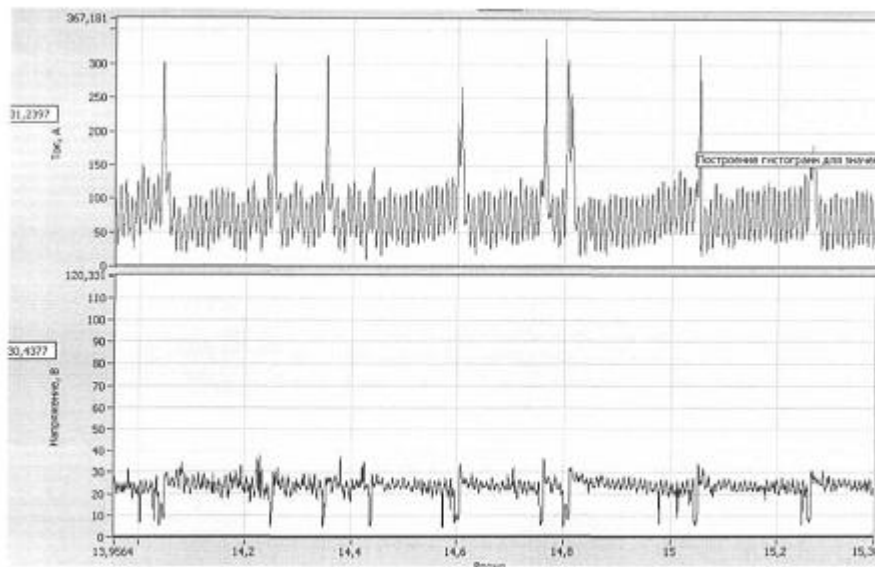
Фиг. 16



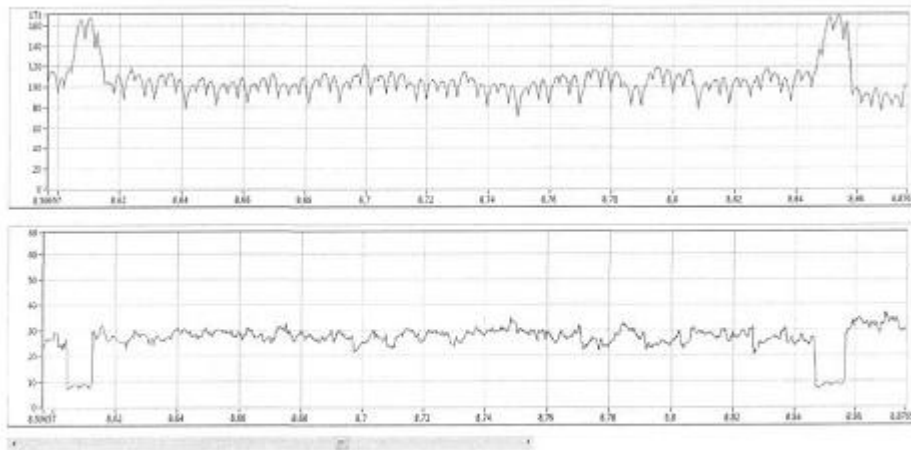
Фиг. 2



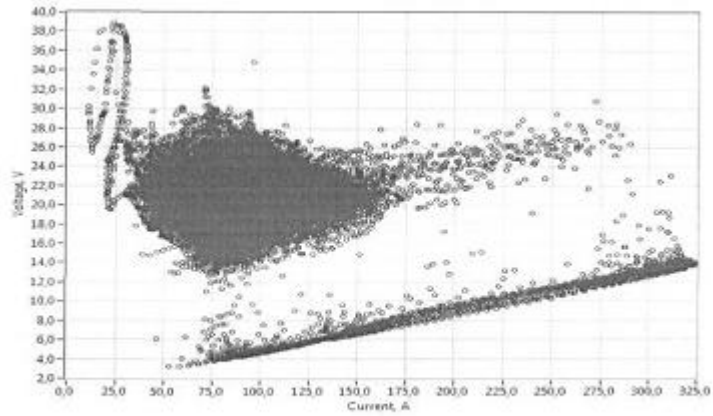
Фиг. 3



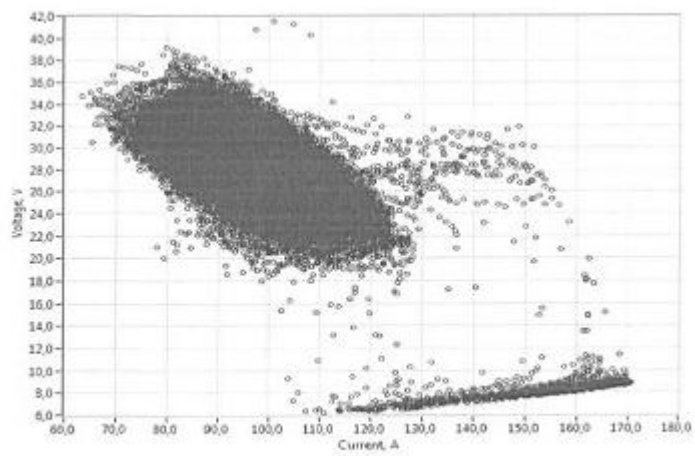
Фиг. 4а



Фиг. 4б



Фиг. 5а



Фиг. 5б

Комп'ютерна верстка Д. Шеврун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601