

УДК 621.791.75

Р 65

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОЛОЖЕННІ НА ОСНОВІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕНОСУ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ

Л. М. Лобанов, акад. НАН України, д-р техн. наук, проф.;

В. О. Лебедєв, д-р техн. наук;

С. Ю. Максимов, д-р техн. наук;

О. М. Тимошенко, канд. техн. наук;

П. В. Гончаров, інж.;

І. В. Лендел, інж.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ

Анотація. Створено устаткування і технологію, що надають нові можливості застосування дугового точкового зварювання у різних галузях промисловості. Установлено, що використання імпульсної подачі дроту і модульованого зварювального струму при виконанні зварних точкових з'єднань у вертикальному положенні стабілізує умови переносу електродного металу та забезпечує стабільність режиму зварювання.

Ключові слова: дугове точкове зварювання, імпульсно-дугове зварювання, імпульсна подача дроту, вертикальна площина, імпульс, цикл зварювання.

Аннотация. Созданы оборудование и технология, которые предоставляют новые возможности применения дуговой точечной сварки в различных областях промышленности. Установлено, что использование импульсной подачи проволоки и модулированного сварочного тока при выполнении сварных точечных соединений в вертикальном положении стабилизирует условия переноса электродного металла и обеспечивает стабильность режима сварки.

Ключевые слова: дуговая точечная сварка, импульсно-дуговая сварка, импульсная подача проволоки, вертикальная плоскость, импульс, цикл сварки.

Abstract. The equipment and the technology which offer new opportunities of arc spot welding in various industries are developed. It was found that the use of pulsed wire feed and modulated arc-welding current when making the welded point joints in the vertical position stabilizes the conditions of the electrode metal transfer and provides welding stability.

Keywords: arc spot welding, pulsed-arc welding, pulsed wire feed, vertical plane, pulse, welding cycle.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зварювання плавким електродом у середовищі вуглекислого газу має широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїй простоті, низькій вартості зварювальних матеріалів, можливості ведення процесу зварювання в різних просторових положеннях тощо. У машинобудівній галузі даним способом виконується майже 80% зварних з'єднань, з яких значна кількість напусткових. Наприклад, при виробництві залізничних вагонів використовують переважно напусткові з'єднання, які виконуються суцільними, переривчастими або точковими швами. Зварювання точковими швами забезпечує мінімальні деформації та менші енергетичні витрати порівняно із суцільними швами.

Процес дугового точкового зварювання (ДТЗ) дозволяє виконувати однобічне приварювання листових конструкцій до елементів рам при облицюванні вагонів, малих суден, інших об'єктів подібного типу та автоматизувати процес [1, 8], але, на відміну від точкового з'єднання в нижньому положенні, здебільшого виконан-

ня ДТЗ у вертикальному положенні пов'язане з труднощами отримання якісних точкових з'єднань [1, 7, 8].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Зазвичай при ДТЗ у вертикальному положенні рекомендують виконувати отвори у верхньому елементі конструкції, що приварюється [7], а це збільшує вартість ДТЗ. Зварювання без отворів необхідно виконувати за циклом з наростанням та спадом струму і напруги дуги [5]. На початку циклу відбувається пропалювання зовнішнього листа на підвищених режимах зварювання, а на наступній стадії циклу отриманий простір заповнюється електродним металом і формується точкове з'єднання. Неточність дозованого внесення електродного металу призводить до його витікання під дією сили тяжіння, що погіршує формування точкового з'єднання та унеможливає повторюваність зварних точок (рис. 1).

МЕТА РОБОТИ — удосконалення технології ДТЗ на основі керування формуванням точкового з'єднання

тонколистових конструкцій у вертикальному положенні шляхом імпульсної подачі зварювального дроту в поєднанні з модуляцією зварювального струму.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проведені експериментальні дослідження виявили наступні найбільш вагомні причини, які призводять до незадовільної якості отримання точкових з'єднань:

- нестабільність параметрів процесу зварювання;
- зміна умов та неконтрольовані коливання швидкості подачі електродного дроту, а отже, сила струму, що впливає на характеристики плавлення;
- нагрів металу від попередньо виконаних зварних точкових з'єднань;
- відсутність контролю за тепловкладенням у ванну розплавленого металу.

Значною проблемою при зварюванні на різних технологічних етапах процесу є періодичне згасання та повторне збудження дуги, яке не завжди є стійким унаслідок утворення на торці дроту крапель електродного металу різної величини. Різні варіанти форми застиглої краплі електродного металу подані на рис. 2. Як показали дослідження, тільки форми краплі 3 і 4 забезпечують надійне збудження дуги.



Рис. 2. Форма застиглих крапель на електродному дроті

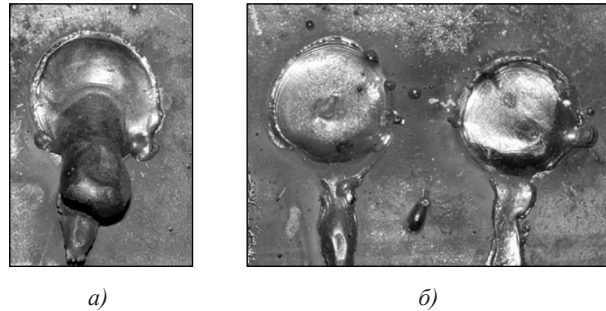


Рис. 1. Зовнішній вигляд точкового з'єднання у вертикальному положенні: а — стікання розплавленого металу; б — неоднакове формування зварної точки

На рис. 3 наведено блок-схему та загальний вигляд дослідно-випробувального стенду для відпрацювання режимів зварювання точок у вертикальному положенні. Як механізм імпульсної подачі дроту використовували безредукторний механізм подачі на базі вентильного комп'ютеризованого електропривода, який дозволяє керувати кроком подачі, частотою і скважністю імпульсів подачі зварювального дроту [5]. Перед здійсненням циклу експериментів проведено тарування всіх приладів, що були виготовлені спеціально в рамках даної роботи.

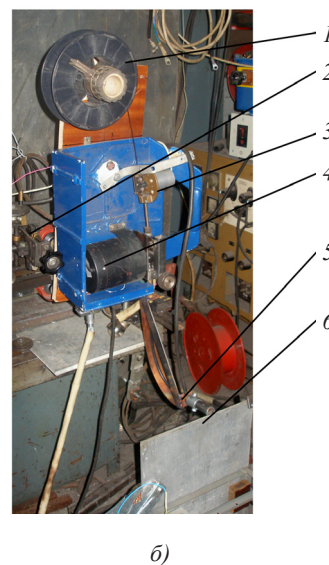
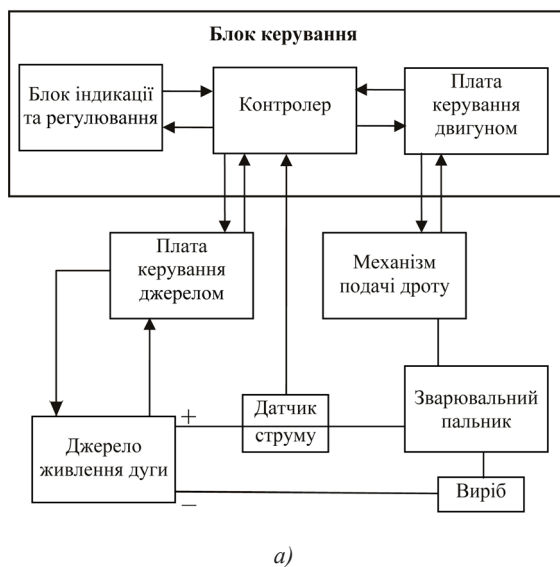


Рис. 3. Блок-схема (а) та загальний вигляд (б) стенду для точкового зварювання на вертикальній площині з імпульсною подачею електродного дроту: 1 — касета з електродним дротом; 2 — механізм переміщення пальника; 3 — датчик швидкості подачі дроту; 4 — механізм подачі дроту; 5 — пальник для зварювання; 6 — виріб

Вид переносу електродного металу оцінювали за фіксованими осцилограмами напруги зварювальної дуги, які записували одночасно з імпульсами подачі електродного дроту.

Цикл отримання точкового з'єднання у вертикальному положенні розділено за призначенням на два етапи: пропалювання металу, що приварюється, та формування точкового з'єднання.

Для виявлення можливості стабілізації формування точкового з'єднання у вертикальному положенні, визначення параметрів імпульсної подачі дроту, які найбільш суттєво впливають на процес та оптимізацію характеристик точкового з'єднання, проведено дослідження впливу керованої подачі на геометрію зварного шва.

На рис. 4 показано циклограму імпульсної подачі електродного дроту. У роботі досліджували наступні параметри імпульсної подачі: частоту і скважність імпульсів, крок та швидкість подачі в імпульсі та реверсі [3].

Вивчено вплив частоти і скважності (співвідношення часу дії імпульсу і паузи або часу циклу до часу імпульсу) імпульсів при подачі електродного дроту (табл. 1) на геометричні параметри наплавленого валика (висота a , ширина b , глибина пропалвлення h , площа поперечного перерізу S_p).

На рис. 5 показано зовнішній вигляд валиків, наплавлених згідно з даними табл. 1, та їх макроструктура.

У всіх випадках наплавлення процес був стабільним, а розбризування не перевищувало 3...5% при збільшенні частоти імпульсів (40...60 Гц). Незначна осьова асиметричність спостерігається тільки у першого валика (при стаціонарній подачі дроту). Його поверхня має неплavnий обрис, нерівномірну ширину, а також «провали». Збільшення частоти імпульсної подачі не тільки сприяє зменшенню розбризування металу, але також практично виключає напливи. Важливо відзначити, що при зварюванні з імпульсною подачею електродного дроту відношення величини опуклості шва до його ширини складає $a/b < 0,3$, що задовольняє вимоги стандартів.

Шви, отримані з використанням стаціонарної подачі електродного дроту, за показником a/b не завжди відповідають вимогам стандартів. Це пояснюється тим, що при стаціонарній подачі дроту дуга горить безперервно, а її тиск зосереджено на кратері. При

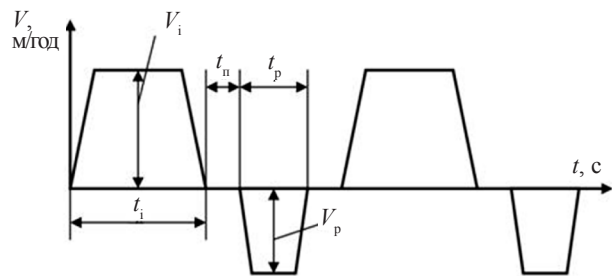


Рис. 4. Циклограма імпульсної подачі електродного дроту: t_i , t_n , t_p — відповідно тривалість імпульсу, паузи і реверсу; V_i , V_p — швидкість в імпульсі та у реверсі відповідно

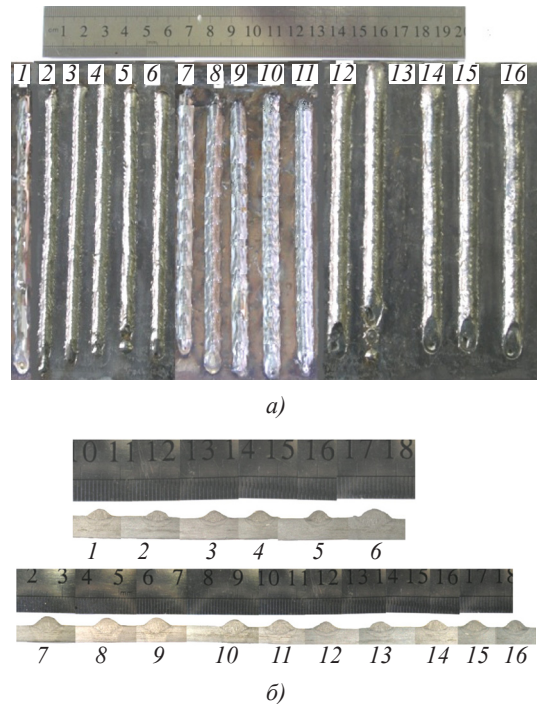


Рис. 5. Зовнішній вигляд (а) і макроструктури (б) наплавлених валиків

цьому відбувається інтенсивне витіснення рідкого металу у хвостову частину ванни. При імпульсній подачі електродного дроту тиск дуги змінюється в широкому діапазоні: від максимального в період дії імпульсу подачі до нульового або близького до нього значення при паузі. Відповідно до цього відбуваються і коливання довжини дуги від нульового значення при короткому замиканні електродного дроту на ванну

Таблиця 1. Параметри режимів зварювання з імпульсною подачею зварювального дроту

Номер валика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Частота f , Гц	1	20	30	40	50	60	20	30	40	50	60	20	30	40	50	60
Швидкість подачі дроту, м/год:	180	360					360					360				
– при імпульсі $V_{\text{имп}}$		0					0					0				
– при паузі $V_{\text{пауз}}$		0					0					0				
Скважність S	1	3					2					1,5				

рідкого металу до максимального при паузі. Ці коливання мають визначальний вплив на характеристики формування зварного шва або валика наплавленого металу.

Установлено, що імпульсна подача дроту забезпечує рівномірне формування шва з дрібнолускатою поверхнею. Формування зварного шва відбувається в режимі керування тепловведенням енергії дугового процесу в основний метал і керування формою проплавлення швів та оптимізацією умов початку і закінчення процесу зварювання.

Аналіз результатів (див. табл. 1 і 2) показує, що валики, наплавлені на частотах більше 40 Гц, мають стабільні параметри по глибині проплавлення та площі поперечного перерізу. Режими зварювання можуть бути використані в циклі заварювання при ДТЗ.

Установлено, що імпульсна подача зварювального дроту дозволяє точно дозувати електродний метал, який вноситься у зварювальну ванну, оскільки вона забезпечує контроль за розмірами краплі електродного металу на кінці зварювального дроту і точне внесення її в зварювальну ванну за рахунок сил інерції при різкій зупинці дроту. Виконання ДТЗ за даною технологією з використанням розробленої установки дозволяє виключити ряд істотних причин, що призводять до незадовільної якості точкових з'єднань.

Вибір чергування зварювальних імпульсів і пауз та регулювання їхньої тривалості забезпечує порційне тепловкладення у зварювальну ванну, оптимальний термічний цикл, більш сприятливу структуру і властивості металу шва [2]. У перерві між зварювальними циклами відбувається охолодження шва, яке запобігає витіканню розплавленого металу зі зварювальної ванни та забезпечує якісне формування зварного з'єднання. При цьому задаються тривалість зварювальних циклів, пауз між циклами

і сила зварювального струму, що дозволяє сформувати остаточний обсяг зварної точки та її зовнішню поверхню. При циклічному тепловкладенні у зварне з'єднання рівень напруженого стану значно нижчий, ніж при зварюванні на режимі без пауз між імпульсами або на режимі без імпульсів. Залежно від циклу зварювання, товщини деталей, діаметра електродного дроту параметри режиму зварювання можуть змінюватися в широкому діапазоні.

Електронне керування процесом зварювання в поєднанні з імпульсною подачею електродного дроту оптимізує умови відділення розплавленої краплі при зварюванні плавким електродом [3, 4]. Підбором частоти і скважності імпульсної подачі дроту досягається певне співвідношення між частотами масопереносу та імпульсів подачі, забезпечується незмінний виліт електродного дроту, що дозволяє контролювати розмір краплі розплавленого металу, який буде залежати тільки від кроку подачі зварювального дроту.

Зміна технологічних етапів у циклі зварювання вимагає стабільності збудження зварювальної дуги при переході від одного етапу зварювання до іншого. Використання імпульсної подачі в циклі ДТЗ дозволяє оптимізувати умови стабільного збудження дуги та встановлення стабільного режиму, що видно з осцилограм струму та напруги на рис. 6.

Технологію ДТЗ у вертикальному положенні відпрацьовували на дослідних зразках з'єднання сталі Зсп зі сталлю 09Г2С (товщина листів 1,5...7,0 мм) дротом суцільного перерізу Св08Г2С діаметром 1,2 та 1,6 мм у захисному газі CO₂. Зварювання виконували імпульсною дугою з імпульсною подачею зварювального дроту. Відповідність точкового з'єднання вимогам ГОСТ 14776-79 визначалася порівнянням отриманих діаметрів ядра зварного з'єднання. Для визначення

Таблиця 2. Геометричні характеристики наплавлених валиків

Номер	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>S_в</i> , мм ²
	мм			
1	2,3	7,7	1,5	16,1
2	1,4	5,7	0,9	8,1
3	1,5	6,1	0,8	8,9
4	1,4	6,1	0,8	8,5
5	1,4	6,2	0,9	8,4
6	1,5	6,4	1,1	8,4
7	2,2	7,9	1,2	14,8
8	2,2	8,1	1,3	15,9
9	2,1	8,1	1,6	17,6
10	2,0	7,7	1,5	16,6
11	2,0	7,5	1,1	15,1
12	2,3	9,0	2,4	22,8
13	2,4	9,2	2,6	23,2
14	2,6	9,5	2,6	24,7
15	2,7	9,7	2,4	26,4
16	2,7	9,4	2,3	25,2

діаметра ядра зварної точки зразки піддавали скручуванню. Зварювання виконувалося на режимі: напруга дуги 28...30 В, середнє значення сили струму для всіх досліджених параметрів імпульсної подачі 250 А. З'єднання та макрошліф у зоні з'єднання при ДТЗ показані на рис. 7, а мікроструктура — на рис. 8.

Дослідження мікроструктури зварних точкових з'єднань (див. рис. 8) показали, що розроблена технологія забезпечує певне проплавлення, дрібнозернисту структуру металу шва, відсутність дефектів литої зони та гартівних структур у зонах сплавлення і термічного впливу.

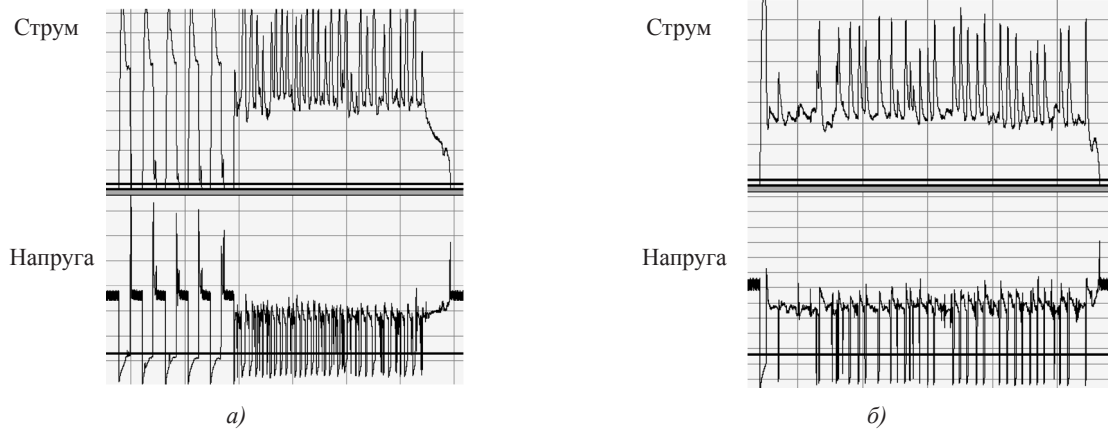


Рис. 6. Осцилограми струму та напруги при установленні процесу зварювання: а — неперервна подача дроту; б — імпульсна подача дроту

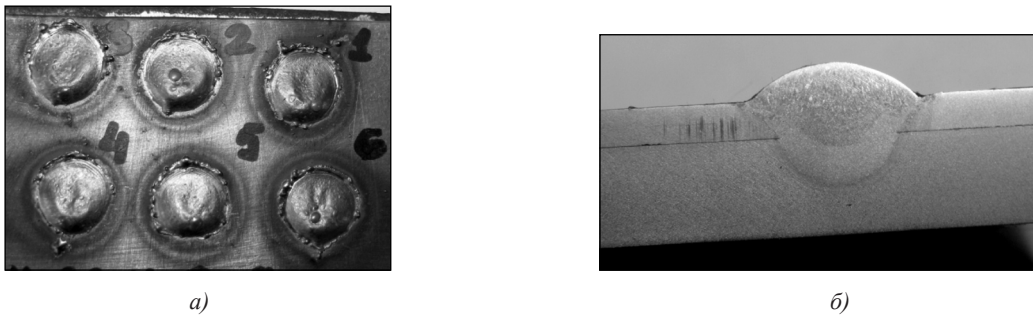


Рис. 7. Дугові точкові з'єднання (а) та макроструктура в зоні з'єднання (б) (сталь 3сп — товщина листів 2,5 мм та сталь 09Г2С — 7,0 мм)

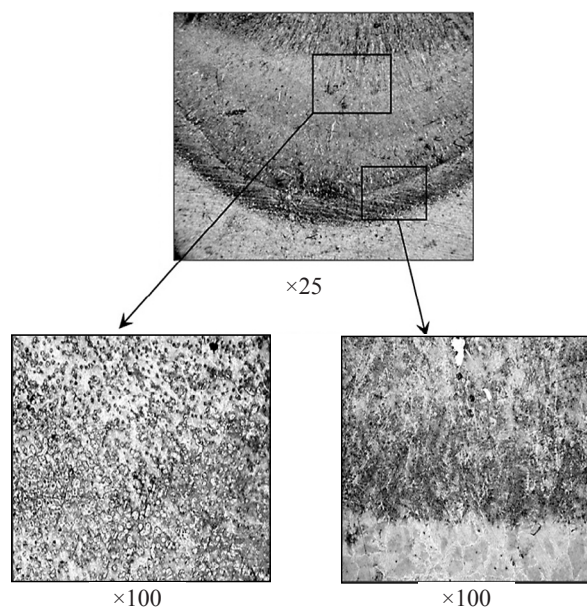


Рис. 8. Мікроструктура зварного точкового з'єднання

Зварювання за цією технологією забезпечує часткову перекристалізацію попередньо наплавленого металу, нормалізацію шва та зони термічного впливу в площині контакту зварюваних елементів. У результаті нормалізації відбувається здрібнювання кристалітів металу шва та зерна металу зони термічного впливу на границі сплавлення в площині контакту елементів. Міцність з'єднання при динамічних навантаженнях на вигин точкового з'єднання, виконаного багаточисловим зварюванням, за рахунок більш дрібнозернистої структури та однорідності фізико-механічних властивостей ділянок зварного з'єднання при симетричному циклі навантаження на 10...20% вища, ніж у випадку зварювання, виконаного за один цикл [2]. Руйнівні зусилля на зріз точкового з'єднання для товщин з'єднуваних зразків 1,0+4,0 мм дорівнювали 14600...16000 Н, діаметр ядра зварної точки — 5,2 мм; для товщин 2,5+7,0 мм зусилля на зріз було 16900...22000 Н, діаметр ядра зварної точки — 8,5...9,0 мм.

Подальше вдосконалення технології ДТЗ пов'язане з новими видами обладнання та можливостями використання впливу на процес дугового механізованого зварювання комбінованого імпульсного впливу від імпульсного механізму подачі дроту та імпульсного джерела зварювального струму [6].

ВИСНОВКИ

1. Використання імпульсної подачі дроту і модульованого зварювального струму при виконанні зварних точкових з'єднань у вертикальному положенні стабілізує умови переносу електродного металу й забезпечує стабільність режиму зварювання при переході від одного технологічного етапу до іншого в циклі зварювання, а розроблені устаткування і технологія надають нові можливості застосування дугового точкового зварювання у різних галузях промисловості.

2. Програмування швидкості імпульсної подачі електродного дроту істотно розширює технологічні можливості процесу зварювання у вуглекислому газі: підвищується стабільність горіння дуги, розширюється діапазон робочих режимів, що дозволяє зварювати метал меншої товщини, оптимізуються умови керування геометричними параметрами зварного шва та зменшується розбризкування металу (2...5%).

3. Подальше вдосконалення технології ДТЗ, а також стабілізації переносу електродного металу пов'язане з об'єднанням процесів імпульсної подачі електродного дроту та накладання імпульсів струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Воропай, Н.М.** Особенности процессов дуговой точечной сварки в защитных газах (обзор) [Текст] / Н.М. Воропай // Автоматическая сварка. — 2004. — №7. — С. 28–33.
- [2] **Крылов, С.В.** Повышение ударной прочности соединений, выполненных дуговой точечной сваркой [Текст] / С.В. Крылов, А.Е. Аснис // Автоматическая сварка. — 1983. — №7. — С. 17–18, 34.
- [3] **Лебедев, В.А.** Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки [Текст] / В.А. Лебедев // Сварочное производство. — 2007. — №8. — С. 30–35.
- [4] **Лебедев, В.А.** Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (Обзор) [Текст] / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. — 2010. — №10. — С. 46–53.
- [5] **Лобанов, Л.М.** Дуговая точечная сварка нахлесточных соединений в вертикальном положении [Текст] / Л.М. Лобанов, П.В. Гончаров, А.Н. Тимошенко // Автоматическая сварка. — 2009. — №1. — С. 34–37.
- [6] **Патон, Б.Е.** Способ комбинированного управления процессом переноса электродного металла при механизированной дуговой сварке [Текст] / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, Я.И. Микитин // Сварочное производство. — 2006. — №8. — С. 27–32.
- [7] **Потапьевский, А.Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Ч.1. Сварка в активных газах [Текст] / А.Г. Потапьевский. — Изд. 2-е, перераб. — К.: Экотехнология, 2007. — 192 с.
- [8] **Ткаченко, А.Н.** Применение дуговой точечной сварки при изготовлении кузовов вагонов [Текст] / А.Н. Ткаченко, А.С. Воскресенский // Автоматическая сварка. — 2005. — №12. — С. 26–28.

© Колектив авторів

Надійшла до редколегії 21.11.2012

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. *В.Ф. Квасницький*

Статтю розміщено у Віснику НУК №5, 2012