

DOI 10.32820/2079-1747-2019-23-122-129

УДК 621.791

РОЗРОБКА ТЕРМИТНОГО ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕЙ В МОНТАЖНИХ УМОВАХ

©Ізотова. К.О.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Ізотова Катерина Олександрівна: ORCID 0000-0002-6585-6681, itmzv@upra.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статі показано розробка технології створення електрода для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в монтажних умовах, при використанні джерел змінного струму з малою силою струму і напругою холостого ходу 50 В, що забезпечуються за рахунок зміни системи розкислення, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

Високі зварювально-технологічні властивості електродів дозволяють виконувати зварювання відповідальних конструкцій при використанні джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, а також виконувати монтажні шви у всіх просторових положеннях без утворення дефектів. Використання термитного ефекту дозволяє вдвічі зменшити силу струму.

Ключові слова: *електроди, покриття, термит, струм, зварювання.*

Ізотова Е.А. «Разработка термитного электродного покрытия для сварки сталей в монтажных условиях»

В статье показана технология создания электрода для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей в монтажных условиях, при использовании источников переменного тока с малой силой тока и напряжением холостого хода 50 В за счет изменения системы раскисления, шлаковой и газовой системы защиты металла шва компонентами электродного покрытия.

Высокие сварочно-технологические свойства электродов позволяют производить сварку ответственных конструкций при использовании источников питания с напряжением холостого хода 50 В, а также выполнять монтажные швы во всех пространственных положениях без образования дефектов. Использование термитного эффекта позволяет вдвое уменьшить силу тока.

Ключевые слова: *качество, точность, линейный размер, детали машин, контроль.*

Izotova E. «Development of a thermite electrode coating for welding steels in installation conditions».

The aim of the development is to create an electrode for welding low-carbon and low-alloy steels in the installation conditions, using low-current and 50-V alternating current sources by changing the deoxidation system, the slag and gas system for protecting the weld metal with electrode coating components.

To optimize the deoxidation system and the gas-slag coating system, ferromanganese, silicocalcium, talc, clay, soda, marble and wood meal are additionally introduced into the composition containing hematite.

Studies have shown that the use of silicocalcium as a deoxidizer and slag-forming electrode coating provides an additional deoxidation of the metal seam, improving its quality and stable re-ignition of the arc due to the occurrence of the termite reaction with hematite and the release of additional heat, which goes to the heating of the electrode.

The technology for manufacturing electrodes with a new coating composition does not differ from the known one, which is used for analogous electrodes. Welding of plates made of steel VSt3sp was carried out in the lower position with alternating current of 60-80 A.

The results of testing the welding-technological properties and mechanical characteristics of the deposited metal are given in the paper. As a result of tests of welding-technological properties of electrodes and mechanical characteristics of welded metal, it has been established that the optimal composition of the coating has electrodes 2, 3, 4, which have the best results. Thus, the introduction of these components and proposed a certain ratio of coating components provides a total effect, which was expressed in improving the welding and technological properties of the electrodes and the mechanical characteristics of the weld metal.

The high welding and technological properties of the electrodes allow welding of the responsible structures from carbon and low-alloy steels to constant and alternating current at 50V single-voltage power sources and also to perform assembly joints in all spatial positions without defects. In addition, the use of the termite effect can reduce the strength of current, which significantly reduces the cost of welding electricity.

Keywords: electrodes, coating, termite, current, welding.

1. Постановка проблеми

У теперішній час розширився обсяг досліджень по пошуку дешевої регіональної сировини, придатної для виробництва зварювальних електродів. Це викликано гострим дефіцитом ряду шихтових матеріалів, а також труднощами з поставками багатьох видів сировини. Дослідження відноситься до області зварювального виробництва, зокрема до складу електродних покриттів, які використовуються для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

Технічною проблемою при використанні відомих електродів є недостатньо стабільне повторне запалювання електрода, що ускладнює зварювання в монтажних умовах при зварюванні коротких швів, а також неможливість зварювання в промислових і побутових умовах з використанням трансформаторів, що мають напругу холостого ходу 50 В.

2. Аналіз останніх досліджень

В даний час зварювання плавленням грає провідну роль в зварювальному виробництві, основу якої складають методи ручного дугового зварювання.

Основною характеристикою масштабу застосування зварювання є структура і обсяги виробництва зварювальних матеріалів. У найближчому майбутньому методи зварювання збережуть своє провідне становище і тому підвищення якості металу шва і зварювально-

технологічних характеристик зварювальних матеріалів є однією з найважливіших проблем зварювального виробництва [1, 2].

Важливим завданням зварювального виробництва завжди було створення нових зварювальних матеріалів, що володіють високими зварювально-технологічними властивостями і якістю зварних з'єднань.

Основною причиною, що обмежує застосування електродів, зокрема, для зварювання відповідальних конструкцій є підвищений вміст кисню і неметалічних включень в металі шва [3]. Як розкислювачі в електродах з кислим покриттям використовується феромарганець і іноді невеликі кількості феросиліцію. Кількість, дисперсність і хімічний склад неметалевих включень визначається перебігом окисно-відновних реакцій марганцю і кремнію [3]. Показано, що для забезпечення рівня міцності, пластичності і ударної в'язкості металу шва електродів на рівні рутілових необхідно забезпечити в наплавленого металу вміст марганцю 0,5 ... 0,8%. Це вимагає підвищеного вмісту феромарганцю в складі покриття до 20%, що є економічно не вигідним і погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів.

У зварювальному виробництві відомі склади рутілових, рутилкарбонатних, рутіла-люмосилікатних та ільменітових покриттів, наприклад електродів марок АНО-4, МР-3, ОЗС-4, АНО-21, АНО-6 та ін., а також склади електродних покриттів по авторським свідоцтвам [4 - 6], які вміщують рутіловий та ільменітовий концентрат, карбонати металу (мармур, магнетит), різні алюмосилікати (польовий шпат, слюду, тальк), соду, феромарганець, органічні речовини (целюлозу, крохмаль, деревинне борошно), калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

Найбільш близьким по складу компонентів до розробленого складу і взятий в якості прототипу є термітний зварювальний склад [4], що містить наступні компоненти, мас. %: алюміній 19-22, залізна окалина 37-45, оксид нікелю 2,0-2,3, оксид хрому 1,0-1,2, двоокис марганцю 13,5-19,6, графіт 0,5-0,8, фторид кальцію 4,9-5,8, металічний наповнювач 10,7-15,1. Технічним результатом від використання винаходу є забезпечення покращення механічних властивостей металу шва.

Недоліком аналогічних електродів і термітних сумішей є недостатньо стабільне запалювання електрода, що ускладнює зварювання в монтажних умовах при зварюванні коротких швів у різних просторових положеннях.

Основними причинами, неможливості виконання цих умов, є недосконала система розкислення і газошлакова система покриття електродів, що не дозволяє отримати якісний метал шва і стабільне запалювання дуги при зварюванні на монтажі короткими швами.

3. Постановка завдання досліджень

Технічним завданням розробки є створення електрода для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в монтажних умовах, при використанні джерел постійного і змінного струму з малою силою струму і напругою холостого ходу 50 В, що забезпечується за рахунок зміни системи розкислення, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

При цьому повинні бути забезпечені високі зварювально-технологічні властивості електродів і якість зварних з'єднань.

4. Експериментальна частина

Технологія виготовлення електродів з розробленим складом покриття не відрізняється від відомої і виконувалась методом обпресування на агрегаті моделі АОЕ-4.

У якості електродних стрижнів використовувався зварювальний дріт по ГОСТ 2246-70 марки Св-08А [8].

Було виготовлено і випробувано 5 варіантів електродів з розробленим складом покриття і прототип.

Зварювання пластин із сталі Вст3сп розміром 200x100x5 проводилось у нижньому положенні на змінному струмі силою 60-80 А. У якості джерела живлення використовували зварювальний трансформатор моделі ТДМ-252.У2 з напругою холостого ходу 50-63 В (рис. 1.).



Рис. 1. Зварювальний трансформатор ТДМ-252.У2

тальк 8 – 12, глина 4 – 6, сода 0,5-1,0, мармур 27 – 32, деревинне борошно 1 – 4,5. Досліджували введення до складу покриття феромарганцю 12-18%, силікокальцію 8-12%, тальку 8-12%, глини 4-6%, соди 0,5-1,0%, мармуру 27-32% і деревинного борошна 1-4,5%.

Силікокальцій — це сплав кальцію, кремнію і заліза, який є активним комплексним розкислювачем і дегазатором зварювальної ванни, а також ефективним десульфуратором.

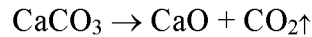
Істотність відмін розробленого складу покриття полягає у використанні в ньому силікокальцію в кількості 8-12%, в якості розкислювача і шлакоутворювача електродного покриття, що забезпечує додаткове розкислення металу шва, підвищення його якості і стабільне повторне запалювання дуги за рахунок протікання термітної реакції з гематитом і виділенням додаткового тепла, що йде на підігрів електрода.

При введенні силікомарганцю в кількості менше 8% не забезпечується достатній термітний ефект підігріву електрода.

При введенні силікомарганцю у склад покриття в кількості більше 12 % спостерігається збільшення вмісту вуглецю в наплавленому металі понад 0,12 %, що може привести до утворення гарячих тріщин в металі шва, а також пороутворенню за рахунок окислення вуглецю у зварювальній ванні, з виділенням СО.

Механічні властивості наплавленого металу визначались на зразках у відповідності до ГОСТ 6996-66 [9] з допомогою розривної машини Р5М і маятникового копра 2010 КМ-30. Контроль якості зварних швів оцінювали візуальним методом при зовнішньому огляді на наявність пор, тріщин і дефектів форми шва. Для оптимізації системи розкислення і газошлакової системи покриття в його склад вводили феромарганець, силікокальцій, тальк, глину, соду, мармур і деревинне борошно, при наступному співвідношенні компонентів покриття, в мас. %: гематит 25-30, феромарганець 12 – 18, силікокальцій 8 – 12,

Мармур вводили до складу покриття в кількості 27-32 %. Він відноситься до групи карбонатів металу. У процесі нагрівання мармуру у електродному покритті, при плавленні електрода, протікає його дисоціація. При досягненні температури 900°С протікає реакція з виділенням вуглекислого газу:



Вуглекислий газ, що виділяється, забезпечує надійний захист розплавленого металу від взаємодії з атмосферним повітрям. Це забезпечує підвищення механічних властивостей металу шва. Шлак, що утворюється при дисоціації мармуру, вміщує основний оксид CaO. Він надійно захищає розплавлений метал від окислення, сприяє очищенню його від сірки, полегшує відокремлення шлаку і покращує формування металу шва.

Введення мармуру до складу покриття у кількості менше 27 % не забезпечує надійного газового захисту металу шва, погіршує відокремлення шлаку, знижує пластичні властивості наплавленого металу. При введенні мармуру у кількості більше 32 % відбувається підвищення основності шлаку, що погіршує формування металу шва і сприяє утворенню пор, зокрема у кратерах зварних швів. Глину вводили до складу електродного покриття у кількості 4-6 %, і застосовували як шлакоутворюючий компонент, що підвищує в'язкість шлаку, його укривну здатність, крім того глина підвищує напругу зварювальної дуги, що покращує формування зварних швів.

При введенні глини менше 4% збільшується рідкотекучість шлаку що погіршує формування металу шва. При введенні глини в кількості більше 6% збільшується тугоплавкість покриття і утворюються зашлаковки в металі шва.

Тальк являє собою мінерал, який складається з водного алюмосилікату кальцію і натрію. Використання тальку у складі електродного покриття дає технологічний ефект комплексного введення силікату, що забезпечує підвищення зварювально-технологічних властивостей електродів. Введення тальку в кількості менше 8 % не забезпечує стійкості металу шва проти пористості, зменшує продуктивність зварювання.

При введенні тальку у кількості більше 12 % значно підвищується в'язкість шлаку, зростає тугоплавкість покриття і розбризування електродного металу.

Феромарганець вводили до складу покриття у кількості 12-18 %, як основний розкислювач зварювальної ванни і легуючий елемент. Він є самим дешевим і розповсюдженим розкислювачем у зварювальних електродах кислого виду. При введенні феромарганцю до складу покриття у кількості менше 12 % не забезпечується повне розкислення зварювальної ванни, що може бути причиною пористості і низьких механічних властивостей металу шва.

Введення феромарганцю у кількості більше 18 % погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів за рахунок підвищеного вмісту оксидів марганцю у зварювальному аерозолі. Крім того, значно знижуються пластичні характеристики наплавленого металу.

Гематит (Fe₂O₃) являє собою залізну руду, і вводили до складу електродного покриття у кількості 25-30 % як шлакоутворюючий компонент, що забезпечує текучість шлаку, покращення його відокремлення і формування металу шва.

Вміст гематиту у кількості менше 25 % не забезпечує покращення текучості шлаку, легкого його відокремлення і якісного формування шва. При введенні гематиту у кількості

більше 30 % спостерігається підвищена текучість шлаку, що ускладнює зварювання у вертикальному і стельовому положенні, зростає окислення марганцю у зварювальній ванні, яке призводить до зниження механічних властивостей металу шва. У якості компонента, що покращує обпресовочні властивості покриття, підвищує стабільність горіння дуги, а також утворює шлак до складу покриття ведено соду у кількості 0,5-1,0 %.

При введенні соди у кількості менше 0,5 % погіршується технологічність виготовлення електродів, нанесення покриття потребує підвищення тиску у гідравлічній системі преса. Крім того, погіршується стабільність горіння дуги, а недостатня кількість кристалізаційної води в покритті викликає виникнення водневої пористості металу шва.

Вміст соди у кількості більше 1,0 % надмірно підвищує в'язкість шлаку, збільшує розбрикування електродного металу без подальшого покращення якості металу шва. У якості речовини, яка покращує газовий захист розплавленого металу використовується деревинне борошно у кількості 1-4,5 %.

Крім того, деревинне борошно при згоранні в покритті підвищує стабільність повторного запалювання дуги за рахунок утворення на торці електрода деревинного вугілля, яке має низький потенціал іонізації і високу електропровідність.

При введенні деревинного борошна у кількості менше 1 % не забезпечується якісний газовий захист зварювальної ванни і не забезпечується стабільність повторного запалювання зварювальної дуги. Вміст деревинного борошна у кількості більше 4,5 % викликає надмірне виділення газів, що призводить до розбрикування електродного металу, збільшує виділення зварювального аерозолу, який погіршує санітарно-гігієнічну характеристику електродів.

5. Результати досліджень

Варіанти складу покриття виготовлених електродів діаметром 3 мм. наведені у табл. 1. Результати випробування зварювально-технологічних властивостей і механічних характеристик наплавленого металу приведені в табл. 2, 3. У результаті випробувань зварювально-технологічних властивостей електродів і механічних характеристик наплавленого металу встановлено, що оптимальний склад покриття мають електроди 2, 3, 4 варіантів, які мають найкращі результати. Таким чином, введення перерахованих компонентів і запропоноване певне співвідношення компонентів покриття забезпечує отримання сумарного ефекту, що виразився у покращенні зварювально-технологічних властивостей електродів і механічних характеристик наплавленого металу.

Таблиця 1 – Склад покриття дослідних варіантів електродів

Компоненти покриття	1	2	3	4	5
Гематит	21	25	28	30	32
Феромарганець	11	12	15	18	20
Силікокальцій	13	12	10	8	7
Тальк	13	12	10	8	7
Глина	7	6	5	4	3
Сода	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4
Мармур	33	32	29	27	26
Деревинне борошно	0,5	1	2,3	4,5	4,6

Таблиця 2 – Результати технологічних випробувань

Варіант покриття	Зварювально-технологічні властивості			
	Розривна довжина дуги, мм	Формування шва	Стабільність горіння при напрузі 50 В	Наявність дефектів на 100 мм шва
Прототип	20	Задовільне	Низька	Пори - 2 шт.
1	21	Добре	Середня	Зашлаковка – 1 шт.
2	25	Відмінне	Висока	Нема
3	28	Відмінне	Висока	Нема
4	26	Відмінне	Висока	Нема
5	22	Добре	Середня	Пори - 1 шт.

Таблиця 3 – Результати технологічних випробувань

Варіант електрода	Механічні властивості наплавленого металу		
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	КСУ, Дж/см ²
Прототип	485	27	145
1	480	28	135
2	490	28,5	140
3	495	30	150
4	498	29	145
5	486	27,5	138

Високі зварювально-технологічні властивості електродів дозволяють виконувати зварювання відповідальних конструкцій із вуглецевих і низьколегованих сталей на постійному і змінному струмі при використанні джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, а також виконувати монтажні шви у всіх просторових положеннях без утворення дефектів (рис.2). Крім того, використання термітного ефекту дозволяє зменшити силу струму, що значно зменшує витрату електроенергії при зварюванні.



Рис.2. Вигляд процесу зварювання трубопроводу у монтажних умовах

Висновки

Розроблені електроди для зварювання відповідальних конструкцій із низьковуглецевих і низьколегованих сталей на постійному і змінному струмі у монтажних умовах з використанням джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В, при забезпеченні необхідних механічних характеристик металу шва і якості зварних з'єднань.

Список використаних джерел:

1. Рынок сварочных материалов Украины / А. А. Мазур, С. В. Пустовойт, В. С. Петрук [и др.]. // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – с. 39–45.
2. Зовнішньоекономічна діяльність України в 2002–2015 рр. (зварювальні матеріали та обладнання). – К.: Вид-во ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2016. – 35 с.
3. Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – с. 151–154.
4. Власов а. Ф. Применение экзотермических смесей при ручной дуговой сварке и электрошлаковых процессах/ А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Сварочное производство. – 2016. – № 8. – с. 7–14.
5. А.с. СССР № 1130445. Состав термитной смеси / Ушаков М.В., Дуденко П.Е., Григорьев Ю.М., Вагагин В.В., Бердников В.С.; заяв. 06.04.1983, опубл. 23.12.1984, Бюл. ; 47.
6. А.с. СССР № 967740. Состав термитной смеси / Егоров Е.И., Меркулов А.Г., Сапрыкин В.Н., Маркевич О.Е.; заяв. 20.04.1981, опубл. 23.10.1982, Бюл. № 39.
7. Pramathesh Desai, “Monitoring Heat Treatment to Improve Weld Quality,” *Welding Journal*, vol. 89 (6), June 2010, pp. 109-111.
8. Girish Kumar Padhyand and Yu-ichi Komizo, “Diffusible Hydrogen in Steel Weldments-A Status Review,”*Trans. JWRI*, vol. 42 (1), 2013, pp. 39-62.
9. Bipkin Kumar Srivasstova, S. P. Twari and Jyoti Parkash, “A Review on the Effect of Preheating and / or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Properties of Ferrous Metals,” *International Journal of Engineering Science & Technology*, vol. 2 (4), 2010, pp. 625-631.

References

- Рынок сварочных материалов Украины / А. А. Мазур, С. В. Пустовойт, В. С. Петрук [и др.]. // *Avtomaticeskaya svarka*. – 2014. – № 6-7. – с. 39–45.
2. Zovnishnoekonomichna diyalnist Ukrayini v 2002–2015 rr. (zvaryvalni materiali ta obladnannya). – K.: Vid-vo IEZ im. Ye. O. Patona, 2016. – 35 s.
 3. Vlasov A. F. Nagrev i plavlenie elektrodov s ekzotermicheskoy smesy v pokrytii / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushij // *Avtomaticeskaya svarka*. – 2014. – № 6-7. – s. 151–154.
 4. Vlasov a. F. Primenenie ekzotermicheskikh smesey pri ruchnoj dugovoy svarke i elektroshlakovykh processah/ A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushij // *Svarchnoe proizvodstvo*. – 2016. – № 8. – s. 7–14.
 5. A.s. SSSR № 1130445. Sostav termitnoj smesi / Ushakov M.V., Dudenko P.E., Grigorev Yu.M., Vatagin V.V., Berdnikov V.S.; zayav. 06.04.1983, opubl. 23.12.1984, Byul. ; 47.
 6. A.s. SSSR № 967740. Sostav termitnoj smesi / Egorov E.I., Merkulov A.G., Saprykin V.N., Markevich O.E.; zayav. 20.04.1981, opubl. 23.10.1982, Byul. № 39.
 7. Pramathesh Desai, “Monitoring Heat Treatment to Improve Weld Quality,” *Welding Journal*, vol. 89 (6), June 2010, pp. 109-111.
 8. Girish Kumar Padhyand and Yu-ichi Komizo, “Diffusible Hydrogen in Steel Weldments-A Status Review,”*Trans. JWRI*, vol. 42 (1), 2013, pp. 39-62.
 9. Bipkin Kumar Srivasstova, S. P. Twari and Jyoti Parkash, “A Review on the Effect of Preheating and / or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Properties of Ferrous Metals,” *International Journal of Engineering Science & Technology*, vol. 2 (4), 2010, pp. 625-631.

Стаття надійшла до редакції 30 квітня 2019 р.