

УДК 621.791.042

**РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДІВ
ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ І НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

©Калін М. А.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Калін Микола Андрійович: ORCID: 0000-0002-4068-2718; svargof@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою роботи є створення електрода для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей в монтажних умовах, при використанні джерел змінного струму з малою силою струму і напругою холостого ходу.

Це досягається тим, що для оптимізації системи розкислення і газошлакової системи покриття в його склад, що містить гематит, ферромарганець, ферротитан, тальк, глину, соду, доломіт і деревинне борошно, додатково вводять оксид міді і алюміній.

Для досліджень використовувалися металеві електроди для ручного дугового зварювання, що виготовляються способом обпресування. Стрижні електродів виготовляли зі сталевих зварювального дроту марки Св-08А за ГОСТ 2246-70 діаметром 3 мм.

Зварювання пластин із сталі ВстЗсп проводилось у нижньому положенні на змінному струмі силою 60-80 А, у відповідності до вимог ГОСТ 9466.

Проводили випробування зварювально-технологічних властивостей і механічних характеристик наплавленого металу. Механічні властивості наплавленого металу визначались на зразках у відповідності до ГОСТ 6996.

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.

Ключові слова: електроди; низьковуглецева сталь; струм; зварювання.

Калін Н. А. «Разработка электродов для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей».

Целью работы является создание электрода для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей в монтажных условиях, при использовании источников переменного тока с малой силой тока и напряжением холостого хода.

Это достигается тем, что для оптимизации системы раскисления и газошлаковой системы покрытия в его состав, содержащий гематит, ферромарганец, ферротитан, тальк, глину, соду, доломит и древесный муку, дополнительно вводят оксид меди и алюминий.

Для исследований использовались металлические электроды для ручной дуговой сварки, изготавливаемых способом обпрессовки. Стержни электродов изготавливали из стального сварочной проволоки марки Св-08А по ГОСТ 2246-70 диаметром 3 мм.

Технологія машинобудування

Сварка пластин из стали ВСт3сп проводилось в нижнем положении на переменном токе силой 60-80 А, в соответствии с требованиями ГОСТ 9466.

Проводили испытания сварочно-технологических свойств и механических характеристик наплавленного металла. Механические свойства наплавленного металла определялись на образцах в соответствии с ГОСТ 6996.

Высокие сварочно-технологические свойства электродов позволяют производить сварку ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей на постоянном и переменном токе при использовании источников питания с напряжением холостого хода 50 В, а также выполнять монтажные швы во всех пространственных положениях без образования дефектов.

Ключевые слова: электроды; низкоуглеродистая сталь; ток; сварка.

Kalin N. “Development of electrodes for welding low-carbon and low-alloy steels”.

The aim of the work is to create an electrode for welding low-carbon and low-alloy steels in the installation conditions, using low-current and low-voltage alternating current sources.

This is achieved by the addition of copper oxide and aluminum to optimize the deoxidation system and the gas-slag coating system in its composition containing hematite, ferromanganese, ferrotitanium, talc, clay, soda, dolomite and wood flour.

For the research, metal electrodes for manual arc welding, manufactured by the crimping method, were used. Rods of electrodes were made of steel welding wire of mark Sv-08A in accordance with GOST 2246-70 with a diameter of 3 mm.

Welding of plates made of steel VSt3sp was carried out in the lower position with alternating current of 60-80 A, in accordance with the requirements of GOST 9466.

Welding-technological properties and mechanical characteristics of the weld metal were tested. The mechanical properties of the weld metal were determined on the samples in accordance with GOST 6996.

High welding-technological properties of electrodes allow welding of critical structures from carbonaceous and low-alloy steels on direct and alternating current using power supplies with idling voltage of 50 V, and also to perform assembly seams in all spatial positions without defect formation.

Key words: electrodes; low-carbon steel; current; welding.

1. Постановка проблеми

Розробка відноситься до області зварювального виробництва, зокрема до складу електродних покриттів, які використовуються для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей.

У зварювальному виробництві відомі склади рутилових, рутилкарбонатних, рутилалюмосилікатних 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 [1–3], які вміщують рутиловий та ільменітовий концентрат, карбонати металу (мармур, магнезит), різні алюмосилікати (польовий шпат, слюду, тальк), соду, ферромарганець, органічні речовини (целюлозу, крохмаль, деревинне борошно), калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

2. Аналіз останніх досліджень

Найбільш близьким по складу компонентів до складу, що заявляється і взяте в якості прототипу є термітний зварювальний склад [4], що містить наступні компоненти, мас. %: гематит 25-30, феромарганець 12-18, феротитан 8-12, тальк 8-12, глина 4-6, сода 0,5-1, доломіт 27-32, деревинне борошно 1-4,5. Технічним результатом від використання винаходу є підвищення міцності зварного шва.

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

Основними причинами, неможливості виконання цих умов, є недосконала система розкислення і газшлакова 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 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.

4. Експериментальна частина

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що для оптимізації системи розкислення і газшлакової системи покриття в його склад, що містить гематит, феромарганець, феротитан, тальк, глину, соду, доломіт і деревинне борошно, додатково вводять оксид міді і алюміній, при наступному співвідношенні компонентів покриття, в мас. %:

Гематит	22-25
Ферромарганець	10 – 14
Феротитан	8 – 12
Тальк	8 – 12
Глина	4 – 6
Сода	0,5-1,0
Доломіт	27 – 32
Деревинне борошно	1 – 4,5
Оксид міді	3 - 5
Алюміній	2 - 4

Новим, у порівнянні з прототипом, є введення до складу покриття оксиду міді 3-5%, і алюмінію 2-4 %.

Істотність відмін складу покриття полягає в невідомості використання в ньому алюмінію в кількості 2-4 %, в якості додаткового 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 виділенням додаткового тепла, що йде на підігрів електрода:



Технологія машинобудування

При введенні алюмінію в кількості менше 2 % не забезпечується достатній термітний ефект підігріву електрода.

При введенні алюмінію у склад покриття в кількості більше 4 % 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 CO.

Крім того, невідомим є введення до складу покриття електродів оксиду міді 3-5 %.

Оксид міді CuO має низьку спорідненість до кисню і легко його віддає при проходженні термітної реакції відновлення в зварювальній дузі по реакціям:



При цьому відновлена мідь переходить частково в метал шва, підвищуючи його міцність, а частково вигорає при високих температурах зварювальної дуги. Ці термітні реакції протікають зі значним виділенням тепла, що підвищує продуктивність зварювання і можливість зниження зварювального струму.

При введенні оксиду міді в кількості менше 2 % не забезпечується достатній термітний ефект підігріву електрода.

При введенні оксиду міді у склад покриття в кількості більше 4 % спостерігається збільшення вмісту вуглецю і міді в наплавленому металі, що може привести до підвищення міцності і утворення холодних і гарячих тріщин в металі шва.

Феромарганець вводять до складу покриття у кількості 10-14 %, 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 10 % не забезпечується повне розкислення зварювальної ванни, що може бути причиною пористості і низьких механічних властивостей металу шва.

Ведення ферромарганцю у кількості більше 14 % погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів за рахунок підвищеного вмісту оксидів марганцю у сварочному аерозолі. Крім того, значно знижуються пластичні характеристики наплавленого металу.

Гематит (Fe₂O₃) являє собою залізну руду, і вводиться до складу електродного покриття у кількості 22-25 % як шлакоутворювальний компонент, що забезпечує текучість шлаку, покращення його відокремлення і формування металу шва.

Вміст гематиту у кількості менше 22 % не забезпечує покращення текучості шлаку, легкого його відокремлення і якісного формування шва.

При введенні гематиту у кількості більше 25 % 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.

Таким чином, введення перерахованих компонентів і запропоноване певне співвідношення компонентів покриття забезпечує отримання надсумарного ефекту, що виразився у покращенні зварювально-технологічних властивостей електродів і механічних властивостей наплавленого металу (табл. 1, 2.).

Таблиця 1 – Результати технологічних випробувань електродів

Варіант покриття	Зварювально-технологічні властивості			
	Розривна довжина дуги, мм	Формування шва	Стабільність горіння при напрузі 50 В	Наявність дефектів на 100 мм шва
Прототип	25	Задовільне	Середня	Пори - 1 шт.
1	24	Добре	Середня	Зашлаковка – 1 шт.
2	25	Відмінне	Висока	Нема
3	28	Відмінне	Висока	Нема
4	26	Відмінне	Висока	Нема
5	23	Добре	Середня	Пори - 1 шт.

Таблиця 2 – Механічні властивості наплавленого металу

Варіант електрода	Механічні властивості наплавленого металу		
	σ_b , МПа	δ , %	КСУ, Дж/см ²
Прототип	480	28	145
1	480	28	135
2	490	28,5	145
3	495	31	152
4	498	29	145
5	486	27,5	138

Технологія виготовлення нових електродів не відрізняється від відомої, яка використовується для аналогічних електродів. У якості електродних стрижнів використовується зварювальний дріт по ГОСТ 2246 марки Св-08, або Св-08А.

4. Експериментальна частина

Було виготовлено і випробувано 5 варіантів електродів з новим складом покриття і прототип. Варіанти складу покриття виготовлених електродів діаметром 3 мм. наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Склад покриття електродів

Компоненти покриття	Склади електродних покриттів, мас. %					
	Прототип	1	2	3	4	5
Гематит	28	21	22	23	25	26
Феромарганець	15	9	10	13	14	15
Феротитан	10	7	12	10	8	13
Тальк	10	13	12	10	8	7
Глина	5	3	5	5	4	7
Сода	0,7	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4
Доломіт	29	34	32	29	27	24
Деревинне борошно	2,3	0,5	1	2,3	4,5	4,6
Оксид міді	-	6	3	4	5	2
Алюміній	-	5	2	3	4	1

Зварювання пластин із сталі ВстЗсп проводилось у нижньому положенні на змінному струмі силою 60-80 А, у відповідності до вимог ГОСТ 9466.

Механічні властивості наплавленого металу визначались на зразках у відповідності до ГОСТ 6996. Результати випробування зварювально-технологічних властивостей і механічних характеристик наплавленого металу приведені в табл. 1, 2.

Технологія машинобудування

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. Склади електродних покриттів варіантів 1 і 5, що вміщують відповідно занижену і завищену кількість заявлених компонентів не забезпечують досягнення вказаного технічного завдання.

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. При цьому забезпечуються необхідні механічні характеристики наплавленого металу, що перевищують вимоги до електродів типу Э46 по ГОСТ 9467 і підвищена продуктивність. Крім того, використання термітного ефекту дозволяє вдвічі зменшити силу струму, що значно зменшує витрату електроенергії при зварюванні.

Висновки

1. Розроблені електроди для зварювання відповідальних конструкцій із вуглецевих і низьколегованих сталей на постійному і змінному струмі при використанні джерел живлення з напругою холостого ходу 50 В.

2. Забезпечуються необхідні механічні характеристики наплавленого металу, що перевищують вимоги до електродів типу Э46 по ГОСТ 9467 і підвищена продуктивність.

Список використаних джерел:

1. А. с. Р 747657 СССР, кл. В 23 К 23/00. Состав термитной смеси / М. В. Ушаков, П. Е. Дуденко, Ю. М. Григорьев, В. В. Ватагин, В. С. Бердников ; Ленингр. ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени технолог. ин-т им. Ленсовета ; Заявл. 06.04.83 ; Опубл. 23.12. 84, Бюл. Ф 47 (72).
2. А. с. 967740 СССР, МПК В 23 К 23/00. Состав термитной смеси / Е. И. Егоров, А. Г. Меркулов, В. Н. Сапрыкин, О. Е. Маркевич ; Новосиб. инж.-строит. ин-т. – № 3278670/25-27 ; Заявл. 20.04.81.
3. А. с. 508382 СССР, кл. В 23 К 23/00. Термитный порошок / Н. К. Калинин, Д. И. Навроцкий, Ю. Б. Боев от 17.10.73.
4. Пат. 78153 U Україна, МПК⁹ В23 К 35/365. Склад електродного покриття / М. А. Калін, В. А. Багров, С. М. Барташ ; Укр. інж.-пед. акад. – № u201210389 ; Заявл. 03.09.2012 ; Опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.

References

1. Ushakov, M, Dudenko, P, Grigorev, Iu, Vatagin, V & Berdnikov, V 1983, *Sostav termitnoi smesi*, USSR Patent R 747657.
2. Egorov, E, Merkulov, A, Saprykin, V & Markevich, O 1981, *Sostav termitnoi smesi*, USSR Patent 967740.
3. Kalinin, N, Navrotckii, D & Boyev, Iu 1973 *Termitnyi poroshok*, USSR Patent 508382.
4. Kalin, M, Bahrov, V & Bartash, S 2012, *Sklad elektrodnoho pokryttia*, UA Patent 78153.

Стаття надійшла до редакції 25 вересня 2017 р.