

УДК 621.791

**РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОДІВ З ФЕРОТИТАНОМ
ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ**

©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 підвищення якості металу шва при електродуговому зварюванні чавуну.

Розроблені електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А з карбідоутворюючим покриттям, що містить нову систему легування Ti-Si-Al, в покритті, що містить мармур, феротитан, алюміній, слюду, соду, двоокис титану, тальк, карбоксиметилцелюлозу, феросиліцій і плавиковий шпат.

Для досліджень використовувалися металеві електроди для ручного дугового зварювання, що виготовляються способом обпресування. Стрижні електродів виготовляли зі сталевого зварювального дроту марки Св-08А за ГОСТ 2246-70 діаметром 3 і 4 мм.

Для визначення якості наплавленого металу й зварювально-технологічних властивостей електродів робили багатошарову заварку оброблення глибиною 20 мм і довжиною 100 мм із кутом розкриття 70° на пластині із сірого чавуну марки СЧ 21 товщиною 30 мм. Зварювання робили електродами діаметром 4 мм на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму 140-160 А.

Твердість наплавленого металу змінюється по висоті від НВ 217 у верхніх шарах до НВ 269-277 – поблизу зони сплавки. У зоні термовпливу відзначається підвищення твердості до НВ 269-352. Глибина зони цементиту-ледебуриту рівна 0,5 мм.

Ключові слова: електроди; чавун; карбіди; зварювання.

Калін Н. А., Изотова Е. О. «Разработка электродов с ферротитаном для холодной сварки чугуна».

Целью работы является повышения качества металла шва при электродуговой сварке чугуна.

Разработаны электроды для холодной сварки чугуна на проволоке Св-08А с карбидообразующим покрытием, содержащим новую систему легирования Ti-Si-Al, в покрытии, содержащем мармор, ферротитан, алюминий, слюду, соду, двуокись титана, тальк, карбоксиметилцелюлозу, ферросилиций и плавиковый шпат.

Для исследований использовались металлические электроды для ручной дуговой сварки, изготовленные способом обпрессовки. Стрижни электродов изготавливали из стальной сварочной проволоки марки Св-08А по ГОСТ 2246-70 диаметром 3 и 4 мм.

Для определения качества наплавленного металла и сварно-технологических свойств электродов делали многослойную заварку разделки глубиной 20 мм и длиной 100 мм с углом раскрытия 70° на пластине из серого чугуна марки СЧ 21 толщиной 30 мм. Сварку выполняли электродами диаметром 4 мм на постоянном токе обратной полярности. Сила тока 140-160 А.

Технологія машинобудування

Твердость наплавленного металла меняется по высоте от HB 217 в верхних слоях до HB 269-277 – вблизи зоны сплавления. В зоне термовлияния отмечается повышение твердости до HB 269-352. Глубина зоны цементита-ледебурита равная 0,5 мм.

Ключевые слова: электроды; чугуны; карбиды; сварка.

Kalin N., Izotova C. “Development electrodes ferrotitanium for cold welding of cast iron”.

The aim is to improve the quality of the weld metal during arc welding of cast iron.

Designed electrodes for cold welding cast on wire Sv-08A with a carbide coating containing a new doping system Ti-Si-Al, the coating comprising marble, ferrotitanium, aluminum, mica, soda, titanium dioxide, talc, carboxymethylcellulose, ferrosilicon and fluorspar.

For studies used metal electrodes for manual arc welding, crimping method made. Electrode rods were made of steel wire grade Sv-08A GOST 2246-70 in diameter and 3 to 4 mm.

To determine the quality of the deposited metal and welded-technological properties of multilayer welding electrodes made cutting depth of 20 mm and a length of 100 mm with an opening angle of 70° on the plate made of cast iron brand СЧ 21 to 30 mm thick. Welding is carried out to 4 mm diameter electrodes at a constant current of opposite polarity. Current 140-160 A.

Hardness of weld metal varies in height from HB 217 in the upper layers to HB 269-277 – near the fusion zone. In termovliyaniya zone marked increase in hardness up to 269-352 HB. The depth of the zone of cementite-ledeburite equal to 0.5 mm.

Key words: electrodes; cast iron; carbide welding.

1. Постановка проблеми

Розробка відноситься до зварювання, зокрема до складів електродних покриттів, що застосовуються для холодного зварювання чавуну.

У зварювальному виробництві відомі склади покриттів, наприклад електродів марок ОЗЧ-2, ОЗЖН-1, ЦЧ-4 та ін., а також склади електродних покриттів по авторським свідоцтвам [1-3], які вміщують мармур, криоліт, феротитан, різні алюмосилікати (польовий шпат, слюда, тальк), соду, калієво-натрієве рідке скло та інші компоненти.

2. Аналіз останніх досліджень

Найбільш близьким по вмісту компонентів до складу, що розроблений і взяте в якості прототипу є покриття [4], яке вміщує наступні компоненти, в мас. %:

Мармур	12 - 20
Польовий шпат	6 - 10
Кріоліт	6 - 10
Нікель	40 - 50
Алюміній	1 - 3
Феротитан	15 - 20
Калій хромовоокислий	0,5 – 3,0
Слюда	1 – 3
Сода	0,5 – 1,5

Електродне покриття основного виду, призначене для виробництва зварювальних електродів, які використовуються для холодного зварювання чавуну на постійному струмі. Використання складу електродного покриття дозволяє проводити багат шарове холодне зварювання чавунних деталей і заварку дефектів чавунного литва із забезпеченням високої якості зварних швів і можливістю їх обробки метало ріжучим інструментом.

Недоліком аналогічних електродів, є використання дорогих і дефіцитних для України матеріалів, зокрема нікелю і ферованадію, що ускладнює їх виробництво. Це не дозволяє використовувати згадані електроди для зварювання в промислових об'ємах.

Основними причинами, по яким в аналогах і прототипі неможливо отримати технічний результат, що досягається винаходом, є недосконала система розкислення, легування і газо-шлакова система покриття електродів, що не дозволяє отримати якісний метал шва при зварюванні чавуну в промислових умовах без підігріву.

3. Постановка завдання досліджень

Технічним завданням розробки є створення електрода для холодного зварювання чавуну з поліпшеними зварювально-технологічними властивостями електродів і підвищення якості наплавленого металу, що забезпечуються за рахунок зміни системи розкислення, легування, шлакової і газової системи захисту металу шва компонентами електродного покриття.

4. Експериментальна частина

Вирішення поставленого завдання досягається тим, що для оптимізації системи розкислення і газо-шлакової системи покриття в його склад, що містить мармур, феротитан, алюміній, слюду і соду додатково вводять двоокис титану, тальк, карбоксиметилцелюлозу, феросиліцій і плавиковий шпат, при наступному співвідношенні компонентів покриття, мас. %:

Мармур	15 – 20
Двоокис титану	4 – 6
Плавиковий шпат	10 – 12
Феротитан	50 – 60
Алюміній	1 – 3
Феросиліцій	4 – 6
Тальк	2 – 3
Карбоксиметилцелюлоза (КМЦ)	0,4 – 1,0
Сода	0,5 – 1,5

Новим, є введення до складу покриття двоокису титану 4-6 %, плавикового шпату 10-12 %, феросиліцію 4-6 %, тальку 2-3 %, карбоксиметилцелюлози (КМЦ) 0,4-1,0 %, а також збільшення вмісту феротитану до 50-60 %.

Істотність відмін складу покриття, що заявляється полягає в невідомості використання в ньому феросиліцію в якості розкислювача і двоокису титану, плавикового шпату, тальку, карбоксиметилцелюлози в якості газо-і шлакоутворюючих компонентів, а також збільшення вмісту феротитану, що забезпечує додаткове розкислення і легування металу шва, підвищення його якості і стабільне запалювання дуги.

Технологія машинобудування

Застосування феросиліцію, феротитану і алюмінію у складі покриття для холодного зварювання чавуну одночасно в запропонованому відношенні невідомо і дає новий ефект - зменшує ширину мартенситного прошарку по лінії сплавлення й дозволяє стабільно одержувати необхідну твердість наплавленого металу HB 180-200, що виключає утворення тріщин у перехідній зоні й наплавленому металі. При цьому, забезпечується висока якість наплавленого металу й можливість механічної обробки звареного з'єднання.

Вміст феросплавів феросиліцію, феротитану і алюмінію у складі покриття, що заявляється, являє собою нову легуючу систему Si-Ti-Al оптимального складу.

Легування високовуглецевого, зі вмістом більше 1 % C, сталевого шва титаном приводить до різкого зниження твердості наплавленого металу в результаті утворення карбідів титану, які зв'язують основну кількість вуглецю, збіднюючи ним твердий розчин і сприяючи утворенню феритної матриці.

Карбід титану (TiC), у вигляді дисперсних включень, рівномірно розподіляється у феритній матриці, забезпечуючи твердість наплавленого металу HB 160-200.

Кремній, поряд з розкисленням зварювальної ванни при зварюванні чавуну, зменшує розчинність вуглецю в залізі, тому що міжатомні зв'язки із залізом у нього сильніше, ніж у вуглецю, що, у свою чергу, сприяє зменшенню ширини мартенситного прошарку.

Введення алюмінію, що має велику спорідненість до кисню, сприяє очищенню границь зерен феритної матриці за рахунок утворення оксидів і, як наслідок, підвищує стійкість наплавленого металу й перехідної зони проти утворення тріщин і пор. Крім того алюміній захищає від надмірного окислення феротитан, що сприяє підвищенню переходу титану в наплавлений метал.

Введення феросиліцію, феротитану і алюмінію у кількостях відповідно менш 4, 50 і 1% приводить до підвищення твердості наплавленого металу в перехідній зоні й збільшує ймовірність утворення тріщин.

При вмісті феросиліцію, ферованадію і алюмінію у кількостях відповідно більше 6, 60 і 3 % приводить, до погіршення зварювально-технологічних властивостей електродів через недостатню кількість газом і шлакоутворюючих компонентів покриття, зниженню якості металу шва через забруднення металу неметалічними включеннями.

Введенням до складу покриття електродів двоокису титану, плавикового шпату й тальку в кількостях відповідно 4-6, 10-12 і 2-3 % досягається оптимальний газо-шлаковий захист високолегованого сплаву, що утворюється при плавленні електрода. Шлаки, що утворюються, характеризуються гарною газопроникністю, необхідною в'язкістю й відмінною віддільністю, що забезпечує можливість заварки глибоких розробок і дефектів у відливках із чавуну без пошарового очищення шлаків. При зменшенні кількості двоокису титану, плавикового шпату і тальку, відповідно менше 4, 10 і 2 % погіршується шлаковий захист металу шва й підвищується схильність до утворення пористості наплавленого металу. При збільшенні змісту двоокису титану, плавикового шпату і тальку більше, відповідно 6, 12 і 3 % підвищується схильність металу шва до зашлаковок, утруднена заварка ливарних дефектів без зачищення кожного валика, погіршується віддільність шлаків, підвищується його в'язкість.

Сода вводиться в склад покриття в кількості 0,5-1,5 % як пластифікатор обмазки при виготовленні електродів, методом обпресування. Крім того, сода виконує роль стабілізатора зварювальної дуги й газового захисту металу шва. При вмісті соди в покритті менш 0,5 % погіршується процес обпресування електродів, а також знижується стабільність горіння дуги, погіршується газовий захист. При введенні соди в кількості більше 1,5 % збільшується розбризкування електродного металу, а обпресувальні властивості покриття залишаються такими ж.

Карбоксиметилцелюлоза (КМЦ) вводиться в склад покриття в кількості 0,4-1,0 % як пластифікатор покриття, що покращує процес нанесення покриття, яке містить велику кількість феросплавів. При вмісті КМЦ в покритті менше 0,4% погіршується процес обпресування електродів, а також погіршується газовий захист зварювальної ванни.. При введенні КМЦ в кількості більше 1,0 % збільшується пористість металу шва.

Таким чином, компоненти, що входять у покриття мармур, плавиковий шпат, двоокис титану, феросиліцій, феротитан, алюміній, КМЦ, слюда й сода забезпечують одержання ефекту, що виразився в підвищенні якості наплавленого металу й поліпшенні зварювально-технологічних властивостей зварювального електрода.

Технологія виготовлення електродів із покриттям, що заявляється, не відрізняється від відомої. В якості електродних стрижнів використовується зварювальний дріт марок Св08 або Св08А ГОСТ 2246-70.

5. Результати досліджень

Виготовлено й випробувано електроди п'яти варіантів із покриттям, що розроблялося і електрод-прототип. Варіанти виготовлених електродів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад покриття електродів

Компоненти покриття	Вміст компонентів, мас % (по варіантам електродів)					
	Прототип	1	2	3	4	5
Мармур	16	14	20	18	15	21
Двоокис титану	-	7	6	5	4	3
Плавиковий шпат	-	16	11,5	12	10	7
Феротитан	17	49	50	55	60	61
Алюміній	1	3,5	3,0	1,5	1,0	0,5
Феросиліцій	-	3	4	5	6	7
Тальк	-	4	3	2,5	2	1
КМЦ	-	1,5	1,0	0,5	0,4	0,2
Сода	1	2,0	1,5	0,5	1,0	0,3
Польовий шпат	8	-	-	-	-	-
Криоліт	8	-	-	-	-	-
Нікель	43	-	-	-	-	-
Калій хромовокислий	3	-	-	-	-	-
Слюда	3	-	-	-	-	-

Технологія машинобудування

Для визначення якості наплавленого металу й зварювально-технологічних властивостей електродів робили багатошарову заварку оброблення глибиною 20 мм і довжиною 100 мм із кутом розкриття 70° на пластині із сірого чавуну марки СЧ 21 товщиною 30 мм. Зварювання робили електродами діаметром 4 мм на постійному струмі зворотної полярності. Сила струму 140-160 А.

Результати випробувань зварювально-технологічних властивостей і якості наплавленого металу показують, що оптимальним є склад покриття варіантів 2, 3 і 4, що забезпечує високу якість наплавленого металу (відсутність тріщин, пор, зменшення ширини прошарку з підвищеною твердістю, зниження твердості) гарні зварювально-технологічні властивості електродів при холодному зварюванні чавуну.

Електродне покриття варіантів 1 і 5, що містить відповідно знижену й підвищену кількість компонентів, що заявляються, не забезпечує досягнення поставленої мети.

При мікро – і макродослідженні шліфів зварних з'єднань установлено, що метал у зоні сплавлення основного й наплавленого металу щільний (рис. 1).

Мікроструктура наплавленого металу являє собою витягнуті зерна зі стовпчастою орієнтацією (рис. 2). Твердість наплавленого металу змінюється по висоті від 20-21 HRC₃ (у перекладі на HB 217) у верхніх шарах до 30-31 HRC₃ (у перекладі на HB 269-277) поблизу зони сплавлення.

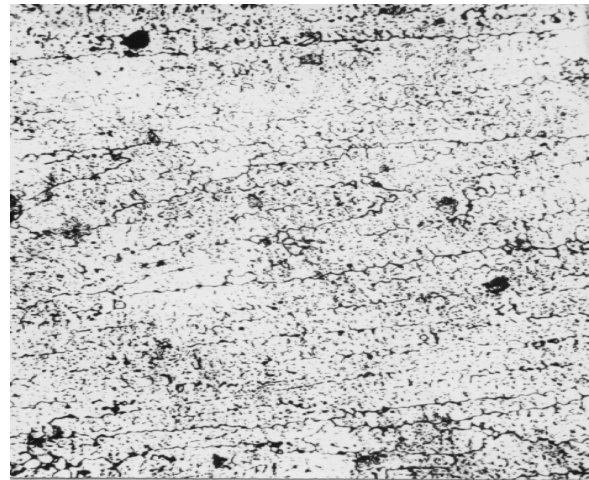
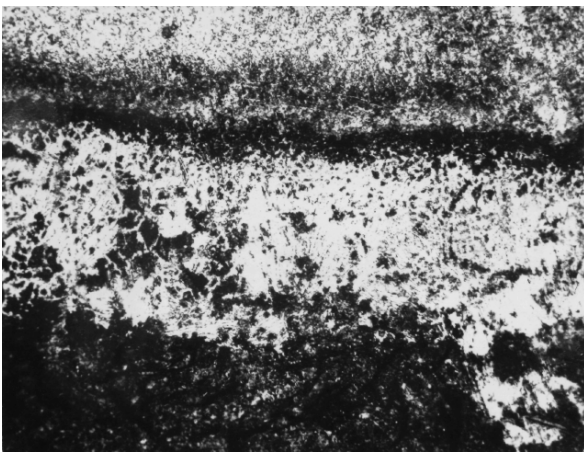


Рис. 1 – Мікроструктура зони сплавки; $\times 100$ **Рис. 2** – Мікроструктура наплавленого металу $\times 100$

Основний метал зразка складається із сорбітообразного перліту, невеликої кількості фериту й пластинчастого графіту. Твердість основного металу зразка рівна 95-97 HR_B (у перекладі на HB = 201-217).

У зоні термовпливу відзначається підвищення твердості до HRC₃ = 30-40 (у перекладі на HB=269-352). Глибина зони термовпливу 1,5-2 мм.

Зона сплавлення характеризується значними структурними змінами й підвищенням твердості в порівнянні із твердістю наплавленого й основного металів. Глибина цементиту-ледебуриту рівна 0,5 мм.

Пошаровий хімічний аналіз по глибині із кроком в 1 мм від верху наплавлення до основного металу показав, що зміст вуглецю в них різко знижується, а кількість титану збільшується, досягаючи максимального значення 8 %. Починаючи з висоти наплавлення

8 мм (практично це другий прохід електродом діаметром 4 мм) така кількість титану вже не потрібна для зв'язування надлишкового вуглецю в міцний карбід TiC.

Розроблені електроди рекомендуються використовувати для облицювання крайок оброблення або поверхні дефекту, а решту металу наплавляти електродами, призначеними для зварювання вуглецевих конструкційних сталей.

Результати випробування показали гарні зварювально-технологічні властивості електродів при холодному зварюванні чавуну.

Таким чином, використання в покритті зазначених компонентів у певній сполученні й певних пропорціях, забезпечують досягнення поставленої мети - високих зварювально-технологічних властивостей електрода і якості наплавленого металу, дозволяють робити багат шарове холодне електродуговое зварювання чавунних деталей і заварку дефектів у виливках, створювати зварно-литі конструкції із забезпеченням високої якості швів і можливості їхньої обробки різальним інструментом.

Висновки

1. Розроблені електроди для холодного зварювання чавуну на дроті Св-08А з карбідоутворюючим покриттям, що містить нову систему легування Ti-Si-Al.
2. Якість наплавленого металу висока, без пор і тріщин.
3. Твердість наплавленого металу змінюється по висоті наплавленого металу від HB 217 у верхніх шарах до HB 269-277 – поблизу зони сплавлення. У зоні термовпливу спостерігається підвищення твердості до HB 269-352. Глибина зони цементита-ледебурита рівна 0,5 мм.

Список використаних джерел

1. А. с.1031702 СССР, МКИ В 23К 35/365. Состав электродного покрытия / Н. А. Калинин, С. В. Кафтанов, К. К. Евдокимов, Г. И. Штангей, В. Н. Соболев, С. В. Кривцов, И. В. Черней. – № 3418636/25-27 ; заявл. 07.04.82 ; опубл. 30.07.83, Бюл. № 28. – 5 с.
2. А. с. 1316775 СССР, МКИ В 23К 35/365. Наплавочный материал / Г. К. Романенко, В. П. Баринов, М. С. Петрищев. – № 1466687/25-27 ; заявл. 17.08.70 ; опубл. 04.09.72, Бюл. № 26. – 2 с.
3. А. с. 1532254 СССР, МКИ В 23К 35/365. Состав электродного покрытия для холодной сварки чугуна / Н. А. Калинин, Н. П. Антоненко, В. А. Витер, В. П. Удовенко. – № 4413573 ; заявл. 04.03.88 ; опубл. 30.12.89, Бюл. № 48. – 5 с.
4. А. с. 1539030 СССР, МКИ В 23К 35/365. Состав электродного покрытия / Н. А. Калинин, В. П. Удовенко, В. А. Витер, Н. П. Антоненко. – № 4473639/25-27 ; заявл. 15.08.88 ; опубл. 30.01.90, Бюл. 4. – 1 с.

References

1. Kalin, N, Kaftanov, S, Yevdokimov, K, Shtangey, G, Sobol, V, Krivtsov, S & Cherney, I 1982, *Sostav elektrodnoogo pokrytiya*, USSR Patent 1031702.
2. Romanenko, G, Barinov, V & Petrishchev, M 1970, *Naplavochnyy material*, USSR Patent 1316775.
3. Kalin, N, Antonenko, N, Viter, V & Doronina, V 1985, *Sostav elektrodnoogo pokrytiya dlya kholodnoy svarki chuguna*, USSR Patent 1316775.
4. Kalin, N, Udoenko, V, Viter, V & Antonenko, N 1988, *Sostav elektrodnoogo pokrytiya*, USSR Patent 1539030.

Стаття надійшла до редакції 14 вересня 2016 р.