

DOI 10.32820/2079-1747-2020-26-73-78

УДК 621.791

ОСОБЛИВОСТІ РОЗКИСЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ВУГЛЕЦЕМ, ПОВ'ЯЗАНИМ В Fe-C СПЛАВ

©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 машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна

Метою дослідження є вибір раціональної системи розкислення металу шва ільменітових електродів, які за рівнем міцності, пластичності і ударної в'язкості не поступалися б швам, звареним електродами з рутиловим покриттям. Розкислення металу шва феромарганцем, а також частково феросиліцієм і феротитаном практично вичерпало свої можливості.

Необхідно більш інтенсивно розвивати раціональні системи розкислення металу шва, серед яких, завдяки ряду переваг, слід виділити новий напрямок - розкислення вуглецем, пов'язаним в Fe-C сплав.

Для досліджень використовували металеві електроди для ручного дугового зварювання низьколегованих сталей. Застосовували покриття електродів ільменітового виду. Як розкислювач застосовували феромарганець марки ФМн 1. Як сплав Fe-C використовували сірий чавун марки СЧ18 у вигляді порошку. Вміст вуглецю в чавуні становив 3,5%. Як вуглець у вільному стані використовували графіт кристалічний марки ГСМ-2. Коефіцієнт ваги покриття електродів становив 0,45 ... 0,47. Для порівняння виготовляли електроди без вуглецевих компонентів.

Плавлення електродів з чавунним порошком в покритті характеризується утворенням легкоплавкого шлакового прошарку з товщиною 0,1 ... 0,2 мм. Мікротвердість металу краплі в її верхній частині становить $H_{20} = 1800$ МПа. На кінці електрода спостерігається утворення прошарку вуглецевого розплаву товщиною приблизно 0,1 мм, скупчення газових бульбашок і шлакових включень, які свідчать про інтенсивний процесі кипіння металу в нижній частині краплі. Мікротвердість металу в нижній частині краплі становить $H_{20} = 3400$ МПа.

У електродах з графітом в покритті відбувається інтенсивне кипіння металу по всьому об'єму краплі внаслідок наявності твердих включень графіту. Графіт вступає в реакції окислення в твердому стані. Тому неможливо повноцінно використовувати графіт як раскислювач у зварювальних електродах даного виду.

При використанні чавунного порошку, в кількості що не перевищує критичного, навуглицювання наплавленого металу немає, що дозволяє використовувати його в якості розкислювача.

Ключові слова: електрод, чавунний порошок, графіт, ільменіт, зварювання, твердість

Калін Н.А. „Особенности раскисления электродного металла углеродом, связанным в Fe-C сплав“.

Целью исследования является выбор рациональной системы раскисления металла шва ильменитовых электродов, которые по уровню прочности, пластичности и ударной вязкости

не уступали бы швам, выполненными электродами с рутиловым покрытием. Раскисление металла шва ферромарганцем, а также частично ферросилицием и ферротитаном практически исчерпало свои возможности.

Необходимо более интенсивно развивать рациональные системы раскисления металла шва, среди которых, благодаря ряду преимуществ, следует выделить новое направление - раскисление углеродом, связанным в Fe-C сплав.

Для исследований использовали металлические электроды для ручной дуговой сварки низколегированных сталей. Применяли покрытия электродов ильменитового вида. Как раскислитель применяли ферромарганец марки ФМн 1. Как сплав Fe-C использовали серый чугуны марки СЧ18 в виде порошка. Содержание углерода в чугуне составило 3,5%. Как углерод в свободном состоянии использовали графит кристаллический марки ГСМ-2. Коэффициент веса покрытия электродов составил 0,45 ... 0,47. Для сравнения изготавливали электроды без углеродных компонентов.

Плавление электродов с чугунным порошком в покрытии характеризуется образованием легкоплавкого шлакового слоя толщиной 0,1 ... 0,2 мм. Микротвердость металла капли в ее верхней части составляет $H_{20} = 1800$ МПа. На конце электрода наблюдается образование прослойки углеродного расплава толщиной примерно 0,1 мм, скопление газовых пузырьков и шлаковых включений, свидетельствует об интенсивном процессе кипения металла в нижней части капли. Микротвердость металла в нижней части капли составляет $H_{20} = 3400$ МПа.

В электродах с графитом в покрытии происходит интенсивное кипение металла по всему объему капли вследствие наличия твердых включений графита. Графит вступает в реакции окисления в твердом состоянии. Поэтому невозможно полноценно использовать графит как раскислитель в сварочных электродах данного вида.

При использовании чугунного порошка, в количестве не превышающем критического, науглероживание наплавленного металла не происходит, что позволяет использовать его в качестве раскислителя.

Ключевые слова: электрод, чугунный порошок, графит, ильменит, сварка, твердость.

Kalin M. "Features of deoxidation of electrode metal by carbon bonded to a Fe-C alloy".

The aim of the study is the choice of a rational system for deoxidation of the weld metal of ilmenite electrodes, which in terms of strength, ductility and impact strength would not be inferior to welds made with rutile-coated electrodes. Deoxidation of the weld metal by ferromanganese, as well as partially by ferrosilicon and ferrotitanium, has practically exhausted its capabilities.

It is necessary to more intensively develop rational systems for deoxidation of weld metal, among which, due to a number of advantages, a new direction should be singled out, which is deoxidation with carbon bound in a Fe-C alloy.

For research, metal electrodes were used for manual arc welding of low alloy steels. Coatings of electrodes of ilmenite type were used. Ferromanganese of the FMN grade 1 was used as a deoxidant. Gray iron of the SCh18 grade was used as a powder in the form of a Fe-C alloy. The carbon content of cast iron was 3.5%. Crystalline graphite GSM-2 was used as carbon in the free state. The weight coefficient of the coating of the electrodes was 0.45 ... 0.47. For comparison, electrodes without carbon components were made.

Melting electrodes with cast iron powder in the coating is characterized by the formation of a fusible slag layer with a thickness of 0.1 ... 0.2 mm. The microhardness of the metal of the drop in

its upper part is $H_{20} = 1800$ MPa. At the end of the electrode, the formation of a layer of carbon melt with a thickness of about 0.1 mm is observed, the accumulation of gas bubbles and slag inclusions indicates an intensive process of boiling metal in the lower part of the drop. The microhardness of the metal in the lower part of the drop is $H_{20} = 3400$ MPa.

In the electrodes with graphite in the coating, intense boiling of the metal occurs over the entire volume of the drop due to the presence of solid inclusions of graphite. Graphite enters an oxidation reaction in a solid state. Therefore, it is impossible to fully use graphite as a deoxidizer in welding electrodes of this type.

When using cast iron powder, in an amount not exceeding critical, carburization of the deposited metal does not occur, which allows it to be used as a deoxidizing agent.

Keywords: electrode, cast iron powder, graphite, ilmenite, welding, hardness.

Постановка проблеми

Для підвищення якості металу шва і зварювально-технологічних властивостей ільменітових електродів актуальним є питання вибору раціональної системи розкислення металу шва, який за рівнем міцності, пластичності і ударної в'язкості не поступався б швам, звареним електродами з рутиловим покриттям. Розкислення металу шва феромарганцем, а також частково феросиліцієм і феротитаном практично вичерпало свої можливості. Введення великих кількостей марганцю погіршує санітарно-гігієнічні характеристики електродів. Підвищити якість зварних швів ільменітових електродів шляхом збільшення вмісту в покритті кремнію і титану не вдається через утворення пор і горячих тріщин в зварних швах [1].

Аналіз останніх досліджень

Однак, відомі способи використання вуглецю у вільному стані (у вигляді графіту, сажі, попелу і ін.) не можуть повністю вирішити поставлене завдання [2-5]. Це пов'язано з тим, що вільний вуглець стає активним розкислювачем тільки при температурі вище 2500 К, характерною для стовпа дуги, а на стадії краплі і в зварювальної ванні відбувається коксування рідкого металу. При охолодженні металу шва відбувається окислення розчиненого надлишкового вуглецю з виділенням CO і утворенням пор в зварних швах [8-11].

Для виходу з положення, що створилося необхідно більш інтенсивно розвивати раціональні системи розкислення металу шва, серед яких, завдяки ряду переваг, слід виділити новий напрямок - розкислення вуглецем, пов'язаним в Fe-C сплав.

Перевага розкислення вуглецем полягає в тому, що продуктом реакції є газоподібний оксид вуглецю - CO, виділяється в газову фазу дуги і не засмічує метал шва неметалевими включеннями. Крім того, CO служить додатковим газовим захистом зварювальної ванни.[6,7].

Експериментальна частина

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

Застосовували покриття електродів ільменітового виду, основу якого становить мінерал ільменіт $FeO \cdot TiO_2$, який використовується у вигляді ільменітового концентрату по ТУ 48-4-267-73. Як розкислювач металу шва застосовували феромарганець марки ФМн 1,0

по ГОСТ 4755. Як сплав Fe-C використовували сірий чавун марки СЧ18 за ГОСТ 1412, у вигляді порошку.

Вміст вуглецю в чавуні становив 3,5%. Як вуглець у вільному стані використовували графіт кристалічний марки ПММ-2 по ГОСТ 18191.

Коефіцієнт ваги покриття електродів становив 0,45...0,47 при товщині покриття на сторону 0,8 мм електродів діаметром 3 мм, і 1 мм - електродів діаметром 4 мм. Виготовляли по 7 варіантів електродів з чавунним порошком і графітом в покритті з еквівалентним вмістом вуглецю до ваги електродного стрижня: 0,12; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28; 0,32; 0,36%. Для порівняння виготовляли електроди без вуглецевих компонентів (варіант О), а також використовували промислові електроди марок АНО-6, АНО-32 з ільменітовим видом покриття і МР-3, АНО-4 з рутіловим покриттям.

Результати досліджень

Плавлення електродів, що містять чавунний порошок в покритті характеризується утворенням легкоплавкого шлакового прошарку з товщиною 0,1 ... 0,2 мм, (див.рис.1), що піднімається уздовж електродного стрижня на висоту 1,3 ... 1,5 мм вище лінії розділу рідкої і твердої фази розплаву стрижня товщиною приблизно 0,1 мм. Скупчення газових бульбашок і шлакових включень свідчить про інтенсивний процес кипіння металу в нижній частині краплі. Частково зневуглецьований розплав переходить в метал краплі у вигляді дрібних включень розміром приблизно 0,05 мм. Мікротвердість металу в нижній частині краплі становить $H_{20} = 3400$ МПа (рис.2).



Рис.1 – Мікроструктура металу кінця електрода з покриттям що містить 10% чавунного порошку: x 120

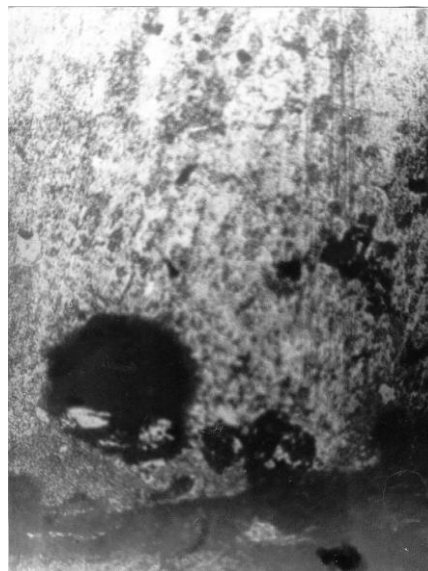


Рис.2 – Мікроструктура металу кінця електрода з покриттям що містить 10% чавунного порошку: x 500

Дрібні частинки вуглецевого розплаву, у міру підйому у верхню частину краплі, зменшуються до 0,03...0,01 мм і на висоті приблизно 0,5...0,6мм повністю розчиняються в металі краплі. При цьому вони оточені газовими бульбашками CO. Газ CO накопичується в нижній, найбільш нагрітій частині краплі і при досягненні критичного тиску вибухово викидається в зону дуги. При цьому на поверхні краплі утворюється характерне заглиблення (рис. 3). У електродах з графітом в покритті відбувається інтенсивне кипіння металу по

всьому об'єму краплі внаслідок наявності в ньому твердих включень непрореагуваного графіту (рис. 4).

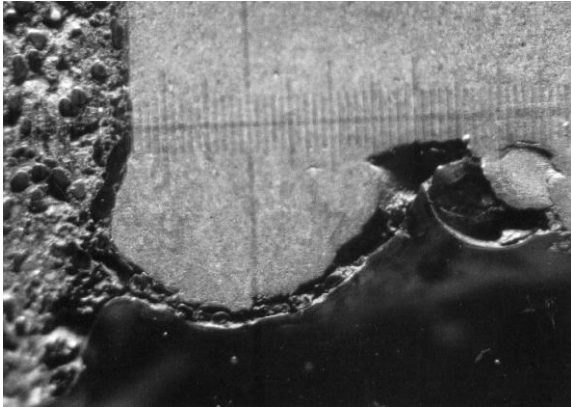


Рис.3 – Макроструктура металу кінця електрода з покриттям що містить 10% чавунного порошку: х 27



Рис.4 – Макроструктура металу кінця електрода з покриттям що містить 0,35% графіту: х 27

Повністю реакція окислення твердого графіту на цій стадії не закінчується. Залишки твердої фракції графіту переходять у ванну і науглецьовують метал шва.

Покриття електродів 0 варіанту (рис. 5) плавиться без кипіння металу краплі.

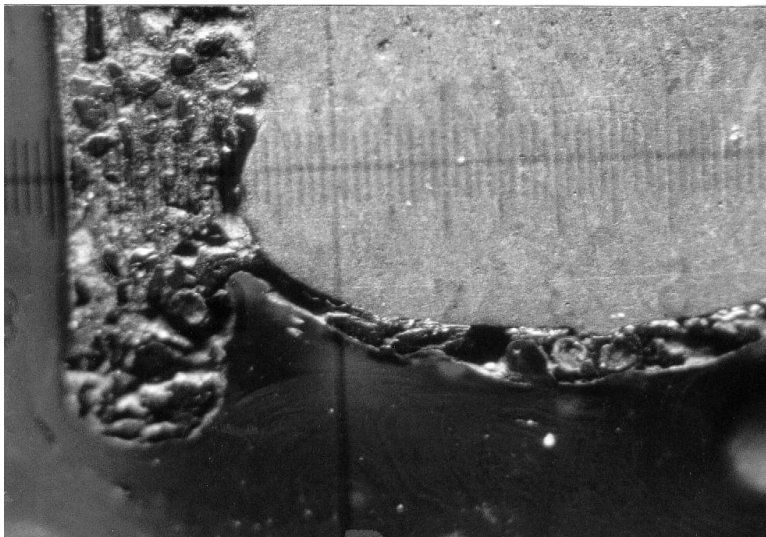


Рис.5 - Макроструктура металу кінця електрода з покриттям без вуглецю: х 27

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що графіт, маючи високу (3723° K) температуру плавлення, вступає в реакції окислення з газовою, шлаковою і металевими фазами дуги в твердому стані. При цьому, швидкість окислення графіту в покритті ільменітового виду в два рази нижче, ніж вуглецю в Fe-C сплаві, що призводить до необхідності зниження його критичного вмісту в електроді. Тому неможливо повноцінно використовувати графіт як раскислювач у зварювальних електродах даного виду.

Окислення вуглецю Fe-C сплаву, має ряд відмінних рис. Він розчиняється при плавленні порошку в його металевій основі і вступає в реакції знеуглецювання на стадії краплі. Після часткового окислення в шлаку, рідкий Fe-C сплав переходить в метал краплі, у вигляді дрібних включень де остаточно втрачає вуглець. Підвищений вміст вуглецю в металі нижньої частині краплі, в порівнянні з верхньою підтверджується їх мікротвердістю H20

(3400 МПа проти 1800 МПа). При використанні чавунного порошку, в кількості що не перевищує критичного для даної шлакової системи, науглецювання наплавленого металу немає, що дозволяє використовувати його в якості розкислювача.

Висновки:

1. Графіт, маючи високу (3723° К) температуру плавлення, вступає в реакції окислення з газовою, шлаковою і металевими фазами дуги в твердому стані.
2. Графіт розчиняється при плавленні порошку в його металевій основі і вступає в реакції знеуглецювання на стадії краплі.
3. При використанні чавунного порошку, в кількості що не перевищує критичного, науглецювання наплавленого металу немає, що дозволяє використовувати його в якості розкислювача.

Список використаних джерел

1. Явдошин И. Р. Новая информация о «старых» электродах / И. Р. Явдошин, О. И. Фольборг // *Автоматическая сварка*. – 2011. – № 1. – с. 56–57.
2. Шлепаков В. Н. Современные электродные материалы и способы электродуговой сварки плавлением / В. Н. Шлепаков // *Автоматическая сварка*. – 2011. – № 10. – с. 31–35.
3. Економіко-статистичний огляд зварювального виробництва і ринку зварювальної техніки України в 1990–2014 рр. – К.: Вид-во ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2015. – 75 с.
4. Зовнішньоекономічна діяльність України в 2002–2015 рр. (зварювальні матеріали та обладнання). – К.: Вид-во ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2016. – 35 с.
5. Пустовойт С. В. Состояние и тенденции развития рынка сварочных электродов в Украине / С. В. Пустовойт, Н. В. Скорина, В. С. Петрук // *Автоматическая сварка*. – 2017. – № 1. – С. 73-78.
6. Калін, М. А. Вплив чавунного порошку на склад шлаку зварювальних електродів ільменітового виду / М. А. Калін // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – X., 2007. – N 3/1. – С. 59-61.
7. Калін, М. А. Застосування чавунного порошку в якості розкислювача в електродах з кислим покриттям / М. А. Калін // *Машинобудування: збірник наук. пр./ Укр. інж.-пед. акад.*. – X., 2012. – Вип. 10. – С. 166-172.
8. Ізотова, К. О. Розробка термітного електродного покриття для зварювання сталей в монтажних умовах / К. О. Ізотова. // *Машинобудування: зб. наук. пр./ Укр. інж.-пед. акад.*. – Харків: УІПА, 2019. – Вип. 23. – С. 122-129.
9. Svenson, L. E. and Johan Elvander. "Challenges for welding consumables for the new millennium", *Svetsaren*, №1, V.53, 1999, pp. 3-11.
10. Bruno Pekkari // *Svetsaren*. – 2006. – № 3. – P. 12–16.
11. Welding and cutting: 'Selection of stick electrodes (part 1) welding and cutting.' Vol. 123, No. 4, 2013.

References

1. Javdoshhin, IR & Folbort OI 2011, 'Novaja informacija o «staryh» jelektrodah', *Avtomaticeskaja svarka*, no. 1, pp. 56-57.
2. Shlepakov, VN 2011, 'Sovremennye jelektrodnye materialy i sposoby jelektrodugovoj svarki plavleniem', *Avtomaticeskaja svarka*, no. 10, pp. 31-35.
3. *Ekonomiko-statystychnyi ohliad zvariuvalnoho vyrobnytstva i rynku zvariuvalnoi tekhniki Ukrainy v 1990-2014 rr* 2015, Vydavnytstvo Instytutu elektrozvariuvannia imeni Ye.O.Patona, Kyiv.
4. *Zovnishnoekonomichna diialnist Ukrainy v 2002–2015 rr. (zvariuvalni materialy ta obladnannia)* 2016, Vydavnytstvo Instytutu elektrozvariuvannia imeni Ye.O.Patona, Kyiv.
5. Pustovojt, SV, Skorina, NV & Petruk, VS 2017, 'Sostoianie i tendencii razvitija rynku svarocnykh jelektrodov v Ukraine', *Avtomaticeskaja svarka*, no. 1, pp. 73-78.
6. Kalin, MA 2007, 'Vplyv chavunnoho poroshku na sklad shlaku zvariuvalnykh elektrodov ilmenitovoho vydu', *Vostochno-evropejskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi*, no. 3/1, pp. 59-61.
7. Kalin, MA 2012, 'Zastosuvannia chavunnoho poroshku v yakosti rozkysliuvacha v elektrodakh z kyslym pokryttiam', *Mashynobuduvannia*, *Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia*, Kharkiv, iss. 10, pp. 166-172.
8. Izotova, KO 2019, 'Rozrobka termitnoho elektrodnoho pokryttia dlia zvariuvannia stalei v montazhnykh umovakh', *Mashynobuduvannia*, *Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia*, Kharkiv, iss. 23, pp. 122-129.
9. Svenson, LE & Elvander, J 1999, 'Challenges for welding consumables for the new millennium', *Svetsaren*, no. 1, vol. 53, pp. 3-11.
10. 'Bruno Pekkari' 2006, *Svetsaren*, no. 3, pp. 12-16.
11. 'Selection of stick electrodes (part 1) welding and cutting' 2013, *Welding and cutting*, vol. 123, no. 4.

Стаття надійшла до редакції 01 грудня 2020 року