

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕРОДА ПРИ СВАРКЕ

©Калин Н. А., Изотова К. А.

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

Калин 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.

Изотова Катерина Олександрівна: ORCID: 0000-0002-6585-6681; ant-izotov@yandex.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Целью данного исследования явилось изучение особенностей окисления углерода, используемого в составе чугунного порошка в качестве раскислителя в электродных покрытиях ильменитового вида.

Скорость окисления графита в покрытии ильменитового вида в два раза ниже, чем углерода в Fe-C сплаве, что приводит к необходимости снижения его критического содержания в электроде. Поэтому невозможно полноценно использовать графит в качестве раскислителя в сварочных электродах данного вида.

Окисление углерода Fe-C сплава, имеет ряд отличительных особенностей. Он растворяется при плавлении порошка в его металлической основе и вступает в реакции обезуглероживания на стадии капли.

При использовании чугунного порошка, в количестве не превышающем критического для данной шлаковой системы, науглероживания наплавленного металла нет, что позволяет использовать его в качестве раскислителя.

Ключевые слова: дуга; чугун; сварка; электрод; окисление; капля.

Калин М. А., Изотова К. О. «Дослідження особливостей окиснення вуглецю при зварюванні».

Метою даного дослідження є вивчення особливостей окиснення вуглецю, що використовується у складі чавунного порошку в якості розкислювача в електродних покриттях ільменітового виду.

Швидкість окиснення графіту в покритті ільменітового виду у два рази нижче, чим вуглецю в Fe-C сплаві, що приводить до необхідності зниження його критичного вмісту в електроді. Тому неможливо повноцінно використовувати графіт у якості розкислювача у зварювальних електродах даного виду.

Окиснення вуглецю Fe-C сплаву, має ряд відмінних особливостей. Він розчиняється при плавленні порошку в його металевій основі і вступає в реакції знеуглецювання на стадії краплі.

При використанні чавунного порошку, у кількості не перевищуючому критичного для даної шлакової системи, науглецювання наплавленого металу нема, що дозволяє використовувати його в якості розкислювача.

Ключові слова: дуга; чавун; зварювання; электрод; окиснення; крапля.

Kalin N., Izotova C. “Study characteristics of carbon oxidation in welding”.

The aim of this study was to investigate the characteristics of oxidation of carbon to be used in the composition of iron powder as a deoxidizer in the electrode surfaces of the form of ilmenite.

The rate of oxidation of graphite in the coating in the form of ilmenite two times lower than carbon in Fe-C alloy, which leads to the need to reduce its content in the electrode is critical. Therefore, it is impossible to make full use of graphite as a deoxidizer in welding electrodes of this type.

The oxidation of carbon Fe-C alloy, has a number of distinctive features. It dissolves upon melting the powder in its base metal and reacts to the drops decarburization step.

When using iron powder in an amount of not exceeding critical for this slag system, carburizing weld metal is not present, it can be used as a deoxidizer.

Key words: arc; iron; welding electrode; oxidation; drop.

1. Постановка проблемы

Целью данного исследования явилось изучение особенностей окисления углерода, используемого в составе чугунного порошка в качестве раскислителя в электродных покрытиях ильменитового вида.

2. Анализ последних исследований

Результаты термодинамический анализа окислительно-восстановительных процессов с участием углерода, протекающих при сварке, свидетельствует о том, что предпочтительнее использовать углерод в качестве раскислителя в связанном состоянии, например, в виде чугунного порошка или высокоуглеродистых ферросплавов [1, 2, 3].

3. Экспериментальная часть

Предполагается, что процесс обезуглероживания чугунного порошка на стадии капли протекает по следующей схеме (рис. 1): в процессе плавления электродного стержня 1 и нагрева электродного покрытия 2 до температуры свыше 1450K в нем расплавляются частички чугунного порошка 3. Углеродистый расплав, проходя через слой жидкого шлака 6, накапливается в виде прослойки углеродистого расплава 5 под растущей каплей 4. Эта прослойка является эффективным восстановителем. В результате содержание углерода в капле будет определяться течением окислительно-восстановительных реакций между газовой фазой дуги 7 и жидкими фазами на конце электрода – шлаком 6, углеродистым расплавом 5 и металлом капли 4. Окислителем углерода в расплаве является, растворенный в металле и поступающий из шлака кислород.

Для осуществления окисления углерода необходимо поступление кислорода из шлака 6 в расплав 5. Процесс окисления углерода в расплаве на стадии капли является сложным и многостадийным. Он состоит из ряда последовательных, одновременных, параллельных и сопряженных стадий. В рассматриваемом случае наблюдаются следующие стадии: диффузия молекулярного кислорода к поверхности расплавленного шлака из газовой фазы дуги; адсорбционно-химическое взаимодействие кислорода с ионами двухвалентного железа углеродистого расплава в прилегающем слое шлака $1/2O_2 + 2Fe^{2+} + 3O^{2-} = 2FeO_2^-$; перенос

ионов кислорода O^{2-} через слой шлака; встречная диффузия ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в шлаке; разряд ионов кислорода на поверхности жидкого расплава и растворение атомарного кислорода (O^{2-}) = $[O] + 2e$; восстановление ионов трехвалентного железа (Fe^{3+}) + $e = (Fe^{2+})$; диффузия кислорода и углерода в металле углеродистой прослойки к месту реакции; химическая реакция $[C] + [O] = CO$ в углеродистой прослойке; образование и удаление пузырьков CO .

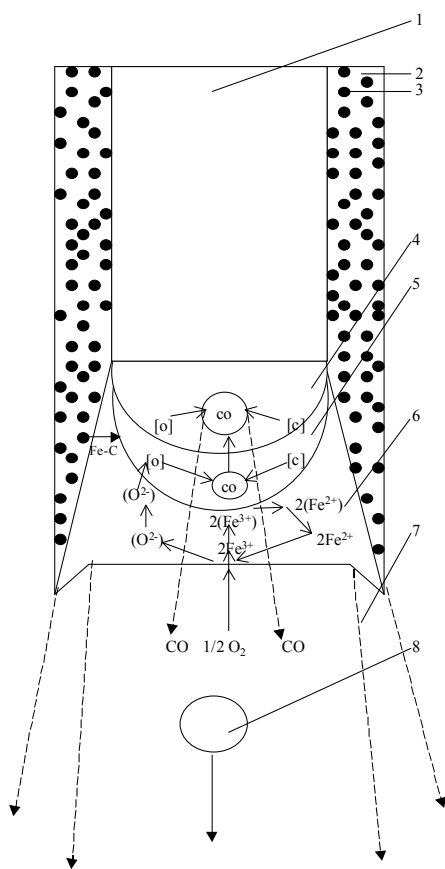


Рис. 1 – Схема процесса обезуглероживания чугуна на стадии капли:
 1 – электродный стержень;
 2 – электродное покрытие;
 3 – чугунный порошок;
 4 – растущая капля;
 5 – углеродистый расплав;
 6 – жидкий шлак;
 7 – газовая фаза дуги;
 8 – сформировавшаяся капля

$Fe-C$ протекает более полно, чем графита, и критическое его содержание в покрытии может быть выше. Это объясняется тем, что жидкий чугун в виде углеродистого расплава лучше смачивается шлаком, чем твердый углерод, поскольку пузырьки CO , образующиеся при окислении углерода, блокируют меньшую часть его поверхности.

Снижение и стабилизация скорости окисления углерода в каплях при повышении его содержания в электродах также объясняется тем, что исчерпывается окислительный

Всплывающие пузырьки CO , проходя через границу, углеродистая прослойка-капля попадают в металл последней. При этом в процессе барботаж газы переносят с собой в каплю небольшие объемы углеродистого расплава, вследствие чего она пронизывается множеством движущихся вверх пузырьков CO и включений $Fe-C$ сплава. В нижней, наиболее нагретой, части растущей капли протекает реакция доокисления углерода с выделением CO в зону дуги, не завершённая в углеродистом расплаве. При этом остаточное содержание углерода в сформировавшейся капле 8, проходящей через столб дуги 7, стремится к равновесному с растворенным кислородом.

3. Результаты исследований

Результаты определения содержания углерода в металле капель и наплавленном металле приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, при незначительной массовой доле углерода в электроде его потери на окисление будут минимальны. С увеличением содержания углерода до критического, имеющего различные значения для $Fe-C$ сплава и графита, потери на стадии капли и общие потери увеличиваются, а на стадии ванны уменьшаются. При дальнейшем повышении массовой доли углерода потери на окисление уменьшаются, что проявляется в науглероживании как металла капель, так и наплавленного металла. Это происходит потому, что окислительный потенциал шлаковой системы покрытия исчерпывается. Следует отметить, что реакция окисления углерода сплава

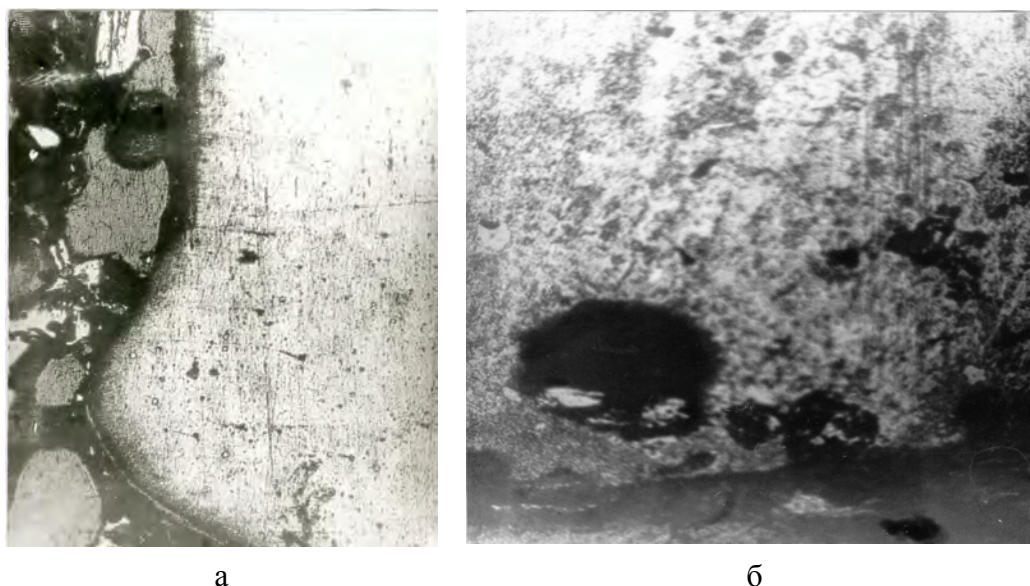
Технологія машинобудування

потенциал шлаковой системы. Плавление электродов, содержащих чугунный порошок в покрытии (рис. 2, а) характеризуется образованием легкоплавкой шлаковой прослойки с толщиной 0,1...0,2 мм, поднимающейся вдоль электродного стержня на высоту 1,3...1,5 мм выше линии раздела жидкой и твердой фазы стержня.

Таблица 1 – Содержание углерода в каплях и наплавленном металле, %

Объект для анализа	Массовая доля углерода в электродах, %							
	0	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
Капли электродного металла	0,07	$\frac{0,08}{0,09}$	$\frac{0,08}{0,10}$	$\frac{0,08}{0,11}$	$\frac{0,08}{0,14}$	$\frac{0,09}{0,18}$	$\frac{0,14}{0,22}$	$\frac{0,18}{0,25}$
Наплавленный металл	0,06	$\frac{0,07}{0,08}$	$\frac{0,07}{0,09}$	$\frac{0,07}{0,10}$	$\frac{0,07}{0,13}$	$\frac{0,08}{0,17}$	$\frac{0,13}{0,21}$	$\frac{0,17}{0,24}$

Примечание: В числителе – углерод в составе Fe-C сплава; в знаменателе – углерод в виде графита.

**Рис. 2** – Микроструктура металла конца электрода с покрытием, содержащим чугунный порошок: (а) x 120, (б) x 500

Микротвердость металла капли в ее верхней части составляет $H_{20} = 1800$ Мпа. На конце электрода наблюдается образование прослойки углеродистого расплава толщиной примерно 0,1мм, скопление газовых пузырей и шлаковых включений, свидетельствующих об интенсивном процессе кипения металла в нижней части капли. Частично обезуглероженный расплав переходит в металл капли, в виде мелких включений размером приблизительно 0,05 мм. Микротвердость металла в нижней части капли составляет $H_{20} = 3400$ Мпа (рис. 2, б). Мелкие частички углеродистого расплава, по мере подъема в верхнюю часть капли, уменьшаются до 0,03...0,01 мм и на высоте приблизительно 0,5...0,6 мм формирующейся капли полностью растворяются.

При этом они окружены газовыми пузырями образующегося СО. Газ СО скапливается в нижней, наиболее нагретой части капли и при достижении критического давления взрывообразно выбрасывается в зону дуги. При этом на поверхности капли образуется характерное углубление.

В электродах с графитом в покрытии происходит интенсивное кипение металла по всему объему капли вследствие наличия в нем твердых включений нерасплавившегося графита. Полностью реакция окисления твердого графита на этой стадии не завершается. Остатки твердой фракции графита переходят в ванну и науглероживают металл шва.

На основании проведенных исследований можно заключить, что графит, имея высокую (3723 К) температуру плавления, вступает в реакции окисления с газовой, шлаковой и металлической фазами дуги в твердом состоянии. При этом скорость окисления графита в покрытии ильменитового вида в два раза ниже, чем углерода в Fe-C сплаве, что приводит к необходимости снижения его критического содержания в электроде. Поэтому невозможно полноценно использовать графит в качестве раскислителя в сварочных электродах данного вида.

Выводы

1. Окисление углерода Fe-C сплава, имеет ряд отличительных особенностей. Он растворяется при плавлении порошка в его металлической основе и вступает в реакции обезуглероживания на стадии капли.

2. После частичного окисления в шлаке, жидкий Fe-C сплав переходит в металл капли, в виде мелких включений где и обезуглероживается.

3. При использовании чугуна порошка, в количестве не превышающем критического для данной шлаковой системы, науглероживания наплавленного металла нет, что позволяет использовать его в качестве раскислителя.

Список использованных источников:

1. Ефименко Н. Г. Термодинамический анализ окислительно-восстановительных процессов с участием углерода при сварке плавлением / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калинин // *Автоматическая сварка*. – 2000. – № 7. – С. 18-21.
2. Ефименко Н. Г. Влияние сплава Fe-C в покрытии ильменитовых электродов на восстановительные процессы при сварке / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калинин // *Автоматическая сварка*. – 2001. – № 3. – С. 52-53.
3. Ефименко Н. Г. Расчет оптимального содержания углерода и марганца в электродных покрытиях ильменитового вида / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калинин // *Автоматическая сварка*. – 2001. – № 11. – С. 43-46.

References

1. Yefimenko, N & Kalin, N 2000, 'Termodinamicheskiy analiz okislitelno-vosstanovitelnykh protsessov s uchastiyem ugleroda pri svarke plavleniyem', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 7, pp. 18-21.
2. Yefimenko, N & Kalin, N 2001, 'Vliyaniye splava Fe-C v pokrytii ilmenitovykh elektrodov na vosstanovitelnyye protsessy pri svarke', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 3, pp. 52-53.
3. Yefimenko, N & Kalin, N 2001, 'Raschet optimalnogo soderzhaniya ugleroda i margantsa v elektrodnykh pokrytiyakh ilmenitovogo vida', *Avtomaticheskaya svarka*, no. 11, pp. 43-46.

Стаття надійшла до редакції 15 березня 2016 р.