

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И МАРГАНЦА В ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЯХ ИЛЬМЕНИТОВОГО ВИДА

Н. Г. ЕФИМЕНКО, канд. техн. наук, Н. А. КАЛИН, инж. (Укр. инж.-пед. акад., г. Харьков)

Предложено использование углерода в составе железоуглеродистого сплава, в частности чугуна, в качестве раскислителя в сварочных электродах ильменитового вида. Разработана методика расчета равновесного содержания углерода и марганца в наплавленном металле, позволяющая определить максимально допустимое количество углерода, вводимого через чугунный порошок в электродных покрытиях при различных долях ильменита, FeMn и [Mn].

Ключевые слова: электродное покрытие, шлак, углерод, чугунный порошок, раскисляющая способность, равновесное содержание, марганец, кислород

Использование углерода в качестве раскислителя в сварочных электродах представляет практический интерес в связи с его недефицитностью. При температуре сварочной дуги более 2800 К углерод является наиболее активным раскислителем, способным восстанавливать оксиды всех известных элементов [1].

Однако использование углерода в свободном состоянии [2, 3] требует повышения окислительного потенциала покрытия для полного его окисления, что ухудшает сварочно-технологические свойства электродов.

Цель данной работы заключается в изучении возможности использования связанного углерода (в виде железоуглеродистого сплава) как раскислителя для электродных покрытий ильменитового вида.

Для исследований способом опрессовки изготавливали электроды диаметром 4 мм на проволоке Св-08А. В качестве железоуглеродистого сплава применяли чугунный порошок, содержащий 3,5 % С. Коэффициент массы покрытия $K_{м.п}$ электродов составлял 0,47. Содержание FeMn изменялось в пределах 15...20 %, а ильменитового концентрата — 30...60 % при массовой доле чугунного порошка 5, 10 и 15 %. Для определения количества углерода и марганца в наплавленном металле производили наплавку на постоянном токе (160...180 А) при обратной полярности в соответствии с ГОСТ 9466-60.

Для сравнения раскисляющей способности углерода и марганца в каждом конкретном случае необходимо рассчитывать их равновесное содержание в наплавленном металле, которое определяется одинаковой остаточной массовой долей кислорода в жидком железе, раскисленном этими элементами в момент кристаллизации:

$$[\%O]_p^C = [\%O]_p^{Mn}. \quad (1)$$

Остаточное содержание марганца в металле рассчитывают по уравнению, приведенному в работе [4]:

$$[\%Mn] = \frac{[\%MnO]}{K_{Mn} [\%FeO]}, \quad (2)$$

где $[\%MnO]$, $[\%FeO]$ — массовые доли оксидов марганца и железа в шлаке, %; K_{Mn} — константа равновесия реакции, рассчитываемая по уравнению $\lg K_{Mn} = (6440/T) - 2,95$.

Равновесная концентрация кислорода в металле, раскисленном марганцем, определяется по формуле, приведенной в работе [5]:

$$[\%O]_p^{Mn} = \frac{K'_{Mn}}{[\%Mn]_f^{Mn}}, \quad (3)$$

где K'_{Mn} — константа равновесия реакции раскисления, вычисляемая по формуле $\lg K'_{Mn} = (-15065/T) + 6,25$; f_O^{Mn} — коэффициент активности кислорода, определяемый по формуле $\lg f_O^{Mn} = e^{Mn} [\%Mn]$.

Углерод, содержащийся в каплях электродного металла и переходящий в них из чугунного порошка, окисляется кислородом, растворенным в жидком железе или находящимся в нем в виде оксидов, а также при взаимодействии металла со шлаком и кислородсодержащими газами атмосферы дуги на границе раздела металл-шлак и металл-газ.

Для расчетов равновесного содержания кислорода в металле, раскисленном углеродом ($C = 0,02...2,00$ %), и парциальном давлении CO в газовой фазе, равном атмосферному, используют выражение, приведенное в работе [6]:

$$[\%O]_p^C = \frac{1}{K_C [\%C]}, \quad (4)$$

где K_C — константа равновесия реакции окисления углерода, определяемая по формуле $\lg K_C = (1160/T) + 2,01$.

Подставив уравнения (3) и (4) в (1), получим

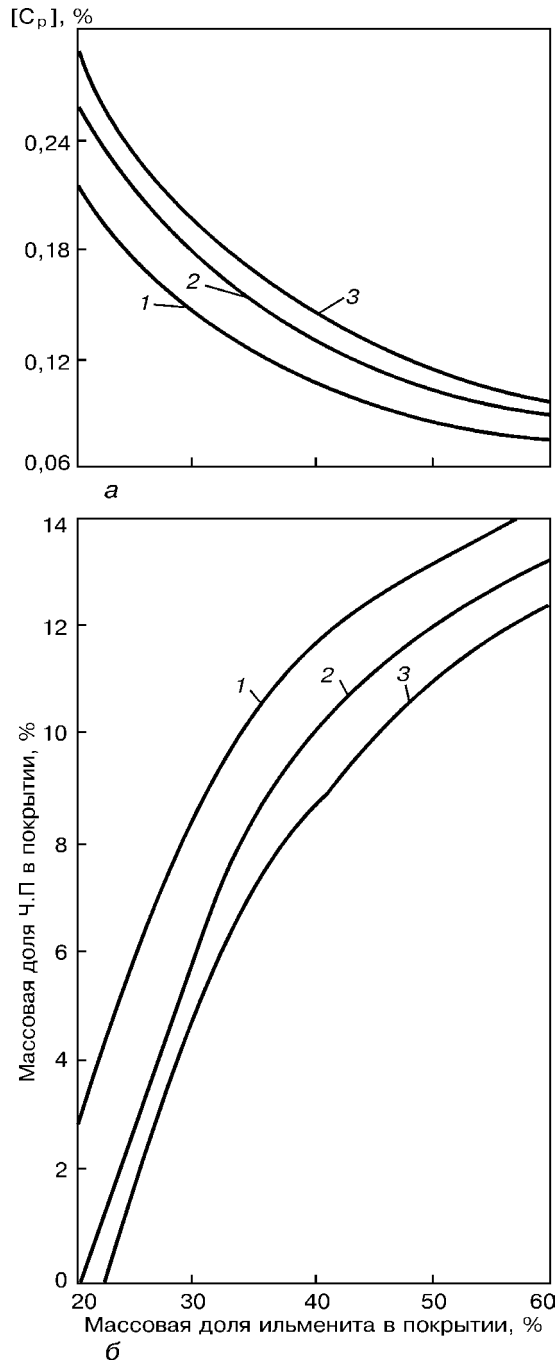


Рис. 1. Зависимость равновесного содержания углерода в наплавленном металле (а) и максимального содержания Ч.П. в покрытии (б) от массовой доли ильменита в покрытии при различном количестве FeMn: 1 – 15; 2 – 18; 3 – 20 %

$$\frac{1}{K_C [\%C]} = \frac{K'_{Mn}}{[\%Mn] f_O^{Mn}}, \quad (5)$$

откуда равновесное содержание углерода составляет

$$[\%C]_p = \frac{[\%Mn] f_O^{Mn}}{K_C K'_{Mn}}. \quad (6)$$

Заменяв [%Mn] в уравнении (6) выражением (2), получим

$$[\%C]_p = \frac{(\%MnO) f_O^{Mn}}{(\%FeO) K_{Mn} K'_C K_{Mn}}. \quad (7)$$

Расчет параметров f_O^{Mn} , K_{Mn} , K'_{Mn} , K_C в момент кристаллизации при температуре 1810 К дает $f_O^{Mn} = 0,97$; $K_{Mn} = 4,055$; $K'_{Mn} = 0,00845$; $K_C = 519$.

Подставив значения указанных параметров в формулу (7), уравнение для расчета зависимости равновесного содержания углерода в наплавленном металле от отношения оксидов марганца и железа в шлаке примет вид

$$[\%C]_p = 0,054 \cdot 5 \frac{[\%MnO]}{[\%FeO]}. \quad (8)$$

В практических расчетах составов электродных покрытий удобнее использовать компоненты, применяемые в электродном производстве. В результате пересчета оксидов марганца и железа в FeMn (80 % Mn) и ильменита (40 % FeO) получим формулу для расчета [%C]_p в зависимости от содержания FeMn и ильменита в покрытии электродов с учетом коэффициента массы покрытия $K_{м.п}$

$$[\%C]_p = 0,137 \frac{[\%FeMn]}{K_{м.п} [\%Ильм]}. \quad (9)$$

Расчет [%C]_p по формуле (9) для принятых в эксперименте вариантов опытных электродов представлен на рис. 1, а. Здесь FeMn взят в массовых долях 15, 18 и 20 %, наиболее часто применяемых в электродах ильменитового вида.

Учитывая, что содержание углерода в наплавленном металле ильменитовых электродов не должно превышать 0,12 % [7], для расчета максимального количества чугунного порошка в составе покрытия в соответствии с работой [8] получим

$$[\%Ч.П.]_{\max} = \frac{0,12 - 0,137 \frac{[\%FeMn]}{[\%Ильм]}}{K_{\text{пер}}^C K_{м.п} \frac{[C]_{\text{ч.п}}}{100}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{пер}}^C$ — коэффициент перехода углерода, принимаемый для ильменитовых электродов равным 0,37 [9]; $[C]_{\text{ч.п}}$ — содержание углерода в чугунном порошке, %.

Подставив в формулу (10) конкретные значения $K_{\text{пер}}^C$, $K_{м.п}$ и $[C]_{\text{ч.п}}$ для исследуемых вариантов электродов, находим расчетную зависимость

$$[\%Ч.П.]_{\max} = \frac{0,12 - 0,137 \frac{[\%FeMn]}{[\%Ильм]}}{0,006}. \quad (11)$$

Результаты расчета по формуле (11) приведены на рис. 1, б.

Практический интерес представляют аналогичные расчеты в зависимости от содержания марганца в наплавленном металле при заданной его концентрации.

Содержание FeMn в покрытии электродов следующее:

$$[\%FeMn] = \frac{[Mn]}{K_{\text{пер}}^{Mn} K_{м.п} [Mn]_{\text{FeMn}}} \cdot 100, \quad (12)$$

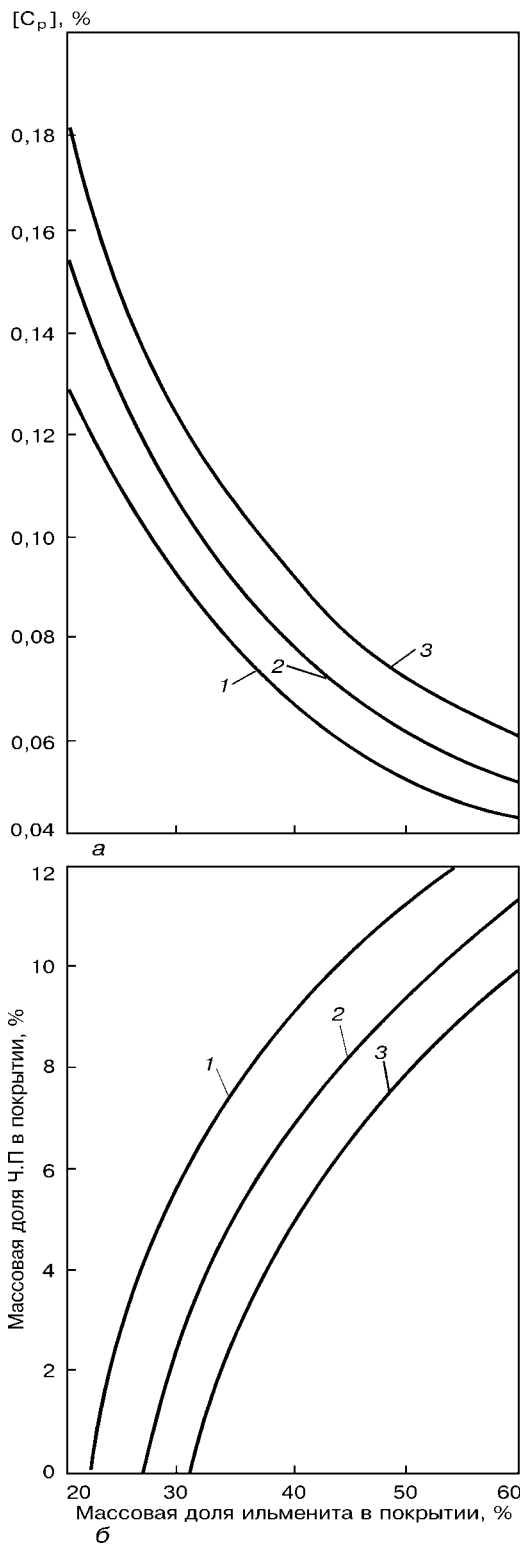


Рис. 2. Зависимость равновесного содержания углерода в наплавленном металле (а) и максимального содержания Ч.П в покрытии (б) от массовой доли ильменита в покрытии при различных концентрациях марганца в наплавленном металле: 1 – 0,5; 2 – 0,6; 3 – 0,7 %

где $K_{пер}^{Mn}$ — коэффициент перехода марганца; $[Mn]_{FeMn}$ — массовая доля марганца в FeMn.

Содержание [%C]_p рассчитываем с помощью выражений (9), (10)

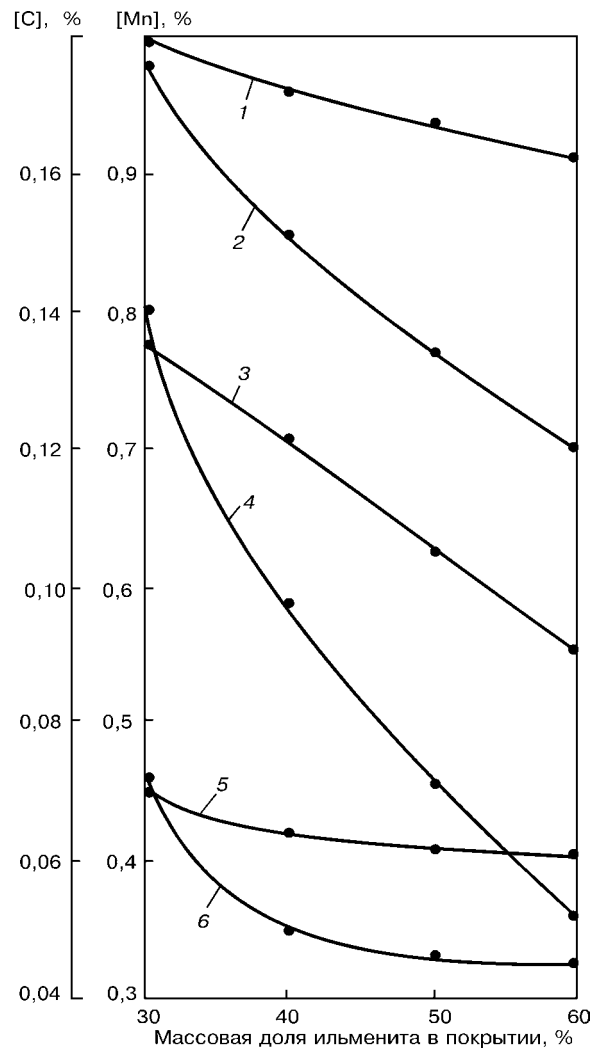


Рис. 3. Зависимость содержания углерода и марганца в наплавленном металле от количества ильменита в покрытии при различных массовых долях Ч.П и 15 % FeMn: 1, 3, 5 – [Mn] и 2, 4, 6 – [C] соответственно при 15, 10 и 5 % Ч.П

$$[%C] = \frac{13,7[Mn]}{K_{пер}^{Mn} K_{м.п} [Mn]_{FeMn} [\% \text{ Ильм}]} \quad (13)$$

На основании многочисленных экспериментов нами установлено, что $K_{пер}^{Mn}$ в электродах ильменитового вида составляет в среднем 0,07. В соответствии с уравнением (13), используя конкретные значения $K_{пер}^{Mn}$, $K_{м.п}$, $[Mn]_{FeMn}$, получаем расчетную формулу для определения [%C]_p электродов опытной партии

$$[%C]_p = \frac{5,2[Mn]}{[\% \text{ Ильм}]} \quad (14)$$

Результаты расчета по формуле (14) представлены на рис. 2, а. Содержание [Mn] принято в пределах 0,5...0,7 %, характерных для электродов ильменитового вида.

Расчет ввода максимально возможных долей чуждого порошка в состав электродного покрытия при заданном содержании [Mn] и соблюдении условия [%C] ≤ 0,12 % производится по выражению (10) с использованием формулы (13)



$$[\% \text{Ч.П.}]_{\max} = \frac{0,12 - \frac{13,7[\text{Mn}]}{K_{\text{пер}}^{\text{Mn}} K_{\text{м.п}} [\text{Mn}]_{\text{FeMn}} (\% \text{Ильм})}}{K_{\text{пер}}^{\text{C}} K_{\text{м.п}} \frac{[\text{C}]_{\text{Ч.П}}}{100}}. \quad (15)$$

С учетом всех параметров для опытных электродов

$$[\% \text{Ч.П.}]_{\max} = \frac{0,12 - \frac{5,2[\text{Mn}]}{[\% \text{Ильм}]}}{0,006}. \quad (16)$$

Результаты расчета $(\% \text{Ч.П.})_{\max}$ по формуле (16) приведены на рис. 2, б.

Для проверки расчетного метода определения равновесного содержания [C] и [Mn] и максимально возможного ввода чугунного порошка (при различных массовых долях ильменита в покрытии) установлено фактическое содержание углерода и марганца в наплавленном металле опытных электродов, содержащих 5, 10 и 15 % чугунного порошка, 30...60 % ильменита и 15 % FeMn в покрытии. Результаты химического анализа опытных наплавов представлены на рис. 3.

Полученные данные показывают, что при одинаковых массовых долях FeMn и чугунного порошка в покрытии содержание [C] и [Mn] изменяется в зависимости от окислительной способности покрытия, определяемой количеством ильменита, что подтверждает правильность данного расчетного метода.

Таким образом, благодаря расчетному методу можно установить оптимальное содержание чугунного порошка в покрытии в зависимости от его окислительной способности, определяемой содержанием ильменита при различном вводе FeMn или заданном содержании [Mn]. Получена также возможность вычисления равновесного содержания

Use of carbon, contained in an iron-carbon alloy, in particular, cast iron, as a deoxidizer in ilmenite-type welding electrodes is proposed. A procedure for calculation of an equilibrium content of carbon and manganese in the deposited metal is developed, that allows determination of the maximal admissible amount of carbon, added through the cast iron powder in electrode coatings at different proportions of ilmenite, FeMn and [Mn].

[C] в зависимости от содержания ильменита и FeMn в покрытии, а также [Mn] в наплавленном металле.

Выводы

1. Установлена возможность использования углерода в связанном состоянии (в виде железоуглеродистого сплава) как раскислителя и экспериментально подтверждена правильность расчетного метода определения его максимального содержания в покрытии электродов ильменитового вида.

2. Разработана методика расчета равновесного содержания [C] и [Mn], позволяющая определить максимально допустимое количество углерода в виде чугунного порошка в электродных покрытиях при различных массовых долях ильменита, FeMn и [Mn].

1. Ефименко Н. Г., Калин Н. А. Раскисляющая способность редкоземельных металлов в сравнении с известными раскислителями // Свароч. пр-во. — 1978. — № 10. — С. 3-4.
2. Алов А. А. Электроды для дуговой сварки и наплавки. — М.: Машгиз, 1947. — 87 с.
3. Пеньков В. Б., Потапов Н. Н., Каковкин О. С. Оценка металлургической роли FeO при разработке электродов для ручной дуговой сварки // Свароч. пр-во. — 1990. — № 10. — С. 38-39.
4. Любавский К. В. Металлургия сварки плавлением. — М.: Знание, 1961. — 150 с.
5. Казачков Е. А. Расчеты по теории металлургических процессов. — М.: Металлургия, 1978. — 288 с.
6. Меджибожский М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. — Киев; Донецк: Виц. шк., 1986. — 280 с.
7. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
8. Петров Г. Л. Сварочные материалы. — Л.: Машиностроение, 1972. — 280 с.
9. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1973. — 448 с.

Поступила в редакцию 30.11.2000