

©Калин Н.А., Изотова Е.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЧЕК ЧУГУННОГО ПОРОШКА В ПОКРЫТИИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

1. Постановка проблемы

При использовании железного порошка в электродных покрытиях [1] он оказывает существенное влияние на характеристики плавления и химический состав наплавленного металла.

Использование чугунного порошка в электродных покрытиях в качестве металлической добавки, выполняющей функцию раскислителя при сварке [2-5], также требует четкого представления о влиянии размера частичек чугунного порошка на конечное содержание углерода в наплавленном металле, определяющее механические свойства сварного соединения и выделения сварочного аэрозоля в зону дыхания сварщика.

Кроме того, существенное влияние может оказывать содержание углерода в чугунном порошке, коэффициент массы покрытия, зависящий от толщины покрытия электродов.

2. Методика исследований

Для исследований изготавливали методом опрессовки ильменитовые электроды диаметром 4 мм на проволоке Св-08А с постоянным содержанием чугунного порошка и FeMn в покрытии [4].

Содержание углерода в чугунной стружке изменяли в пределах его минимального и максимального содержания в чугуне. Размол стружки и просев чугунного порошка производили отдельно для каждого состава чугуна по трем фракциям: крупной; средней и мелкой.

Гранулометрический состав порошка каждой фракции определяли путем контрольного просева навески через набор сит по ГОСТ 6313-93.

Для исследования влияния массы покрытия на переход углерода из чугунного порошка в наплавленный металл электроды каждого варианта изготавливались с различной толщиной покрытия и коэффициентом массы покрытия.

Содержание углерода в наплавленном металле определяли химическим анализом по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 9466-75.

3. Результаты исследований

Результаты первой серии опытов показывают, что изменение толщины покрытия электродов и гранулометрический состав чугунного порошка оказывают влияние на содержание углерода в наплавленном металле. Увеличение толщины покрытия от нижнего до верхнего предела допуска для каждого вида порошка (крупного, среднего и мелкого)

приводит к снижению содержания углерода в наплавке. При этом абсолютные значения [С] с уменьшением размера частичек чугунного порошка уменьшаются.

Это можно объяснить более полным обезуглероживанием мелкой фракции порошка на стадии капли, требующей меньшего времени на расплавление и течение окислительной реакции.

С увеличением толщины покрытия содержание углерода в наплавленном металле, вне зависимости от фракции чугунного порошка, уменьшается.

Для подтверждения предположения о том, что это связано с уменьшением скорости плавления электрода и, как следствие, увеличением времени существования стадии капли, обеспечивающей полноту протекания реакции обезуглероживания, измерялась скорость плавления опытных электродов.

Результаты замеров показывают, что с увеличением толщины покрытия скорость плавления заметно уменьшается, достигая значений примерно на 40 % превышающих первоначальное значение (4,25 мм/с против 2,42 мм/с).

Результаты второй серии опытов при постоянной толщине покрытия показывают, что изменение содержания углерода в чугунном порошке и размер частичек порошка также оказывают существенное влияние на содержание углерода в наплавленном металле.

Увеличение содержания углерода для каждого гранулометрического вида чугунного порошка приводит к увеличению содержания углерода в наплавленном металле с 0,055 до 0,094 % для мелкого порошка; с 0,062 до 0,1 % для среднего порошка и с 0,068 до 0,11 % для крупной фракции порошка.

Это объясняется тем, что при одинаковом составе и толщине покрытия электрода более высокая концентрация углерода в чугунном порошке обеспечивает и более высокое остаточное содержание углерода в металле шва.

Абсолютное значение [С] также как и в первом случае уменьшается с уменьшением размера частичек чугунного порошка.

Задачей третьей серии опытов явилось определение влияния сочетания технологических параметров на содержание углерода в наплавленном металле и на этой основе оптимизации состава и технологии изготовления сварочных электродов.

Оптимизация осуществлялась путем использования методов математического планирования экспериментов [6]. Использовали матрицу полного факторного эксперимента типа 2^3 . В качестве математической модели выбран полином второго порядка оптимизируемого параметра, характеризующего содержание углерода в наплавленном металле:

В качестве параметров оптимизации выбраны: размер частичек чугунного порошка (X_1) мм; толщина покрытия электрода (X_2) мм и содержание углерода в чугунном порошке (X_3) %. Функцией отклика явилось содержание углерода в наплавленном металле (Y) %.

Определение исследуемого диапазона изменяемых параметров, т.е. выбор базового (нулевого) уровня и интервала изменения факторов, проводилось таким образом, чтобы преимущественно охватить область рекомендуемых параметров.

Дисперсию критерия всего эксперимента в каждой точке плана определяли на основе трех параллельных опытов. Проверку однородности дисперсий производили с помощью

критерия Кохрена. Значения коэффициентов регрессии полученной модели (адекватной при 5 %-м уровне значимости), определенные по методу наименьших квадратов, следующие:

$$b_0 = 0,0815; b_1 = 0,0065; b_2 = - 0,0076; b_3 = 0,0194; b_4 = 0,0001; \\ b_5 = 0,00175; b_6 = - 0,00217; b_7 = 0,005$$

Проверка значимости оценок коэффициентов регрессии с помощью распределения Стьюдента показала, что коэффициенты регрессии b_4 , b_5 , b_6 и b_7 оказались незначительными для выбранного уровня значимости $q = 0,05$.

Математическая обработка результатов экспериментов позволила получить уравнение регрессии $Y = 0,0815 + 0,0065X_1 - 0,0016X_2 + 0,0194X_3$, которое дает возможность оценить значимость выбранных факторов в процессе науглероживания наплавленного металла.

Положительные значения коэффициентов регрессии получены для размера частичек чугунного порошка и содержания углерода в чугунном порошке, отрицательное – для толщины покрытия электрода.

Поскольку увеличению ответственной функции Y соответствует уменьшение факторов, имеющих отрицательный коэффициент регрессии, и возрастание факторов с положительным коэффициентом, полученные результаты позволяют сделать следующие обобщения.

Чем больше размер частичек чугунного порошка, тем больше углерода в наплавленном металле. Увеличение толщины покрытия электрода снижает содержание углерода. Увеличение концентрации углерода в чугунном порошке повышает содержание углерода в наплавке. Значимость данного фактора при науглероживании наибольшая.

Благодаря меньшему содержанию ферромарганца и кремнезема в покрытии новые электроды марки УИПА-1 характеризуются более благоприятными санитарно-гигиеническими характеристиками по сравнению с ильменитовыми электродами АНО-6 и находятся практически на одном уровне с рутиловыми (табл. 1). Выделение небольшого количества СО обусловлено процессом обезуглероживания чугунного порошка при плавлении покрытия электрода.

Таблица 1 – Содержание вредных веществ в сварочном аэрозоле

Марка электрода	Аэрозоль, г/кг		Газы, г/кг	Количество воздуха для растворения до ПДК, тыс. м ³ /кг
	Общая запыленность	Mn (MnO + MnO ₂)	СО	
УИПА-1	5,9 – 9,4	0,6 – 1,9	0,38	2,5 – 6,2
АНО-4	1 – 9,34	0,54 – 1,87	-	2 – 6,2
МР-3	0,4 – 14,7	0,59 – 1,9	-	2 – 6,2
АНО-6	9,2 – 16,8	1,6 – 2,38	-	5,7 – 8

Выводы

1. Из трех выбранных переменных самое слабое воздействие на содержание углерода в наплавленном металле оказывает толщина покрытия, что соответствует результатам первой серии экспериментов. Поэтому толщина покрытия электродов не является определяющим звеном процесса науглероживания металла шва.

2. Гранулометрический состав чугунного порошка оказывает существенное влияние на содержание углерода в наплавленном металле. С увеличением размера частичек порошка содержание углерода повышается.

3. Концентрация углерода в чугунном порошке наиболее сильно влияет на конечное содержание углерода в металле и является определяющим звеном в процессе науглероживания. С увеличением концентрации углерода в чугунном порошке содержание его в наплавленном металле возрастает.

4. Благодаря меньшему содержанию ферромарганца в покрытии электродов, они характеризуются более благоприятными санитарно-гигиеническими характеристиками, по сравнению с известными марки АНО-6.

Список использованных источников:

1. Петров Г. Л. Сварочные материалы / Г. Л. Петров. – Л. : Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. Ефименко Н. Г. Термодинамический анализ окислительно-восстановительных процессов с участием углерода при сварке плавлением / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2000. – № 7. – С. 18–21.
3. Ефименко Н. Г. Влияние сплава Fe-C в покрытии ильменитовых электродов на восстановительные процессы при сварке / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 3. – С. 52–53.
4. Ефименко Н. Г. Расчет оптимального содержания углерода и марганца в электродных покрытиях ильменитового вида / Н. Г. Ефименко, Н. А. Калин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 43–46.
5. Калин Н.А., Ефименко Н.Г., Особенности окисления углерода при сварке электродами с покрытиями ильменитового вида / Н. А. Калин Н. Г. Ефименко // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 19–22.
6. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

Калин Н.А., Изотова Е.А. «Оптимизация размеров частичек чугунного порошка в покрытии сварочных электродов».

В статье показано, что из трех выбранных переменных самое слабое воздействие на содержание углерода в наплавленном металле оказывает толщина покрытия, гранулометрический состав чугунного порошка оказывает существенное влияние на содержание углерода, а концентрация углерода в чугунном порошке наиболее сильно влияет на конечное содержание углерода в металле и является определяющим звеном в процессе науглероживания.

Ключевые слова: электрод, раскислитель, углерод, чугунный порошок.

Калін М.А., Ізотова К.О. «Оптимізація розмірів часточок чавунного порошку в покритті зварювальних електродів».

У статті показано, що із трьох обраних змінних самий слабкий вплив на вміст вуглецю в наплавленому металі робить товщина покриття, гранулометричний склад чавунного

порошку впливає на вміст вуглецю, а концентрація вуглецю в чавунному порошок найбільш сильно впливає на кінцевий вміст вуглецю в металі і є визначальною ланкою в процесі науглецювання.

Ключові слова: електрод, розкислювач, вуглець, чавунний порошок.

Kalin N.A., E.A. Izotova «Optimize the size of particles of iron powder in the welding rods».

The article shows that of the three selected variables very low impact on the carbon content of deposited metal is the thickness of the coating, granulometric composition of iron powder has a significant impact on the carbon content and the concentration of carbon in cast iron powder most strongly influences the ultimate carbon content in the metal and is a critical element in the process of charring.

Key words: electrode, deoxidizer, carbon, cast iron powder.

Стаття надійшла до редакції 22 серпня 2013 р.