

Цыбуля Е. И. /к. т. н./, Таран А. Ю.,
Цветков И. В.¹
НМетАУ

Влияние качества термоантрацита на свойства электродной массы

Рассмотрено изменение физико-механических свойств антрацита в процессе его прокаливания. Выполнен анализ влияния конечной температуры прокаливания (от 1400 до 2000 °С) и продолжительностью изотермической выдержки материала (0, 2 и 4 часа) на микротвердость термоантрацита. Приведены результаты сравнительных исследований свойств образцов брикетированной электродной массы трех мировых производителей. Показано положительное влияние термоантрацита более высокой степени прокаливания на качество обожженной электродной массы. Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: антрацит, термоантрацит, непрерывный самообжигающийся электрод, электродная масса, рудовосстановительная электропечь, прокаливание, свойства

Consider the changes of anthracite physico-mechanical properties while it calcination. The influence final calcination temperature (from 1400 to 2000 °C) and isothermal holding material (duration 0, 2 and 4 hours) with the thermoanthracite microhardness analysis was carried out. The results of comparative investigation samples briquetted electrode mass properties of three manufacturers are shown. The positive effect of higher degree calcination thermoanthracite on the baked electrode mass quality are shown in article.

Keywords: anthracite, thermoanthracite, self-baking continuous electrode, the electrode mass, ore-smelting electric furnace, calcining, properties

Создание рудовосстановительных электропечей большой единичной мощности было предопределено разработкой, исследованием и внедрением одного из основных и наиболее ответственных конструктивных элементов – непрерывных самообжигающихся электродов (НСЭ), преимуществом которых является дешевизна, относительная простота, возможность изготовления электродов практически любых нужных форм и размеров непосредственно на действующих электропечах.

Высокая эксплуатационная стойкость самообжигающихся электродов в значительной степени определяет электрический и тепловой режимы работы электропечи, ее производительность, извлечение ведущего элемента, удельный расход электроэнергии и другие технико-экономические показатели.

Для обеспечения эффективной работы высокомошных электропечей выплавляющих ферросплавы в настоящее время все большее значение приобретают работы направленные на исследования процессов, протекающих на всех стадиях производства и эксплуатации НСЭ. Выявление сущности и механизма комплексных явлений, происходящих при изготовлении и эксплуатации электродов этого типа, позволяет проанализировать и разработать методы искусственного управления этими явлениями. Конеч-

ной целью является как подбор исходных компонентов и электродной массы в целом с необходимыми свойствами, так и оптимальных условий формирования электрода. Успешное решение этой задачи предопределяет необходимость проведения многочисленных комплексных исследований.

Наибольшее распространение, как наполнители для электродных масс и углеродных блоков, получили антрацит (термоантрацит) и каменноугольный кокс. Для улучшения физико-механических свойств электродной массы, на некоторых предприятиях используют искусственные и естественные графиты, отходы электродного и абразивного производств. В качестве связующего вещества, в основном, используют каменноугольный пек, представляющий собой продукт разгонки каменноугольной смолы при 350-360 °С.

Поступающий с обогатительных фабрик антрацит подвергается термической обработке для улучшения комплекса физико-механических свойств и повышения термической стойкости, уменьшения электросопротивления и реакционной способности, повышения плотности структуры.

В отечественной практике для прокаливания антрацита наибольшее распространение получили трубчатые вращающиеся печи (ТВП), ота-

¹Работа выполнена под научным руководством докт. техн. наук, профессора Овчарука А. Н.

пливаемые природным газом (температура прокаливания 1200-1350 °С), и электрокальцинаторы (температура прокаливания 1600-2200 °С) [1, 2].

При прокаливании антрацита происходит удаление внешней (до 120 °С) и адсорбированной (до 300 °С) влаги, усадка, дегазация, пиролиз углеводородов и разложение сернистых соединений (300-1350 °С). Необходимость проведения процесса прокаливания, в первую очередь, подтверждается объемной усадкой антрацита на 10-16 % при высокотемпературной обработке. В процессе прокаливания антрацита увеличивается количество углерода и снижается содержание летучих веществ [3]. Кроме изменения элементного состава, при термообработке в результате протекания процессов структурообразования углеродного вещества повышается истинная плотность материала, снижается удельное электрическое сопротивление и реакционная способность, формируется пористая и внутрикристаллическая структура [4]. Предварительное прокаливание антрацита вне электрода позволяет избежать усадку, деформацию, а, следовательно, и растрескивание электрода в процессе его формирования. В процессе прокаливания происходит стабилизация усадки прокаленного материала, позволяющая контролировать и управлять объемными изменениями электродных изделий при их последующей термической обработке (обжиге).

Получаемый из антрацита путем высокотемпературной обработки термоантрацит для электродных масс самообжигающихся электродов должен иметь не более: 5 % зольности, 1,5 % влаги, 1000 мкОм·м удельное электросопротивление (УЭС), размер кусков от 10 до 120 мм.

Для выбора температурно-временных режимов прокаливания донецкого антрацита представляют интерес результаты исследования влияния конечной температуры прокаливания от 1400 до 2000 °С и продолжительностью изотермической выдержки материала 0, 2 и 4 часа на микротвердость (МТ) термоантрацита. Исследованию подвергались три пробы антрацита, характеристики которого приведены в табл. 1.

Обработкой опытных данных нами получены аналитические выражения, передающие зависимость микротвердости (МТ) термоантрацита от температуры прокаливания и при различной продолжительности изотермической выдержки (τ) приведены на рис. 1:

$$MT = -2.125 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 0,8145 \cdot t - 599,9 \quad (\tau = 0 \text{ ч}), \text{ мг};$$

$$MT = -1,75 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 0,662 \cdot t - 440,9 \quad (\tau = 2 \text{ ч}), \text{ мг};$$

$$MT = -1,729 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 8,075 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 12,44 \cdot t + 6505 \quad (\tau = 4 \text{ ч}), \text{ мг}.$$

Для сравнения качественных характеристик электродной массы отечественных и зарубежных производителей, в работе проведены сравнительные исследования свойств образцов брикетированной электродной массы:

Таблица 1

Характеристики проб антрацита Донбасса [5]

Номер пробы	Твердость по УХИНу, мг	V _{daf} , %	A ^d , %	S _f ^d , %	УЭС, мОм·м	Действительная плотность, г/см ³
1	26	1,90	5,30	2,62	0,0225	1,71
2	20	1,98	3,62	1,02	0,3525	1,65
3	18	1,97	2,45	0,84	0,5215	1,62

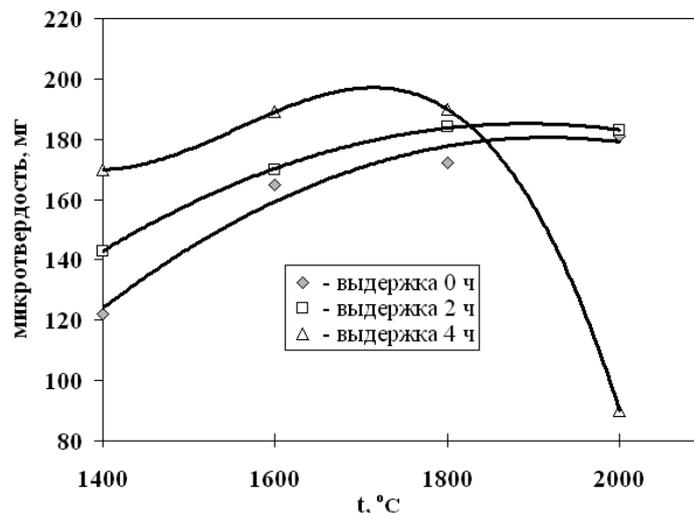


Рис. 1. Зависимость микротвердости термоантрацита от температуры и продолжительности выдержки при заданной температуре

- проба 1 - электродная масса, традиционно изготавливаемая в Китае в г. ДенФон и используемая Аллюминиевой компанией ДДЗТ в провинции Хе Нань;

- проба 2 - электродная масса в виде брикетов, изготовленная по лицензии фирмы «Элкем Карбон» (Норвегия);

- проба 3 - электродная масса в виде брикетов, изготовленная фирмой «Элкем Карбон» (Норвегия) - мировым лидером производства углеграфитовой продукции металлургического назначения.

Физико-химические свойства исследуемых проб электродной массы приведены в табл. 2. В связи с ограниченным количеством предоставленных проб физико-химические свойства масс не удалось определить в полном объеме.

Определение гранулометрического состава твердого наполнителя электродной массы и угара проводились методом низкотемпературного нагрева «зеленой» массы и отсева компонентов наполнителя (табл. 3).

Следует отметить, что в обеих пробах частицы крупных фракций (свыше +4 мм) состоят из прокаленного антрацита. При этом гранулометрический состав проб 1 и 2 различен: в пробе № 1 отмечается избыток крупной фракции и недостаток мелкой (содержание частиц менее 70 мкм).

Методом микроструктурного анализа определен компонентный состав проб электродной массы. Установлено, что в состав наполнителя проб 1 и 2 совместно с термоантрацитом входит обожженный и графитированный бой изделий на основе кокса. Исходя из размеров, частицы боя входят в состав фракции -2 мм.

Исследование структуры образца пробы № 3 (рис. 2) показало, что основным компонентом электродной массы является термоантрацит, произведенный в электрокальцинаторе, о чем свидетельствует наличие графитовой составляющей. В состав наполнителя пробы № 3 также входит искусственный графит. Максимальный

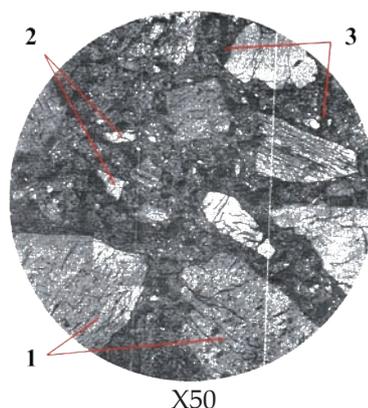


Рис. 2. Образец электродной массы пробы № 3:
1 - электрокальцинированный антрацит;
2 - искусственный графит;
3 - скоксованное связующее

размер зерен электрокальцинированного антрацита составляет 13,5x6,0 и 10,0x6,0 мм, а зерен искусственного графита - 0,5x0,2 и 0,4x0,3 мм.

Необходимо отметить, что УЭС пробы № 3 на 46-47 % меньше, чем у электродной массы проб 1 и 2. Это обусловлено применением в качестве наполнителя для производства электродной массы пробы № 3 электрокальцинированного термоантрацита, что подтверждает положительное влияние на свойства массы высокотемпературного прокаливания антрацита.

Выполненными кафедрой электрометаллургии Национальной металлургической академии Украины исследованиями установлено, что электрокальцинированный термоантрацит, в сравнении с термоантрацитом газового прокаливания, имеет на 30-40 % ниже показатель удельного электрического сопротивления, на 20-30 % меньше количество золы, на 5-10 % большую истинную плотность и 10-15 % графитовой составляющей, что позволяет для улучшения характеристик электродных масс не применять дорогой и дефицитный графит в ее составе при использовании электрокальцинированного термоантрацита.

Таблица 2

Физико-химические свойства электродных масс

№ пробы	«Зеленая»			Обоженная
	Коэффициент текучести (K_t)	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	УЭС, мкОм · м
1	2,6	5	14	119
2	2,7	4	-	117
3	-	4	14	63,2

Таблица 3

Гранулометрический состав наполнителя электродной массы и ее угар

№ пробы	Содержание фракций, %											Угар, %
	+16	+10	+8	+6	+4	+2	+1	+0,5	+0,16	+0,071	-0,071	
1	-	15,6	9,2	10,7	11,6	5,6	4,7	4,5	14,9	10,1	13,1	25,1
2	-	1,5	1,0	5,8	12,3	17,9	12,5	6,5	11,6	11,5	19,4	27,7

Таким образом, степень термообработки термоантрацита влияет на его качество и физико-механические свойства обожженного электрода. Комплекс проведенных исследований показал резкое снижение удельного электрического сопротивления и повышение коэффициента теплопроводности при сохранении механической прочности обожженного конечного продукта по мере повышения температуры прокаливания термоантрацита, применяемого для изготовления электродной массы.

Проведенные исследования по сравнению характеристик электродных масс на основе электрокальцинированного термоантрацита и термоантрацита газовой прокалилки показали, что:

- использование в качестве наполнителя при производстве электродных масс электрокальцинированного термоантрацита снижает ее жидкотекучесть (без ухудшения в целом теплофизических свойств обожженного электрода), что должно способствовать снижению склонности к сегрегации такой массы;

- при увеличении в электродной массе электрокальцинированного термоантрацита наблюдается улучшение теплофизических характеристик качества обожженного электрода, который свидетельствует о позитивном влиянии электрокальцинированного термоантрацита в формировании структуры материала электродов;

- использование электрокальцинированного термоантрацита при производстве электродных масс увеличивает стойкость рабочего конца электрода за счет уменьшения склонности электрода к разрушению.

Таким образом, для достижения более высоких качественных характеристик термоантрацита прокаливание донецкого антрацита необходимо проводить при высоких температурах, достигающих 1800-2000 °С. Очевидно, что для достижения более низких значений УЭС термоантрацита прокаливание антрацита необходимо производить в электротермических установках с высокой удельной объемной концентрацией энергии. Этим условиям удовлетворяет применение электрокальцинаторов с превращением электрической энергии в тепловую, непосредственно в прокаливаемом антраците.

Выводы

1. Проанализированы данные о процессах формирования свойств термоантрацита при различных температурно-временных параметрах прокаливания антрацита. Установлено, что для достижения более высоких качественных характеристик термоантрацита прокаливание донецкого антрацита необходимо проводить при более высоких температурах, чем это

достигается при прокаливании в ТВП, и что такими агрегатами могут быть электрокальцинаторы.

2. Проведенными исследованиями установлено, что электрокальцинированный термоантрацит, в сравнении с термоантрацитом газового прокаливания, имеет на 30-40 % ниже показатель удельного электрического сопротивления, на 20-30 % меньше количество золы, на 5-10 % большую истинную плотность и 10-15 % графитовой составляющей, что позволяет ограничить применение дорогого и дефицитного графита при производстве электродной массы.

3. Проведены сравнительные экспериментальные исследования электродной массы трех производителей. Показано, что УЭС массы, изготовленной фирмой «Элкэм Карбон» (Норвегия) (проба 3, табл. 2), в качестве наполнителя для производства которой применяется электрокальцинированный антрацит, на 46-47 % меньше чем у электродной массы, изготовленной на основе термоантрацита газового прокаливания (пробы 1 и 2, табл. 2). Это подтверждает положительное влияние на свойства электродной массы термоантрацита высокотемпературного прокаливания.

Библиографический список

1. Гасик М. И. Электроды рудовосстановительных электропечей / М. И. Гасик. – М.: Металлургия, 1984. – 248 с.

2. Цибуля Є. І. Удосконалення технологічних процесів отримання термоантрациту для електродів і футеровки феросплавних електропечей у трубчатих обертових печах та електрокальцинаторах: атореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук / Є. І. Цибуля; Національна металургійна академія України. – Дніпропетровськ, 2012. – 22 с.

3. Гасик М. И. Электрокальцинация антрацита: проблемные вопросы теории процесса и пути повышения качества термоантрацита и энергосбережения / М. И. Гасик, О. Ю. Уразлина, С. В. Кутузов // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2003. – № 5. – С. 27-32.

4. Гриншпунт А. Г. Исследования комплекса характеристик антрацитов, используемых в составе электродных масс самообжигающихся электродов рудовосстановительных печей / А. Г. Гриншпунт // *Теория и практика металлургии.* – 1998. – № 3. – С. 33-34.

5. Слободинский С. А. Особенности оценки механических свойств термоантрацита / С. А. Слободинский // *Кокс и химия.* – 1997. – № 12. – С. 17-19.

Поступила 04.09.2014