



УДК 669.187.004.18

УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КУСКОВОГО ТЕРМОАНТРАЦИТА В ТОНКОМ СЛОЕ

В. В. Быковец, В. И. Лакомский, В. П. Кириленко

Представлены результаты измерения удельного электрического сопротивления дробленого термоантрацита трех фракционных составов, используемых в электрокальцинаторах. Измерения проводились в тонких слоях угля. Впервые вычислены значения радиуса приведенного a -пятна электрического контакта между зернами угля в условиях отсутствия внешнего давления на слой угля.

Results of measurement of specific electric resistance of crushed thermoanthracite of three fractional compositions used in electric calcinators are presented. The measurements were made in coal thin layers. For the first time, the values of radius of a given a -spot of electric contact between the coal grains under the conditions of absence of external pressure on the coal layer were calculated.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление; термоантрацит; a -пятно; электроконтакт на антраците; давление

Для изучения процессов электрического нагрева термоантрацита в шахтной печи-кальцинаторе необходимо знать его удельное электрическое сопротивление (УЭС) как до измельчения, так и сыпучей смеси этого материала различного фракционного состава без наложения внешнего давления и при определенном внешнем давлении на слой дробленого угля.

Что касается удельного электрического сопротивления самого термоантрацита, т. е. внутреннего сопротивления материала, то наши измерения показали, что в пределах одной партии угля, полученного с Центральной обогатительной фабрики «Обуховская» объединения «Гуковантрацит», оно колеблется от 74,8 до 134,1 мкОм·м [1].

Внешнее электрическое сопротивление дробленого термоантрацита, как известно [2], зависит от степени дробления угля и его насыпной массы, что можно легко трансформировать в давление на сыпучий материал. Причем под давлением следует рассматривать и давление вышележащих слоев угля, если он лежит в довольно толстом слое, и внешнее давление в виде механической нагрузки на слой термоантрацита.

В настоящей статье представлены результаты измерений УЭС тонкого слоя термоантрацита. Тонким мы называем такой слой, давлением которого можно пренебречь. В нашем случае это будет слой тол-

щиной 210... 250 мм. При насыпной массе термоантрацита ~ 1 кг/дм³ давление этого слоя на самый нижний монослой угля составит всего лишь 2 кПа. Кроме того, в масштабе мощного электрокальцинатора, в котором столб угля только в межэлектродном пространстве составляет 2 м, а в целом достигает 4 м, вне всякого сомнения, можно рассматривать как тонкий слой.

Разумеется, и в этих условиях распределение электрического тока по поперечному сечению слоя шихты будет неравномерным — в нижней части слоя будет наблюдаться наибольшая плотность тока, а в верхней части она будет пренебрежимо мала. Несмотря на это, расчет мы ведем, исходя из предположения равномерной плотности тока. Это тоже одно из условий понятия тонкого слоя.

Известно [3], что электрический ток по массе сыпучей смеси электропроводного термоантрацита протекает путем преодоления сопротивления каждого куска сыпучей массы, участвующего в передаче тока, и, главное, путем преодоления контактного сопротивления мест перехода тока из одного куска угля в другой. Здесь уместно будет отметить, что контактное сопротивление любого электропроводного материала, а угля в особенности, всегда намного превышает сопротивление самого материала.

В классическом труде Р. Хольма [4] впервые было введено понятие a -пятна, представляющего собой сумму реальных мест перехода электрического тока, да и теплового кондуктивного потока тоже [5],

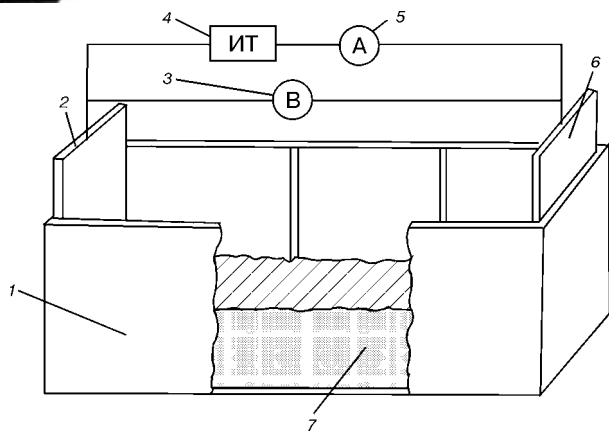


Схема опытной установки: 1 — асбоцементный ящик для угольной шихты; 2, 6 — металлические электроды соответственно неподвижный и подвижный; 3 — вольтметр; 4 — источник тока; 5 — амперметр; 7 — слой антрацита

из одного твердого тела в другое. Электрический ток, проходя через a -пятно, которое очень мало по сравнению с зерном термоантрацита, преодолевает так называемое сопротивление стягивания, определяемое по Р. Хольму как

$$R_k = \frac{\rho_0}{2a},$$

где ρ_0 — удельное электрическое сопротивление термоантрацита; a — радиус a -пятна.

Расчетная величина a представляет собой приведенный радиус контактного пятна, который в действительности составляет сумму элементарных чрезвычайно мелких мест перехода электрического тока из одного куска термоантрацита в другой. Природа этих пятен действительного контакта такова, что они располагаются колониями неравномерно по всей контактной поверхности [4]. В работе [5] показано, что на таких хрупких материалах, как антрацит контактные пятна обычно имеют круглую форму.

Контактное электросопротивление по сути своей представляет собой сумму сопротивления стягивания и сопротивления адсорбционных пленок на контактной поверхности. В случае использования термоантрацита — материала, подвергнувшегося высокотемпературной обработке, сопротивлением пленок можно пренебречь и считать, что его контактное сопротивление равно сопротивлению стягивания.

В работе [3] было показано, что удельное электрическое сопротивление сыпучего материала твердых тел $\rho_{см}$, или как его еще называют внешнее сопротивление, можно получить расчетным путем, если воспользоваться концепцией a -пятна. В этом случае

$$\rho_{см} = \rho_0 \frac{r}{a}$$

и тогда, зная внутреннее удельное электрическое сопротивление, можно рассчитать удельное электрическое сопротивление для каждой фракции термоантрацита радиусом r , если будет известно значение a .

Авторы поставили себе цель экспериментально определить значение a для трех фракций термоантрацита, используемых в электрическом кальцинаторе. Для этого применили цеховой электрический подогреватель угольной шихты в производстве угольной массы самоспекающихся электродов Содерберга, слегка реконструировав его.

На рисунке показана схема этого подогревателя. Он состоит из прямоугольного ящика, изготовленного из асбоцементных плит, в который помещены два плоских электрода из нержавеющей стали. Левый электрод неподвижный, а правый — перемещаемый, и может находиться на расстоянии 500; 1000 и 1500 мм от левого. В указанный ящик засыпается термоантрацит определенного фракционного состава (4... 6; 6... 8 и 8... 10 мм), к электродам подключается источник переменного тока. Затем в ходе опыта измеряется значение тока и напряжения между электродами.

Как видно из сказанного, опыт очень простой. В ходе его проведения мы получаем значения тока и напряжения на трех разных расстояниях между электродами для каждого фракционного состава в отдельности. Чтобы исключить влияние переходного сопротивления на границе раздела уголь–электрод, по экспериментальным данным строили график зависимости сопротивления при прохождении тока по слою дробленого термоантрацита сечением s от длины пути тока l как для обычного линейного проводника

$$\frac{U}{I} = \rho_{см} \frac{l}{s}.$$

Зависимость сопротивления от длины пути тока в данных условиях представляет собой линейную функцию, не проходящую через начало координат, и поэтому по наклону кривой зависимости можно было легко определить значение удельного электрического сопротивления термоантрацита, так как сечение слоя угля известно из прямых замеров. Кстати, ширина слоя термоантрацита в ящике величина постоянная и составляла 900 мм, а высота слоя термоантрацита в опытах колебалась в пределах 210... 250 мм. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице.

Фракция угля, мм	Параметры слоя угля			
	Длина пути тока, м	Ток, А	Напряжение, В	Сопротивление, Ом
4... 6	0,5	310	23,3	0,075
	1,0	170	24,4	0,144
	1,5	185	24,9	0,293
6... 8	0,5	230	24,0	0,104
	1,0	110	25,2	0,229
	1,5	80	24,9	0,311
8... 10	0,5	215	24,5	0,114
	1,0	99	25,0	0,253
	1,5	70	25,0	0,357

Как видно из таблицы, чем крупнее фракция угля, тем выше электрическое сопротивление слоя термоантрацита и меньше значение тока, протекающего через этот слой.

В результате расчета мы получили следующие значения УЭС термоантрацита: для фракции 4...6 мм — 41460 мкОм·м, для фракции 6...8 мм — 42850 мкОм·м и для фракции 8...10 мм — 44980 мкОм·м.

Приняв среднее арифметическое значение УЭС термоантрацита за 104,45 мкОм·м [1], мы рассчитали радиус приведенного a -пятна для испытываемых фракций термоантрацита. Он составил для мелкой фракции 6 мкм, для средней фракции 8 мкм и для крупной фракции 10 мкм.

Если слой термоантрацита нагрузить внешней силой, создающей удельное давление на уголь 4 кПа, то приведенный радиус a -пятна на частицах угля мелкой фракции возрастет до 8 мкм, а крупной до 13 мкм.

Таким образом, опыты показали, что приведенный радиус контактного пятна на термоантраците растет как с увеличением размера зерен сыпучего материала, так и с ростом давления на контактные поверхности, что хорошо подтверждает контактную теорию Р. Хольма [4].

1. *Быковец В. В., Лакомский В. И.* Удельное электрическое сопротивление термоантрацита // Современная электрометаллургия. — 2003. — № 4. — С. 49–51.
2. *Агроскин А. А.* Физические свойства угля. — М.: Металлургиздат, 1961. — 309 с.
3. *Лакомский В. И.* Математическая модель расчета удельного электрического сопротивления зернистого термоантрацита в зависимости от его фракционного состава. // Современная электрометаллургия. — 2003. — № 3. — С. 48–51.
4. *Хольм Р.* Электрические контакты. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 464 с.
5. *Шлыков Ю. П., Гашин Е. А., Царевский С. Н.* Контактное термическое сопротивление. — М.: Энергия, 1977. — 328 с.

ОАО «Украинский графит», Запорожье

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 09.06.2003

НОВАЯ КНИГА

Прогресивні матеріали і технології: У 2-х т. —

Київ: Академперіодика, 2003. — Т. 1. — XXVI с. + 421 с.

(Присвячується 85-річчю академіка Бориса Євгеновича ПАТОНА

Президента Національної академії наук України)

Двухтомное издание посвящено наиболее актуальным проблемам современного материаловедения — созданию материалов с предварительно заданными свойствами, методам их соединения и обработки. Рассмотрено состояние научных исследований по данной проблеме за последние три десятилетия. Дан прогноз их дальнейшего развития. Статьи написаны крупнейшими современными учеными-материаловедами.

В первый том включены следующие разделы: сварочные процессы и материалы (5 ст.); металлургические процессы и технологии (7 ст.); конструкционные материалы (7 ст.).

Во второй том включены разделы: функциональные материалы; материалы с особыми физическими свойствами; надежность и прогнозирование свойств материалов.

Книга предназначена для специалистов в различных областях материаловедения, а также для преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

