



ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА ТЕРМОАНТРАЦИТА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В. И. Лакомский, Г. М. Григоренко

Создана модель печи-кальцинатора антрацита, позволяющая визуализировать процесс электроконтактного нагрева угля. Предварительно изучены особенности нагрева зерен термоантрацита.

Model of furnace-calculator of anthracite was created allowing visualization of the process of electric contact heating of coal. Specifics of thermoanthracite grain heating was studied preliminary.

Ключевые слова: антрацит; отжиг; печь-кальцинатор; электроконтактный нагрев; визуализация процесса нагрева

Настоящая статья является продолжением работ по изучению процессов электрического отжига антрацита в большегрузных шахтных печах [1–3]. Во всех работах, которые были выполнены многими исследователями и производителями до последнего времени [4–7], авторы исходили из умозрительных моделей электронагрева. Одни [4, 5] считали, что нагрев антрацита происходит в результате выделения энергии электроконтактного нагрева угля, другие [6, 7] достижение высоких температур в осевой зоне печи, особенно под нижним торцом верхнего электрода, приписывали действию множества электрических микродуг, возникающих между соседними зернами угля. К сожалению, авторы указанных работ не вели непосредственного наблюдения за процессом нагрева угля. В то же время, для того, чтобы достоверно представлять себе изучаемый объект, по нашему глубокому убеждению, его надо видеть. В науке есть немало примеров, когда пытливые ученые, не прибегая к приборной технике, открывали новые явления. Сошлемся хотя бы на Дмитрия Константиновича Чернова — великого русского металлурга, который впервые открыл существование в железе нескольких точек аллотропических превращений путем всего лишь внимательного наблюдения за процессом остывания в изложнице разлитой стали.

Такой путь исследования в нынешнее время может показаться анахронизмом. Сейчас, наоборот, пора компьютерных исследований, когда, даже не видя «живого» промышленного агрегата, выполняют большие работы, объясняя такой подход к делу сокращением времени исследований и экономией

денежных средств. При этом авторы подобных работ обычно скромно умалчивают о достоверности полученных данных [7]. Они не сравнивают их с результатами реального эксперимента. На наш взгляд, нашествие компьютерных исследований в последнее время — это попросту дань современной моде на компьютерную технику.

Мы сторонники иного подхода к изучению скрытых явлений и поэтому считаем необходимым визуализировать процесс нагрева угля в электропечи, так сказать заглянуть внутрь печи.

В промышленной печи-электрокальцинаторе ИЭТ-10-УХЛ-4 мощностью 1600 кВт·А (рис. 1) из-за ее больших размеров визуализировать процесс нагрева угля проблематично и связано с большими материальными затратами. В связи с этим мы создали модель печи в масштабе 1:35, в которой в качестве прозрачной стенки использовали кварцевую трубу внутренним диаметром 57 мм (рис. 2 и 3). Верхний и нижний электроды модели изготовили из углеродистой стали, так как мы не собирались нагревать уголь до температур, достигаемых в реальной печи. Оригинальной частью настольной модели является тубус, представляющий собой алундовую трубку диаметром 20 мм. К внутреннему концу тубуса припаяно прозрачное сапфировое плоскопараллельное окошко того же диаметра, что и трубка.

Окно тубуса, через которое можно вести наблюдение за поведением зерен термоантрацита при их нагреве электрическим током, располагается по горизонтали на расстоянии 5...6 мм от оси модели, а по вертикали — почти на середине межэлектродного промежутка, но ближе к верхнему электроду.

Испытание модели проводили, подключив электроды к источнику переменного тока для электродуговой сварки с падающей вольт-амперной харак-

теристикой. Внутреннее пространство модели заполнили термоантрацитом фракцией 4...6 мм без какого-либо уплотнения. Напряжение холостого хода источника составляло 92 В, значение тока можно изменять в пределах от 20 до 100 А.

Электрическое сопротивление столба антрацита в модели в холодном состоянии в разных опытах колебалось от 20 до 10 Ом. По мере нагрева термоантрацита его электрическое сопротивление постепенно снижалось до 0,7 Ом. Значение тока при этом самопроизвольно изменялось от 20 до 60 А.

Здесь уместно будет отметить, что все опыты проводились в условиях стационарного поведения угольной шихты, то есть зерна термоантрацита не перемещались друг по отношению к другу. Так по сути дела осуществляется процесс и в промышленной печи, поскольку подача порций «сырого» антрацита в печь и выгрузка готового термоантрацита производятся дискретно.

Поведение угля при наблюдении за ним снаружи модели и через тубус фиксировали цифровой фотокамерой с тем, чтобы впоследствии полученные данные подвергнуть анализу и изучить динамику процесса нагрева на компьютере.

На рис. 4 показано наблюдаемое через тубус состояние зерен термоантрацита, нагреваемых электрическим током. Зафиксированы шесть позиций объекта наблюдения, снятые через каждые 45...50 с.

Процесс нагрева угля происходил следующим образом. После подачи электропитания через прозрачный корпус модели можно было сразу увидеть, как на периферии угольной шахты возникали и тут же гасли мелкие электрические искры. Характерно, что искры наблюдались вначале по всей высоте модели, а затем преимущественно в той ее части, которая находилась в межэлектродном пространстве. Через тубус также наблюдались искры, но количество их было намного меньше из-за меньшей площади обзора. При этом уголь слабо нагревался, что можно было установить по температуре кварцевой стенки модели.

Через некоторое время, когда, по нашему мнению, садка угля достаточно нагрелась, чтобы стали ощутимыми теплопотери через кварцевую стенку, в поперечном сечении садки, вероятно, возник определенный градиент температур. Уголь в осевой части садки имел температуру несколько выше, чем в периферийных участках модели. Это привело к перераспределению плотности тока — ток устремился в центральную зону садки, поскольку термоантрацит имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления [8]. Чем выше будет температура угля в центральной зоне, тем больший ток будет протекать в осевой части угольной садки, что в свою очередь приведет к еще большему нагреву. Через тубус хорошо видно, как довольно быстро нагреваются отдельные зерна угля. На темном фоне появляются две-три точки темно-красного цвета (рис. 4, а). На следующем рис. 4, б, зафиксированном состоянии центральной части садки угля через 45 с, эти точки выросли по размеру и стали более яркими, кроме них появились еще две точки. Спустя 50 с (рис. 4, в), видимые вначале точки

приобрели контуры зерна термоантрацита, а яркость их повысилась до светло-малинового цвета. На последующих снимках (рис. 4, г-е) видно как растет число вновь нагреваемых зерен термоантрацита и яркость первых нагретых зерен, которые уже достигли белого каления (их блики видны на стенке тубуса). Последняя картина такова: у самого сапфирового окна располагаются еще недостаточно нагретые и поэтому довольно темные зерна термоантрацита. Фоном для этих зерен служат хорошо нагретые и раскаленные зерна, располагающиеся на оси модели. Итак, практически за пять минут зерна термоантрацита в центральной зоне модели нагревались от состояния, показанного на рис. 4, а, до белого каления. За это время наружные слои термоантрацита у кварцевой стенки, как это хорошо видно на всех шести снимках, не успевают нагреться и поэтому остаются темными. И только через 8...10 мин зерна угля у кварцевой стенки модели начинают слегка краснеть. Разумеется, это есть результат распространения теплового потока из центральной области садки в наружные слои столба угля.

Процесс нагрева довольно мелких фракций угля, какими являются зерна размером 4...6 мм, при интенсивном повышении температуры отдельных зерен протекает довольно быстро. Это, к сожалению, лишает нас возможности визуально различить во времени последовательность нагрева вначале небольших объемов зерна термоантрацита у контактных пятен между соседними зернами, а затем уже прогрев всего зерна. Последнее явление мы наблюдали, когда нагревали электрическим током два зерна, более крупные, чем те, которыми загружена модель. Картина особенно хорошо проявляется, если одно зерно имеет плоскую форму, а второе — конусообразную. Вершина конуса, контактирующая с плоскостью, очень быстро нагревается вплоть до белого каления.

Процедура нагрева угольной шихты повторялась в условиях приложения механической нагрузки. Для этого столб шихты через электроизолированную шайбу для обеспечения равномерного распределения давления нагружали мелкими огарками вольфрамовых электродов общей массой 230 и 590 г, что соответствовало удельному давлению в верхних слоях шихты 0,73 и 1,88 кПа соответственно. В этих условиях искрения в столбе шихты не наблюдали. Другие отличия состояли в том, что вследствие падения электрического сопротивления угольной садки ток при подаче нагрузки самопроизвольно повысился до 65 А. Несмотря на столь большой для модели ток, даже через 5...7 мин мы не увидели сквозь тубус модели каких-либо покраснений зерен угля в центральной зоне садки. В то же время садка угля довольно интенсивно нагревалась по всему объему.

Только на основании этих первых наблюдений можно сделать несколько предварительных выводов: во-первых, микроэлектрических дуг между зернами термоантрацита при самых разных режимах нагрева мы не наблюдали. Следовательно, надо полагать, что либо они отсутствуют вообще как в модели, так и в промышленных печах, либо, если

они и появляются в больших печах-кальцинаторах, то нерегулярно; во-вторых, схема нагрева термоантрацита наводит на мысль об изменении как конструкции печи, так и режимов ее работы. В самом деле, процесс нагрева угля показывает, что электрический ток, выбрав себе в самом начале процесса определенный путь протекания, не изменяет его самопроизвольно на всем дальнейшем пути нагрева шихты. Поэтому цепочки зерен термоантрацита, по которым ток начал протекать, продолжают нагреваться вплоть до белого каления, тогда как рядом расположенные цепочки остаются обесточенными и нагреваются только косвенным теплом от горячих «соседей». Такое поведение «коллектива» зерен объясняется отрицательным значением температурного коэффициента электрического сопротивления и стремлением тока выбирать пути наименьшего сопротивления. Однако такое поведение тока резко усугубляет неравномерность нагрева угля. Отсюда напрашивается вывод о принудительном перемешивании угля и об импульсном электропитании печи.

Складывается впечатление, что создатели печи, имеются в виду как сотрудники фирмы «ELKEM», так и фирмы «Сибэлектротерм», сконструировавшие промышленную печь, руководствовались иными соображениями при разработке конструкций и технологии отжига, нежели электроконтактным нагревом слоя дробленого угля большой толщины.

На наш взгляд, существующая конструкция печи и принятая технология отжига антрацита может быть существенно улучшена.

1. *Лакомский В. И.* Математическая модель расчета удельного электрического сопротивления зернистого термоантрацита в зависимости от его фракционного состава // Современная электрометаллургия. — 2003. — № 3. — С. 48–51.
2. *Лакомский В. И., Быковец В. В.* К вопросу о контактном нагреве термоантрацита в электрокальцинаторе // Цветные металлы. — 2004. — № 1. — С. 52–54.
3. *Быковец В. В., Лакомский В. И., Кириленко В. П.* Удельное электрическое сопротивление кускового термоантрацита в тонком слое // Современная электрометаллургия. — 2004. — № 1. — С. 47–49.
4. *Солдатов А. И.* Электрокальцинированный антрацит. Особенности его производства и применения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Углекимический институт. — Харьков, 1991
5. *Пат. 2167377 C1 RU* / Йохансен Йохан Арнольд, Ватланн Арифинн. Способ и обжиговая печь для электрического обжига углеродсодержащего материала. — Заявл. 02.08.98; Оpubл. 22.10.98.
6. *Bernard J. C., Brassart J. L., Lacroix S.* Electrical calcination anthracite; A new technology: Proc. Session 116 AIME, Annual Meeting // Light Metals. — 1987. — P. 581–587.
7. *Computer simulation of the anthracite calcining furnace* / R. T. Rui, R. Hachette, G. Simard et al // Ibid. — 1999. — P. 609–616.
8. *Быковец В. В., Лакомский В. И.* Удельное электрическое сопротивление термоантрацита // Современная электрометаллургия. — 2003. — № 4. — С. 49–51.

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

Поступила 26.03.2004

НОВАЯ КНИГА

В. И. Лакомский, М. А. Фридман ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ СВАРКА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛАМИ. —

К.: Екотехнологія, 2004. — 196 с.

Представлены результаты работ Института электросварки им. Е. О. Патона Национальной академии наук Украины по технологии сварки электрических контактов углеродных материалов с металлами и их широкая промышленная проверка на электрометаллургических заводах цветной металлургии.

Приведены физико-химические основы нового процесса плазменно-дуговой сварки крупногабаритных электродов из углеродных материалов с металлами без защиты зоны сварки от воздуха и разработанные конструкции сварных электроконтактных соединений.

На примере алюминиевых электролизеров и электротермических печей для графитации и синтеза карбида кремния показано, как можно, используя новый способ сварки, экономить электроэнергию в производстве первичного алюминия, магния и графитированных электродов, заменять медную ошиновку печей на алюминиевую, создавать новые совершенные конструкции электрических сборок.

Рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проблемой энергосбережения, инженеров-сварщиков, инженеров-электриков, может быть полезна студентам вузов соответствующих специальностей.



По вопросам приобретения книги обращаться:

тел.: (38 044) 268-35-23

факс: (38 044) 227-65-02