

может быть загрузка в доменную печь окискованных материалов, содержащих остаточный углерод. В большей степени это относится к железорудным окатышам, произведенным с добавкой твердого топлива. В этих окатышах остаточный углерод сосредоточен, в основном, в центральной зоне.

Моделирование и анализ поведения железорудных материалов с остаточным углеродом, в частности окатышей, при восстановительно-тепловой обработке в доменной печи, показывают их очевидные преимущества. В верхней части шахты доменной печи эти материалы, обладая достаточно развитой поверхностью, интенсивно восстанавливаются. По мере их опускания и нагрева до температур около 900° получают развитие процессы восстановления за счет «собственного» углерода, в то время как восстановление обычных окисленных материалов в тех же условиях останавливается на стадии вюстита.

Одновременное восстановление оксидов железа твердым углеродом и восстановительным газом называется комплексным восстановлением. Кинетика комплексного восстановления и доли участия в нем различных газов и углерода определяются температурой, составом газа, реакционной способностью и содержанием углерода, степенью совершенства контакта углерода и оксидов железа, а также минералогическим составом.

Проведены сравнительные исследования окатышей с остаточным углеродом и окисленных окатышей. Преимущество углеродсодержащих окатышей по сравнению с окисленными заключается в их более высокой степени восстановления и металлизации. Так при испытаниях по ДСТУ 3202-95 степень восстановления возросла на 13,49%, а степень металлизации на 19,42% при степени использования углерода 67%. Аналогичные результаты получены и при испытании по ДСТУ 3205-95, где при полном использовании углерода степень восстановления возросла на 5,56%, а степень металлизации на 10,22%. Улучшению этих показателей способствовали увеличение содержания углерода и пористости. Дополнительными экспериментами установлено, что при увеличении пористости и содержания углерода на 1%, степень комплексного восстановления увеличивается на 0,84% и 7,87% соответственно. Это вдвое снизило выход первичного шлака с 17% до 9%, а также значительно улучшило высокотемпературные характеристики опытных окатышей. Результаты испытаний показали, что температуры начала образования жидкости и формирования первичного шлака поднялись на 600С, а температура капельного течения и образования жидкости на 40°С.

УДК 621.74

*Д. А. Ковалёв, Н. Д. Ванюкова, А. Ю. Худяков, М. Н. Бойко*  
*Национальная металлургическая академия Украины, Днепрпетровск*

### **АНАЛИЗ РАБОТЫ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЖИМА ИНТЕНСИВНОЙ СУШКИ**

С помощью динамической математической модели обжига железорудных окатышей, проведено исследование по отработке эффективного высокотемпературного режима сушки, осуществлено сравнение особенностей и результатов работы зоны сушки в базовом и опытном высокотемпературном режимах. Анализировали влияние режима сушки на прочность окатышей, содержание FeO, распределение температур по высоте слоя и производительность обжиговой машины. В качестве объекта для исследований была выбрана обжиговая машина ОК-1-520, как наиболее современная из используемых в настоящее время и отвечающая большинству требований, которые предъявляются к обжиговым агрегатам конвейерного типа.

Используемая для исследования динамическая математическая модель, основана на описании реальных физико-химических и тепловых механизмов, вовлеченных в процесс обжига окатышей. Превращения в этой системе анализируются из позиций кинетики, основанной на кинетических уравнениях. Для общего случая топохимического реагирования модель массопереноса включает химическое взаимодействие и диффузию газового компонента в пограничной пленке и через пористый слой продукта реагирования.

В общем виде модель представлена следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{H_2O} \rho_{ок} (1-\xi) \frac{\partial W_{H_2O}}{\partial \tau} - \alpha_v (t_{ок} - t_{исп}), \\ \rho_{ок} (1-\xi) C_{ок} \frac{\partial t_{ок}}{\partial \tau} - \alpha_v (t_2 - t_{ок}) + Q_1 - Q_2 + Q_3, \\ \rho_2 C_2 W_2 \frac{\partial t_2}{\partial x} = - \alpha_v (t_{ок} - t_2) \end{array} \right. \quad (1)$$

где:  $\rho_{ок}$  - плотность концентрата;  $\xi$  - пористость слоя окатышей;  $t_{ок}$  - температура обжиги;  $\tau$  - время;  $\alpha_v$  - коэффициент теплопроводности (от газа к окатышам);  $t_2$  - температура газа;  $Q_1$  - теплота окисления магнетита;  $Q_2$  - теплота разложения известняка;  $Q_3$  - теплота окисления углерода.

Для описания физико-химических процессов окисления магнетита, окисления углерода, диссоциации известняка применяются соответствующие частные модели этих процессов.

Решение системы (1) проводилось методом конечных разностей по явной схеме.

Для определения прочности обожженных окатышей на сжатие используется математическая модель, которая включает частные подмодели для определения влияния на процесс упрочнения: химического состава исходных окатышей – через использования показателей основности  $\text{CaO/SiO}_2$ , глиноземного  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  и магнезиального  $\text{MgO/SiO}_2$  модулей; динамики нагрева окатышей; температуры обжига; диаметра окатышей.

Между базовым и опытным периодами установлены следующие различия:

Базовый период: температура в зоне сушки 1 (1а,1,2,3,4 вакуум-камеры) – 350 °С, скорость газа – 1,2 м/с (движение газа снизу вверх); температура в зоне сушке 2 (5,6 вакуум-камеры) – 450 °С, скорость газа – 1,2 м/с (движение газа сверху вниз).

Опытный период: температура в зоне сушки 1 (1а,1,2,3 вакуум-камеры) – 350 оС, скорость газа – 1,2 м/с (движение газа снизу вверх); температура в зоне сушки 1 (4-я вакуум-камера) – 500 °С, скорость газа – 0,6 м/с (движение газа снизу вверх); температура в зоне сушке 2 (5-я вакуум-камера) – 800 °С, скорость газа – 0,7 м/с (движение газа сверху вниз); температура в зоне сушке 2 (6-я вакуум-камера) – 1000 °С, скорость газа – 0,85 м/с (движение газа сверху вниз).

Также в опытном периоде температура в зоне подогрева составляла 1100 °С.

В обоих периодах: высота слоя окатышей - 0,3 м, диаметр окатышей - 15 мм, содержание кремнезема - 7,56%, известняка - 5%, бентонита - 0,5%.

При моделировании опытного периода изменяли скорость движения обжиговых тележек, подбирая ее таким образом, чтобы влагосодержание окатышей на входе в зону подогрева было не выше, чем при базовом периоде.

В результате проведенного моделирования установлено, что сушка окатышей в опытном высокотемпературном режиме, по сравнению с базовым, дает следующие преимущества:

- позволяет осуществить окисление слоя окатышей приблизительно на 50%, в то время как в базовом режиме значительного окисления не происходит;
- обеспечивает более благоприятный, по сравнению с базовым режимом, прогрев слоя, чем осуществляет подготовку для перехода к зоне подогрева и дает возможность повысить температуру в зоне подогрева до 1100°С;
- способствует определенному улучшению качества конечного продукта: прочность на сжатие обожженных окатышей в опытном периоде, в сравнении с базовым, выросла в среднем по высоте слоя на 5,44-5,58%;
- повышает производительность обжиговой конвейерной машины на 6,56%.

УДК 621.74

*Д. А. Ковалёв, А. П. Поповская, Н. Д. Ваниюкова, М. В. Ягольник*  
*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск*

### **РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ БРИКЕТОВ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ**

Черная металлургия относится к тем отраслям промышленности, влияние которых на окружающую среду значительно, в том числе из-за огромного количества образующихся отходов. Производство брикетов из отходов металлургических предприятий является одним из наиболее актуальных направлений подготовки сырья для металлургических переделов.

Проведено исследование влияния влажности шихты на холодную прочность брикетов полученных методом вибропрессования. В качестве исходных материалов применяли: прокатную окалину и цемент М 400. Гранулометрический состав окалины был выбран, как отношение крупной фракции (1 – 5 мм) к мелкой (0 – 1 мм) соответственно 70 % : 30 %. При таком соотношении наиболее оптимальна порозность материала, т.к. крупное зерно окалины окружено мелкими зёрнами. Влажность шихты варьировали от 4 до 9 %. В частности при исследовании формирования холодной прочности брикета на цементной связке, важно установить зависимость прочности брикетов от влажности шихты, продолжительности выдержки сырых брикетов, а также роль подпрессовки шихты в пресс-форме. При подготовке шихтовые материалы дозировали (по весу): окалины 90 %, цемента 10 %, смешивали в сухом виде, увлажняли и смешивали во влажном состоянии.

Брикеты изготавливали на лабораторном вибростоле в цилиндрической пресс-форме (высотой 52 мм и диаметром 36 мм). Перед загрузкой шихты форму смазывали солидолом, для предотвращения взаимодействия цементной связки со стенками пресс-формы. Уплотнение смеси производилось воздействием вибрации с частотой 50 Гц и амплитудой колебания 0,35 мм, а также серия экспериментов с одновременным воздействием нагрузки сверху (0,027 МПа) при аналогичных условиях.

После вибростола брикеты находились в пресс-форме в течение 1 суток. Далее брикеты вынимали из формы, после чего они набирали прочность в обычных условиях ( $t = 20^\circ\text{C}$  и  $P = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ ) на протяжении 28 суток.

Порошок портландцемента, состоящий из мономинеральных, полиминеральных частиц и силикатов кальция, активно взаимодействует с водой сразу же при смешивании. Определенную роль в прочности брикета играет то, что гидратация цемента протекает благоприятно и достаточно полно лишь при некотором избытке воды по сравнению с тем количеством, которое необходимо для гидратации цемента. Уменьшение этого избытка ниже определенных пределов влечет за собой неполноту гидратации и, следова-