

2. *Костяков В. Н., Найдек В. Л., Медведь С. Н. и др.* Особенности технологии выплавки ферротитана из ильменитового концентрата в дуговой печи постоянного тока// Процессы литья. – 2004, № 1. – С. 81–85.
3. *Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И.* Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Metallurgy, 1988. – 784с.
4. *Алюмотермия / Н. П. Лякишев, Ю. Л. Плинер, Г. Ф. Игнатенко, С. И. Лапко.* – М.: Metallurgy, 1978. – 424 с.
5. *Мурач Н. Н., Мушенко В. Т.* Алюмотермия титана. – М.: ГОСИНТИ, 1958. – 236 с.
6. *Гасик М. И., Лякишев Н. П.* Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005 г. – 448 с.

УДК 504:669.053:62-0404.9.002.84

**Л. В. Камкина, Я. В. Стовба, Н. А. Колбин, А. П. Мешалкин, Р. В. Анкудинов**  
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

### **ВЫБОР УГЛЕРОДИСТЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

При применении углерода большое значение имеет его реакционная способность. В технической литературе есть сведения, что реакционная способность угля изменяется в широких пределах в зависимости от степени метаморфизма. Чем выше последняя, тем меньше его способность восстанавливать оксиды железа, что объясняется увеличением стойкости химических связей между структурными элементами угля и возрастанием доли низкопористого углеродного вещества. Так, при восстановлении рудоугольных окатышей замена низкорекционноспособного антрацита бурым углем сопровождалась возрастанием выхода готовой продукции приблизительно в 2 раза. При работе на восстановителях с большой реакционной способностью значительно снижается температура протекания процесса восстановления. Отмечено, что реакционная способность угля может быть до некоторой степени связана с содержанием, составом и поведением летучих. Целесообразность применения углеродистых восстановителей низкой степени метаморфизма, которые имеют в своем со-

ставе повышенное количество летучих, обусловлена экономическими и технологическими соображениями. Большая часть таких высоко реакционноспособных углеродсодержащих материалов менее дефицитна и стоимость их ниже по сравнению с коксом. Нами в качестве углеродистых восстановителей выбраны древесный и газовый угли, нефтекокс и пиролизированный лигнин (продукты обжига без доступа воздуха растительных остатков сельскохозяйственного производства и деревообрабатывающей промышленности).

Максимальные степени восстановления оксидной части концентрата при одинаковых условиях проведения экспериментов (температура и давление) получены при использовании в качестве восстановителя опытного углеродсодержащего материала растительного происхождения и древесного угля. Также по промежуточным степеням восстановления опытных образцов концентрата для соответствующих температур эксперимента рассчитывалось время процесса, необходимое для получения заданного соотношения оксидов к восстановленному железу. Активность пиролигнина, как восстановителя, сопоставима с активностью древесного угля и намного превышает восстановительные способности нефтекокса и газового угля. Так, за 30 минут восстановительно-тепловой обработки степень восстановления гематитового концентрата при использовании в качестве восстановителя пиролигнина составила около 90%, а при использовании нефтекокса или газового угля за то же время эта величина достигает 50-54%.

Повышение температуры до 1000<sup>0</sup>С, оставляя неизменным соотношение между активностями используемых восстановителей, значительно интенсифицирует процесс восстановления во всех исследуемых случаях. Степень восстановления концентрата пиролигнином и древесным углем при 1000<sup>0</sup>С достигает значения ~ 90% за время порядка 15 мин, а при 900<sup>0</sup>С за то же время степень восстановления газовым углем и нефтекоksom составляет лишь ~50. Кроме того, при температуре 1000<sup>0</sup>С пиролигнин восстанавливает концентрат более эффективно, чем древесный уголь. Наиболее активным восстановителем является пиролизированный лигнин; он имеет преимущества даже перед древесным углем. Это является следствием активирования поверхности  $S_{тв}$  в результате удаления летучих и влаги, что существенно ускоряет адсорбционно-химические взаимодействия в процессе газификации  $S_{тв}$  и углетермического восстановления железа в целом.

Исследуемый гематитовый концентрат подвергали брикетированию совместно с различными углеродистыми восстановителями. Повышение температуры восстановления до  $1000^{\circ}\text{C}$ , как и в случае порошкообразной шихты значительно интенсифицирует восстановление во всех случаях. Поскольку при восстановлении оксидов железа преимущественно развивается двухзвенная схема механизма восстановления с регенерацией двууглекислого газа до  $\text{CO}$ , при брикетировании увеличивается число контактов твердого углерода с оксидом. Это приводит к ускорению взаимодействия оксида с углеродом, как инициирующей реакцию газификации углерода.

Брикетирование интенсифицирует процессы восстановления, однако, наблюдается уменьшение разницы между активностями твердых восстановителей, что расширяет возможности использования углеродистых восстановителей различного типа в сторону менее дефицитных сортов.

УДК 669.1: 622.788.5.001.2

**Н. А. Колбин, Ю. И. Сокур, Л. Ю. Колодяжная, А. В. Боченкова**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

## **ПОВЕДЕНИЕ СЕРЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ**

В качестве твердого восстановителя в агрегатах прямого получения железа вместо дефицитного кокса обычно используют недорогие марки углей. Твердые восстановители, как правило, содержат значительное количество серы, которая в процессе восстановления может переходить в металлизированный продукт, снижая его ценность для дальнейшего передела. В настоящее время вопросам механизма и кинетики поглощения металлом серы из различных серосодержащих материалов и соединений, вопросам удаления серы из восстановленного железа в твердых фазах уделяется значительное внимание. Однако, обоснование выбора десульфуризирующего вещества, определение его оптимального количества, момента ввода его в восстановительный агрегат и другие технологические параметры выведения серы из металла изучены недостаточно. Их теоретическое решение даст практикам инструмент в борьбе за снижение содержания серы в металлизированном продукте.

При металлизации железорудных материалов во вращающейся печи, сера, содержащаяся в значительных количествах в твердых восстановителях, пе-