

УДК 669.162.2

Н.А. Колбин, Л.В. Камкина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ГАЗОВОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ В СЛОЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Проведено исследование позволяющее оценить изменение объема железорудных окатышей по высоте слоя в ходе восстановительного процесса. Показана связь изменения объема и степени восстановления окатышей. Статические нагрузки возникающие в слое невелики и прочность окатышей определяется не исходной прочностью окатышей, а процессами происходящими при восстановлении.

Ключевые слова. Окатыш, восстановление, прочность, объем, реакционная зона.

Введение. Прочность, наряду с восстановимостью, является определяющим металлургическим свойством железорудных материалов. К прочности окатышей предъявляются повышенные требования. При транспортировке и многочисленных перегрузках они должны сохранять свои физические параметры и свойства. Железорудные окатыши в процессе их металлизации в установках прямого восстановления или в доменной печи подвергаются одновременному воздействию высоких температур, восстановительной среды, динамическим и статическим нагрузкам столба шихтовых материалов. Учитывая важность этих требований, окатыши должны обладать необходимой суммой свойств, противостоящих указанным воздействиям.

Наиболее распространенным методом оценки прочностных свойств окатышей является определение сопротивления воздействию статических нагрузок (сжатие) как вне реактора, так и в процессе восстановления. Этот метод удобен для оценки характеристик материала и определения его прочности на сжатие, но становится неприемлемым для получения непрерывных характеристик, поскольку такое испытание связано с необратимыми изменениями структуры образца. Непрерывно удастся проследить за другой

характеристикой, непосредственно связанной с прочностью на сжатие – изменение объема образца (разбухаемость).

Постановка задачи. Целью работы является определение закономерностей изменения объема окатышей в процессе газового восстановления в слоевых условиях и их связь со степенью восстановления.

Основная часть. Изучали изменение объема окисленных окатышей СевГОКа в слоевых условиях при восстановлении водородом. Окатыши содержали 28,5% кислорода связанного с железом, имели кажущуюся плотность $4,12 \text{ кг/м}^3$, относительную пористость 0,25 и средний диаметр 0,72 см. Используемые методики исследования изменения объема окатышей и их восстановимости описаны в работах [1-3]. Известно, что механические свойства обожженных окатышей зависят от их размеров и условий обжига [4], отмечается при этом, что существует оптимальный размер окатышей. Было установлено, что окатыши выше определенного размера будут иметь окисленную оболочку глубиной 5-6 мм и не окисленное ядро. Авторы показали, что между окисленной оболочкой и магнетитовым ядром имеется зона с повышенной пористостью и большое количество макротрещин, что вызвано различными коэффициентами объемного термического расширения гематита и магнетита. В связи с этим уменьшается прочность окатышей на раздавливание. Естественно, что окатыши меньшего диаметра обжигаются на всю глубину, но как указывается в работе [5], они создают больший гидродинамический подпор, что осложняет работу шахтных агрегатов.

Нами были проанализированы и рассчитаны статические нагрузки, которые могут возникать в слое железорудного материала в зависимости от типа укладки окатышей в слое и их диаметра. Для примера рассмотрели шахтную печь ВНИИМТ[6] диаметром 2 м, высотой 7,7 м и сечением $3,14 \text{ м}^2$. Расчеты были проведены для кубической и гексагональной укладки окатышей. Данные расчетов представлены в таблице 1, а на рис.1 представлено изменение статической нагрузки в зависимости от высоты слоя. При расчетах гексагональной укладки, необходимо учесть, что расстояние между параллельными слоями равно $0,707$ диаметра шара [7], в отличии от кубической, когда эта величина равняется единице.

Как показывают полученные данные, нагрузка на нижний слой, для всех диаметров окатышей, одна и также, но за счет разного количества окатышей в одном слое, нагрузка на один окатыш нижнего слоя разная. Из таблицы следует, что при увеличении диаметра окатыша в 4 раза нагрузка возрастает в 16 раз, т.е. пропорционально корню квадратному.

Таким образом, согласно данным, приведенным в таблице 1, чем меньше диаметр окатыша, тем меньше нагрузка на него. Размер окатыша должен быть определенной величины, т.к. с уменьшением размера увеличивается подпор и ухудшается гидродинамический режим работы печи. Расположение окатыша внизу слоя приводит к возрастанию давления и тем прочнее он должен быть. При гексагональной укладке нагрузки возрастают в 1,4 раза в сравнении с кубической. Диаметр реактора не оказывает влияния на статическую нагрузку, а с увеличением высоты реактора она прямо пропорционально увеличивается. Так при высоте реактора 20м и диаметре окатышей 10мм нагрузка на нижний окатыш составит 4,29кг в случае кубической укладки и 6,0кг при гексагональной укладке. Нагрузки в реальном слое должны находиться в этом интервале. Полученные значения нагрузки на один окатыш свидетельствуют о том, что статические нагрузки в слое незначительны и, по всей вероятности, образование мелких фракций материала при восстановительно – тепловой обработке в большей степени связаны с динамическими нагрузками, т.е. истиранием, а также процессами, происходящими при восстановлении железорудных окатышей.

Таблица

Расчетные данные для определения нагрузки в слое

D, См	Тип укладки									
	Кубическая					Гексагональная				
	N	M ₁ , кг	N	P, Т	p ₁ , кг	n	M ₁ , кг	N	P, Т	p ₁ , кг
0,5	125700	33,94	1540	52	0,414	125665	33,93	2178	74	0,59
1	31430	67,575	770	52	1,65	31428	67,57	1089	74	2,35
2	7854	135,87	385	52	6,62	7859	135,9	544	74	9,4

Обозначения, принятые в таблице: D – диаметр окатыша; n – количество окатышей в одном слое; $M1$ – масса одного слоя; N – количество слоев; P – нагрузка на нижний слой; $p1$ – нагрузка на один окатыш нижнего слоя.

В опытах с единичными окатышами [1] было показано, что прочность находится в прямой зависимости от изменения объема окатышей. Чем больше изменение объема, тем меньше прочность и наоборот. В данной работе исследовано изменение объема окатышей в условиях восстановления железорудных окатышей в линейном слое. На рис.2 представлен образец оформления экспериментальных данных по изменению степени восстановления и объема окатышей при их восстановлении в линейном слое. Из рис.2 видно, что максимальное увеличение объема приходится на завершение перехода Fe_2O_3 в FeO в дальнейшем идет уменьшение объема, за счет спекания металлического железа. Максимальное увеличение объема наблюдалось для температуры $1050^{\circ}C$ – 35%. Из полученных данных следует, что резкое падение прочности должно происходить при переходе Fe_2O_3 в FeO . Также следует отметить, а следовательно и изменение прочности железорудных окатышей, которое тесно связано с процессом восстановления.

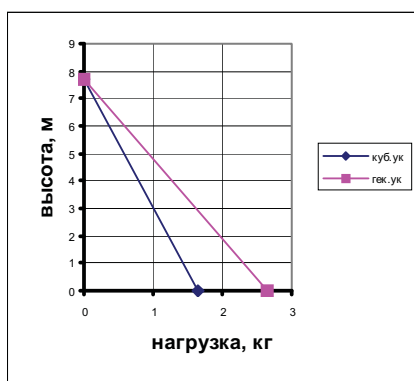


Рисунок 1 – Влияние способа укладки и высоты слоя на статическую нагрузку одного окатыша. Диаметр окатыша 10мм

В соответствии с теоретическими предпосылками [8] и экспериментальными данными [2,3], слой в установившемся режиме при температурах выше $8400C$ состоит из 2х зон активного реагирования: $FeO-Fe$ и Fe_2O_3-FeO , а также зон постоянного состава Fe_2O_3 , FeO и Fe . Учитывая это, а также исследования по определению прочности и изменения объема, можно предложить

следующую физико-химическую модель спекания окатышей при восстановлении в слоевых условиях (расположение сверху вниз):

- спекание гематита;
- увеличение объема за счет превращения гематит-вюстит;
- спекание вюstitа;
- спекание за счет появления металлического железа;
- спекание металлического железа.

Установлено, что при восстановительно тепловой обработке увеличение объема окатышей и, следовательно, их разупрочнение, происходит в одной реакционной зоне: гематит – вюстит. В остальных зонах происходят процессы, способствующие упрочнению железорудных окатышей. При выборе способа организации процесса восстановления в слоевых условиях необходимо чтобы зона разупрочнения располагалась в верхних горизонтах печи. В этих условиях на разупрочненный в результате химического превращения окатыш будут воздействовать минимальные статические и динамические нагрузки.

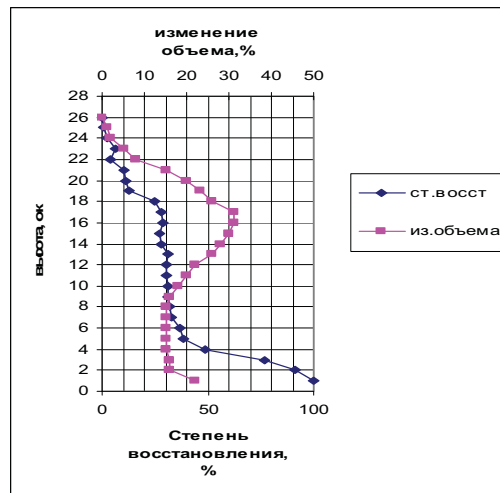


Рисунок 2 – Влияние степени восстановления на изменение объема окатышей при восстановлении линейного слоя водородом. $T = 1000^{\circ}\text{C}$, Расход H_2 - 1л/час, Время выдержки -120мин

Это достигается согласованием температурного режима, массового расхода газа-восстановителя, влияющих на скорость передвижения реакционных зон, со скоростью разгрузки металлизированных окатышей в восстановительном агрегате.

Выводы. При восстановлении в слоевых условиях максимальное разупрочнение окатышей происходит на стадии восстановления гематита в вюстит. В дальнейшем происходит

упрочнение окатышей за счет появления металлического железа. Статические нагрузки в слое невелики и уменьшаются с уменьшением диаметра окатышей. Для уменьшения разрушения окатышей при восстановлении в слоевых условиях необходимо вести процесс восстановления таким образом, чтобы зона перехода гематита в вюстит располагалась на верхних горизонтах печи. Размер окатышей должен быть минимальным и его размер необходимо оптимизировать с учетом гидродинамического подпора. Уменьшению количества разрушенных окатышей будет способствовать использование окатышей с повышенным содержанием вюстита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование изменения объема и прочности окатышей при газовом восстановлении / Костелов О.Л., Рожков А.Д., Колбин Н.А. и др. // *Металлургия и коксохимия: республиканский межведомственный научно-технический сборник №70*, - К., Техника, 1980.- С. 45-47.
2. Исследование кинетики восстановления слоя железорудных материалов газами / Костелов О.Л., Степанов О.А., Колбин Н.А. и др. // *Физикохимия прямого получения железа: сб. материалов Всесоюзной научной конференции / отв.ред. Ростовцев С.Т.* - М. Наука, 1977. - С. 123-128.
3. Скорость восстановления окатышей в линейном слое / Костелов О.Л., Колбин Н.А. // *Физико-химические исследования процессов восстановления окисных систем: сб. научных трудов №149 / отв.ред. Рыжонков Д.И.* - М. *Металлургия*, 1983. – С. 36-40.
4. Качула Б.В. Свойства качканарских окатышей различной крупности / Б.В. Качула, Л.А. Фованов // *Бюллетень ЦНИИЧермет.* – 1974. – 23(739). – С. 26-28.
5. *Металлургия чугуна : [учебник для студентов металлургических вузов]* / Е.В. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин. – М. : *Металлургия*, 1989. – 512 с.
6. Князев В.Ф. *Бескоксовая металлургия железа* / В.Ф. Князев, А.И. Гиммельфарб, А.Н. Неменов. – М. *Металлургия*, 1972. - 272с.
7. Аэров М.Э. *Аппараты со стационарным зернистым слоем* / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский.- Л.: *Химия*, 1979. – 176 с.
8. Колбин Н.А. *Формирование реакционных зон при восстановлении слоя железорудных окатышей водородом* / Камкина Л.В., Костелов О.Л., Ежи Сивка, Стомба Я.В. // *XV Международная научная конференция «Новые технологии и оборудование в металлургии и инженерном материаловедении» - Политехника Ченстоховская – Польша – Ченстохов – 2007.* С. 74-79.