4. Предварительный патент № 16191 РК. Шихта для получения ферросилиция / Бишимбаев В. К., Капсалямов Б. А., Колесников А. С., Картбаев С. К. Опубл. 15.09.05, Бюл. № 9.

5. Капсалямов Б. А., Колесников А. С. Электротермическая переработка отходов полиметаллических руд // Республиканский научный журнал. № 35. Наука и образование Южного Казахстана. Шымкент, 2003. С. 126–128.

6. Капсалямов Б. А., Бишимбаев В. К., Колесников А. С., Картбаев С. К. Комплексная электротермическая переработка клинкеров вельцевания оксидных ачисайских цинксодержащих руд: монография. – Шымкент, 2009. –153 с.

7. Колесников А. С. Разработка комплексной электротермической технологии извлечения цветных металлов и железа из клинкера вельцевания оксидных руд: автореф. канд. техн. наук. Алматы: ЦНЗМО, 2008. – 23 с.

8. Цымбал В. П. Математическое моделирование металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. – 240 с.

УДК 669.051

В. И. Клейн, Б. А. Боковиков, С. И. Поколенко

ООО «Научно–производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС»,
г. Екатеринбург, Россия

О ВЛИЯНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВА НА ПРОЦЕСС ВОССТАНОВЛЕНИЯ РУДОУГОЛЬНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Аннотация

При восстановлении рудоугольных окатышей большое значение имеет крупность частиц угля. Этот вопрос проанализирован с точки зрения влияния удельной поверхности топлива и кинетики процесса газификации углерода на интенсивность восстановительного процесса.

Ключевые слова: рудоугольные окатыши, крупность частиц, удельная поверхность, кинетика газификации угля.

Abstract

Coarseness of the coal particles is immensely important during reduction of iron ore-coal pellets. This issue had been analyzed considering an impact of fuel specific surface and kinetics of the carbon gasification process on intensity of reduction process.

Keywords: iron ore-coal pellets, coarseness of particles, specific surface, kinetics of coal gasification.

При термообработке рудоугольных окатышей реакции восстановления оксидов железа и газификации твердого топлива относятся к гетерогенным процессам, связанным с реакционной поверхностью. А поскольку эти реакции связаны между собой двухстадийной схемой взаимодействия, постольку соотношение реакционных поверхностей оксидов железа и твер-

© Клейн В. И., Боковиков Б. А., Поколенко С. И., 2014

дого топлива должны влиять на суммарный результат этого взаимодействия. Более измельченное топливо при той же его доле в окатыше будет иметь большую поверхность и в большей степени будет стимулировать протекание реакции газификации, особенно в начальный период, когда этот процесс является лимитирующим в двухстадийной схеме. С другой стороны, более мелкое топливо быстрее «выгорает» и возникает большая вероятность его неэффективного использования при восстановлении. В этой связи рассмотрим соотношение поверхностей топлива и концентрата в отдельном окатыше при различном содержании в нем топлива различного помола.

Вес окатыша, г, определяется выражением:

$$P_{ок} = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot (1-\varepsilon) \cdot \rho_{ист}. \qquad (1)$$

Истинная плотность рудоугольного окатыша $\rho_{ист}$, г/см^2, зависит от соотношения плотностей концентрата и топлива и их содержания в окатыше:

$$\rho_{ист} = \rho_{ист}^{кон} \cdot a + \rho_{ист}^{топ} \cdot в, \qquad (2)$$

где a и $в$ – доли соответственно концентрата и топлива в окатыше.

Удельная поверхность концентрата $S_{уд}^{кон}$ и топлива $S_{уд}^{топ}$ в окатыше, см^2/г:

$$S_{уд}^{кон} = Рок \cdot \left(S_{уд}^{кон}\right)_0 = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot (1-\varepsilon) \cdot (\rho_{ист}^{кон} \cdot a + \rho_{ист}^{топ} \cdot в) \left(S_{уд}^{кон}\right)_0 \cdot a, \qquad (3)$$

$$S_{уд}^{топ} = P_{ок} \cdot \left(S_{уд}^{топ}\right)_0 = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot (1-\varepsilon) \cdot (\rho_{ист}^{кон} \cdot a + \rho_{ист}^{топ} \cdot в) \left(S_{уд}^{топ}\right)_0 \cdot в. \qquad (4)$$

Отсюда соотношение поверхностей топлива и концентрата будет иметь вид:

$$\frac{S_{уд}^{топ}}{S_{уд}^{кон}} = \frac{\left(S_{уд}^{топ}\right)_0 \cdot в}{\left(S_{уд}^{кон}\right)_0 \cdot a}. \qquad (5)$$

При $(S_{уд}^{кон})_0$ = 1350 см^2/г, $\rho_{ист}^{кон}$ = 4,8 г/см^3; $\rho_{ист}^{топ}$ = 1,7 г/см^3 и $\left(S_{уд}^{топ}\right)_0$ = (1000–3000) см^2/г; диаметре окатыша 1,3 см и его пористости ε = 0,32 результаты расчетов по формулам (1)–(5) представлены в табл. 1 и на рис. 1. Их анализ показывает, что на отношение $\frac{S_{уд}^{топ}}{S_{уд}^{кон}}$ удельная поверхность топлива $S_{уд}^{топ}$ влияет в значительно большей степени, чем его расход.

Для обеспечения условия $\frac{S_{уд}^{топ}}{S_{уд}^{кон}}$ = const потребуется тем больший расход углерода, чем он будет крупнее (рис. 1), т. е. можно ожидать, что более мелкое топливо будет значительно интенсифицировать процесс газификации топлива, особенно в его начальной стадии. К сожалению, в имеющейся литературе при изучении рудоугольного восстановления тема измельчения топлива выпала из рассмотрения. Для частичного восполнения этого пробела проведены специальные модельные расчеты.

Таблица 1

Результаты расчета удельной поверхности

а		0,975	0,95	0,925	0,90	0,875	0,85	0,80	0,70
в		0,025	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,20	0,30
$S_{уд}^{топ}$ при различных $\left(S_{уд}^{топ}\right)_0$	1000	92,44	181,85	268,22	351,57	431,9	509,1	654,6	909,0
	2000	184,89	363,7	536,45	703,13	863,7	1018,3	1309,2	1818
	3000	277,3	545,55	804,68	1054,7	1295,6	1527,4	1963,8	2727
$S_{уд}^{кон}$		4867	4664,5	4466	4271,5	4081	3895	3535	2863,5
$\rho_{ист}$, г/см^3		4,7225	4,645	4,5675	4,490	4,4125	4,335	4,180	3,870
$P_{ок}$, г		3,70	3,64	3,58	3,515	3,455	3,39	3,27	3,03
$\frac{S_{уд}^{топ}}{S_{уд}^{кон}}$	1000	0,019	0,039	0,060	0,0823	0,1058	0,1307	0,185	0,3174
	2000	0,038	0,078	0,120	0,1646	0,2117	0,2614	0,370	0,6349
	3000	0,057	0,117	0,180	0,247	0,3175	0,3921	0,555	0,952

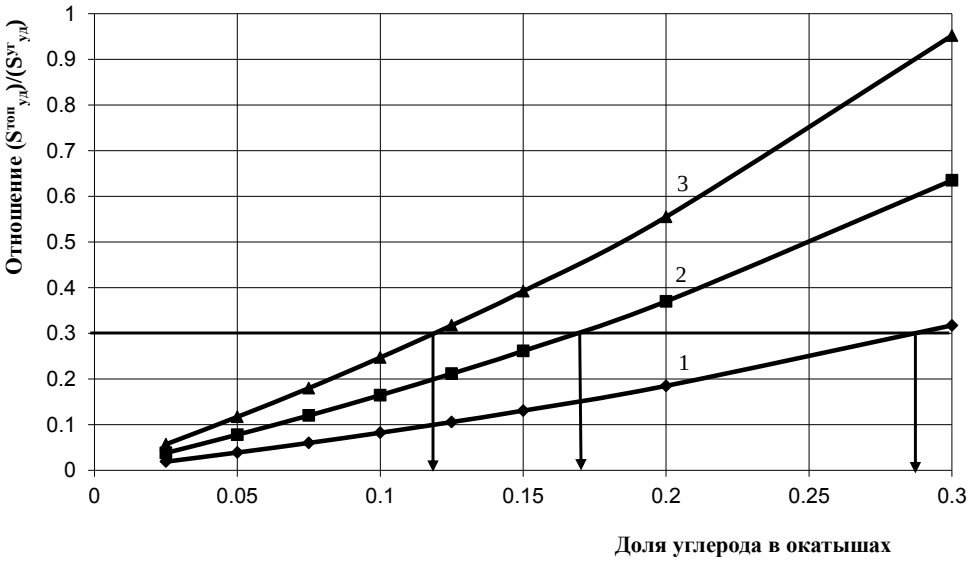

Рис. 1. Зависимость отношения удельных поверхностей топлива к удельной поверхности угля от доли углерода в окатыше

($S_0^{топ}$: 1 – 1000 см^2/г; 2 – 2000 см^2/г; 3 – 3000 см^2/г)

В математической модели, разработанной в ООО «НПВП ТОРЭКС» для процесса восстановления рудоугольных окатышей, учтен средний размер частиц углерода $d_{уг}^{ср}$, что позволило оценить его влияние на время «выгорания» (расходования) углерода в окатышах (диаметром 15 мм) на 90 %. Изменение размера частиц топлива в исследованиях соответствует диапазону его удельной поверхности 1000–3000 см^2/г.

На рис. 2 представлена эта зависимость при различном содержании углерода в шихте (5 и 10 %) при термообработке окатышей в среде продуктов сжигания природного газа (при t_{max} = 1150 °С). Видно, что снижение размера зерна угля в два раза сокращает время «выгорания» углерода в 1,5–1,9 раза.

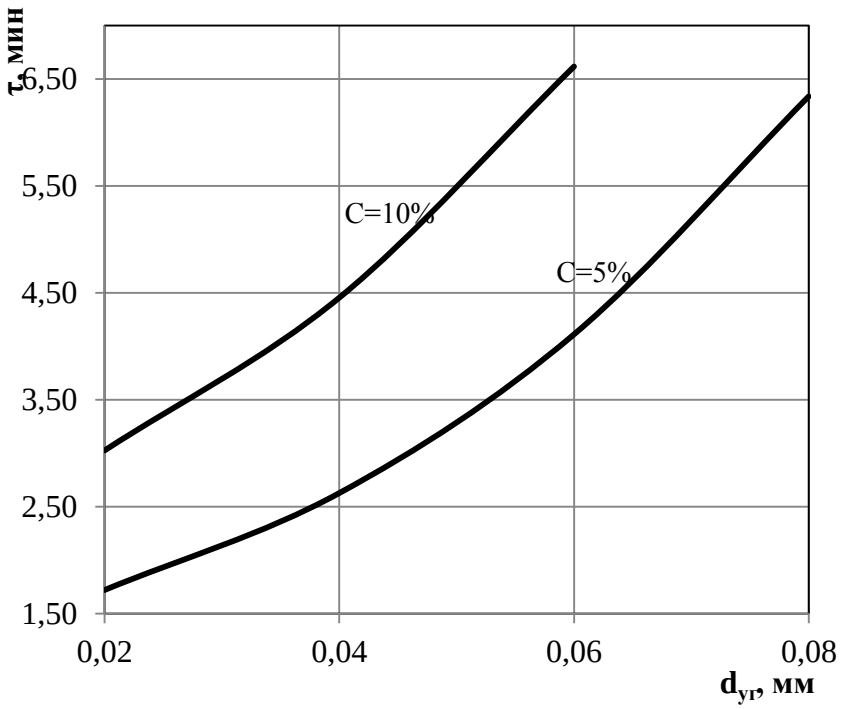

Рис. 2. Время «выгорания» углерода в окатышах на 90% (τ) как функция диаметра частиц топлива (на кривых – содержание углерода в окатышах)

Следует также отметить, что при низком содержании углерода в окатышах (5–10 %) скорость процесса «выгорания» углерода и соответствующая ей скорость восстановления железа в окатыше практически не зависят от размера частиц концентрата. Это связано с тем, что восстановление железа протекает преимущественно до Fe_3O_4 и FeO в газовой среде с малым содержанием оксида углерода в соответствии с условиями термодинамического равновесия.

Таким образом, установлена расчетная зависимость протекания процесса восстановления рудоугольных окатышей от степени помола твердого топлива (удельной поверхности).