

В.Е.Лотош

## **Безобжиговое окускование обожженных сидеритов Бакальского месторождения**

Изложены результаты разработки технологии получения безобжиговых окатышей из обожженных сидеритов с использованием известково-шлаковых и магнезиально-шлаковых вяжущих. Исследования свойств обожженного сидерита выявили его более развитую, чем в концентратах природных магнетитовых руд, внешнюю поверхность при равном гранулометрическом составе, а также возможность его измельчения при минимум вчетверо большей производительности, чем известняков или магнетитовых руд. При оптимальных технологических параметрах изготовления и упрочнения и 7%-ном расходе вяжущего на шлаковой основе возможно получение окатышей, по механической и термической прочности отвечающих требованиям доменного передела. В частности, в испытаниях по ГОСТ 19575-84 показатель прочности окатышей (кл+5 мм) достиг 95,1-99,3%, а показатель истираемости (кл.-0,5 мм) составил 1,2-4,8% при восстановимости 44,9-48,0%. Выявлена возможность получения рудоугольных окатышей, содержащих 15% и более угля.

Основной процесс (восьмичасовая тепловлажностная обработка окатышей в непрерывном режиме при нормальном давлении) предлагается осуществить в пропарочной камере, расположенной вне здания.

Одним из товарных продуктов Бакальского рудоуправления (БРУ) является обожженная сидеритовая руда, на ряде металлургических мероприятий используемая в доменной плавке. Серьезный недостаток материала заключается в низкой механической прочности кусков, что предопределяет перманентные затруднения с его реализацией. Как следствие, актуальна проблема получения из обожженного сидерита окускованного продукта, отвечающего по металлургическим свойствам требованиям доменного передела.

Известны два принципиально отличающихся направления окускования металлургической шихты: высокотемпературные методы (агломерация и производство обожженных окатышей) и безобжиговое упрочнение. В настоящее время доминируют высокотемпературные методы, господство которых в значительной степени объясняется лишь субъективными причинами, в частности, узкой (только пирометаллургической) подготовкой предыдущих поколений специалистов по окускованию металлургических шихт. В современных условиях агломерация и обжиг окатышей бесперспек-

тивны как в экономическом плане (капитало- и энергоемки), так и чрезвычайно экологически опасны, поскольку характеризуются не только большим количеством ординарных вредных выбросов (монооксид углерода, оксиды азота, пылевынос, пр.), но и супертоксичных диоксинов и фуранов. Количество этих супертоксичных в выбросах аглофабрик Европы в 1,5-2,0 раза превышает их выбросы из всех других европейских источников тепловой энергии [1]. Кроме того, реализация высокотемпературных процессов в условиях БРУ в короткое время невозможна, так как связана с проектированием основного оборудования, размещением заказов на его изготовление, с большим объемом строительного-монтажных работ.

В последнее время определенное распространение получили безобжиговые методы окускования. Их используют при утилизации металлургических отходов, окусковании железных, хромовых, марганцевых материалов, шихт цветной металлургии [2]. Они характеризуются низкими капитальными и текущими затратами, являются энергосберегающими, экологически чисты, позволяют резко повысить механическую и термическую стойкость куска, добиться существенной экономии кокса в доменной плавке за счет изготовления рудодугольных окатышей [2, 3]. В условиях БРУ безобжиговое окускование может быть быстро реализовано при минимальных капитальных и энергетических затратах.

В данном сообщении излагаются результаты разработки технологии получения безобжиговых окатышей из обожженных сидеритов, выполненной творческим коллективом под руководством автора статьи в рамках договора НПВП «Торэкс» с БРУ<sup>1</sup>.

В качестве рудных материалов использованы обожженная кусковая сидеритовая руда (состав, мас%: 50,4 Fe, 70,1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12,9 MgO, 5,2 SiO<sub>2</sub>) и высевы сидерита (45,6 Fe, 63,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 14,3 MgO, 6,7 SiO<sub>2</sub>). Компонентами вяжущего служили известь промышленная (84% CaO, 10% ПМПП), пыль каустического магнезита (КМ) Саткинского завода «Магнезит» (86,9 MgO, 84,8% ПМПП), доменный шлак (ДШ) Челябинского металлургического комбината, а также другие добавки – предмет ноу-хау.

Обожженный сидерит, высевы, известь, шлак и, при необходимости, другие материалы, непригодные для окомкования в первоначальной крупности, измельчали. Выяснилось, что измельченные обожженный сидерит и высевы отличаются опреде-

---

<sup>1</sup> В работе принимали участие А.А.Чесноков и Т.Ф.Рудковская

ленными особенностями. В частности, они обладают гораздо более высокой удельной поверхностью, чем концентраты природных руд. Это явление имеет ту же причину, которая ранее установлена для гравитационно-магнитного концентрата Лисаковского ГОКа [4]. Данная особенность позволяет использовать для окомкования обожженный сидерит и высевы достаточно грубого гранулометрического состава (60-70% кл-63 мкм против обычных в концентратах природных руд 90% этой же фракции). Даже при такой гранулометрии внешняя удельная поверхность указанных материалов достигает  $450-600 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что втрое выше, чем, например, у магнетитовых концентратов фабрик окомкования.

Выявлена также повышенная измельчаемость обожженного сидерита. Так, его внешняя удельная поверхность достаточная для окомкования ( $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) при прочих равных условиях достигается за 20 мин. Крупность контрольной пробы известняка необходимая для окомкования (93% кл-63 мкм) была получена лишь через 90 мин измельчения. Следовательно, помол обожженного сидерита можно осуществлять при минимум вчетверо большей производительности, чем известняка или близких к нему по измельчаемости природных магнетитовых руд.

Окомкование вели на лабораторном барабанном грануляторе диаметром 400 мм. Компоненты шихты при необходимости измельчали до заданной крупности и увлажняли, затем смешивали и механически активировали. Требуемое для грануляции дополнительное количество воды подавали в окомкователь.

Упрочнение окатышей осуществляли несколькими способами: нормальным твердением при обычных температурах с испытаниями на 7 и 28 суток ( $\text{НТ}_7$  и  $\text{НТ}_{28}$ ); пропаркой 4-9 ч ( $\text{П}_4$ - $\text{П}_9$ ); сушкой пропаренных окатышей 1,5 ч при  $200^\circ\text{C}$  ( $\text{П}+\text{С}$ ) или при обычных температурах в течение 1, 3, 7 суток ( $\text{ЕС}_{1,3,7}$ ). Образцы диаметром 14-16 мм обычно испытывали на сжатие, принимая среднее значение (даН) по десяти измерениям в каждом случае.

В качестве вяжущих использовали в основном два их типа на шлаковой основе: с известью и с магнезиальной добавкой. Изменение соотношения между компонентами этих вяжущих позволяет при необходимости в широких пределах варьировать основность окатышей и регулировать их металлургические свойства. Достоинство данных вяжущих состоит также в том, что их компонентные ресурсы расположены вблизи БРУ, недефицитны и дешевы.

В исследованиях с использованием известково-шлакового вяжущего (ИШВ) выявлена умеренно экстремальная зависимость прочности окатышей с изменением степени измельчения сидерита от 230 до 950 м<sup>2</sup>/кг при всех способах упрочнения (табл. 1, строки 1-6). Максимум прочности образцов приходится на интервал 230-790 м<sup>2</sup>/кг. Последнему соответствует степень измельчения рудной массы (35-90% кл-63 мкм) значительно меньшая, чем при окомковании других рудных материалов. При удельной поверхности сидерита 500 м<sup>2</sup>/кг и более наблюдались схватывание шихты и образование окатышей с полисферической поверхностью, обуславливающие снижение прочности образцов.

Табл 1

Введение в окатыши 7-10% коксика крупностью 1-0 мм не только не снизило, но и повысило их прочность (табл. 1, строки 7-9). Отсутствие отрицательного влияния угля на прочность при сжатии, которое наблюдалось и ранее на других типах железорудных материалов, например, на лисаковском обжиг-магнитном концентрате [5], можно объяснить тем, что удельная поверхность обожженного сидерита сопоставима с удельной поверхностью углеродсодержащей части и, как следствие, относительный вклад снижающего прочность процесса адсорбции продуктов гидратации вяжущего углеродом уменьшается.

Оптимизация параметров активации шихты позволила повысить прочность пропаренных окатышей до 95 даН, а после их последующей сушки с подогревом (режим П<sub>9</sub>+С) – до 157 даН. Обнаружено, что удельная поверхность шихты при определенной продолжительности активации становилась меньшей, чем исходная. Данный результат, как и ранее [4], можно объяснить флокуляцией частиц высокоактивной шихты.

Изменение степени измельчения шлака в пределах 300-450 м<sup>2</sup>/кг несущественно повлияло на результаты упрочнения окатышей, при этом примерно равная прочность получена в широком интервале соотношений компонентов ИШВ (15-50% извести в составе последнего). Однако несколько более интенсивный рост прочности наблюдали при использовании вяжущего с меньшим содержанием извести.

Таким образом, исследования с ИШВ показали, что оптимальные технологические параметры позволяют получать окатыши, включая рудоугольные, с прочностью более 100 даН. Последняя, в соответствии с результатами рассматриваемой далее оценки металлургических свойств окатышей, по механической прочности и прочности при восстановлении удовлетворяет требованиям доменного передела.

Исследования по применению магнезиально-шлаковых вяжущего (МШВ) выполнены в основном по той же программе, что и с ИШВ, и приводят к тем же выводам. Выявлено, в частности, что соотношение шлак – активная магнезиальная добавка можно варьировать в широких пределах (5-50% КМ в вяжущем) без особого влияния на прочность окатышей (табл. 2). На основании этих данных был предложен новый тип вяжущего для безобжигового окаткования [6]. Введение в окатыши до 15% коксика не снижало их прочность как и замена обожженного сидерита его высевами.

Табл 2

При металлургической оценке были исследованы механическая прочность и прочность при восстановлении окатышей, рассчитан их химический состав. Механическую прочность определяли в навесках массой 1,0 кг в мини-барабане, вращающемся 40 мин при частоте 25 мин<sup>-1</sup>. Используемая методика дает численные значения прочности на истирание (по выходу кл.-0,5 мм) близкие к определяемым по ГОСТ 15137-77. Выявлено, что истирание окатышей не зависело от состава вяжущего и как функция их прочности на сжатие оказалась следующей:

Рсж, даН	61	65	70	79	86	93	104
Истирание, %	29,5	7,5	5,5	2,0	4,0	7,5	1,0

Видно, что весьма высокая истираемость окатышей имеет место при прочности на сжатие порядка 60 даН и менее. Последняя в соответствии с работой [7] находится ниже критического уровня прочности на сжатие. В интервале 65-104 даН истираемость окатышей не зависит от прочности на сжатие и составляет в среднем 4,5%, что отвечает уровню, характеризующему лучшие образцы обожженных окатышей. Критическая прочность безобжиговых окатышей составляет, таким образом, 70 даН. Исходя из этого, был оценен необходимый для достижения критической прочности на сжатие расход вяжущего. Известно, что снижение его на 1% уменьшает прочность окатышей на 8 даН [8]. Поскольку в данном случае при оптимальных параметрах осуществления технологии прочность на сжатие превышает 100 даН при расходе вяжущего 10%, то для получения прочности в 70 даН его потребуется не более 7%.

Определение термостойкости окатышей по ГОСТ 19575-84 показало весьма высокую прочность при восстановлении и восстанавливаемость образцов на ИШВ и МШВ. При исходной прочности окатышей на сжатие 60-120 даН их показатель прочности (кл.+0,5 мм) достигал 95,1-99,3%, а показатель истираемости (кл.-0,5 мм) составил 1,2-4,8% при восстановимости 44,9-48,0%. Образцы после восстановления со-

храняли прочность на сжатие равную 24-31 даН. Таким образом, исследованные окатыши отвечают современным требованиям по механической и термической прочности [9], причем они достигаются при гораздо меньшей (70 даН), чем у обжиговых окатышей (200 даН) прочности на сжатие.

Расчет состава и основности выполнен для окатышей с 7%-ным расходом вяжущего при содержании в нем компонентов, % от шихты: 7 доменного шлака; 1,5 извести+5,5 шлака; 3,5 извести+3,5 шлака; 3,5 пыли каустического магнезита+3,5 шлака; 7 пыли каустического магнезита. Оказалось, что основность  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  равная для обожженного сидерита 0,54 при введении вяжущих различного состава изменялась в диапазоне 0,55-1,07. Аналогичные показатели для основности  $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$  составили соответственно 2,27 и 1,75-3,20. Отсюда следует, что, варьируя соотношение и состав компонентов вяжущего, можно в достаточно широких пределах изменять основность окускованного материала.

Важнейшим преимуществом рассматриваемой технологии является возможность получения рудугольных окатышей. Даже 15%-ная доля угля в шихте не снижает прочности образцов. Применение в доменной плавке безобжиговых рудугольных окатышей дает существенное сокращение расхода кокса, так как коэффициент его замены углем в рассматриваемом случае равен единице [10]. При расходе на выплавку одной тонны чугуна около двух тонн окатышей из обожженного сидерита, содержащих 15% угля, гипотетическая экономия кокса может достичь 300 кг/т чугуна.

Реализация технологии производства безобжиговых окатышей на БРУ потребует минимального набора стандартного оборудования (мельничного для подготовки комплексного вяжущего и обожженного сидерита к окомкованию, гранулятора). Основной процесс упрочнения окатышей (тепловлажностная обработка в непрерывном режиме при нормальном давлении) осуществим в пропарочной камере, сооружение которой возможно вне здания. Это еще более снизит стоимость передела, энерго- и капитальные затраты на производство безобжиговых окатышей, которые и без такого решения являются обычно кратно меньшими, чем при реализации высокотемпературных методов окускования [2, 8].

30.03.1999

Лотош Валерий Ефимович, д.т.н., профессор

Таблица 1

Зависимость прочности окатышей от удельной поверхности обожженного сидерита и содержания угля

	S <sub>сидер.</sub> м <sup>2</sup> /кг	Прочность сырцов	Пропарка, ч				П+С	П <sub>9</sub> +ЕС, сут			НТ, сут	
			4	6	8	9		1	3	7	7	28
1	230	2,0	23	34	37	н.д.	106	59	62	63	41	69
2	390	2,4	17	30	37	55	112	49	66	74	39	80
3	450	3,4	24	40	47	56	106	82	84	85	56	81
4	510	2,7	28	42	48	56	130	59	78	76	42	63
5	790	2,4	21	29	36	51	102	н.д.	71	67	38	71
6	950	2,5	39	41	45	49	70	н.д.	70	61	42	48
7	450	3,6	23	29	32	41	79	67	70	64	47	81
8	450	3,2	44	63	59	83	110	102	н.д.	136	62	102
9	450	3,2	37	49	52	74	110	94	н.д.	135	70	112

Примечания:

1. Рудная часть 100%.
2. Состав связки: 6% извести+6% шлака в опытах 1-6 и 7% извести+5% шлака в опытах 7-9.
3. Опыты 8-9 – рудоугольные окатыши соответственно с 7 и 10% угля.

Таблица 2

## Зависимость прочности окатышей от состава магнезиально-шлакового вяжущего

Вяжущее, %, (сверх100)		Прочность сырцов	Пропарка, ч				П+С	П <sub>9</sub> +ЕС, сут		НТ <sub>7</sub>
КМ	ДШ		4	6	8	9		3	7	
0,0	12,0	2,4	23	26	31	50	62	н.д.	н.д.	н.д.
0,5	11,5	2,2	47	62	63	83	91	83	96	52
1,0	11,0	2,6	47	60	61	79	111	87	107	51
5,0	7,0	2,8	62	63	68	70	102	109	97	72
7,0	5,0	2,7	34	37	49	53	75	73	79	55
11,0	1,0	2,6	24	24	27	29	63	50	54	31
11,5	0,5	2,8	20	25	24	32	44	47	45	31
12,0	0,0	2,6	17	17	19	21	32	н.д.	н.д.	н.д.

## Библиографический список

1. Gebert W., Gara S., Parzermayer F. PCDD/F emission reduction for sinter plants. – Steel Times, 1995. – 223. – №6. – с. 220-222.
2. Лотош В.Е., Окунев А.И. Безобжиговое окускование руд и концентратов. – М.:Наука, 1980. – 216 с.
3. Лотош В.Е. Технологические топливные числа различных методов окускования металлургических шихт. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1994. – №2. – с. 2-3.
4. О гранулометрическом составе и удельной поверхности железорудных концентратов. /В.Е. Лотош, А.А. Чесноков, Е.С. Плеханова, В.И. Коротич //Изв. вузов. Черная металлургия, 1979. – №2. – с. 14-18.
5. Лотош В.Е., Найденов В.А., Чесноков А.А. Производство автоклавированных рудоугольных окатышей. – Металлург, 1987. – №12. – с. 8-9.
6. Лотош В.Е., Чесноков А.А. Вяжущее для безобжигового окускования. Заявка 94028446/02 на изобретение (положительное решение ВНИИГПЭ от 28.10.1997 г).
7. Лотош В.Е. О влиянии некоторых факторов на физико-механическую прочность окатышей. – Изв. АН СССР. Металлы, 1982. – №5. –с. 38-42.
8. Лотош В.Е. Процессы структурообразования и упрочнения в комкуемых металлургических шихтах с минеральными вяжущими. Диссертация... докт. техн. наук. – Свердловск, 1991. – 517 с.
9. К вопросу о качестве железорудных материалов /Н.М. Можаренко, Н.А. Гладков, А.С. Нестеров и др. //Сталь, 1997. – №8. – с. 3-5.
10. Kojima Kiyoshi e.a. Свойства и результаты применения безобжиговых окатышей с углеродсодержащей добавкой. – Тэцу то хаганэ, 1983. – 69. – №12. – с. 780.