УДК 622.8.055.2

В.Л.ТРУШКО, *д-р техн. наук, профессор, trushko@spmi.ru*
Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
В.Б.КУСКОВ, *канд. техн. наук, доцент, opikvb@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
А.С.КЛЯМКО, *председатель наблюдательного совета, support@metall-group.com*
ООО «Металл-групп»

V.L.TRUSHKO, *Dr. in eng. sc., professor, trushko@spmi.ru*
R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
V.B.KUSKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, opikvb@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)
A.S.KLYAMKO, *chairman of the supervisory board, support@metall-group.com*
LLC «Metall-group»

ТЕХНОЛОГИЯ «ХОЛОДНОГО» БРИКЕТИРОВАНИЯ БОГАТЫХ РУД ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Богатые железные руды Яковлевского месторождения являются прекрасным металлургическим сырьем, пригодны для выплавки высококачественного металла при минимальной себестоимости, поскольку не требуют обогащения. Руды содержат большое количество мелких классов и нуждаются в брикетировании. Горные работы предусматривают управление качеством добываемой руды. Технология брикетирования включает предварительное грохочение для удаления крупных классов; дозирование и предварительное смешивание 85-90 % мартитовой, железослюдково-мартитовой руды и 10-15 % гидрогематитовой руды; смешивание со связующими веществами; прессование; сушку. Полученные брикеты имеют плотность 3200-3500 кг/м^3, прочность на сжатие 4,5 МПа.

Ключевые слова: богатые железные руды, брикетирование.

TECHNOLOGY OF «COLD» BRIQUETTING OF RICH ORES OF THE JAKOVLEVSKY DEPOSIT

Rich iron ores of the Jakovlevsky deposit are fine metallurgical raw materials. These ores are suitable for melt of high-quality metal at the minimum cost price as doesn't demand mineral processing. Ores contain a considerable quantity of fine classes particles and need briquetting. Mining operations include quality control of mined ore. The technology of briquetting includes, preliminary screening for removing of large classes; dispensing and preliminary mixing 85-90 % martite, iron-micaceousmartite ores and 10-15 % hydrohematite ores; mixing with connective substances; pressing; drying. The received briquettes have density 3200-3500 kg/m^3, durability on compression 4,5 MPa.

Key words: rich iron ores, briquetting.

Яковлевское месторождение богатых железных руд входит в Белгородскую группу месторождений Курской магнитной аномалии. По условиям залегания рудной залежи и содержанию в ней железа Яковлевское месторождение не имеет аналогов в мире.

По минералогическому составу богатые руды Яковлевского месторождения подразделяются на два основных типа:

- железнослюдково-мартитовые и мартито-железнослюдковые;
- мартито-гидрогематитовые и гидрогетитовые руды.

Первый тип руд, так называемые «синьки», имеет наибольшее распространение. Эти руды обладают синеватым оттенком. В керновом материале и in situ они рыхлые, пористые, бесструктурные или со слабо выраженной структурной связью, в них может быть проявлена тонкая полосчатость, образованная чередованием мартитовых и железнослюдковых прослойков. Мартитовые прослойки рыхлые, пористые, тонкозернистые или порошковатые, железнослюдковые – более плотные, микрочешуйчатые.

Микроскопически установлено, что эти руды в основной массе состоят из мартита и железной слюдки. Кроме этих основных минералов, в них отмечается реликтовый магнетит, тонкодисперсные оксиды железа («гидрогематит»), хлориты, сидерит, кварц, пирит.

В зависимости от доминирования того или иного минерала можно выделить два подтипа руд: существенно железнослюдковые и мартитовые.

Второй тип руд, мартит-гидрогематитовый («краски»), обладает темно-красной, красновато-бурой, кирпично-красной и буровато-лиловой окраской. В составе руд чередуются темно-серые мартитовые и красные гидрогематитовые полосы. Мартитовые полосы плотные, с полуметаллическим блеском, часто с красноватым и темно-красным оттенком. Гидрогематитовые полоски – рыхлые землистые, красные с разными оттенками. Соотношение минералов колеблется в широких пределах. В качестве примесей присутствуют гетит, гидрогетит, глинистое вещество, карбонаты, хлориты, кварц.

Эти руды являются продуктом химического выветривания железистых кварцитов и железистых сланцев. Содержание железа в руде может превышать 65 %, при этом вредные для металлургии примеси практически отсутствуют, поскольку в процессе химического выветривания произошло «природное» обогащение руд по железу с одновременным удалением большинства вредных примесей. Таким образом, железные руды Яковлевского месторождения представляют прекрасное металлургическое сырье, пригодное для выплавки высококачественного металла при минимальной себестоимости, поскольку не требует обогащения.

Рыхлые и полурыхлые руды по гранулометрическому составу могут быть классифицированы как разнозернистые пески. При этом в руде может содержаться до 70 % весьма мелких фракций (0,05-0,002 мм), руда в существенной степени природно диспергирована. Для использования таких руд в металлургическом цикле необходимо их окускование, которое может производиться тремя основными способами: агломерацией, окомкованием и брикетированием.

Агломерация – процесс получения кусков (агломерата) методом спекания мелкой руды и концентрата с топливом при высокой температуре горения.

Окомкование процесс окускования увлажненных тонкоизмельченных материалов (60-80 % класса 0,044 мм), основанный на способности их при перекатывании образовывать гранулы сферической формы (окатыши) без применения непосредственного давления.

Брикетирование – процесс механической или термомеханической переработки различных видов сырья с целью получения из них кусков геометрически правильной единообразной формы и размеров (брикетов).

Для упомянутых руд Яковлевского месторождения наиболее подходящим способом окускования является брикетирование. В настоящее время брикетирование находит применение в процессах прямого восстановления железа, некоторых сталеплавильных и ферросплавных процессах, в подготовке сырья для цветной металлургии, для утилизации мелких ферросплавов, утилизации отходов черной и цветной металлургии, производстве топлив из различных видов органического сырья, переработки вторичного сырья и т.д.

Брикетирование в черной металлургии начало широко применяется со второй половины 19 в. В начале 20 в. брикетирование было вытеснено более высокопроизводительным процессом – агломерацией.

Брикеты имеют ряд преимуществ: одинаковые правильные форма и масса, большее содержание металла, высокая прочность,



Принципиальная схема брикетирования богатой железной руды

плотность и лучшая транспортабельность. При брикетном производстве образуется значительно меньше оборотного продукта, оно экологически чище, так как обычно осуществляется по безобжиговой технологии [1-3].

Предлагается технология «холодного» (т.е. без нагрева до высоких температур) брикетирования руд Яковлевского месторождения с целью получения сырья для металлургической промышленности, в частности для процессов прямого восстановления железа. Технология включает следующие основные операции (см. рисунок).

1. Управление качеством руды при ведении горных работ, что позволяет селективно добывать мартитовую, железослюдково-мартитовую и гидрогематитовую руду в определенном соотношении и обеспечивать содержание железа в получаемой в дальнейшем шихте не ниже 65 %.

2. Предварительная подготовка железорудного материала. Мартитовую, железослюдково-мартитовую и гидрогематитовую руду подвергают грохочению для удаления крупных классов. Затем производят дозирование с одновременным предварительным смешиванием руды в соотношении 85-90 % (по массе) мартитовой, железослюдково-мартитовой руды и 10-15 % гидрогематитовой руды.

3. Смешение указанных руд с глиной (связующее) в количестве 3-5 % от массы руды, раствором хлорида железа и энзима (активизирующие добавки).

4. Прессование под давлением 50-55 МПа на вальцовом прессе. Также возможно введение операции грохочения прессованных брикетов перед сушкой для удаления некондиционных по крупности брикетов.

5. Сушка при температуре 25-35°С в течение 12-24 ч.

Мартитовая, железослюдково-мартитовая руда представляет собой природный тонкодисперсный порошок с низкой прессуемостью. Гидрогематитовая руда обладает связующими свойствами за счет присутствия в ее составе гидроксида железа и не-

большого количества глинистой составляющей (до 1 %). Поэтому добавка 10-15 % повышает связность смеси, а значит и прочность получаемого брикета. Предварительное смешивание железослюдково-мартитовой и гидрогематитовой руды обеспечивает равномерное распределение связывающих частиц гидрогематитовой руды между частицами железослюдково-мартитовой руды, что также способствует повышению прочности брикета. При этом поддерживается высокое содержание железа в брикете.

В качестве глины (связующего) используется глина с высокой физико-химической активностью, в частности, глина группы монтмориллонита (смектита) в количестве 3-5 % от массы. Использование такой глины позволяет снизить общее содержание глинистого связующего материала без значительного снижения прочности брикета. Добавление глины менее 3 % от массы руды не дает нужной прочности брикета, более 5 % уменьшает общее количество железа в брикете.

Использование водного раствора хлорида железа частично компенсирует потери железа, возникающие в результате добавления к руде глины, и обеспечивает формирование дополнительных структурных связей в брикете. Кроме того, водный раствор хлорида железа способствует получению смеси без образования комков, что приводит к равномерному перемешиванию компонентов смеси и повышению прочности брикетов без снижения содержания полезного компонента.

Концентрация раствора хлорида железа подбирается таким образом, чтобы влажность шихты (влажность руды плюс вода из раствора хлорида железа и энзима) была в пределах 15-20 %. Влажность смеси менее 15 % затрудняет перемешивание сухих компонентов смеси. Влажность смеси более 20 % избыточна и снижает формуемость смеси.

Добавка энзима к водному раствору хлорида железа определенным образом структурирует воду и обеспечивает хорошую уплотняемость смеси при прессовании. Сорбция энзимов на тонкодисперсных частицах руды и глины создает условия для формирования дополнительных структурных связей.

Давление прессования подбирается экспериментально. Для данной руды давление составляет 50-55 МПа, что позволяет получить достаточно прочные брикеты.

Продолжительность сушки не менее 12 ч при температуре 25-35 °С способствует формированию дополнительных структурных связей и не требует специального сложного оборудования. Сушка при температуре ниже 25 °С значительно увеличивает время дегидратации брикетов, при этом существенно замедляется скорость энзимных реакций, что снижает прочность брикетов. Сушка при температуре выше 35 °С увеличивает энергозатраты.

Сушка позволяет достичь оптимального значения влажности брикета, что во многом определяет его прочность. Уменьшение количества воды в брикете сопровождается сближением частиц и агрегатов смеси и усилением взаимодействия между ними, в том числе за счет перехода в цементирующую фазу части солей железа, что также приводит к повышению прочности брикета.

Выводы

Предлагаемая технология брикетирования позволяет получить брикет из природного железорудного материала с высокой прочностью и высоким (не менее 65 %) содержанием железа.

Основные свойства брикетов следующие: влажность после сушки 2-7 %; плотность образцов не менее 3200-3500 кг/м^3; предел прочности на сжатие не менее 4,5 МПа.

Предварительные испытания показали пригодность использования полученных брикетов для процессов прямого восстановления железа.

Статья написана по результатам выполнения работы в рамках Постановления 218 «Развитие кооперации российских вузов и производственных предприятий».

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2292405. Способ безобжиговой переработки мелкозернистых железосодержащих отходов металлургического производства, содержащих замасленную окалину / С.А.Карпов. Опубл. 27.01.2007. Бюл. № 3.

2. *Лотош В.Е.* Безобжиговое окускование руд и концентратов / В.Е.Лотош, А.И.Окунев. М.: Наука, 1980.

3. *Кожевников И.Ю.* Окускование и основы металлургии / И.Ю.Кожевников, Б.М.Равич. М.: Металлургия, 1991.

REFERENCES

1. Patent RU № 2292405. Annealing-free method for processing fine-grain iron -containing waste materials of metallurgical production including oiled scale / S.A.Karpov. Date of publication: 27.01.2007. Bull.3.

2. *Lotosh V.E., Okunev A.I.* Annealing-free clotting of ores and concentrates. Moscow: Nauka, 1980.

3. *Kojevnikov I.U., Ravich B.M.* Clotting and a metallurgy basis. Moscow: Metallurgy, 1991.