

УДК 622.778

В.В. БОТВИННИКОВ

(Украина, Кривой Рог, ООО НПП "Укрэкология")

ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С ОТКРЫТЫМ ГРАДИЕНТОМ

В настоящее время для восполнения дефицита сырьевой базы горнорудных предприятий в переработку вовлекаются некондиционные руды подземной добычи, которые не могут быть использованы в металлургическом переделе без предварительного обогащения. На протяжении ряда лет ведутся работы по вовлечению в переработку окисленных железистых кварцитов попутно добываемых при открытой разработке месторождений магнетитовых железистых кварцитов. Одним из наиболее перспективных методов обогащения некондиционных руд подземной добычи и кусковых сбросов дробильно-сортировочных фабрик является сухая магнитная сепарация, которая также может быть применена для сброса крупных отвальных хвостов в схемах глубокого обогащения окисленных железистых кварцитов. В отличие от сухой магнитной сепарации магнетитовых руд, которая досконально изучена и давно применяется на горно-обогатительных комбинатах, процесс сухой магнитной сепарации кусковых слабомагнитных материалов нуждается в глубоком практическом и теоретическом изучении и обладает рядом особенностей. В связи с этим особый интерес вызывает изучение поведения и определение эффективности разделения кусковых слабомагнитных материалов в высокоинтенсивном магнитном поле с открытым градиентом.

Как известно магнитная восприимчивость подлежащих извлечению в магнитный продукт частиц руды является основным фактором, определяющим выбор типа сепаратора. В отличие от сильномагнитных кусковых магнетитовых руд, магнитная сепарация которых осуществляется по способу удерживания магнитных частиц полем сепаратора, окисленные железные руды, минералы которых характеризуются пониженным значением удельной магнитной восприимчивости ($880-250 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) целесообразно обогащать в магнитных сепараторах действующих по принципу отклонения магнитных частиц. Применение принципа отклонения магнитных частиц для обогащения кусковых гематит-мартитовых руд позволяет осуществлять процесс разделения в магнитном поле с открытым градиентом величина индукции которого не превышает 1 Тл.

При не очень большой скорости подачи исходного материала в рабочее пространство сепаратора образуются две струи материала, располагающиеся

Магнітна і електрична сепарація

под углом α , называемым углом раскрытия веера. По ближней к магнитной системе границе веера будут двигаться частицы рудного материала, для

которых справедливо соотношение $\frac{F'_{\text{магн}}}{F'_{\text{мех}}} \geq 1$, (где $F'_{\text{магн}}$ и $F'_{\text{мех}}$ – равнодействующие магнитных и механических сил, действующих на частицы магнитного материала) а по внешней границе веера – частицы породного

материала, для которых $\frac{F''_{\text{магн}}}{F''_{\text{мех}}} \rightarrow 0$ (где $F''_{\text{магн}}$ и $F''_{\text{мех}}$ – равнодействующие магнитных и механических сил, действующих на частицы не магнитного материала).

Для обеспечения устойчивости сепарации трудноразделяемых материалов необходимо применять сепараторы, обеспечивающие получение увеличенного угла раскрытия веера. Наличие широкого веера допускает небольшие изменения положения его относительно делителя струй без значительного искажения результатов разделения [2]. Этим условиям наиболее полно удовлетворяет конструкция барабанного сепаратора с открытой магнитной системой собранной из магнитов высокой энергии.

Вещественный состав гематит-мартитовых руд характеризуется соотношением текстурно-структурных разновидностей, технологические свойства которых варьируют в широких пределах. В связи с этим показатель эффективности процесса магнитной сепарации складывается из показателей эффективности разделения в магнитном поле каждой отдельно взятой фракции (текстурно-структурной разновидности).

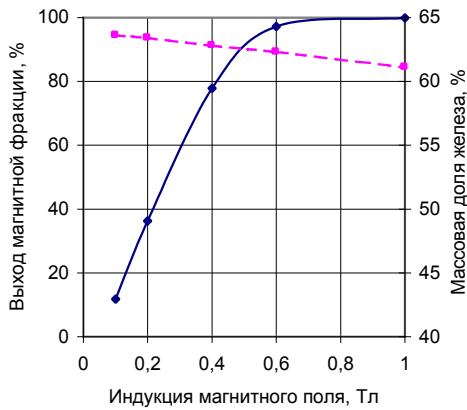
С целью определения эффективности магнитного обогащения некондиционных гематит-мартитовых руд были проведены исследования по разделению в магнитном поле пробы кускового сброса ДСФ шахты "Юбилейная" ОАО "Суша Балка".

Проба материала после додрабливания до крупности $-10+0$ мм была рассеяна на классы крупности $-10+3$ и $-3+0$ мм. В классе крупности $-10+3$ мм, выход которых составляет 72,7%, была выполнена рудоразборка с выделением пяти природных разновидностей: руда богатая мартитовая; руда дисперсногематитовая; кварцит гематит-мартитовый тонкослоистый (джеспилит); кварцит мартит-дисперсногематитовый; сланцы, малорудные и безрудные прослои. В классе крупности $-3+0$ мм рудоразборка не производилась, так как большинство разновидностей в этой крупности перестает существовать. Классы крупности от 3 до 0,1 мм характеризуются высоким содержанием железа, 56,0–61,9%. Тонкие классы, менее 0,07 мм, содержат 35,0–40,9% железа. Эти классы являются причиной повышенной влажности и снижают эффективность разделения руды. Выделение их и обогащение другими методами позволяет улучшить технологические свойства кусковой составляющей руды.

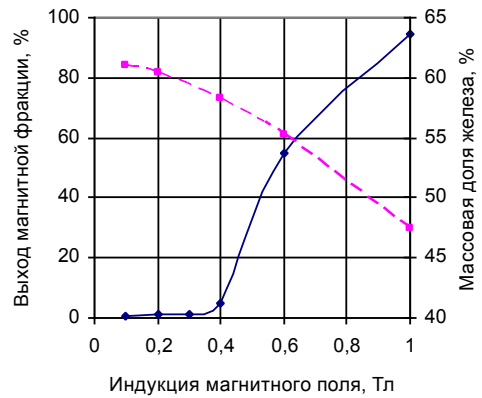
Магнітна і електрична сепарація

Для определения показателей магнитного разделения выполнен магнитный анализ каждой выделенной природной разновидности. В продуктах магнитного анализа определено содержание железа общего. Магнитный анализ осуществлялся с помощью ручного магнитного анализатора, собранного из магнитов высокой энергии и позволяющего выделять магнитные фракции в магнитном поле с открытым градиентом в интервале значений магнитной индукции от 0,1 до 1,0 Тл.

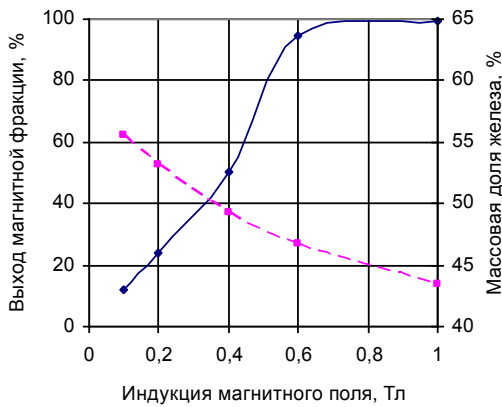
На рисунках 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 приведены зависимости суммарных выходов магнитных фракций и массовой доли железа в них от индукции магнитного поля, которые характеризуют извлечение отдельных рудных разновидностей в магнитных продукт.



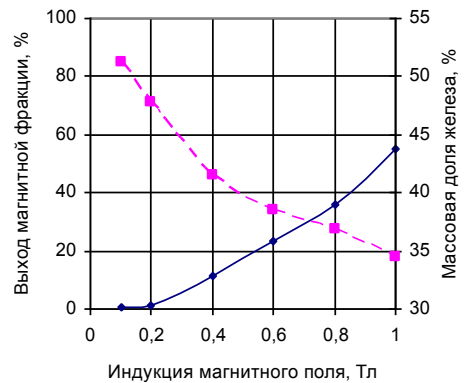
1



2

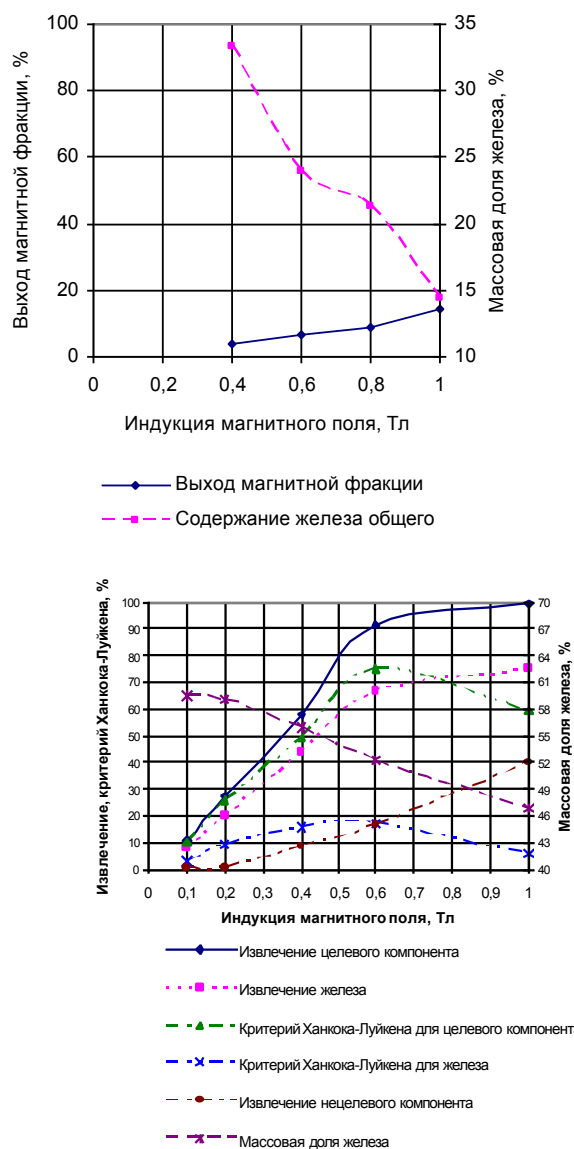


2



4

Магнітна і електрична сепарація



5

6

Рис. 1. Результаты магнитного анализа:

1 – богатая мартитовая руда; 2 – руда дисперсногематитовая; 3 – кварцит гематит-мартитовый; 4 – кварцит мартит-дисперсногематитовый; 5 – сланцы, малорудные и безрудные прослои; 6 – показатели разделения руды в крупности $-10+3$ мм

Из богатой мартитовой руды при индукции магнитного поля 0,1 Тл выделяется 11,8% магнитной фракции с содержанием железа 63,6%. С увеличением индукции магнитного поля до 0,6 Тл наблюдается резкий рост выхода магнитной фракции до 97,2% при незначительном снижении содержания железа до 62,3%. Участок графика выхода магнитной фракции в интервале индукций магнитного поля от 0,1 до 0,4 Тл представлен прямой. При увеличении индукции магнитного поля с 0,6 до 1,0 Тл выход магнитной

Магнітна і електрична сепарація

фракції медлено возрастает с 97,2 до 99,9%, а содержание железа снижается до 61,1%. Как видно из рисунка 1.1 зависимость содержания железа в магнитной фракции от индукции магнитного поля характеризуется незначительными колебаниями, все точки графика лежат практически на одной прямой.

При разделении дисперсногематитовой руды (рис. 1.2) с увеличением индукции магнитного поля от 0,1 до 0,4 Тл выход магнитной фракции изменяется незначительно с 0,5 до 4,8%. Дальнейшее повышение индукции магнитного поля до 1,0 Тл характеризуется значительным увеличением выхода магнитной фракции до 94,6%. Зависимость содержания железа в магнитной фракции от значения индукции магнитного поля представлена выпуклой кривой, содержание железа в магнитной фракции плавно снижается с 61,1 до 47,4%.

Характер кривой отображающей зависимость выхода магнитной фракции от величины индукции магнитного поля для гематит-мартитового кварцита (рис. 1.3) аналогичен характеру кривой выхода для богатой мартитовой руды. В интервале значений индукции магнитного поля от 0,1 до 1,0 Тл выход магнитной фракции изменяется от 12,0 до 94,6%. Зависимость содержания железа в магнитной фракции имеет вид вогнутой кривой, содержание железа плавно уменьшается с 55,5 до 43,5%.

При разделении мартит-дисперсногематитового кварцита (рис. 1.4) в диапазоне значений индукции магнитного поля от 0,1 до 1,0 Тл выход магнитной фракции и содержание железа в ней плавно изменяются соответственно от 0,3 до 54,8% и от 51,2 до 34,5%.

Из сланцев, малорудных и безрудных прослоев (рис. 1.5) магнитная фракция начинает извлекаться при индукции магнитного поля 0,4 Тл, при этом выход составляет 3,7%. С увеличением индукции до 1,0 Тл выход возрастает до 14,4%. Точки зависимости приближены к одной прямой. Значения содержания железа в магнитной фракции изменяются от 33,3 до 14,4%. Зависимость представлена ступенчатой ниспадающей кривой, которая выполаживается на участке значений индукции 0,6–0,8 Тл.

Для определения оптимального значения индукции магнитного поля выбран критерий Ханкока-Луйкена. Он позволяет охарактеризовать показатели разделения с позиции экономической целесообразности и определяется разностью извлечений в целевой продукт целевого (ЦК) и нецелевого (Не Ц.К.) компонентов:

$$\eta = \varepsilon_{ц.к.} - \varepsilon_{нец.к.}$$

После преобразований получаем

где $\varepsilon_{ц.к.}$ – извлечение целевого компонента в магнитный продукт, γ – выход магнитного продукта, α – содержание целевого компонента в исходном продукте [1].

Целевым продуктом является железосодержащий продукт в агломерационной крупности (–10+0 мм) с массовой долей железа общего не ниже 53%. Очевидно, что "носителем качества" целевого продукта являются богатые рудные разновидности: руда мартитовая и руда дисперсногематитовая, а "выходобразующим" материалом для целевого продукта является кварцит гематит-мартитовый (джеспилит). Кварцит мартит-дисперсногематитовый, сланцы, малорудные и безрудные прослои при извлечении в магнитный продукт снижают массовую долю железа общего в целевом продукте. В связи с этим целевым компонентом являются руда мартитовая, руда дисперсногематитовая и кварцит гематит-мартитовый (джеспилит), а нецелевым компонентом – кварцит мартит-дисперсногематитовый, сланцы, малорудные и безрудные прослои.

По результатам магнитного анализа были определены зависимости от величины индукции магнитного поля извлечений целевого и нецелевого компонентов, а так же железа общего в магнитный продукт, критерия Ханкока-Луйкена для целевого компонента и железа общего и массовая доля железа общего в магнитном продукте, которые приведены на рис. 1.6. Как видно из графика максимальное значение критерия Ханкока-Луйкена для целевого компонента соответствует значению индукции магнитного поля равного 0,6 Тл. Однако массовая доля железа общего в магнитном продукте при этом значении индукции магнитного поля составляет только 52,0%, что не удовлетворяет техническим условиям на аглоруду (массовая доля железа должна быть не ниже 53,0%). Поэтому оптимальное значение индукции магнитного поля находится в интервале от 0,5 до 0,55 Тл. Этому интервалу значений индукции магнитного поля соответствует и максимальное значение извлечения железа общего в магнитный продукт [3].

Проведенные исследования позволили установить, что оптимальное значение индукции магнитного поля при разделении некондиционных гематит-мартитовых руд находится в диапазоне 0,5–0,55 Тл. При этом из руды содержащей 44–45% железа общего можно выделить до 50% (от операции) магнитного продукта с массовой долей железа общего не ниже 53,0%, извлечение железа в магнитный продукт составит около 60% от питания магнитной сепарации.

Список литературы:

1. **Пилов П.И., Святошенко В.А.** Управление гравитационными процессами углеобогащения на основе из сепарационных характеристик // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб. – 2000. – Вип.10(51). – С.27–37.

Магнітна і електрична сепарація

2. **Кармазин В.И.** Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов. – М.: Гос. научно-техническое изд-во литературы по горному делу, 1962. – 659 с.

3. **Барский Л.А., Рубинштейн Ю.Б.** Кибернетические методы в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, 1970. – 312 с.

© Ботвинников В.В., 2005

*Надійшла до редколегії 20.04.2005 р.
Рекомендовано до публікації*