

4. **Klas-Goran Eriksson , Gunder Marklund, Гребенешников А.Л., Фищев В.Ю,** Развитие систем мельничных футеровок. Горная промышленность. №1, 2003г.

Рукопись поступила в редакцию 12.12.11

УДК 622.7: 622.3

Т.А. ОЛЕЙНИК, В.И. МУЛЯВКО, доктора техн. наук, проф., С.В. МИХНО, аспирант  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## **ОСОБЕННОСТИ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ КОРЕННЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ РУД**

Приведены результаты исследований сухой магнитной сепарации коренных титаносодержащих руд. Раскрыты основные проблемы предварительного обогащения коренных руд. Показана высокая эффективность процесса сухой магнитной сепарации исходной руды на классах крупности -60+0 мм.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время, в связи с необходимостью разработки в Украине титановых руд коренных месторождений, основным направлением технического прогресса в области их первичной переработки является переход на комбинированные схемы, в которых процессы мокрого обогащения руды сочетаются с сухими. Причем сухое обогащение сырья применяется в процессе подготовки руды к мокрому обогащению.

Введение предварительного сухого обогащения руды позволяет выделить пустую породу в кусковом виде, благодаря чему можно расширить сырьевую базу любого месторождения путем вовлечения в переработку некондиционного сырья. При этом возможно решить проблему и его комплексной переработки.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является обоснование необходимости сухой магнитной сепарации коренных титаносодержащих руд Украины, с максимальным выделением пустой породы и минимальными потерями как железа, так и ильменита в хвостах.

**Изложение материала и результаты.** Работа выполнялась на пробе руды одного из комплексных титаномагнетитовых коренных месторождений Украины. Оценка результатов опытов осуществлялась по определению содержания  $TiO_2$  рентгеноспектральным анализом и изучением минерального состава исходных проб и продуктов их переработки оптическим методом

Согласно, результатов изучения вещественного состава руды, установлено, что рудные минералы представлены в основном, титаномагнетитом и ильменитом. Основными пороодообразующими минералами являются кварц, плагиоклаз и пироксены.

Рудные минералы в общей массе руды составляют 46,9 %. По магнитным свойствам все рудные минералы имеют существенные различия по сравнению с вмещающими породами. Так удельная магнитная восприимчивость кварца составляет от 1 до  $10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , а ильменита - от 16 до  $960 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Как показали исследования, дробленная руда в крупности 60-0 мм имеет достаточное количество раскрытых преимущественно нерудных и частично рудных минералов.

Пробы в крупности 60-0 мм рассеивались на классы +10 и -10 мм.

Для сухого магнитного обогащения использовались барабанные и роликовые сепараторы с верхней подачей исходного питания: сепаратор магнитный БС-31,5/30-Н; сепаратор магнитный РС-22/30-Р; сепаратор магнитный СМБ1-59/14-Н. Магнитные сепараторы изготовлены ЧМП «НВФ «Продэкология» (рис. 1). Напряженность магнитного поля на поверхности барабана 0,16 Тл.

Сепарируемый продукт подавался на лоток вибропитателя и с его помощью направлялся и равномерно распределялся по всей рабочей зоне магнитного сепаратора. Под действием магнитного поля магнитный материал притягивался к рабочей поверхности сепаратора и перемещался вместе с ней.

При выходе из зоны магнитного поля магнитный материал под действием силы тяжести направлялся в бункер для приема концентрата. Немагнитный материал отделялся от поверхности рабочей зоны под действием центробежных и гравитационных сил и разгружался в бункер сброса хвостов. Разгрузка магнитного продукта происходила под действием центробежной силы в зоне отсутствия магнитного поля.

Для выбора оптимального режима сухой магнитной сепарации и выбора оборудования для ее обеспечения была составлена матрица планирования экспериментов, включающая проведение не менее 120 основных опытов.



Рис. 1. Магнитные сепараторы: BC-31,5/30-Н; IPC-22/30-Р

В ходе исследований необходимо было изучить основные факторы, влияющие на процесс магнитной сепарации: напряженность магнитного поля, скорость вращения барабанов, крупность обогащаемой руды.

Выбор изучаемых факторов обосновывался следующим.

1. Как известно, гематитовые руды относятся к слабомагнитным полезным ископаемым, которые характеризуются низкой удельной магнитной восприимчивостью. Следовательно, для их разделения требуются сила примерно в 200 раз больше, чем для извлечения минералов сильномагнитных руд. Поэтому при исследованиях необходимо было изучить влияние напряженности на барабане на качество полученных продуктов обогащения.

2. Скорость вращения барабанов в значительной мере определяет производительность сепараторов и качество продуктов разделения. В исследованиях скорость вращения барабанов выбиралась в зависимости от крупности материала и необходимого качества конечных продуктов обогащения - готовых концентратов или отвальных отходов.

Максимально допустимую скорость барабана, при которой выделяется немагнитная фракция и угол  $\beta$  отброса частиц (сростков) от его поверхности, определяли из выражения

$$F_M'' < F_n'' = \left( \frac{v^2(R + 0,5d)^2}{R^3} - g \times \cos \beta \right) \frac{1}{1 + \alpha_m},$$

где  $F_M''$  - сила магнитного притяжения хвостов (сростков), содержащих некоторую долю магнитного минерала;  $F_n''$  - силы, отрывающие этот сросток от барабана;  $\alpha_m$  - содержание магнитного минерала.

Отсюда

$$\beta = \arccos \left[ \frac{v^2(R + 0,5d)^2}{R^3 g} - \frac{F_m'(1 + \alpha_m)}{g} \right].$$

Выделение частиц хвостов происходит при большой скорости вращения для того, чтобы они пролетали над делительной перегородкой при  $\beta \leq 90^\circ$ .

Подставляя это значение в формулу условий выделения немагнитной фракции, получим

$$v_{xb} = \frac{R}{R + 0,5d_{\max}} \sqrt{R(1 + dm)\mu_o \cdot \chi \cdot HgradH}.$$

Поэтому  $v = \sqrt{R[(1 + dm)\mu_o \cdot \chi HgradH + g]}$  [1,2].

Анализируя приведенные формулы, следует отметить, что угол отрыва  $\beta$  тем меньше, чем больше скорость вращения барабана, чем крупнее частицы сростков и чем ниже содержание магнитной фракции.

С учетом приведенного, в программу исследования были включены эксперименты, направленные на изучение влияния скорости вращения барабана, силы сопротивления, угла раскрытия веера и длины рабочей зоны сепарации на конечные показатели обогатимости материала.

3. При выполнении экспериментов необходимо было учитывать, что соотношение попечников наибольших и наименьших зерен в руде, поступающей на сепарацию, не должно быть больше коэффициента равнопадаемости.

При выполнении исследований на пробах руды крупностью 60-0 мм алгоритм выполнения экспериментов включал в себя:

- непосредственно сухую магнитную сепарацию в одну стадию проб крупностью 60-0 мм;
- сухую сепарацию классов крупности 60-10 мм и 10-0 мм.

На первом этапе исследований определялась оптимальная скорость вращения барабана. Анализ полученных данных показал, что с увеличением скорости вращения барабана количественные показатели магнитной сепарации ухудшаются, в частности резко увеличивается выход хвостовой фракции и прироста качественных показателей не происходит.

Далее исследования проводились при разных углах наклона магнитной системы сепаратора при одной и той же нагрузке на магнитный сепаратор (рис. 2,3)

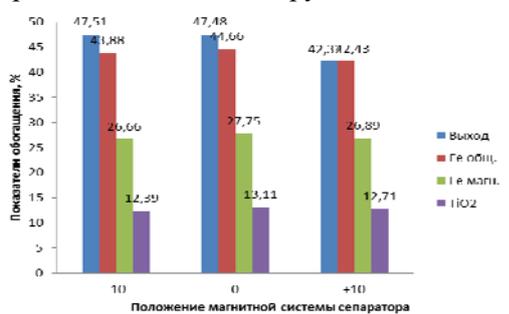


Рис. 2. Количественные показатели магнитного продукта сепарации при разных углах наклона магнитной системы

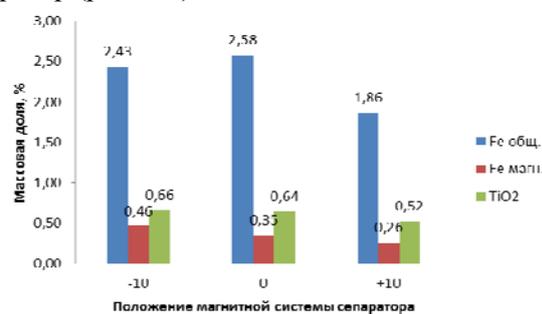


Рис. 3. Количественные показатели немагнитного продукта сепарации при разных углах наклона магнитной системы

По результатам испытаний оптимальный угол наклона магнитной системы сепаратора равен 0°. При данном положении магнитной системы массовая доля ценных компонентов превышает (в среднем до 2 %) показатели при углах наклона магнитной системы +10° и -10°, а выход магнитного продукта составляет 47,48%, что незначительно отличается от выхода магнитного продукта, при угле наклона магнитной системы -10°.

Сухая магнитная сепарация крупнодробленой руды позволяет выделить 66,85 % магнитного продукта с содержанием железа 51,61 %, диоксида титана 16,93 %. Выход хвостов составил 33,15 % с содержанием железа 7,54 %, диоксида титана 2,67 %. Извлечение в магнитный продукт железа 93,24 %, диоксида титана 92,7 5 %.

Грохочение хвостов сухого обогащения показало, что классы -60+10 мм являются отвальными по содержанию железа 5,4-5,86 % и диоксида титана 0,9-1,17%.

Классы мельче 10 мм следует отнести к магнитному продукту из-за повышенного содержания железа 13,04 % и диоксида титана 7,5 %. Повышенное содержание влаги 3-4 % в кл. 10-0 мм не позволит получить сухих отвальных хвостов.

Также были проведены исследование процесса сухой магнитной сепарации руды при подаче на сепарацию сырья с различной массовой долей рудных компонентов (рис. 4).

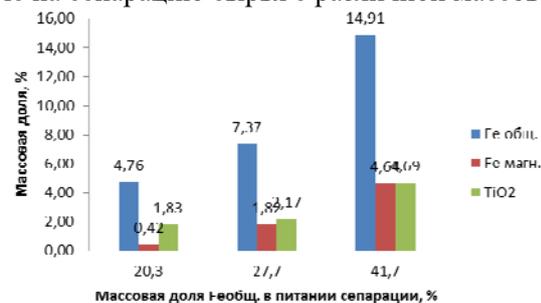


Рис. 4. Зависимость показателей не магнитного продукта сухой магнитной сепарации (хвостов) при разной массовой доли ценных компонентов в исходном питании

Анализ результатов показал, что отвальные по железу и титану хвосты можно получить лишь при исходном питании с массовой долей железа общего не более 27,7 %.

При подаче на сепаратор обогащенной руды отмечается рост потерь рудных компонентов в немагнитной фракции сепараторов, что объясняется спецификой исходного питания.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Анализ результатов исследований показал на целесообразность сухой магнитной сепарации материала в крупности 60-0 мм. Исходную руду в крупности 10-0 мм на сухую магнитную сепарацию направлять не рекомендуется. Исследуя продукты магнитной сепарации, было установлено, что потери ценных компонентов с отходами производства происходят в основном с вкрапленными рудами, поэтому при обогащении вкрапленных руд необходимо, чтобы их количество поступающее с массивной рудой не превышало 40 %.

#### Список литературы

1. Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов // Москва: Недра, 1982.– 215 с.
2. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения // Москва: Недра, 1978.– 256 с.

Рукопись поступила в редакцию 23.12.11

УДК 621.926:34.16

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., С.А. ГОНЧАРОВ, А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспиранты  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЛЬТРАЗВУКА НА ПОТОК ПУЛЬПЫ

Приведено описание подхода и результатов моделирования воздействия радиационного давления высокоэнергетического ультразвука на поток пульпы

**Ключевые слова:** моделирование, ультразвук, фракционный состав

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Оптимизация процессов обогащения минерального сырья требует прежде всего создания строгих математических и экономико-математических методов расчета оптимальных границ разделения  $\varphi_{\text{рпг}}$  области изменения физических свойств частиц перерабатываемого сырья. Решение этой задачи позволяет определить как наилучшую структуру технологической линии обогащения, так и параметры технологических агрегатов, обеспечивающие ее максимальную производительность при заданном качестве конечного продукта и минимальных затратах на процесс.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время при решении различных задач в области обогащения полезных ископаемых широко используются компьютерные моделирующие пакеты проблемно-ориентированного и общего назначения [1,2].

Пакет JKSimMet [1] предназначен для моделирования процессов рудоподготовки (дробления, измельчения, грохочения, классификации). Входной информацией пакета являются: сведения о материальных потоках (объемные и массовые расходы, плотность и гранулометрические характеристики продуктов); сведения об аппаратах (количество, конструктивные особенности и т.д.); сведения о параметрах модели. Недостатком реализованного в этом пакете подхода является отсутствие возможности выполнить оценку энергоэффективности моделируемых решений применительно к качеству исходного сырья, а также упрощенный (на уровне задания оператора) подход к формированию основных функций измельчительных и классифицирующих агрегатов.

Для прогнозирующих и оптимизирующих расчетов технологических схем измельчения разработан программный пакет «Прогнозные расчеты схем измельчения» (CGF Predictive calculations for grinding flowsheets) фирмы Earth Technology [2]. Программа CGF служит для анализа, прогноза, оптимизации промышленных многостадийных схем измельчения руд, включая гранулометрические и энергетические расчеты (общую энергию и распределение потоков энергии по классам крупности).

В энергетических расчетах применяется новый подход: дополнительно к законам измельчения вводится детальное распределение энергии по классам крупности питания и измельчаемой руды. Используемый новый подход учитывает переменность крупности частиц питания и продукта. Если закон измельчения заранее неизвестен, предварительно используется другая программа CLI (Comminution Law Identification) для идентификации закона. Однако смоделировать закономерности изменения гранулометрического состава (распределения по крупности) перерабатываемой руды и определить сепарационные характеристики обогатительных аппаратов существующие программы не позволяют.