

Сб.науч.тр. ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск. - 1997. - Вып. 3. - С. 74-79.

2. Уравнение и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справочное пособие / Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. - Киев: Наук.думка, 1981. - 496 с.

3. Главачек И., Гаслингер Я., Нечас И., Ловишек Я. Решение вариационных неравенств в механике. - М.: Мир, 1986. - 270 с.

4. Гловински Р., Лионс Ж.-Л., Тремольер Р. Численное исследование вариационных неравенств. - М.: Мир, 1979. - 574 с.

**УДК 622.7.002.5**

В.Н. Потураев, В.А. Зенин

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТО- ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ**

Перспективи розвитку магнітних методів збагачення розглянуті в аспекті оптимізації комплексу гравітаційних, гідродинамічних та магнітних сил, діючих в процесі сепарації залізорудних пульп. Аналіз сил, діючих при традиційних способах розподілу в барабанних магнітних сепараторах та при сепарації магніто-гравітаційним способом, показує, що в останньому випадку напруженість магнітних полів можливо зменшити на 1-2 порядки. Бібліогр.: 2 найм.

Тонковкрапленые магнетитовые руды относятся к типу трудообогатимых из-за тонкого (30-100 мкм) прорастания частиц окислов железа в кварцевые слои и частиц кварца в рудные слои.

Основным методом обогащения этих руд является мокрая магнитная сепарация железорудной пульпы (тонкоизмельченной руды в водной среде), состоящей из смеси раскрытых рудных и нерудных частиц.

Типовая схема обогащения таких руд включает, как правило, 3 стадии измельчения исходной руды, 3-5 стадий магнитной сепарации, 2 стадии дешламации слива гидроциклонов.

При конечной крупности измельчения 90-95 % класса -74 мкм, отвечающей размеру свободных частиц магнетита, содержание железа в товарном концентрате составляет 62-65 %, в зависимости от технологических характеристик руд.

Такой показатель содержания железа не обеспечивает конкурентоспособность товарного концентрата на мировом рынке, где содержание железа на 3-4 % выше и не отвечает требованиям, предъявляемым к товарному концентрату, используемому в перспективных металлургических технологиях брикетирования для прямого восстановления железа.

Актуальность совершенствования процесса мокрой магнитной сепарации усиливается необходимостью преодоления общемировой негативной тенденции снижения содержания железа с понижением уровня ведения горных работ и нежелательностью, по ряду причин, применения флотации, широко используемой на зарубежных обогатительных фабриках.

Магнитная сепарация применяется на обогатительных фабриках более 100 лет. Столь длительный срок эксплуатации, совершенствования и исследования рабочих процессов позволяет оценить, с высокой степенью объективности, преимущества и недостатки аппаратов магнитной сепарации и резервы повышения их эффективности.

Основной характерной особенностью магнитной сепарации является использование магнитной силы для разделения магнитных и немагнитных фракций, собирание магнетита на поверхности вращающегося барабана и его удаление из зоны разделения той же поверхностью барабана [1].

Принцип избирательного воздействия магнитного поля обуславливает эффективность разделения частиц, а совмещение в одном органе функций сбора и удаления полезной фракции позволяет получить высокую производительность при минимальных размерах аппарата. Кроме того, применяемая концепция магнитной сепарации достаточно универсальна и приемлема как для сухого, так и для мокрого обогащения, в результате чего наблюдается четко выраженное подобие конструктивных схем используемого оборудования.

Однако, наряду с перечисленными преимуществами, технология магнитной сепарации обладает некоторыми недостатками, характерными для принятой концепции конструктивной компонов-

ки сепараторов. Эти недостатки отмечались в ряде работ еще в конце 70-х годов [1]. За прошедшее с тех пор время, несмотря на значительные усилия, устранить их не удалось.

Основной причиной, препятствующей повышению качества сепарации, является функциональная перегруженность системы магнитного воздействия на пульпу, которая используется не только непосредственно для разделения твердого, но и для выведения концентрата из потока. При этом магнитное воздействие на частицы не только не согласуется с гравитационным и гидродинамическим воздействием, но подавляет и преодолевает последние. Коллинеарность силовых полей вызывает необходимость повышения напряженности магнитного поля, что приводит к попаданию в слой концентрата слабомагнитных и немагнитных частиц пустой породы, чем, в значительной степени, способствуют гидродинамические эффекты, возникающие в ограниченном пространстве рабочей зоны сепаратора.

Для иллюстрации приведем оценку порядка магнитных сил для процессов, сопутствующих традиционной магнитной сепарации в барабанных сепараторах.

Величина магнитной силы для преодоления силы тяжести для частиц магнетита составляет:

$$F_1 = \frac{\pi d_m^3}{6} \delta_m g - \frac{\pi d_m^3}{6} \delta_b = 3,2 \cdot 10^{-9} - 0,65 \cdot 10^{-10} = 2,6 \cdot 10^{-9}, \text{ [Н]} \quad (1)$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $\delta$  - плотность магнетита и воды:  $\delta_m = 5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_b = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $d_m$  - средний размер частиц магнетита,  $d_m = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

При движении поверхности магнитоносителя относительно пульпы со скоростью  $V = 0,7 \text{ м/с}$  и коэффициенте лобового сопротивления  $\chi$  порядка 0,45 для преодоления сил сопротивления величина магнитной силы должна иметь порядок:

$$F_2 = \frac{\pi d_m^2}{4} \frac{\chi \delta_b V^2}{2} = 4,8 \cdot 10^{-8}, \text{ [Н]} \quad (2)$$

Для преодоления сил поверхностного натяжения при  $\sigma_{\text{воды}} = 72,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$  получим:

$$F_3 = \frac{\sigma \mu d_m}{2} = 5,5 \cdot 10^{-6}, [\text{H}] \quad (3)$$

Анализ выполненных оценок показывает, что наибольшая величина магнитной силы требуется для преодоления сил поверхностного натяжения, которые отсутствуют при магнито-гидравлической (МГС) сепарации.

Таким образом, магнитная сила для преодоления гравитации  $F_1$  примерно на порядок ниже гидравлического сопротивления потока  $F_2$ , и на три порядка ниже сил поверхностного натяжения  $F_3$ . И если последние силы принципиально возможно устранить глубоким погружением барабана, исключая подъем магнитного материала выше границы раздела воздух-вода, то существенно уменьшить влияние гидродинамического сопротивления более сложно.

Вместе с тем, анализ методов гравитационного и гидродинамического обогащения показывает, что наложение внешнего поля сопоставимо по величине с гравитационным, более, чем достаточно для глубокой сепарации при соответствующей длительности воздействия.

Поэтому, для повышения эффективности магнитной сепарации представляется перспективной разгрузка магнитной системы от функции выведения концентрата из потока. Это позволит вести процесс разделения при напряженности магнитного поля на 1-2 порядка ниже, чем в традиционных сепараторах. Снижение напряженности, в свою очередь, позволяет увеличить размеры рабочей зоны сепарации и пропорционально этому снизить скорость потока пульпы. Более низкая скорость потока увеличивает время магнитной обработки пульпы и снижает силы гидродинамического воздействия на твердое до уровня гравитационных.

При магнитной гидросепарации выведение концентрата осуществляется гравитационным осаждением в слабых магнитных полях в донную часть аппарата из нисходящего потока пульпы. Отходы сепарации отводятся восходящим потоком через верхнюю часть МГС-сепаратора [2].

Магнитное поле, с одной стороны, регулирует время оседания концентрата (вертикальная составляющая), а с другой стороны, локализует его область осаждения (горизонтальная составляющая).

Таким образом, повышению эффективности магнитной сепарации способствует:

- существенное увеличение рабочей зоны сепарации, что позволит **эффективно использовать гравитационное разделение** при практическом отсутствии турбулизации пульпы, как это имеет место при разделении в относительно тонких потоках; обеспечение условий свободного движения частиц путем снижения плотности пульпы;

- **организация рациональных гидродинамических потоков** в зоне разделения за счет пространственно размещенных магнитных систем (решеток) в зоне сепарации; обеспечение вывода продуктов разделения в виде потоков пульпы различной плотности.

Эти мероприятия позволят существенно снизить напряженность применяемых магнитных полей за счет исключения процесса вывода продуктов разделения в воздушное пространство, как это имеет место в существующих конструкциях магнитных сепараторов.

Применение полей низкой напряженности для обогащения железных руд в объемных потоках магнетитовой суспензии является характерной особенностью способа магнитно-гидравлической сепарации. Разработка новых конструкций и технологий на принципах магнитно-гидравлической сепарации открывает широкие горизонты для малоэнергетического обогащения железных руд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения руд. - М.: Недра, 1984. - 416 с.

2. Полож.реш.по заявке № 07106321/03 (006905) от 25.04.97, Украина, МКИ В03с 1/00. Магнитный гидросепаратор / В.А. Чумаков, В.А. Зенин и др., заявлено 16.11.96.