© В.Ю. Шутов, Ю.С. Мостыка, Л.З. Гребенюк, 2006

УДК 622.778

В.Ю. Шутов, Ю.С. Мостыка, Л.З. Гребенюк

ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ СЛАБОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ СПОСОБОМ ВЫСОКОГРАДИЕНТНОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Семинар № 19

В ГМС может быть эффективной как при относительно небольших, так и при высоких значениях магнитной индукции, в зависимости от свойств исходного продукта и гидродинамического режима сепарации. При высоких значениях магнитной индукции в рабочей зоне имеют место ряд особенностей, из которых рассмотрим следующие. Во-первых, модуль градиента $|grad\ H|$ напряженности магнитного поля H при повышении магнитной индукции внешнего поля B_o стремится к постоянной величине, вследствие магнитного насыщения ферромагнитной матрицы. Для сравнения отметим, что при низких значениях B_o величина $|grad\ H|$ практически линейно зависит от B_o. Во-вторых, для многих минералов характерно снижение удельной магнитной восприимчивости χ при повышении магнитной индукции в рабочей зоне. Совместное действие этих двух факторов приводит к тому, что при высоких уровнях B_o зависимость $f(B_o)$ удельной магнитной силы $f = \mu_0\chi\ H\ grad\ H$ от B_o становится значительно слабее квадратичной зависимости, которая имеет место при низких B_o.

Характеристики сепарации определяются, в числе других параметров, вероятностью захвата магнитных частиц элементом ферромагнитной матрицы и вероятностью удержания захваченных частиц на этом элементе. При мокрой магнитной сепарации вероятность удержания захваченных частиц определяется, в основном, соотношением гидродинамической и магнитной сил вблизи поверхности элемента (в пределах тела накопления частиц) и гравитационной силой.

Толщиной тела накопления частиц можно управлять за счет изменения магнитной индукции B_o и скорости потока пульпы V_o. Для обеспечения свободного протекания пульпы через матрицу рационально было бы задавать такие соотношения B_o и V_o, при которых толщина тела накопления существенно меньше расстояния между соседними элементами матрицы. В этих пределах, как показывают расчеты, при определении магнитной силы влиянием соседних элементов можно пренебречь, используя простую расчетную модель одиночного ферромагнитного элемента. В противовес этому, вероятность захвата магнитных частиц элементом матрицы определяется соотношением действующих на них сил (гидродинамической, магнитной, гравитационной, инерционной) не вблизи элемента матрицы, а на расстоянии от него, соизмеримом с расстоянием между соседними элементами. Поэтому вероятность захвата частиц следует определять с учетом влияний на распределения скоростей потока и напряженности магнитного поля, оказываемых соседними элементами матрицы. В качестве одиночного ферромагнитного элемента матрицы рассмотрим цилиндрический стержень кругового поперечного сечения. Более сложную физическую модель матрицы, учитываю-

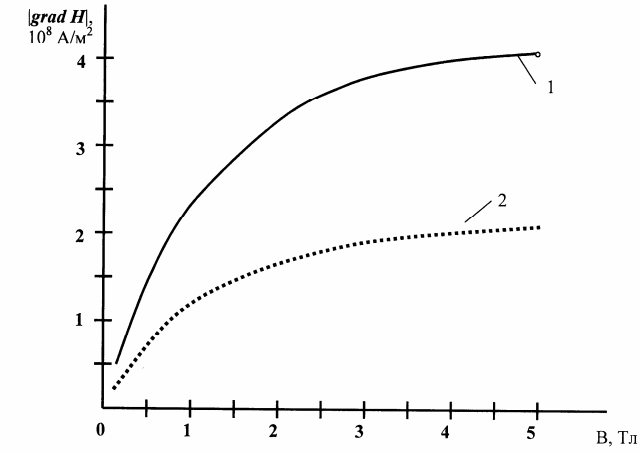

Рис. 1. Зависимости абсолютной величины градиента напряженности магнитного поля от магнитной индукции: *1* – $к_ц$ = 1 ммж *2* – $к_ц$ = 2 ммж к.$к_ц$ = 165

щую влияние соседних элементов, возьмем в виде решетки стержней кругового сечения, оси которых лежат в одной плоскости и параллельны между собой.

Используя формулы напряженности магнитного поля вблизи цилиндрического ферромагнитного элемента [1], можно рассчитать градиент напряженности поля в различных точках в окрестности этого элемента.

Результаты расчетов модуля градиента $|grad\ H|$ в зависимости от B_o на различных расстояниях от оси ферромагнитного стержня представлены на рис. 1: 1 – для диаметра стержня d = 2 мм; 2 – для d = 4 мм.

Эти зависимости остаются одинаковыми при различных значениях полярного угла θ, однако направление вектора $gradH$ зависит от θ.

Как видно, в обоих вариантах при увеличении B_o значения $|grad\ H|$ стремятся к постоянным величинам.

В Национальном горном университете были выполнены измерения удельной магнитной восприимчивости χ при различных значениях магнитной индукции для нескольких фракций ильменитовых песков из Иршанского месторождения. Эти фракции были выделены на роликовом магнитном сепараторе в пяти последовательных приемах сепарации при силе тока в катушках электромагнитной системы I = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 и 1 А.

Полученные экспериментальные данные χ в зависимости от магнитной индукции B для одной из фракций (I = =0,2 А) представлены на рис. 2. Здесь же нанесены для сравнения теоретические зависимости $\chi(B)$ для гематита (кривая 1) и ильменита (кривая 2) , которые были рассчитаны по формулам объемной магнитной восприимчивости из работы [1].

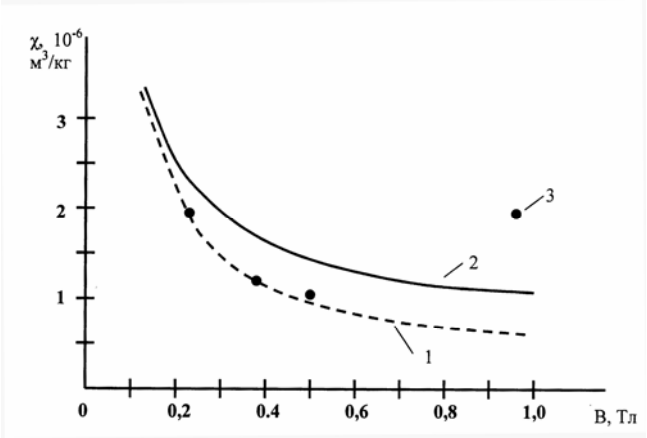

Рис. 2. Зависимости удельной магнитной восприимчивости от магнитной индукции: *1, 2* – теоретические зависимости, рассчитанные по формулам [1] для гематита и ильменита соответственно; *3* – экспериментальные данные, полученные авторами для одной из фракций ильменит-содержащего продукта

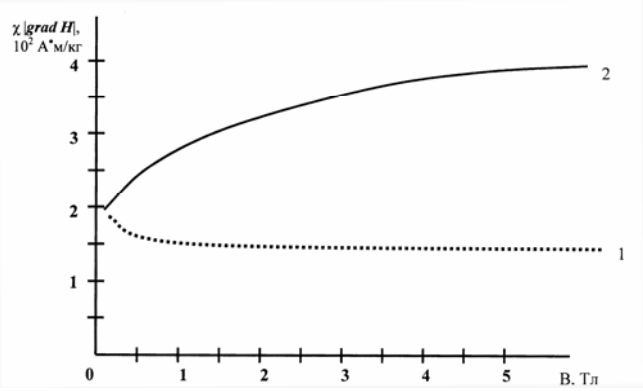

Рис. 3. Зависимости произведения удельной магнитной восприимчивости на модуль градиента напряженности магнитного поля вблизи ферромагнитного стержня при r_w = 1 мм; r/r_w=1,5 от магнитной индукции 1 – для гематита; 2 – для ильменита

Тот факт, что экспериментальные данные располагаются между зависимостями для ильменита и гематита, можно было бы объяснить, предполагая, что исследуемый продукт относится к минералам ильменит-гематитовой серии [2]. Поэтому можно ожидать, что его свойства, в том числе и магнитная восприимчивость, занимают промежуточное положение между свойствами ильменита и гематита.

В дальнейших расчетах используются теоретические зависимости $\chi(B)$ (кривые 1, 2), так как экспериментальные данные имеются только для узкого диапазона магнитной индукции B.

Результаты расчетов произведения удельной магнитной восприимчивости χ на модуль градиента напряженности магнитного поля $gradH$ вблизи ферромагнитного стержня r/r_w = 1,5 от магнитной индукции B при диаметре стержня d = 2 мм ($r_w = d_w/2$ = 1 мм) представлены на рис. 3; здесь r – расстояние от оси стержня до данной точки; кривая 1 - для гематита, кривая 2 - для ильменита.

Как видно, для гематита произведение $\chi|grad\ H|$ остается практически постоянным в широком диапазоне магнитной индукции: начиная от B=1Тл и выше. Для ильменита наблюдается рост произведения $\chi|grad\ H|$ с увеличением B, однако при $B \approx$3-4 Тл и выше этот рост становится незначительным.

На рис. 4 показаны результаты расчетов коэффициента захвата α частиц ильменита и гематита от магнитной индукции B_o в рабочей зоне ВГМС с матрицей в виде решетки ферромагнитных стержней.

Здесь под коэффициентом захвата подразумевается отношение массы захваченных магнитных частиц за некоторый промежуток времени к общей массе

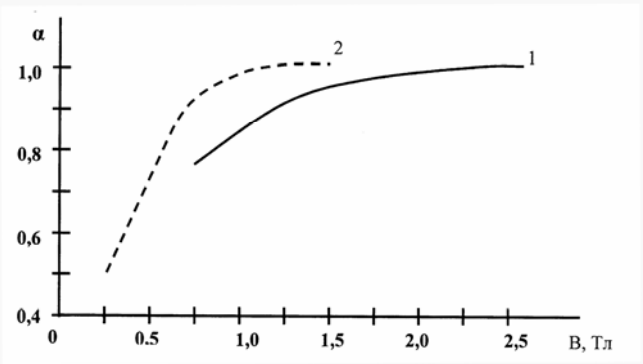

Рис. 4. Зависимость коэффициента захвата частиц гематита (кривая 1) и ильменита (кривая 2) от магнитной индукции внешнего поля, наложенного на матрицу – решетку стержней при L_c/d_w =4; d_w =2мм; d_p =100 мкм; V_0=0,05 м/с; $\chi = \chi(B_0)$

магнитных частиц в потоке пульпы, протекающей за этот же промежуток времени. Значения коэффициента α определялись в результате расчетов траекторий частиц в потоке пульпы, протекающей через решетку стержней.

Выводы

1. В результате расчетов на примере минералов ильменита и гематита показано, что произведение удельной магнитной восприимчивости слабомагнитных частиц на градиент напряженности магнитного поля в рабочей зоне ВГМС с увеличением магнитной индукции B_o стремится к постоянной величине.

2. В результате расчетов траекторий частиц ильменита и гематита в потоке пульпы, протекающей через матрицу в виде решетки ферромагнитных стержней, получены зависимости коэффициента захвата α от магнитной индукции B_o (коэффициент α характеризует вероятность захвата частиц). Показано, что для рассмотренных параметров (густота решетки, диаметр стержней, диаметр частиц, скорость потока) коэффициент захвата α для ильменита достигает своего предельного значения α = 1 при значительно меньших значениях B, чем коэффициент захвата для гематита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Svoboda J.* Magnetic Methods for the Treatment of Minerals. – Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo. - 1987. – 692 p.

2. *Нагата Т.* Магнетизм горных пород. – М.: Мир, 1965. – 346 с.

Коротко об авторах

Шутов В.Ю., Мостыка Ю.С., Гребенюк Л.З. – Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ			
ПАНЬШИН Андрей Михайлович	Разработка и промышленное освоение комбинированной технологии обогащения свинцово-цинкового сырья	25.00.13	к.т.н.