

Список литературы

1. Бозорт Р. Ферромагнетизм / Р. Бозорт. – М.: Иностранная литература, 1956. – 784 с.
2. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.Г. Деркач. – М.: Недра, 1966. – 423 с.
3. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – Москва: МГГУ, 2005. – 669 с.
4. Ломовцев Л.А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд / Л.А. Ломовцев, Н.А. Нестерова, Л.А. Дробченко. – М.: Недра, 1979. – 235 с.
5. Младецкий И.К. Размер частиц магнитного утяжелителя после выхода их из магнитного поля / И.К. Младецкий // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 48(89). – С. 77-82.
6. Петрова Г.Н. Исследование порошкообразных магнетитов / Г.Н. Петрова // Изв. АН СССР; серия географическая и геофизическая. – 1948. – Т.12. – №6 – С. 549-556.
7. Тихонов О.Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии / О.Н. Тихонов. – Л.: Недра, 1973. – 240 с.
8. Трухин В.И. Введение в магнетизм горных пород. – М.: МГУ, 1973. – 275 с.

© Березняк А.А., Березняк Е.А., Куваев В.Н., Куваев Я.Г., Младецкий И.К., 2017

*Надійшла до редколегії 22.12.2017 р.
Рекомендовано до публікації к.т.н. К.А. Левченко*

УДК 622.778

П.И. ПИЛОВ, д-р техн. наук,

В.Ю. ШУТОВ, **Н.Г. КАБАКОВА**,

Л.А. ШАТОВА

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

СЕПАРАЦИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ СЛАБОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СВЕРХСИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

В последние годы существенно повысились требования потребляющих отраслей к качеству керамического сырья во всем мире. Это касается как химического, так и гранулометрического состава фарфоровой массы.

Наиболее важным требованием к сырью для производства тонкой керамики (фарфоровой массе, которая, как правило, имеет следующий состав: полевошпат (25...30%), каолин (30...35%), кварцевый песок (30...35%), глина) является низкое содержание (не более 0,2%) вредных примесей (в первую очередь окислов железа и титана). Окислы железа и титана придают изделиям тонкой керамики нежелательную окраску и понижают прозрачность фарфора. При производстве электротехнического фарфора эти примеси повышают его теплопроводность, снижая качество и надежность изоляции. Окислы титана и железа уменьшают также стойкость кислотоупорного оборудования.

Магнітна і електрична сепарація

В мировой практике для удаления вредных примесей применяются химические и механические методы. В последние годы получено большое число патентов на химические способы отбеливания каолинов, входящих в состав фарфоровой массы. Сложному и дорогому способу отбеливания чаще всего подвергаются самые тонкие фракции для получения высших сортов пигментного каолина.

Химическому отбеливанию обычно предшествуют более дешевые и простые механические способы удаления оксидов железа и титана, из которых наибольшее применение получила флотация и ее разновидности, магнитная сепарация и, в некоторой степени, гравитация на гидроциклонах. Содержание окислов титана и железа иногда удается снизить при фракционировании, если вредные примеси связаны преимущественно с более крупными классами.

Изучение минералогического состава вредных примесей, входящих в состав фарфоровой массы, и в частности каолина, показали, что железо и титан могут находиться в виде отдельных минералов (ильменит, гетит, гидрогетит, рутил, лейкоксен) или входить в кристаллическую решетку силикатов, например, слюд.

Распределение вредных примесей по гранулометрическим фракциям существенно различается для сырья из разных месторождений. Минералы железа и титана встречаются в материале всех фракций, но максимальное их содержание устанавливается зачастую в наиболее грубых фракциях. Тем не менее, окислы железа иногда концентрируются и в самых мелких фракциях (менее 1 мкм).

Поэтому в последние годы большое внимание уделяется электромагнитным способам обогащения данного сырья. Значительные усилия конструкторов и технологов направлены на создание электромагнитных сепараторов для выделения из фарфоровой массы и, в частности, из каолинов тончайших примесей средне- и слабомагнитных минералов. Предложенные в конце 50-х годов для этой цели полиградиентные сепараторы Джонса впервые позволили выделить из керамического сырья частицы минеральных примесей крупностью 50...30 мкм. Однако, в случаях, когда соединения железа и титана присутствуют в виде микронных включений или входят в кристаллическую решетку силикатов, удовлетворительных результатов достичь не удается.

Дальнейшее совершенствование электромагнитных методов обогащения керамического сырья идет по следующим направлениям: создание более мощного магнитного поля; применение в качестве полиградиентной среды феррозаполнителей различной формы; применение перед магнитной сепарацией специальных методов обработки суспензии для усиления магнитных свойств извлекаемых минералов; использование для минералов-примесей иных сил, наряду с магнитными.

В первых полиградиентных сепараторах достигалась напряженность магнитного поля 1,6...1,8 Тл и значение градиента напряженности до $1 \cdot 10^7$ А/м². Однако для выделения частиц минералов размером менее 10 мкм и ожелезненных частиц каолина с магнитной восприимчивостью порядка $1 \cdot 10^{-8}$... $2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг не-

обходимы большие магнитные силы, которые могут быть созданы при напряженности поля свыше 2...3 Тл и градиентах поля порядка $1 \cdot 10^9 \text{ А/м}^2$.

Несмотря на большие достижения в области магнитной сепарации тонкоизмельченных материалов, особое значение на настоящем этапе приобретает вопрос извлечения слабомагнитных частиц диаметром менее 10 мкм, что является одной из главных проблем в задаче получения особо чистых концентратов.

В связи с этим особенно актуальными становятся исследования по применению сверхпроводящих магнитных систем для сепараторов, поскольку их использование дает возможность одновременно решить две основные проблемы магнитного обогащения – снижения расхода электроэнергии и повышения эффективности и глубины обогащения тонкоизмельченных слабомагнитных минералов. Такие системы позволяют коренным образом снизить расход электроэнергии на создание магнитного поля и повысить индукцию в рабочих зонах сепараторов до 3...5 Тл и более.

Задачей теоретических исследований являлась оценка возможности извлечения сверхтонких частиц в рабочих зонах высокоградиентных магнитных сепараторов в сильных магнитных полях. Изучение процесса проводилось на основе математического моделирования движения частиц в окрестности изолированного ферромагнитного элемента рабочей зоны высокоградиентного магнитного сепаратора.

Экспериментальные исследования улавливания сверхтонких слабомагнитных материалов проводились на сверхпроводящей сепарационной установке, разработанной сотрудниками кафедры обогащения Национального горного университета. Установка предназначена для проведения исследований по магнитному обогащению руд, очистки нерудных материалов и отработки конструктивных и режимных параметров рабочих зон промышленных сверхпроводящих сепараторов. Криомагнитная система установки позволяет создавать магнитное поле с индукцией до 9 Тл.

Эксперименты проводились на пробах фарфоровой массы при трех значениях напряженности внешнего магнитного поля: 1 Тл, 2,5 Тл, 7Тл.

Расчеты траекторий движения частиц, и определения сечений захвата цилиндрическим коллектором, выполненные для слабомагнитных частиц диаметром 0,5...20 мм, показали, что основными факторами, определяющими величину сечения захвата, а значит и коэффициента улавливания частиц, являются диаметр и магнитная восприимчивость частицы, скорость несущей среды, и параметры магнитного поля в рабочей зоне.

Результаты расчетов показаны на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведен график зависимости величины вероятности захвата частицы в рабочей зоне высокоградиентного магнитного сепаратора от напряженности внешнего магнитного поля для частиц различных размеров при двух значениях скорости пульпы – 0,01 м/сек и 0,05 м/сек.

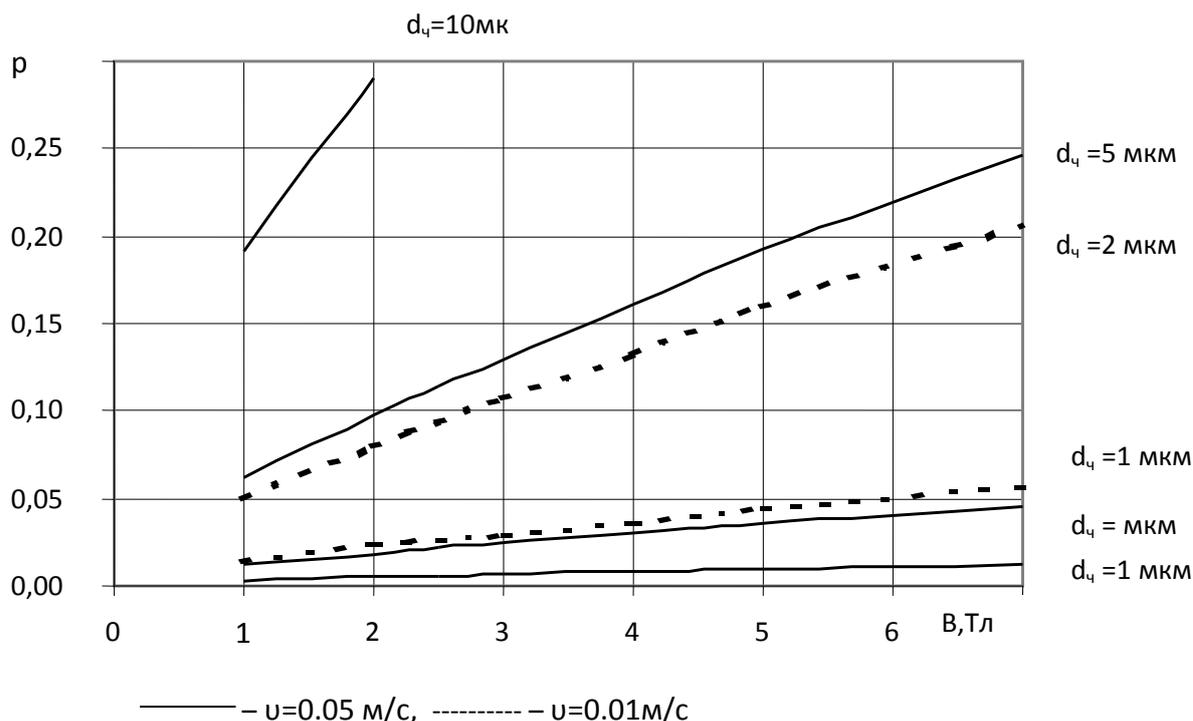


Рис. 1. Зависимость вероятности захвата от индукции магнитного поля

Полученные результаты свидетельствуют, что зависимость вероятности захвата от величины магнитной индукции в большинстве случаев близка к линейной. Уменьшение скорости пульпы от 0,05 до 0,01 м/с приводит к значительному росту вероятности улавливания. Например, при индукции 7 Тл эта величина увеличивается от 0,012 до 0,05 для частиц с диаметром 1 мкм, и от 0,046 до 0,21 – для частиц с диаметром 2 мкм. При увеличении диаметра частицы от 1 мкм до 10 мкм вероятность захвата возрастает в 41,6 раза при индукции 1 Тл и в 43,3 раза при индукции 7 Тл.

На рис. 2 показана зависимость величины вероятности захвата от размера частиц для трех значений индукции внешнего поля – 1 Тл, 2,5 Тл, 7 Тл.

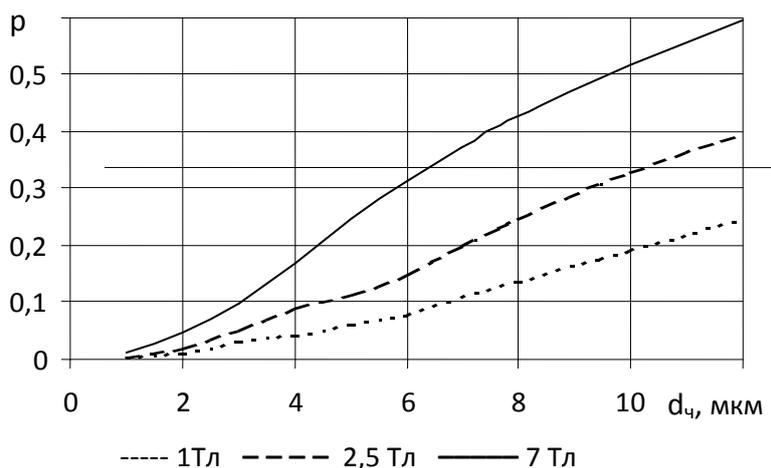


Рис. 2. Залежність ймовірності захопту частинки від діаметра частинки

Експериментальні дослідження проводились на криомагнітному сепараторі на образцях керамічної маси. Вміст Fe_2O_3 в вихідному продукті становив 1,18%.

Результати збагачення проби керамічної маси наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Індукція магнітного поля, Тл	Продукт	Вихід, %	Вміст Fe_2O_3 , %	Виділення Fe_2O_3 , %
1 Тл	магн.	1,45	24,2	29,04
	немагн.	98,55	0,87	70,98
2,5 Тл	магн.	9,75	5,6	42,76
	немагн.	90,25	0,81	57,24
7 Тл	магн.	15,8	2,8	52,49
	немагн.	84,2	0,70	47,51

Гранулометричний склад вихідної проби та продуктів розділення досліджувався за допомогою електронного гранулометра з роздільною здатністю до 0,5 мкм. Гранулометричний склад вихідної проби представлений на рис. 3. Як видно з цього малюнка, розміри частинки досліджуваної проби змінюються від 0,5 до 20 мкм. Максимальна кількість частинки відповідає інтервалу 1,5...8 мкм.

На рис. 4 наведено графік залежності показника виділення частинки різних розмірів в магнітний продукт. Отримані дані свідчать про те, що збільшення індукції від 1 до 7 Тл призводить до суттєвого зростання показника виділення, особливо для частинки діаметром 1...15 мкм. Для частинки більшого діаметру при цих умовах підвищення магнітної індукції не призводить до суттєвого зростання показника виділення.

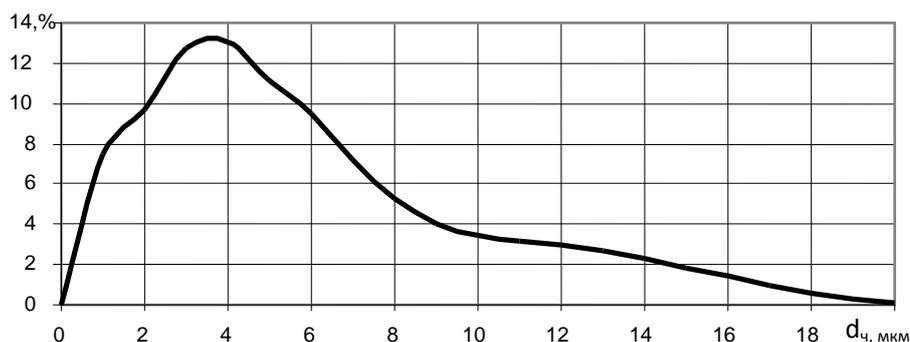


Рис. 3. Гранулометрическая характеристика керамической массы

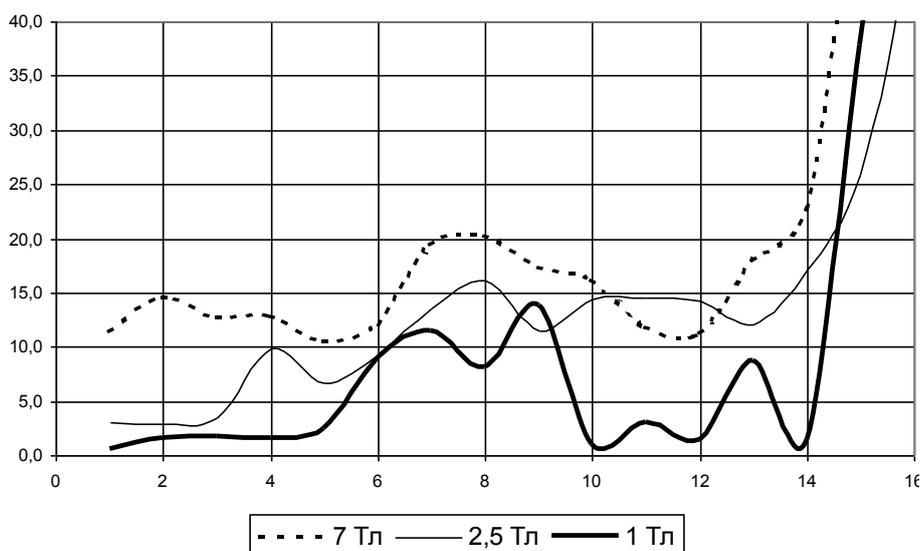


Рис. 4. Показатель извлечения фракций различной крупности в магнитный продукт при различных значениях магнитной индукции

Результаты проведенных опытов свидетельствуют об эффективности использования сверхпроводящих магнитных сепараторов и повышения значения магнитной индукции до 7 Тл для извлечения частиц диаметром менее 10...15 мкм.

Список литературы

1. J. Svoboda. Magnetic Methods for the Treatment of Minerals. – Elsevier – Amsterdam, 1987. – 692 p.
2. J.H.P. Watson. Magnetic filtration. – J.Appl. – Phys. 44(1973). – P. 4209.
3. Yu.S. Mostika, V.I. Karmazin, V.Yu. Shutov, L.Z. Grebenyuk. About the equation of motion of a magnetic particle in a magnetic separator // Magnetic and Electrical Separation. – 1999. – Vol. 10. – P. 35-44.

© Пилов П.И., Шутов В.Ю., Кабакова Н.Г., Шатова Л.А., 2017

Надійшла до редколегії 09.12.2017 р.

Рекомендовано до публікації к.т.н. В.В. Дем'янюк