

При розробці подібних систем слід враховувати, що сучасний етап розвитку магнітотвердих РЗЕ-вмісних матеріалів відкриває можливості подальшого суттєвого збільшення питомої енергії магнітів. Це вводить до необхідності нового відходу від традиційних конструкцій магнітних систем (оскільки оптимальна поварна довжина такого магніту значно менша поперечних розмірів, а енергія у робочому зазорі досягає максимуму при сумірних значеннях з довжиною магніту), їх міноризації та відкриває шляхи застосування у новому поколінні механічних змичувачів.

Ефективність роботи таких систем забезпечується можливістю керування частотою електромагнітного поля, що приводить у рух змичувач; індивідуальністю його настрійки і можливістю одночасної роботи з багатьма об'єктами у комплексних дослідженнях та прецизійних вимірюваннях; наявністю в роботі електронних засобів керування; спрощеною системою їх конструкцій електромагнітів.

Запропонований лабораторний спосіб перемішування може лягти в основу створення компактних технічних засобів приєднання гомогених і гетерогених систем у стан спільної термодинамічної рівноваги для наукового об'рунтування підготовчих стадій виробництва сучасних спеціальних та функціональних матеріалів, зокрема, дослідженню впливу технологічних факторів, умов синтезу на відтворення структуроутворюючих характеристик цільового продукту із заданими однорідністю, властивостями.

Список літератури: 1. *Ташев В.М.* Технологии перемешивания и диспергирования материалов / *Ю.М. Ташев, В.Ф. Петрова*. — М.: Высшая школа, 1996. — 423 с. 2. *Козарь В.П.* Приготовление к сухогаздуному термостату для непрерывного перемешивания смеси в реакционной емкости с помощью магнитных мешалок / *В.П. Козарь, Д.С. Шевчук, В.А. Староженко* (и др.) // *Записки лаборатории* — 1980. — Т. 46, № 6. — С. 368. 3. А. с. 1797983 СССР, МКИ В 01 F 13/08. Способ перемешивания гомогенных и гетерогенных сред / *А.Г. Дроздов, Д.А. Староженко, Г.М. Ласенко* (СССР) — № 484023/26; заявл. 02.04.90; опубл. 28.02.93, Бюл. № 8. 4. *Белов К.И.* Редкоземельные магнетиты и их применение / *К.И. Белов*. — М.: Наука, 1980. — 240 с.

Надійшло до редакції 14.05.03

Л.В. ШПИЛЕВОЙ, канд. техн. наук,

Т.С. НАЗАРОВА, ООО «ПСР «Азовинтэкс» г. Мариуполь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Виконані дослідження щодо удосконалення технології збагачування комплексних нефеліно-полевошпат-редкометалевих руд Мазуровського родовища на основі вибіркового подрібнення мінералів перед їхнім гравітаційним та магнітним розділенням.

These researches have been done with the purpose of ore-dressing technology perfection for complex nefelin-feldspar-rare metallic ores of the Mazurovsky deposit on the basis of selective crushing of minerals before their gravitational and magnetic separation.

Совершенствование технологии обогащения нефелиновых сиенитов Приазовья является актуальной научно-практической задачей в связи с необходимостью организации в Украине крупнотоннажного производства полевошпатовых материалов для обеспечения развивающейся керамической отрасли страны. Особую остроту эта проблема приобрела в последнее время из-за экономических трудностей, которые переживают импортеры полевошпатового сырья в связи с изменением курса гривны по отношению к основным иностранным валютам.

Проблема значительного увеличения выпуска полевошпатовых и кварц-полевошпатовых концентратов для расширенного производства керамической плитки, санитарно-технических изделий и т. п., повышения качества этих материалов (снижение содержания в них оксидов железа, увеличение суммы оксидов щелочей, а в ряде случаев — калиевого модуля) рассматривалась в ряде работ [1 — 3]. Перспективным источником высококачественного полевошпатового сырья в Украине могут стать нефелиновые сиениты Приазовья (Октябрьского щелочного массива), которые, однако до настоящего времени не обращали на себя внимания исследователей. Наиболее разведанным источником такого сырья является Мазуровское месторождение комплексных нефелин-полевошпат-редкометаллических руд, общие запасы полевошпатовых материалов на котором (только по первой залежи) оцениваются примерно в 6-8 млн. т [2], а также техногенное месторождение отхода обогащения

этих руд с балансовыми запасами в 1,2 млн. т [3]. Первоочередное освоение месторождения предусматривается государственной программой развития минерально-сырьевой базы страны на период до 2020 г. Однако перспективы реализации такой программы существенно определяются возможностями создания эффективной, ресурсосберегающей и комплексной технологии обогащения нефелиновых сиенитов, обеспечивающей получение концентратов необходимого качества.

Традиционно для обогащения нефелиновых сиенитов используются мокрые методы обогащения [4]. Известные технологии обогащения предусматривают дробление и измельчение руды (для коренного месторождения), или дробление и измельчение руды (для жильного месторождения левых хвостов), оттирку в оттирочных машинах железосодержащих плёнок на поверхности минералов, гравитационное разделение тяжёлых и лёгких фракций на вибровых сепараторах; флотационное или магнитное выделение железосодержащих минералов; флотационное выделение редкометаллического концентрата [5]. Между тем, близкие физические и химические свойства основных породообразующих минералов (микроклин, нефелин, альбит), высокая контрастность технологических свойств с ассоциированными минералами – цирконом и пироксеном, – не позволили пока создать простую и конкурентоспособную технологию, обеспечивающую необходимое качество полевощатовых концентратов, в том числе концентрата с низким содержанием оксида железа и требуемым калиевым модулем; обеспечивающую высокое извлечение селективных концентратов, и не требующую внедрения экологически опасных методов разделения (флотации, химического обогащения).

Измельчение руды в известных схемах обогащения предусматривается осуществлять в соответствии с принятой в обогащении редкометаллических руд практикой в стержневой или шаровой мельнице [6] в сочетании со спиральными классификаторами и гидрониклонами. Измельчение в таких мельницах осуществляется за счет разламывания и истирания, и частично за счет удара, что приводит как к переизмельчению руды [7], так и образованию примазок железосодержащих и более пластичных ниобийсодержащих минералов на поверхности зёрен породообразующих минералов, втиранию загрязняющих примесей в верхний слой поверхности зёрен полевощатовых минералов. Очистка полевощатового сырья магнитными методами становится малоэффективной. С другой стороны, теряется значительная часть ценного продукта – ниобия. Образование примазок на поверхности зёрен полевощатового сырья приводит к снижению содержания оксида калия в концентрате [8].

полевощатовых минералов является причиной нестабильных показателей флотационного или магнитного процессов разделения минералов. Барабанные стержневые и шаровые мельницы, несмотря на свою простоту и надёжность, отличаются повышенным удельным расходом электроэнергии, так как КПД их не превышает нескольких процентов [8].

Для классификации измельчённого материала или получения обогащённого продукта нескольких сортов в практике обогащения полевощатовых материалов используются в основном грохоты. Однако как сухое, так и мокрое грохочение на ситах с отверстиями меньше 1,0 мм отличается низкой эффективностью, а то и трудноосуществимо вследствие забивания сит.

Таким образом, повышение эффективности дезинтеграции и классификации полевощатового сырья является нерешённым вопросом в рамках общей проблемы создания технологии переработки комплексных руд Мазуровского месторождения и отходов их обогащения.

Целью настоящей статьи является исследование и совершенствование технологии обогащения нефелин-сиенитовых руд на основе совершенствования рудоподготовки – избирательного измельчения минералов перед их гравитационным и магнитным разделением.

Анализ результатов изучения состава редкометаллической руды Мазуровского месторождения [5] и отходов обогащения [3] показывает, что по минералогическому и химическому составу они очень близки. Это позволяет создать единую технологию их переработки.

Минеральный состав укрупнённой пробы руды¹:

микроклин – 38,7 – 42,7 (38,5) %;

альбит – 24,0 – 50,3 (30,0) %;

нефелин – 19,2 – 21,1 (16,1) %;

глинистые минералы – 1,5 – 2,3 (4,0) %;

лепидометан – 3,15 – 4,8 (4,7) %;

этирин – 3,4 – 5,6 (4,45) %;

гидрооксиды железа – 0,1 – 0,4 (1,2) %;

циркон – 0,45 – 0,75 (0,35) %;

пироксеном – 0,20 – 0,37 (0,14) %;

прочие – 0,7 (2,25) %.

Микроклин находится в виде зёрен, преимущественно величиной 0,3 – 1,0 мм. В его составе 12,0 – 13,5 % оксида калия и 1,5 – 2,5 % оксида на-

¹ В скобках приведен минералогический состав левых хвостов

триа. Кристаллы альбита преимущественно 0,2 – 0,5 мм. В его химсоставе 10 % оксида натрия. Количество пленочного гидроксида железа, как и в микроклине, достигает 0,3 – 0,4 %. Плотность микроклина – 2,56 – 2,58 г/см³, альбита – 2,62 г/см³. Нефелин находится в виде зерен величинной от сотых долей до 1 – 2 мм, а также в агрегатах с мелкозернистым альбитом, иногда с другими минералами. Плотность от 2,40 до 2,62 г/см³. Глинистые минералы – это продукты изменения нефелина, а также в процессе химического выветривания. Поверхность зерен минералов покрыта пленками (корками) глинисто-слоистых железных агрегатов, снижающих качество полевощпатового материала. Гидроксиды железа, каолинит, а также биотит, лямбдомелан, эпирин и магнетит являются вредными минеральными фазами, которые необходимо удалять при обогащении полевощпатового сырья для получения качественного концентрата. Удаление минералов с помощью выраженных магнитными свойствами является стандартной технологической операцией в практике обогащения минерального сырья. Более сложной задачей является удаление пленки гидроксида железа с поверхности зерен минералов. Такие пленки хотя и являются магнитными, требуют отделения от зерен минералов путем неспециальной обработки.

Разделение различных разновидностей полевого шпата с целью получения концентрата с высоким калиевым модулем является наиболее сложной задачей, так эти минералы являясь изоморфными смесями, обладают весьма близкими физико-химическими свойствами.

В практике обогащения кварц-полевощпатового сырья для снижения содержания минеральных примесей часто применяется операция классификации. Это связано со способностью минералов разрушаться избирательно, в результате чего в тонких фракциях наблюдается повышенное содержание рудных минералов. Например, отделение полевого шпата от кварца путем избирательного измельчения основывается на меньшей механической прочности полевого шпата по сравнению с кварцем.

Классификация является менее эффективным, однако более простым и дешевым методом обогащения минерального сырья.

Микроклин (калишпат) является более прочной породой, чем альбит (натриевый полевой шпат) и нефелин. Можно предположить, что после измельчения микроклин будет находиться в продуктах измельчения в более крупной фракции.

Анализ данных о дисперсном составе лежалых хвостов – продуктов из-

мельчения руды в шаровой мельнице – показывает, что при таком измельчении образуется большое количество переизмельченного продукта – более 30 % в классе – 0,125 мм (табл. 1). Надо отметить, что при дроблении и измельчении исходной руды в процессе обработки коренного месторождения произошла некоторая дифференциация материала по крупности из-за различной крепости минералов. В связи с этим ситовые фракции лежалых хвостов значительно различаются по содержанию главных и второстепенных минералов. Основное различие наблюдается в соотношении калиевого и натриевого полевого шпатов. В крупных классах (+0,315 мм) преобладает микроклин, в мелких и тонких (–0,315 мм) – альбит. Вариации в содержании нефелина незначительны. Глинистые минералы концентрируются в основном в шламах. Акцессорные (рудные) минералы (ширкон, пироксфор) в свободном состоянии присутствуют только в классах (–0,315 + 0,125 мм) и шламах (–0,125 мм). Дифференциация материала руды по крупности создает предпосылки для применения классификации как метода обогащения.

Таблица 1

Гранулометрический состав нефелиновых сиенитов

Крупность, мм	Остаток материала на сите, масс. %	
	Измельчение в шаровой мельнице	Измельчение в центробежно-ударной дробилке
+ 2,0	0,2	
+ 1,2	5,6	4,2
+ 0,85	6,8	14,4
+ 0,63	9,6	21,2
+ 0,315	21,0	28,1
+ 0,125	24,3	21,8
+ 0,075	16,5	8,2
- 0,075	16,0	2,3
Итого.	100,0	100,0

Учитывая, что в наиболее тонких классах крупности измельченного продукта содержание оксидов железа существенно выше среднего по классам, естественным представляется предварительное его обесшламливание (при мокром обогащении) или обеспыливание (при сухом обогащении). Эти операции являются целесообразными и с точки зрения повышения эффективности работы магнитных сепараторов при последующей магнитной сепарации.

рапки. Естественно, в этом случае часть полевошпатового продукта теряется. Вместе с ним теряется и оксид ниобия, который концентрируется в основном в классе $-0,315$ мм (табл. 2).

Таким образом, рациональная организация процесса измельчения лежалых хвостов или коренных руд Мазуровского месторождения должна состоять в применении оборудования, обеспечивающего минимальный выход класса $-0,125$ мм. В качестве такого оборудования для дезинтеграции материала в последнее время рекомендуется дробилка центробежно-ударного типа. Исследования, выполненные нами на лабораторной мельнице типа ДЦ-0,4 показывают, что содержание класса $-0,125$ мм при доизмельчении исходной пробы руды крупностью $+6,0$ мм до крупности $+0,8$ мм можно существенно снизить (до 19–11 %).

Таблица 2
Химический анализ укрупненной пробы руды для обогащения

Элемент	Всего, %	Содержание, % в классах крупности, мм						
		+1,2	+0,85	+0,63	+0,315	+0,125	+0,075	0,075
K ₂ O	6,2	9,98	9,30	8,99	8,40	8,74	4,7	3,99
Na ₂ O	4,91	3,75	3,77	3,80	4,00	3,77	5,80	5,97
CaO/Na ₂ O	38	3,6	4,7	3,3	2,4	3,4	0,8	0,67
Fe ₂ O ₃	1,06	2,99	3,10	4,28	3,95	3,76	4,32	1,45
Nb ₂ O ₅	0,096	0,06	0,07	0,08	0,09	0,14	0,18	0,24

Такой вид дезинтеграции позволит более эффективно решить еще одну важную технологическую проблему – оттирки железосодержащих пленок на поверхности частиц полевого шпата. Содержание оксидов железа на поверхности зерен минералов уменьшилось с 0,2–0,4 % до 0,05–0,07 %.

Во избежание техногенного натира железа, являющегося основным контролируемым вредным компонентом, испытания по дезинтеграции материала с помощью центробежно-ударной дробилки проводились с использованием «самофутеровки», когда карманы внутренней стороны корпуса дробилки заполнены крупным кусковым материалом, и дробление поступающего сырья происходит по принципу удара «кусок о кусок». Дробление исходной пробы выветренных нефелиновых сменитов проходило в следующем режиме: линейная скорость вращения сердечника дробилки – 85,0 м/с, частота вращения шнекового питателя – 50 с⁻¹, производительность дробилки – 150 кг/час.

Классификация на гравитационно-воздушном классификаторе, рабо-

тающем в замкнутом цикле с центробежно-ударной дробилкой, проводилась в трёх разных режимах пересортики крупной и мелкой фракций. В классификаторе осуществлялось разделение сухого материала по крупности, морфологии частиц и плотности. При всех режимах работы частота вращения шнекового питателя 50 с⁻¹ и производительность классификатора 150 кг/час оставались неизменными.

Разработанная технологическая схема обогащения учитывает все особенности вещественного состава лежалых хвостов: их ожелезненность, агрегативное срастание полевошпатовых минералов с другими породными и рудными минералами, минералогический состав полевых шпатов. Необходимое условие для любого обогащения – максимальное раскрытие ценных минералов для повышения степени контрастности технологических свойств – было выполнено путем дезинтеграции материала в дробилке центробежно-ударного типа. Второе важное условие для эффективного разделения минералов – классификация на узкие классы крупности, – достигнуто с помощью гравитационно-воздушного классификатора.

Третье необходимое условие – обезжелезнение полевошпатового концентрата – выполнено с помощью сухой магнитной сепарации на сепараторах с постоянными магнитами на редкоземельных элементах.

При разработке технологического регламента обогатительной фабрики с учетом принятой её годовой производительности к использованию рекомендованы центробежно-ударная дробилка типа ДЦ-1,0, и гравитационно-воздушный классификатор КГ 30-3, выпускаемые компанией «Ламел-777» (Белоруссия), и магнитные сепараторы НПФ «Минералтехника». Универсальность разработанной технологии обеспечивает получение товарных концентратов из исходного сырья как техногенного происхождения, так и Мазуровского месторождения коренных руд. Стабильность достижения высокого качества концентратов заложена в технологической схеме.

В результате проведенных исследований разработана инновационная ресурсосберегающая технология обогащения нефелин-полевошпатового сырья на основе совершенствования рудоподготовки (избирательного измельчения), а именно дезинтеграции породы в дробилке ударно-центробежного действия с последующей классификацией в гравитационно-воздушном классификаторе и магнитной сепарации узко классифицированного материала с получением товарной продукции требуемого качества, и регулированием выходов конечной продукции.

Приведенные в данной работе результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Замена стержневых или шаровых мельниц в процессах измельчения комплексных нефелин-полевощпат-редкометаллических руд на мельницы ударно-центробежного типа обеспечивает избирательное (селективное) раскрытие минерального комплекса и оптимальную степень дезинтеграции материала.

2. Использование режима «самофутеровки» и измельчения поступающего сырья по принципу «кусочек об кусок» позволяет избежать технологического нагара железа в полевощпатовом концентрате.

3. Классификация полевощпатового сырья по крупности 0,315 мм обеспечивает получение двух сортов полевощпатового концентрата: минералогического с модулем 2,29 и натриевого с модулем 0,81.

4. Две стадии магнитной сепарации в слабом (0,4 Тл) и сильном поле (1,2 Тл) и пересчетка немагнитной фракции в поле с напряженностью 1,6 Тл обеспечивают получение полевощпатового концентрата с содержанием оксидов железа 0,28–0,30 %.

Список литературы: 1. Талочко Е.А. Получение нефелин-полевощпатового концентрата из мармуристых УЖК для получения тонкой окиси. Межвузовская информация / Е.А. Талочко, Р.М. Шапка, Н.А. Бабиченко. – М.: изд. ВНИМС, 1973. – 11 с. 2. Черныш Н. Проблемы выбора критерия комплексного освоения Мазуровского родового полевощпат-нефелин-диоритовых руд / Черныш Н. // Черныш Н. Геолог. Украин. – 2008. – № 3. – С. 32–43. 3. Мостык Ю.С. Обработка негидроэкономичных, тектонических та сколотических мажоритарных сульфидного осадочного рудничного родового полевощпатового сырья: диссертация на соискание ученой степени кандидата наук / Ю.С. Мостык. – М.: Геол. изд-во, 1977. – 128 с. 4. Родичев В.И. Обогащение полевых шпатов и кварца / В.И. Родичев. – М.: Недра, 1970. – 128 с. 5. Зубков Л.Б. Оценка минералогической закономерностей комплексной переработки богатых железом-марганцевых руд окислительного месторождения: отчет по НИР по теме № 1-83-155 (16/17-240) / Л.Б. Зубков, Л.В. Чистов, Ю.Б. Зубчик. – М.: ГИРДМЕТ, 1984. – 147 с. 6. Палкина С.М. Обогащение руд в восстановительных условиях / С.М. Палкина. – М.: Недра, 1957. – 275 с. 7. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 268 с. 8. Родичев В.И. Селективное измельчение минералов / В.И. Родичев. – М.: Недра, 1988. – 328 с.

Д.А. ТЮЛЬПИНОВ, И.П. „Институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза“, г. Северодонецк

ПЕРЕРАБОТКА И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ТВЕРДЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ПЛАМЕГАСЯЩЕГО МАТЕРИАЛА

Досліджені умов переробки відпрацьованих катализаторів в матеріали для гасіння полум'я. Запропонований спосіб переробки відпрацьованих катализаторів, який включає процеси дроблення, помелу і термічної обробки.

Conditions of processing of the fulfilled catalysts in materials for flame clearing are investigated. The way of processing of the fulfilled catalyst which includes processes of crushing, grinding and thermal processing is offered.

Постановка проблемы.

Гашение пламени в замкнутом объеме (трубе) известными методами сопровождается выбросом газового потока, загрязненного огнегасящим веществом, за пределы технологической схемы, обычно в атмосферу [1].

Во многих случаях взрывобезопасность может быть обеспечена с помощью различных типов огнепреградителей. Они находят широкое применение в химической, нефтяной, нефтехимической, угольной и других отраслях промышленности. Огнепреградители устанавливаются в трубопроводах, по которым транспортируются смеси горючих газов или паров горючих жидкостей с воздухом, на емкостях с легко воспламеняющимися жидкостями, на ацетиленовых генераторах и многих других установках, где существует опасность взрыва. В качестве материалов для огнепреградителей обычно используются насадки из шариков, гофрированные ленты, проволочные сетки, сухие и орошаемые кольца Рашига, металлокерамические фильтры, а также водяные огнепреградительные затворы. Используемые в промышленной практике огнепреградители локализуют горение, но не гасят его [2].

Подобные конструкции огнепреградителей не решают проблему непрерывности потока. Для гашения пламени прерывают поток горючей смеси, направив его в атмосферу, или останавливают газоподводящее оборудование, что приводит к дополнительным материальным и энергетическим затратам