

К.Л. ШПИЛЕВОЙ

(Украина, Мариуполь, ПАО "ММК им. Ильича"),

Ю.С. МОСТЫКА, д-р техн. наук, **В.Ю. ШУТОВ**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

Л.В. ШПИЛЕВОЙ, канд. техн. наук

(Украина, Мариуполь, ООО "ПСП "Азовинтэкс")

ДЕЗИНТЕГРАЦИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ НА ОСНОВЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

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.

Проблема значительного увеличения выпуска полевошпатовых и кварц-полевошпатовых концентратов для растущего 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-полевошпатаредкометаллических руд, общие запасы полевошпатовых материалов на котором (только по первой залежи) оцениваются примерно в 6-8 млн т [2], а также техногенное месторождение отходов 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 доизмельчение руды (для техногенного месторождения лежалых хвостов); оттирку в оттирочных машинах железосодержащих пленок на поверхности минералов; гравитационное разделение тяжелых и легких фракций на винтовых сепараторах; флотационное или магнитное выделение железосодержащих минералов; флотационное выделение редкометаллического концентрата [5]. Между

Підготовчі процеси збагачення

тем, близкие физические и химические свойства основных породообразующих минералов (микроклина, нефелина, альбита), невысокая контрастность технологических свойств с акцессорными минералами – цирконом и пироксеном, – не позволили пока создать простую и конкурентоспособную технологию, обеспечивающую как необходимое качество полевошпатовых концентратов, в том числе концентрата с низким содержанием оксидов железа и требуемым калиевым модулем так и высокое извлечение селективных концентратов, при этом 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 гидроциклонами. Измельчение в таких мельницах осуществляется за счет раздавливания 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 зерен породообразующих минералов, втиранию загрязняющих примесей в верхний слой поверхности зерен полевошпатовых минералов. Очистка полевошпатового сырья магнитными методами становится малоэффективной. С другой стороны, теряется значительная часть ценного продукта – ниобия. Образование примазок на поверхности зерен полевошпатовых минералов является причиной нестабильных показателей флотационного или магнитного процессов разделения минералов. Барабанные стержневые и шаровые мельницы, несмотря на свою простоту и надежность, отличаются повышенным удельным расходом электроэнергии, так как КПД их не превышает нескольких процентов [8].

Для классификации измельченного материала или получения обогащенного продукта нескольких сортов в практике обогащения полевошпатовых 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 полевошпатового сырья является нерешенным 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 в слое материала 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.

Підготовчі процеси збагачення

Минеральный состав укрупненной пробы руды: микроклин – 38,7-42,7(38,5)¹%, альбит – 24,0-50,3(30,0)%, нефелин – 19,2-21,1(16,1)%, глинистые минералы – 1,5-2,3(4,0)%, лепидомелан – 3,15-4,8(4,7)%, эгирин – 3,4-5,6(4,45)%, гидроксиды железа – 0,1-0,4(1,2)%, циркон – 0,45-0,75(0,35)%, пироксиды – 0,20-0,37(0,14)%, прочие – 0,7(2,25)%.

Микроклин находится в виде зерен, преимущественно величиной 0,3-1,0 мм. В его составе содержится 12,0-13,5% оксида калия и 1,5-2,5% оксида натрия. Кристаллы альбита преимущественно крупностью 0,2-0,5 мм. В его составе содержится 10 % оксида натрия. Количество пленочного гидроксидов 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 величиной 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. Твердость микроклина по шкале Мооса – 6,5; альбита и нефелина – 6,0.

Поверхность зерен минералов покрыта пленками (корками) глинисто-слюдистых железистых агрегатов, снижающих качество полевошпатового материала. Гидроксиды железа, каолинит, а также биотит, лепидомелан, эгирин и магнетит являются вредными минеральными фазами, которые необходимо удалить при обогащении полевошпатового сырья для получения качественного концентрата. Удаление минералов с четко выраженными магнитными свойствами является стандартной технологической операцией в практике обогащения минерального сырья. Более сложной задачей является удаление пленок гидроксидов железа с поверхности зерен минералов. Такие пленки хотя и являются магнитными, требуют отделения от зерен минералов путем интенсивной оттирки.

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

В практике обогащения кварц-полевошпатового 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 полевых шпатов от кварца путем избирательного измельчения основывается на меньшей механической прочности полевых шпатов 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 (на-

¹ В скобках приведен минералогический состав лежалых хвостов

Підготовчі процеси збагачення

триевый 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 измельчения 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 отработки 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 полевых 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 (циркон, пироксид) в свободном состоянии присутствуют только в классах (0,125-0,315 мм) и шламах (-0,125 мм). Дифференциация материала руды по крупности создает предпосылки для применения классификации как метода обогащения.

Таблица 1

Крупность, мм	Гранулометрический состав нефелиновых сиенитов	
	Остаток материала на сите, % мас.	
	Измельчение в шаровой мельнице	Измельчение в валковой дробилке
+2,0	0,2	3,0
+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	6,0
-0,075	16,0	1,3
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. 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 –

Підготовчі процеси збагачення

0,125 мм. В качестве такого оборудования для дезинтеграции материала выбрана валковая дробилка ООО "НПО Минералтехника" (г. Днепропетровск). Измельчение материала в валковой дробилке происходит в слое материала. Слой частиц образуется между двумя встречно вращающимися валками с загрузкой навалом. Между этими валками слой частиц спрессовывается. В ходе этого компрессионного процесса материал измельчается с большой долей тонкоизмельченных частиц, уплотненных в зерна.

Процесс измельчения можно представить в виде двух этапов. На первом этапе с загрузкой навалом материал, подающийся в пространство между валками, подвергается ускорению для достижения скорости вращения периферийного валка. Вследствие сужения пространства между валками материал постепенно прессуется, и происходит предварительное дробление больших кусочков и частиц. Кроме того, происходит в некоторой степени перераспределение частиц по крупности, в результате чего заполняется пространство между частичками. На следующем этапе предварительно раздробленный материал поступает в зону вторичного дробления, которая содержит щель между валками. Сила сжатия действует в основном на все частицы, проходящие через эту зону, за счет многократного сопряжения частиц в слое материала. В результате происходит измельчение большинства частиц.

В ходе этого процесса в частицах образуются микротрещины, что способствует их ослаблению для последующего этапа дробления. Сжатие в слое частиц снижает износ, поскольку основное дробление происходит не между поверхностью валка и материалом, а между частицами материала в слое частиц. Исследования, выполненные нами на дробилке типа ДВ-0,3/0,4, 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 7-8%).

Такой вид дезинтеграции позволил 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 0,3-0,4 до 0,05-0,07%.

Дробление исходной пробы выветренных нефелиновых сиенитов проходило в следующем режиме: частота вращения валков дробилки – 200 с^{-1} , производительность дробилки – 5,0 т/час.

Таблица 2

Элемент	Всего, %	Химический анализ укрупненной пробы руды						
		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	8,90	8,40	5,24	4,7	3,99
Na ₂ O	4,91	3,75	3,77	3,80	4,00	5,77	5,80	5,97
K ₂ O/ Na ₂ O	1,26	2,66	2,47	2,34	2,1	0,91	0,81	0,67
Fe ₂ O ₃	4,06	2,99	3,10	4,28	3,95	3,76	4,32	4,45
Nb ₂ O ₅	0,096	0,06	0,07	0,08	0,09	0,14	0,18	0,24

Классификация на центробежном статическом воздушном классификаторе, работающем в замкнутом цикле с валковой дробилкой, проводилась в трех раз-

Підготовчі процеси збагачення

ных режимах перечистки крупной и мелкой фракций. В классификаторе осуществлялось разделение сухого материала по крупности, морфологии частиц и плотности. При всех режимах работы производительность дробилки и классификатора оставалась неизменной.

Разработанная технологическая схема обогащения учитывает все особенности вещественного состава лежалых хвостов: их ожелезненность, агрегатное 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 валковой дробилке. Второе важное условие для эффективного разделения минералов – классификация на узкие классы крупности, – достигнуто с помощью центробежного статического воздушного классификатора. Третье необходимое условие – обезжелезнение полевошпатового концентрата, – выполнено с помощью сухой магнитной сепарации на сепараторах с сильными NdFeB магнитами.

При разработке технологического регламента обогатительной фабрики с учетом принятой ее годовой производительности к использованию рекомендованы валковая дробилка типа ДВ-0,8/0,6 и магнитные сепараторы с сильным полем, а также центробежный статический воздушный классификатор КЦС компании "Ламел-777" (Белоруссия). 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 валковой дробилке с последующей классификацией в гравитационно-воздушном классификаторе и магнитной сепарации узкоклассифицированного 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-полевошпат-редкометаллических руд на валковые дробилки обеспечивает избирательное (селективное) раскрытие минерального комплекса и оптимальную степень дезинтеграции материала.

2. Классификация полевошпатового сырья по крупности 0,315 мм обеспечивает получение двух сортов полевошпатового концентрата: кали-шпатового с модулем 2,29 и натриевого с модулем 0,81.

3. Две стадии магнитной сепарации в слабом (0,4 Тл) и сильном поле (1,2 Тл), и перечистка немагнитной фракции в поле с напряженностью 1,6 Тл обеспечивают получение полевошпатового концентрата с содержанием оксидов железа на уровне 0,28-0,30%.

Підготовчі процеси збагачення

Список літератури

1. Тихонов Е.А., Попова Р.М., Бабушкина И.А. Получение нефелин-полевошпатового концентрата из мариуполитов УКЩ для получения тонкой керамики: Межотраслевая информация. – М.: Из-во ВИЭМС, 1973. – 32 с.

2. Чернієнко Н. Геолого-економічні критерії комплексного освоєння Мазурівського родовища польовошпат-нефелін-рідкіснометалевих руд Приазов'я // Геолог України. – 2008. – № 3. – С. 32-43.

3. Мостика Ю.С. Обґрунтування геолого-економічних, технологічних та екологічних можливостей промислового освоєння техногенного родовища польовошпатової сировини // Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини / Під ред. Л.С. Галецького. – К.: Ін-т геол. Наук НАН України, 2005. – С. 219-222.

4. Ревнивцев В.И. Обогащение полевых шпатов и кварца. – М.: Недра, 1970. – 128 с.

5. Зубков Л.Б., Чистов Л.Б., Зубинин Ю.Б. Оценка минерально-технологических закономерностей комплексной переработки богатых ниобий-циркониевых руд октябрьского месторождения отче по НИР по теме № 4-83-155 (16/17-440). – М.: ГИРЕДМЕТ, 1984. – 147 с.

6. Полькин С.И. Обогащение руд и россыпей редких металлов. – М.: Недра, 1967. – 475 с.

7. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1977 –368 с.

8. Ревнивцев В. И. Селективное измельчение минералов. – М.: Недра, 1988. – 328 с.

© Шпилевой К.Л., Мостыка Ю.С., Шутов В.Ю., Шпилевой Л.В., 2012

Надійшла до редколегії 05.03.2012 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким