

¹ ООО «Русская корона», г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.1:622.778.017.2

СУХОЕ ОБОГАЩЕНИЕ КИАНИТОВЫХ РУД

Изучен процесс обогащения кианитовых руд по сухой технологии. Способ позволяет снизить энергопотребление с 300–400 до 15–25 кВт·ч/т по сравнению с методом флотации. Сухая электрическая сепарация позволила получить концентраты с содержанием 59–60 % Al_2O_3 с одновременным выпуском чистого кварца («хвосты»).

Ключевые слова: кианит, обогащение, энергоэффективность, электрическая сепарация.

Метастабильные минералы группы силлиманита (андалузит, силлиманит и кианит) с общей формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ и теоретическим содержанием Al_2O_3 и SiO_2 , равным 62,9 и 37,1 мас. % соответственно, широко используются в качестве алюмосиликатного сырья в огнеупорной промышленности. Андалузит, силлиманит и кианит при обжиге увеличиваются в объеме на 4, 8 и 16–18 %, в силу чего первые два минерала непосредственно применяют в производстве огнеупоров, в то время как кианит необходимо предварительно обжигать.

Большая часть эксплуатируемых в мире месторождений метастабильных минералов разрабатывается открытым способом. Добыча ведется при среднем содержании в рудах полезного компонента 10–15 % и запасах сырья в 1 млн т. Методы обогащения включают дробление, классификацию, разделение по плотности и флотацию (как наиболее эффективный способ получения высококачественных концентратов). Коммерческий продукт содержит 56–59 % Al_2O_3 , 38–40 % SiO_2 и менее 3 % примесей.

Основными производителями концентратов минералов силлиманитовой группы являются ЮАР, США, Индия, Франция, Бразилия. В России большие запасы кианита имеются на Урале и в Карелии. Прогнозируемые ресурсы кианита Карабашского месторождения оцениваются в 10 млн т при содержании по минералу ~25 %, объем руды соответствует примерно 40 млн т.

Мокрое обогащение по своей природе неизбежно связано с большим расходом воды, а последующая сушка концентрата требует использования тепла для удаления влаги. Использование воды и топлива неизбежно отрицательно сказывается на экономике производства. Поэтому исключение мокрого обогащения и замена его сухим способом является актуальной проблемой в переработке кианитового концентрата.

В России основной способ обогащения кианитовых руд базируется на флотационном методе с использованием флотореагентов для удаления сульфидов в голову процесса с последующей флотацией кианита из хвоста сульфидной флотации. Реагенты сульфидной флотации — ксантогенат и аэрофол, кианитовой флотации — сульфонат в кислой среде (в присутствии серной кислоты). Число операций сульфидной флотации достигает шести [1, с. 203–207]. Отмечено, что усложняет флотацию присутствие сульфидов и графита.

Флотационная технология требует измельчения до ~50 % класса —0,071 мм, а также последующей сушки кианитовых концентратов от влажности 15–20 %. Хвосты в качестве перспективных кварцевых продуктов не рассматриваются.

По сухой технологии с использованием электросепарации измельчение осуществляют до крупности ~50 % —0,2 мм (100 % —0,315–0,4 мм). Сульфидные и графитовые минералы легко удаляются коронно-электростатической сепарацией, а сухие кварцевые хвосты становятся товаром для соответствующих отраслей промышленности. В ООО «Русская корона» разработана технология обогащения полезных ископаемых, в том числе кианитовых руд, с холодной сушкой и электросепарацией [2]. Способ позволяет снизить энергопотребление на обогатительный предел с 300–400 кВт·ч/т исходной руды при флотации до 15–25 кВт·ч/т [3]. При этом не используется вода, флотореагенты и органическое топливо, что обеспечивает полное отсутствие тепловых и реагентных выбросов.

Для проведения исследований на обогатимость по сухой технологии использовали представительную пробу следующего минерального состава, мас. %: кианит 27,0, кварц 70,0, мусковит, серицит 1,0, гранат 0,5, ильменит 1,0, гидрооксиды железа 0,5.

Для проведения испытаний исходную пробу измельчали до крупности $-0,315$ мм. В предварительных испытаниях [4] перед электросепарацией исходную пробу высушивали и нагревали до $100\text{--}150$ °С, как традиционно рекомендуется [5]. Схема испытаний включала сухую магнитную сепарацию в 2–3 приема. Результаты обогащения приведены в табл. 1, из которой следует, что при выходе ~ 27 % содержание Al_2O_3 в кианитовом концентрате составляет ~ 57 % (~ 90 % по киани-

ту). Хвосты при выходе 73 % содержат 1,5–1,8 % Al_2O_3 , 0,15 % Fe_2O_3 и 0,3 % TiO_2 . Извлечение кианита в концентрат составило $\sim 91,7$ %.

В табл. 2 приведены сравнительные результаты электросепарации черновых кианитовых концентратов при различных тепловых режимах сепарации. В опыте 1 исходный черновой концентрат кианита крупностью $-0,315 + 0,0$ мм подвергался пневмоэлектрической сепарации без нагрева при температуре воздуха ~ 18 °С и относитель-

Таблица 1. Результаты пневмоэлектрической сепарации кианитовой руды Карабашского месторождения, %

Продукты обогащения	Выход	Содержание				Извлечение кианита
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	
Концентрат кианита	27,0	57,0	38,2	0,60	0,4	91,7
Хвосты	73,0	1,5–1,8	96,2	0,15	0,3	8,3
Исходная руда	100,0	16,8	80,6	0,40	0,3	100,0

Таблица 2. Результаты пневмоэлектрической сепарации черновых кианитовых концентратов в зависимости от температуры и влажности

Опыт	Условия опыта*	Продукты сепарации	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		$E_{\text{кв.хв}}$
				Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	SiO_2	
1	$W_{\text{в}} = 8\text{--}10$ % $U_{\text{откл}} = 35$ кВ $\text{Ш}_{\text{к}} = 50$ мм $\text{Ш}_{\text{п.п}} = 80$ мм $\text{Ш}_{\text{хв}} = 30$ мм фракция $-0,315+0,0$ мм $t_{\text{м}} = 18$ °С $t_{\text{л}} = 18$ °С	Концентрат	26,20	58,43	38,20	27,40	25,20	22,80
		Промпродукт	58,50	57,24	38,20	59,80	56,10	
		Хвосты	15,30	46,80	48,50	12,80	18,70	
		Черновой концентрат кианита	100,00	56,00	39,78	100,00	100,00	
2	$W_{\text{в}} = 8\text{--}10$ % $U_{\text{откл}} = 35$ кВ $\text{Ш}_{\text{к}} = 50$ мм $\text{Ш}_{\text{п.п}} = 80$ мм $\text{Ш}_{\text{хв}} = 30$ мм фракция $-0,315+0,0$ мм $t_{\text{м}} = 140$ °С $t_{\text{л}} = 18$ °С	Концентрат	45,50	59,33	37,60	47,30	43,50	26,50
		Промпродукт	27,80	58,46	37,80	28,40	26,70	
		Хвосты	26,70	51,85	43,80	24,30	29,80	
		Черновой концентрат кианита	100,00	57,09	39,31	100,00	100,00	
3	Холодная вакуумная сушка $W_{\text{в}} = 8\text{--}10$ % $U_{\text{откл}} = 35$ кВ $\text{Ш}_{\text{к}} = 50$ мм $\text{Ш}_{\text{п.п}} = 80$ мм $\text{Ш}_{\text{хв}} = 30$ мм фракция $-0,315+0,0$ мм $t_{\text{м}} = 18$ °С $t_{\text{л}} = 18$ °С	Концентрат	43,00	59,62	37,70	44,80	40,70	34,20
		Промпродукт	32,80	59,41	37,60	34,10	31,00	
		Хвосты	24,20	49,80	46,70	21,10	28,30	
		Черновой концентрат кианита	100,00	57,17	39,78	100,00	100,00	

* $W_{\text{в}}$ — относительная влажность воздуха; $U_{\text{откл}}$ — величина напряжения (разность потенциалов) на отклоняющих электродах, создающих электростатическое поле; $\text{Ш}_{\text{к}}$, $\text{Ш}_{\text{п.п.}}$, $\text{Ш}_{\text{хв}}$ — размер (ширина) выпускных отверстий для концентрата, промпродукта и хвостов — продуктов сепарации; $t_{\text{м}}$ — температура исходной руды, подаваемой в сепаратор; $t_{\text{л}}$ — температура воздуха в лаборатории; $E_{\text{кв.хв}}$ — эффективность извлечения свободного кварца в хвосты; холодная вакуумная сушка — параметры реализации нового способа энергосберегающей сушки.

ной влажности воздуха 8–10 %. Трибоэлектризация частиц исходной смеси осуществлялась на сите по методике, описанной в статье [6].

Как видно, без нагрева веер сепарируемого продукта раскрывается недостаточно эффективно. Выход промпродуктовой фракции составляет 58,5 %. В опыте 2 при нагревании исходного материала (по методике [5]) выход концентрата возрастает от 26,2 до 45,5 % с одновременным увеличением в нем содержания Al_2O_3 до 59,3 %. Выход хвостов также возрастает от 15,3 (в опыте 1) до 26,7 % в опыте 2. Поэтому эффективность извлечения свободного кварца в хвосты при нагретом материале увеличивается до 26,5 %. В опыте 3 с «холодной» сушкой по новому способу [2] качество концентрата и промпродукта электросепарации по содержанию Al_2O_3 даже выше, чем при нагретом до 140 °С исходном питании во втором опыте. В результате эффективность извлечения свободного кварца в хвосты становится самой высокой в серии и достигает 34,2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования сухой технологии электрической сепарации кианитовых руд, позволившие получить концентраты с содержанием 59–60 % Al_2O_3 (до 95 % по минералу) и ~37–38 % SiO_2 с одновременным выпуском чистых кварцевых хвостов. Установлено, что удельные энергозатраты по сухой технологии снижаются до 15–25 кВт·ч/т при одновременном резком снижении отходов производства за счет исключения по-

требления в технологии воды, флотореагентов и органического топлива.

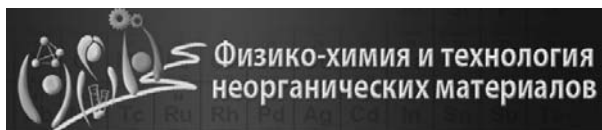
Библиографический список

1. **Каменева, Е. Е.** Обогащение минерального сырья Карелии / *Е. Е. Каменева, Л. С. Скальницкая*. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. — 230 с.
2. **Заявка 2012113683 РФ.** Способ обогащения полезных ископаемых / *Урванцев А. И., Урванцев И. А., Урванцев Д. А.*; заявл. 11.04.12.
3. **Урванцев, А. И.** Физические основы и современная техническая реализация энергосберегающих технологий ОПИ / *А. И. Урванцев* // Плаксинские чтения — 2011: материалы междунар. совещ. (Верхняя Пышма, 19–24 сент. 2011 г.). — Екатеринбург: Форт-Диалог-Исеть, 2011. — С. 295–297.
4. **Урванцев, А. И.** Результаты исследований и практика обогащения минерального сырья электрической сепарацией / *А. И. Урванцев, Н. В. Шихов, Г. В. Зайцев* // Изв. вузов. Горный журнал. — 2005. — № 5. — С. 37–51.
5. Твердые негорючие полезные ископаемые. Технологические методы исследования минерального сырья. Электрические методы обогащения / СТО ГосГЕО 08-004–98. — М.: РосГео. — 30 с.
6. **Урванцев, А. И.** Об особенностях трибоэлектрической зарядки частиц в пневмоэлектрических сепараторах / *А. И. Урванцев* // Совершенствование процессов электросепарации и конструкций электросепараторов: междувед. сб. — Л.: Механобр, 1987. — С. 36–46. ■

Получено 04.02.13

© А. И. Урванцев, И. Д. Кашеев, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



V международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»

На конференции планируется обсудить и обобщить весь спектр результатов исследований в области прочности, деформации и разрушения материалов и наноматериалов. В рамках проведения конференции будут проведены семинары и выставка, знакомящие участников и гостей конференции с новейшими образцами оборудования для исследования структуры, процессов деформации и разрушения материалов и наноматериалов. К открытию конференции будет выпущен сборник трудов.

Контакты:

Сайт конференции: <http://www.dfmn.imetran.ru>

E-mail: dfmn@imetran.ru

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, 49

26–29 ноября 2013 г.

Москва, ФГБУН «Институт металлургии
и материаловедения им. А. А. Байкова РАН»