

К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), М. Ю. Турчин², К. Т. Н. М. И. Назмиев²,
Е. В. Мануйлова², И. И. Галиханов²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

УДК 622.7.017.2:666.762.3

ОБОГАЩЕНИЕ МАГНЕЗИТА САТКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕНТГЕНОТРАНСМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

В АО «Комбинат «Магнезит» проведена опытно-промышленная апробация технологии сепарации магнетита Саткинского месторождения с использованием рентгеноотрадиационного сепаратора XSS(T) 100. При «сухом» способе обогащения рентгеноотрадиационным методом получены положительные результаты. Отработана методика обогащения магнетитового сырья различного качества с получением магнетита (содержание SiO_2 не более 1,1 %; CaO не более 2,1 %), соответствующего требованиям производства рядовых марок изделий основного состава.

Ключевые слова: магнетит, обогащение, рентгеноотрадиационный метод, концентрат, хвосты обогащения.

В природном магнетите месторождений Саткинской группы присутствуют примеси доломита, кальцита, кварца, диабазы, железосодержащих минералов и др. Особенно вредны примеси минералов, содержащих оксиды кремния и кальция, которые образуют в процессе обжига магнетита легкоплавкие соединения.

Технология обогащения магнетитовых руд Саткинского месторождения в тяжелых водных суспензиях с получением концентрата применяется с 70-х годов прошлого века [1–3]. Получение качественного сырья для производства огнеупорной продукции осуществляется на участке обогащения дробильно-обогатительной фабрики (ДОФ) путем разделения магнетита и пустой породы в суспензии, имеющей промежуточную плотность. Однако в общем объеме сырого магнетита, поступающего на участок, зачастую присутствует магнетит, содержание кремния и кальция в котором не позволяет использовать конечный продукт для производства изделий. Это происходит из-за того, что магнетит, содержащий допустимый уровень кремния и кальция, и магнетит, который является некондиционным по содержанию этих веществ, характеризуются практически идентичной плотностью. К недостаткам технологии тяжелосредного обогащения следует также добавить необходимость приобретения ферросилиция, постоянной подготовки суспензии ферросилиция, затраты на воду и электроэнергию, необходимость утилизации шлама [4].

Кроме того, проявляется тенденция к ухудшению качественных характеристик запасов и вовлечению в эксплуатацию месторождений, представленных бедными рудами, важно также уменьшать техногенные отвалы. Переработка подобных руд методами «глубокого» обогащения, а к ним относится и тяжелосредное обогащение, становится экономически нецелесообразной в силу того, что на процессы дробления и измельчения горной массы (первая стадия «глубокого» обогащения) приходится до 70 % энергии, затрачиваемой на весь процесс обогащения. При этом измельчается значительное количество пустой породы [5].

В связи с этим необходим пересмотр технологии рудоподготовки с организацией предварительной крупнукосовой сортировки без использования воды. К стадии предварительной сортировки предъявляется ряд требований: большая производительность, малая энергоемкость, возможность переработки материала широкого диапазона крупности, экологическая безопасность, минимальные потери полезного компонента.

Наиболее перспективным путем решения задачи является применение рентгеноотрадиационных методов обогащения минерального сырья [6], в процессе которого решаются следующие технологические задачи:

- предварительная сортировка горной массы;
- выделение крупнукосовых хвостов;
- получение товарного крупнукосового концентрата;
- разделение горной массы на технологические типы и сорта, переработку которых целесообразно проводить по различным схемам обогащения.



Л. М. Аксельрод
E-mail: lakselrod@magnezit.com

В процессе поиска альтернативы тяжело-среднему обогащению и оптимизации технологии извлечения из магнетитовой руды концентрата (содержание SiO_2 не более 1,1 %, CaO не более 2,1 %), используемого для производства рядовых марок изделий, специалисты АО «Комбинат «Магnezит» проверили возможность применения для этой цели сепаратора фирмы «Steinert Elektromagnetbau GmbH», Германия, сортировка в котором осуществляется рентгено-трансмиссионным методом.

Задачей выполненных опытно-промышленных испытаний сепарации магнетитовой руды было получение технологических показателей обогащения двух фракций — крупностью 150–60 и 60–8 мм. Проведена сепарация пяти геотехнологических типов руд, а также сделан выбор оптимальных режимов настройки агрегата для каждого из исследуемых типов.

Для проведения опытно-промышленных испытаний без остановки работы по действующей технологии обогащения магнетитовой массы в тяжелых средах специалистами ООО «Группа «Магnezит» разработаны проект и рабочая документация технологии сухого обогащения различных типов руд Саткинского месторождения.

Рентгено-трансмиссионный сепаратор установлен параллельно крупной секции обогащения, для его работы смонтированы дополнительно тракт для подачи сырья на сепаратор и тракт для выхода хвостов обогащения и концентрата.

Метод является проникающим и позволяет определять куски со скрытой минерализацией. Рентгено-скопическая система сортировки сепаратора основывается на принципе трансмиссии рентгеновских лучей; т. е. рентгеновские лучи просвечивают сортируемый материал и камера, чувствительная к рентгеновским лучам, определяет интенсивность излучения, проходящего через материал. Оценивается разница между входящим и исходящим излучением, что и позволяет сделать заключение о качестве (структуре) просвечиваемого материала. Рентгено-трансмиссионные сепараторы для разделения минерального сырья по принципу действия аналогичны сканирующим системам, применяемым, например, службами безопасности при досмотре багажа в аэропортах. Быстро движущаяся лента транспортера обеспечивает надежное разделение кусков сепарируемого материала между собой. При прохождении частиц материала через источник рентгеновского излучения и рентгеновскую камеру в доли секунды осуществляется их идентификация и классификация в соответствии с предварительной настройкой программного обеспечения. Надежные, быстро функционирующие пневматические клапаны обеспечивают четкое отделение частиц пустой породы (хвостов обогащения) от концентрата. Полученные данные переводятся в графическо-

цветовой вид и анализируются компьютерной программой, разработанной компанией «Steinert Elektromagnetbau GmbH» (рис. 1).

Отработка технологии рентгено-трансмиссионного сепарирования включала следующие этапы:

- отбор минералогических составляющих магнетитовой руды фракций 150–60 и 60–8 мм, их измерение на сепараторе рентгено-трансмиссионным методом с получением рентгенограмм для каждой минералогической фракции;
- определение наиболее эффективного разделительного признака, оптимальных значений границ сортировки, разработка программы сортировки магнетитовой руды для автоматизированной системы управления сепаратора;
- тестовая сепарация — проверка правильности разработанной программы в процессе испытаний;
- опытно-промышленные испытания магнетитовых руд различных геотехнологических типов (марки ММПО*¹, ММПОВ*², некондиционный магнетит) в отделении обогащения ДОФ с отбором проб концентрата и хвостов сепарации.

В целом процесс сепарации показан на рис. 2.

Исходный материал с помощью дозирующего устройства попадает на вибропитатель, который равномерно «раскладывает» его в монослой на конвейер сортировочного агрегата. При этом куски магнетитовой руды расположены отдельно друг от друга. Материал транспортируется на конвейере со скоростью до 2,75 м/с. Далее руда

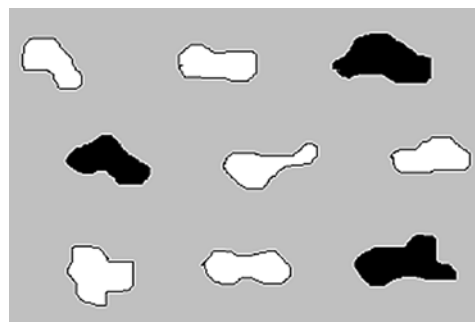


Рис. 1. Цветовая обработка сигналов, полученных от детектора: белое — концентрат; черное — хвосты

*¹ ММПО — магнетитовая масса, засоренная доломитом и диабазом, идущая на обогащение для получения концентрата марки МИ (магнетитовой массы, предназначенной для производства изделий) и частично фракции 8–0 мм марки МП (магнетитовой массы, предназначенной для производства порошков).

*² ММПОВ — магнетитовая масса, засоренная магнетитом, содержащим тальк, кварц, кальцит, арагонит и другие «вредные» минералы, идущая на обогащение для получения концентрата марки МИ и частично фракции 8–0 мм марки МП.



Рис. 2. Принципиальная схема работы сепаратора XSS(T) 100

проходит через систему рентгеновского облучения и датчик сканирования рентгеновских лучей, прошедших через кусок магнетитовой руды. После получения данных о каждом куске на основании установленного порога система принимает решение об отсечке куска или его пропуске. Система отсечки и разделения работает на сжатом воздухе от установленного компрессора. При сепарации получаются два продукта (потока): один поток движется по траектории, заданной конвейером, второй — по измененной траектории, заданной воздушным потоком от форсунок. Потоки разделяет регулируемое шибровое устройство.

В ходе пусконаладочных работ и тестовых запусков сепаратора XSS(T) 100 были отобраны представительные пробы по 1,5 т фракции 150–60 мм от трех типов сырья: карьерной и шахтной магнетитовой массы ММПОв и некондиционной магнетитовой руды из специального отвала. Проведен отбор представительных проб от каждого типа руды фракции 150–60 мм для изучения контрастности: ММПОв из карьера — 142 куска, ММПОв из шахты — 134 куска; некондиционной магнетита — 114 кусков.

Во время тестовых испытаний оценивали режимы настройки сепаратора по выходу и по качеству продуктов разделения, определяли оптимальные параметры его работы. Магнетитовую руду фракции 150–60 мм подавали на сепаратор после предварительной отмывки шлама на грохоте. Установлено, что после промывки сырья на грохоте на поверхности кусков остаются несвязанная вода и шлам с размером частиц до 3 мм, при дальнейшем движении руды от грохота до сепаратора последняя проходит через приемное пересыпное устройство надрешетного класса

грохота и перегрузочное пересыпное устройство с конвейера на питатель сепаратора. Оборудование расположено со значительными перепадами высот, что приводит к дополнительному разрушению кусков и образованию дополнительного шлама при его падении.

Образованный шлам и несвязанная вода при попадании на конвейерную ленту сепаратора вызывают высокий абразивный износ резины очистительного скребка ленты сепаратора. Скребок предотвращает накопление водно-шламовой массы и мелкокускового материала в зоне рентгеновского детектора. Износ скребка не позволяет стабильно работать в течение продолжительного времени, поэтому апробирована сепарация сырья без подачи воды на грохот. Такая технология оказалась эффективной.

Опытно-промышленные испытания выполняли при режимах, подобранных в ходе тестовых испытаний. В результате на сепараторе XSS(T) 100 было проведено опытно-промышленное обогащение магнетитовой массы марки ММПОв фракции 150–60 мм; магнетитовой массы марки ММПО фракции 150–60 мм и некондиционного магнетита фракций 150–60 и 60–8 мм. В процессе испытаний отработывали технологию получения магнетитового концентрата с содержанием SiO_2 не более 1,1 % и CaO не более 2,1 % при содержании кондиционного магнетита марки МИ в хвостах не более 5 %. В ходе испытаний изменяли производительность питания (регулировали подачу сырья с помощью напряжения), показатель MD^{*3} , показатель Size^{*4} , изменяли положение разделительного шибера продуктов сепарации.

Массу выхода концентрата и хвостов оценивали по данным конвейерных весов отделения обогащения ДОФ. Данные поступают на пульт управления диспетчера и оператора ДОФ. Для определения химического состава полученного концентрата обогащения отбирали пробу после дробления до фракции 40–0 мм с ленточных кон-

^{*3} MD (Min Density) — величина порога разделения (измеряется в процентах, регулируется от 0 до 100). Характеризует степень поглощения рентгеновского излучения обогащаемым материалом, в данной работе магнетитом. Чем больше в куске магнетита, тем больше поглощение, поэтому с увеличением содержания магнетита «окраска куска» ослабевает, неокрашенный материал принимается как полезный продукт. На дисплее установки это визуально наблюдается в виде изменения окраски каждого проходящего куска магнетитовой руды. После определения величины, %, окрашенной площади принимается решение, будет ли не будет изменена траектория движения куска сжатым воздухом из форсунки.

^{*4} Size (S) — параметр, регулирующий минимальный размер частицы, обрабатываемой программой сепаратора, и позволяющий проводить отстрел (отдув) материала. Частицы материала меньше данного размера не отстреливаются (если отстреливаются хвосты) и попадают в концентратный продукт. $S = 1$ — это 0,66 пикселя на 1 мм².

вейеров по следующей схеме: после сепарации на XSS(T) 100 полученный концентрат (фракции 150–60 или 60–8 мм) поступал в бункер концентрата отделения обогащения, после накопления бункера материал подавали в конусную дробилку для дробления до фракции 40–0 мм; при дроблении отбирали частные пробы концентрата с соответствующего ленточного конвейера (периодичность отбора — каждые 2–5 мин в зависимости от количества материала в бункере). Масса каждой частной пробы составляла 10–15 кг. Каждую пробу дробили, усредняли и определяли химический состав.

Полученные хвосты обогащения отбирали с помощью специально смонтированного пробоотборника с соответствующей ленты сепаратора XSS(T) 100. Из каждой частной пробы выбирали магnezит для определения его количественного содержания в хвостах и химического состава. Результаты обогащения магnezита на сепараторе XSS(T) 100 приведены в табл. 1.

В исходной магnezитовой массе марки ММПОв, подаваемой на сепарацию, содержание примесных оксидов значительно колебалось, в отдельные периоды масса была представлена некондиционным магnezитом, так как содержание SiO₂ в ней достигало 8,3 %, CaO — 8,8 %. Оптимальными параметрами обогащения являются такие, при которых выход полезного продукта не

менее 50 %. При обогащении магnezитовой массы марки ММПОв фракции 150–60 мм получен концентрат, соответствующий магnezиту марки МИ, выход продукта составил 83–86 %. При тяжелосредном обогащении ММПОв+ММПО фракции 150–8 мм выход концентрата 61–62 %.

По результатам извлечения SiO₂ (71–74 %) в полезный продукт при обогащении сырья на сепараторе XSS(T) 100 в концентрат «уходит» больше кремнийсодержащих минералов, чем при тяжелосредном обогащении (извлечение 42–52 %). В отношении извлечения CaO, наоборот, эффективность отделения кальцийсодержащих минералов несколько выше при обогащении на рентгено-трансмиссионном сепараторе (19–29 %) по сравнению с обогащением в тяжелых средах (26–27 %).

При обогащении на сепараторе некондиционного магnezита фракций 150–60 и 60–8 мм получен концентрат (табл. 2), соответствующий магnezиту марки МИ. Выход концентрата 75–80 % для фракции 150–60 мм и 63–74 % для фракции 60–8 мм.

При сортировке некондиционного магnezита на сепараторе извлечение CaO в полезный продукт находится на низком уровне, так же как и при сортировке ММПОв. Данный факт подтверждает, что с помощью рентгено-трансмиссионного метода обогащения саткинский кристаллический магnezит хорошо «чистится» от кальцийсодержащих примесных минералов. При сепара-

Таблица 1. Результаты обогащения саткинского магnezита на рентгено-трансмиссионном сепараторе XSS(T) 100

Производительность, т/ч	Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
			SiO ₂	CaO	SiO ₂	CaO
58	Концентрат	83	1,05	1,63	71	29
	Хвосты	17	2,11	19,50	29	71
	Исходный	100	1,23	4,67	100	100
25	Концентрат	86	0,90	0,80	74	19
	Хвосты	14	2,01	21,60	26	81
	Исходный	100	1,05	3,71	100	100

Таблица 2. Результаты обогащения некондиционного магnezита ММПОв фракций 150–60 и 60–8 мм на рентгено-трансмиссионном сепараторе XSS(T) 100

Производительность, т/ч	Фракция, мм	Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
				SiO ₂	CaO	SiO ₂	CaO
54,9	150–60	Концентрат	75	0,45	1,98	41	20
		Хвосты	25	1,93	23,60	59	80
		Исходный	100	0,82	7,40	100	100
33,5	150–60	Концентрат	80	0,91	1,98	55	30
		Хвосты	20	2,96	18,10	45	70
		Исходный	100	1,32	5,20	100	100
20,7	60–8	Концентрат	74	0,64	1,75	55	30
		Хвосты	26	1,48	11,50	45	70
		Исходный	100	0,85	4,30	100	100
25,3	60–8	Концентрат	63	1,04	1,61	54	17
		Хвосты	37	1,51	13,00	46	83
		Исходный	100	1,22	5,82	100	100

Таблица 3. Минералогические фракции в хвостах, полученных при обогащении некондиционного магнезита

Фракция, мм	Разновидность по цвету	Содержание, %	Массовая доля, %	
			SiO ₂	CaO
150–60	Магнезит:			
	светлый	46,0	3,40	8,9
	желтый+коричневый (выветрелый)	9,5	0,65	11,5
	серый	17,1	0,68	6,0
	Доломит	27,4	6,20	26,9
60–80	Магнезит:			
	светлый	58,0	0,80	3,6
	желтый+коричневый (выветрелый)	7,5	3,44	10,3
	серый	16,7	1,07	6,6
	Доломит	17,8	5,28	25,4

ции некондиционного магнезита извлечение SiO₂ в полученный концентрат ниже (41–55 %), чем при обогащении ММПОв (71–74 %). Полученные хвосты обогащения фракций 150–60 и 60–8 мм были рассортированы по разновидностям, для каждой разновидности определен качественно-количественный выход (табл. 3).

Согласно полученным данным хвосты обогащения представлены в основном доломитом и доломитизированным магнезитом, при этом и магнезит, и доломит включают SiO₂-содержащие минералы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На Саткинской производственной площадке ООО «Группа «Магнезит» для оценки перспективности замены тяжелосреднего обогащения, а также получения из некондиционного магнезита качественного сырья, содержащего не более 1,1 % SiO₂ и не более 2,1 % CaO, выполнен комплекс исследований по определению возможности использования технологии сепарации рентгенотрансмиссионным методом.

Проведены опытно-промышленные испытания сепарации магнезитовой руды с целью получения технологических показателей обогащения двух фракций (150–60 и 60–8 мм) при сепарации пяти геотехнологических типов руд, а также выбора оптимальных режимов настройки для каждого из исследуемых типов.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. **Симонов, К. В.** Обогащение магнезита в тяжелых суспензиях / К. В. Симонов, В. П. Коптелов, Ю. В. Мокшанцев [и др.] // Огнеупоры. — 1978. — № 1. — С. 31–37.
3. **Рудных, Т. Г.** Внедрение технологии раздельного обогащения магнезитов на комбинате «Магнезит» / Т. Г. Рудных, Л. П. Кириллов, Ю. Н. Чистяков, Е. П. Мезенцев // Огнеупоры. — 1991. — № 3. — С. 11–13.
4. **Перепелицын, В. А.** Рентгенорадиометрическое обогащение огнеупорного минерального сырья / В. А.

При обогащении магнезитовой массы марки ММПОв фракции 150–60 мм на сепараторе XSS(T) 100 получен концентрат, соответствующий магнезиту марки МИ, выход продукта 83–86 %. При тяжелосреднем обогащении ММПОв+ММПО фракции 150–8 мм выход концентрата 61–62 %.

При рентгенотрансмиссионном обогащении в концентрат, судя по извлечению SiO₂, «уходит» больше кремнийсодержащих минералов (71–74 %), чем при тяжелосреднем обогащении (42–52 %). В отношении извлечения CaO, наоборот, эффективность отделения кальцийсодержащих минералов несколько выше при обогащении на сепараторе (19–29 %), чем при обогащении в тяжелых средах (26–27 %).

После обогащения некондиционного магнезита фракций 150–60 и 60–8 мм также получен концентрат, соответствующий магнезиту марки МИ. Выход концентрата 75–80 % для фракции 150–60 мм и 63–74 % для фракции 60–8 мм.

В ходе проведенных опытно-промышленных испытаний магнезитовых руд Саткинского месторождения на рентгено-трансмиссионном сепараторе XSS(T) 100 при «сухом» способе обогащения получены положительные результаты. Из сырья различного качества был получен магнезитовый концентрат (содержание SiO₂ не более 1,1 %, CaO не более 2,1 %), соответствующий требованиям производства изделий рядовых марок.

Перепелицын, В. С. Шемякин, С. В. Скопов [и др.] // Новые огнеупоры. — 2009. — № 4. — С. 13–14.

5. **Чантурия, В. А.** Перспективы устойчивого развития горнодобывающей индустрии России / В. А. Чантурия // Горный журнал. — 2007. — № 2. — С. 2–9.

6. Проведение оценочных работ по возможности обогащения магнезитовых руд Саткинского месторождения с использованием рентгенотрансмиссионного метода сепарации : информационный отчет. ЗАО «НПП ГЕОТЕСТСЕРВИС». — Москва, 2013. ■

Получено 10.03.16

© Л. М. Аксельрод, М. Ю. Турчин, М. И. Назмиев, Е. В. Мануйлова, И. И. Галиханов, 2016 г.