

П.И. ПИЛОВ, д-р техн. наук,

А.Д. ТОЛКУН

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОЙ СЕПАРАЦИИ МИНЕРАЛОВ РОССЫПНЫХ РУД

В общем балансе используемого минерального сырья возрастающее значение приобретают руды россыпных месторождений. Особенно ярко это можно видеть на примере развития промышленности титана и циркония, для которой россыпные месторождения являются главными поставщиками сырья.

Некоторые специфические особенности гранулометрического и минерального состава россыпей определили своеобразные пути развития технологии обогащения.

При обогащении титаноциркониевых песков применяется гравитационная сепарация, реализуемая на винтовых и конусных сепараторах, на концентрационных столах.

Существенными для технологии обогащения титаноциркониевых песков особенностями являются: а) естественная классификация по равнопадаемости составляющих их минералов, произошедшая при формировании месторождения; б) гранулометрический состав песков, сформированный по равнопадаемости зерен минералов – каждый минерал представлен в них узким классом крупности; в) концентрация полезных минералов, обладающих высокой плотностью, в мелких классах крупности.

Особенности гранулометрического состава титаноциркониевых песков, обусловлены гидродинамическим режимом формирования россыпей, который заключается в создании условия равнопадаемости зерен, т.е. чем больше геометрический размер зерна, тем меньше его плотность и наоборот [1].

Скорость движения зерна сферической формы определяется [2]:

$$v = \frac{Re \mu}{d\Delta} = \frac{(A Re^2 \psi)^m}{d\Delta}, \quad (1)$$

где $Re^2\psi$ – параметр Лященко; d – эквивалентный диаметр зерна; Δ и μ – соответственно, плотность и вязкость жидкой среды (воды); A и m – коэффициенты для аппроксимации диаграммы Лященко [2] и представленные в табл.1.

Таблица 1

Диапазон $Re^2\psi$	Диапазон Re	A	m
$10^{-3} \dots 3$	$<10^{-3}$	0,133	1,0
$3 \dots 1,2 \cdot 10^2$	$10^{-3} \dots 10$	0,1	0,943
$1,2 \cdot 10^2 \dots 3,5 \cdot 10^3$	$10 \dots 10^2$	0,269	0,69
$3,5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	$10^2 \dots 8 \cdot 10^2$	1,112	0,575
$10^5 \dots 3 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^2 \dots 1,2 \cdot 10^5$	7,95	0,493

Гравітаційна сепарація

Поскольку

$$\text{Re}^2 \psi = \frac{\pi d^3 (\delta - \Delta) \Delta}{6\mu^2}, \quad (2)$$

то

$$v = \left(\frac{\pi d^3 (\delta - \Delta) \Delta}{6\mu^2} \right)^m \cdot \frac{\mu}{d\Delta}. \quad (3)$$

Здесь δ – плотность минерала.

Откуда следует, что скорость движения минеральных зерен в жидкой среде определяется в основном их крупностью, плотностью, а также плотностью и вязкостью жидкой среды:

$$v \sim d^{3m-1} (\delta - \Delta)^m \mu^{1-2m} \Delta^{m-1}. \quad (4)$$

Для определения соотношения диаметров зерен падающих с одинаковой скоростью в одинаковых условиях свойства жидкой среды можно не учитывать, тогда:

$$v \sim d^{3m-1} (\delta - \Delta)^m. \quad (5)$$

Показатель степени m зависит от режима обтекания минеральных зерен жидкой средой, связанного с их крупностью. В результате аппроксимации диаграммы Лященко степенной функции установлены следующие значения показателя степени m (табл. 1) [2].

Обработка представленных в табл.1 данных позволила установить, что показатель степени m связан с числом Рейнольдса экспоненциальной зависимостью: $m = 1 + \exp(-0,02 \text{ Re})/2$.

Коэффициент равнопадаемости, равный соотношению эквивалентных диаметров минеральных зерен, падающих с одинаковой конечной скоростью, как следует из формулы (5), составит:

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta} \right)^{\frac{m}{3m-1}} \quad (6)$$

Коэффициенты равнопадаемости для зерен минералов ильменитовых песков, рассчитанные по формуле (6) приведены в табл. 2.

Гравітаційна сепарація

Таблиця 2

Диапазон изменения $Re^2 \psi$	Минерал	Коэффициент равнопадаемости
$8 \cdot 10^{-3} \dots 3$	Кварц	1
	Сидерит	1,29
	Ильменит	1,46
$3 \dots 1,2 \cdot 10^2$	Кварц	1
	Сидерит	1,3
	Ильменит	1,47
$1,2 \cdot 10^2 \dots 3,5 \cdot 10^3$	Кварц	1
	Сидерит	1,39
	Ильменит	1,62
$3,5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	Кварц	1
	Сидерит	1,5
	Ильменит	1,8
$10^5 \dots 3 \cdot 10^9$	Кварц	1
	Сидерит	1,7
	Ильменит	2,17

Откуда следует, что с увеличением крупности минеральных зерен растет значение коэффициента равнопадаемости, что улучшит условия гравитационной сепарации.

Следует отметить, что формула (6) получена для условий установившегося движения минеральных зерен в жидкой среде, а в реальном обогащательном процессе имеют место динамические режимы, приводящие к попеременному разгону и замедлению движения.

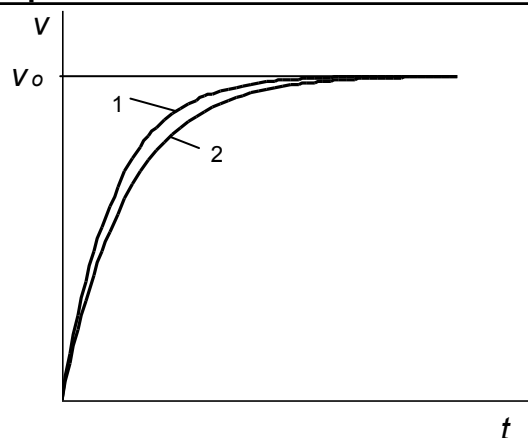
Для такого режима скорость движения минеральных зерен составляет [2]:

$$v = v_0 \left(1 - e^{-\frac{g_0 t}{v_0}} \right). \quad (7)$$

В данной формуле v_0 – конечная скорость падения минерального зерна, определяемая формулой (3), $g_0 = \frac{\delta - \Delta}{\delta}$ – ускорение силы тяжести в жидкой среде.

Анализ формулы (7) показывает, что для случая равнопадаемости частицы тяжелых минералов разгоняются быстрее легких (рисунок), поэтому коэффициент равнопадаемости временно будет иметь иные значения, чем определяемые формулой (6).

Гравітаційна сепарація



Кинетика розгона рівнопадаючих частинок ільменіта (1) і кварца (2)

Путь, проходимий мінеральною частицею за время t при этом составляет:

$$S(t) = \int_0^t v(t) dt = v_0 \left[t - \frac{v_0}{g_0} \left(1 - e^{-\frac{g_0}{v_0} t} \right) \right]. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что равнопадаемые частицы проходят различный путь до достижения конечной скорости. Частицы с большей плотностью, имеющие более интенсивную кинетику разгона, проходят больший путь, чем частицы меньшей плотности, что также изменяет значение классического коэффициента равнопадаемости.

Изложенное приводит к выводу о том, что соотношение эквивалентных диаметров равнопадаемых зерен существенно больше, чем то, которое определяется исходя из конечных скоростей падения. Поэтому легкие минералы будут иметь еще большую крупность, чем это представлялось ранее.

Разделение смеси равнопадаемых зерен по геометрическим размерам, например при грохочении, приведет к большей концентрации тяжелых минералов в подрешетном продукте, а легких – в надрешетном.

Равнопадаемость минералов титаноциркониевых руд приводит к повышенным потерям полезного компонента с отходами и засоренности концентратов сопутствующими минералами.

Из сопутствующих ильмениту минералов часто встречается близкий по физическим свойствам сидерит. Поэтому его значительное количество попадает в концентрат, ухудшая его качество.

Для решения проблемы необходимо повысить селективность отделения сидерита от ильменита с применением технологически эффективного, экономически рентабельного и экологически чистого сепарационного процесса. Метод, который в наибольшей мере удовлетворяет упомянутым требованиям – гравитационная сепарация, но близость значений плотностей ильменита (4500 кг/м^3) и сидерита (3760 кг/м^3) затрудняет обогащение такого минерального сырья, особенно в гравитационных полях малой интенсивности.

Гравітаційна сепарація

Для повышения технологических показателей рационально использовать принцип однофункциональности. Он означает достижение максимальной эффективности разделения полезного и бесполезного компонентов обогащаемого минерального сырья при условии использования одного разделительного признака, когда проявление других признаков исключается или пренебрежительно мало. Например, при гравитационном обогащении имеет место разделение по крупности и плотности. Но при этом возможно осуществлять классификацию по крупности, а затем разделять минералы по плотности (или наоборот). В качестве примера, для обоснования решения поставленной задачи, приведем гранулометрический состав ильменитовых песков одного из месторождений Иршанского рудного поля (табл. 3) [3].

Таблица 3

Крупность, мм	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Ильменит	Сидерит	Ильменит	Сидерит
+4	1,81	–	–	–	–
-4+2	6	1,4	22,8	1,36	28,53
-2+1	5,39	1,72	9,09	1,50	10,23
-1+0,56	11,53	6	7,53	11,16	18,1
-0,56+0,28	12,07	17,52	6,81	34,11	17,14
-0,28+0,14	12,16	20,29	6,84	39,8	17,34
-0,14+0,1	4,86	14,45	7,98	11,33	8,09
-0,1	1,42	3,25	1,95	0,74	0,58
Илы	44,76				
Итого	100	6,2	4,8	100	100

Например, если из общего объема материала выделить класс крупности -1+0,14 мм, то как следует из таблицы, ильменита в этом классе будет содержаться 85,06%, а сидерита – 52,6%. Если в дальнейшем произвести разделение по плотности, то в тяжелый продукт попадут зерна ильменита, всего диапазона крупности, а зерна сидерита, определенного класса крупности. Этот класс крупности будет определяться в соответствии закону равнопадаемости частиц.

Так как рудные пески представлены узким гидравлическим классом, то отношение диаметров зерен разных минералов можно считать соответствующим коэффициенту равнопадаемости.

Исходя из значений коэффициентов равнопадаемости, представленных в табл. 2, следует, что в зерна сидерита крупностью от 1,39×0,14 до 1 мм имеют большую вероятность извлечения в тяжелый продукт вместе с ильменитом. Зерна сидерита с меньшей крупности имеют больше шансов остаться в легком продукте.

Учитывая изложенное, можно утверждать, что использование последовательного чередования сепарации по геометрическим размерам (грохочение) и по плотности (гравитационная сепарация) приведет к повышению селективности сепарации в целом и к повышению чистоты продуктов, получаемых при обогащении руд россыпных месторождений.

Гравітаційна сепарація

Список литературы

1. Подкосов Л.Г. Основные направления развития технологии обогащения титаноциркониевых россыпей // Сб. ст. – 1967. – Вып. 17. – С. 5-9.
2. Пилов П.И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых: Учебное пособие. – Д.: Национальный горный университет, 2003. – 123 с.
3. Кирнарский А.С., Лупей С.А. Улучшение сепарационных характеристик гравитационных аппаратов на основе принципа однофункциональности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45(86). – С. 71-78.

© Пилов П.И., Толкун А.Д., 2012

*Надійшла до редколегії 11.05.2012 р
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*