

УДК 532.685; 533.15

ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ ГАЛЕНИТА НА КИНЕТИКУ ФЛОТАЦИИ

Л. Цветичанин, Д. Вучинич, П. Лазич, М. Костович

¹Белградский университет, E-mail: lidijacveticanin@gmail.com,
г. Белград, Сербия

Приведены результаты лабораторных испытаний кинетики флотации чистого минерала галенита крупностью менее 38 мкм в зависимости от концентрации коллектора бутилового ксантогената калия. Установлено, что скорость флотации значительно снижается с уменьшением крупности зерна до 18 мкм. Классы крупности менее 18 мкм обладают самыми низкими скоростями флотации, приблизительно одинаковыми для концентрации коллектора 0.5 мг/л. При концентрации коллектора выше указанной скорость флотации растет во всех испытываемых классах крупности.

Кинетика флотации, константа скорости, крупность галенита, концентрация коллектора

При измельчении свинцово-цинковых руд переизмельчается галенит как минерал меньшей твердости по сравнению с другими сопутствующими минералами, в частности минералами хвостов. В процессе обогащения это отрицательно сказывается на флотационном извлечении полезного компонента в силу специфических проблем при обогащении мелких классов крупности (менее 38 мкм) по сравнению с другими более крупными классами.

Многие ученые, проводившие испытания в данном направлении, уделяли особое внимание именно влиянию величины частиц твердой фазы на кинетику флотации [1–7]. Их исследования, не учитывающие одновременно уровень освобожденности поверхности минеральных частиц, показали, что скорость обогащения, а также флотационное извлечение увеличиваются с уменьшением крупности минерального зерна до крупности 38 мкм. Однако в других публикациях [8–10] показано, что для мелких классов крупности скорость флотации достаточно низкая и падает с уменьшением крупности в результате, как предполагается, слабой эффективности столкновения минеральных зерен с воздушными пузырьками. Некая общая зависимость скорости флотации и крупности минеральных зерен пока четко не определена ни теоретически, ни практически для крупности менее 18 мкм.

КИНЕТИКА ФЛОТАЦИИ

Данные о кинетике флотации в основном представляют собой попытку описать ее математическими выражениями, выведенными по аналогии с кинетикой химических реакций, причем веществами, участвующими в реакции, выступают воздушные пузырьки и минеральные зерна.

Скорость флотации описывается следующим выражением, соответствующим реакции первого порядка [5, 11–14]:

Работа выполнена в рамках проектов TR 33045, TR 33007 и TR 176010, финансируемых Министерством образования, науки и технологии Республики Сербской.

$$\frac{dN}{dt} = -kN, \quad (1)$$

где t — время флотации; k — константа скорости флотации, значение которой зависит от специфических условий процесса флотации; N — количество минеральных зерен в пульпе.

Если N_0 — исходное количество минеральных зерен (время $t = 0$), то после интегрирования уравнение (1) примет вид

$$N = N_0 e^{-kt}. \quad (2)$$

На практике уравнение кинетики флотации обычно выражают не в количестве минеральных зерен в пульпе (или концентрации твердого, т. е. минерала), а в извлечениях R :

$$R = \frac{N_0 - N}{N_0}. \quad (3)$$

Уравнение (2) можно преобразовать в уравнение кинетики реакции первого порядка ($n = 1$):

$$R = R_{\max}(1 - e^{-kt}), \quad (4)$$

где R_{\max} — максимально возможное извлечение за время флотации t .

При $R_{\max} = 1$ ($N = 0$) для бесконечного времени обогащения уравнение (4) имеет следующий вид:

$$R = 1 - e^{-kt}. \quad (5)$$

Решая уравнение (5) по константе скорости флотации k , получаем

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{1 - R}, \quad (6)$$

или

$$\ln(1 - R) = -kt. \quad (7)$$

Целью настоящей работы является исследование кинетики флотации галенита мелких классов крупности ниже 38 мкм с акцентом на класс крупности менее 18 мкм. На основании уравнения (7) рассчитаны константы скорости флотации для каждого класса крупности с использованием различных концентраций коллектора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы для исследования подготавливали ручным отбором чистых зерен галенита из свинцово-цинковой руды месторождения “Рудник” (Сербия). Измельчение проб проводили вручную в агатовой ступке до крупности 100 % – 38 мкм. Затем пробы классифицировали методом “Beacker decantation” (декантации Бейкера) на классы крупности – 38 + 23, – 23 + 18, – 18 + 9 и – 9 + 0 мкм.

Эксперименты обогащения выполняли во флотокамере беспенной флотации типа Livschits (рис. 1) на пробах массой 1 г, причем выделяли концентраты в зависимости от времени флотации $t = 1, 3, 5$ и 10 мин.

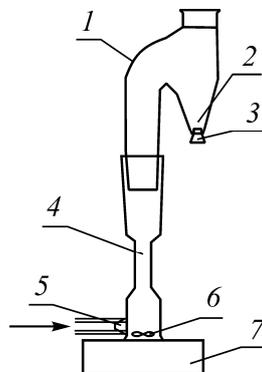


Рис. 1. Флотокамера Livschits для беспенной флотации: 1 — корпус флотокамеры; 2 — секция для флотируемого материала; 3 — резиновая пробка; 4 — суженная часть флотокамеры; 5 — капиллярная трубка для подачи воздуха; 6 — импеллер; 7 — магнитная мешалка

Время кондиционирования составляло 3 мин. Эксперименты осуществляли при постоянном объеме воздуха 100 мл/мин и постоянном количестве оборотов магнитной мешалки. Во всех экспериментах рН пульпы был одинаков и составлял 8,6, что соответствует значению во флотационной фабрике месторождения “Рудник”. Испытания проводили в зависимости от концентрации коллектора бутилового ксантогената калия (БКК), а именно: 0,2, 0,5, 1,0 и 10,0 мг/л для каждого класса крупности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 показаны кумулятивные флотационные извлечения галенита для исследуемых классов крупности при различных концентрациях коллектора БКК в зависимости от времени флотации.

ТАБЛИЦА 1. Кумулятивное флотационное извлечение галенита R_{PbS} , %

Время флотации, мин	Класс крупности, мкм			
	-38+23	-23+18	-18+9	-9+0
БКК = 0.2 мг/л				
0	0	0	0	0
1	21.11	16.28	10.23	8.82
3	39.87	32.56	21.59	11.88
5	53.88	43.02	29.55	26.31
10	79.27	63.83	47.35	42.57
БКК = 0.5 мг/л				
0	0	0	0	0
1	25.61	19.15	12.55	10.45
3	48.78	37.23	27.77	26.59
5	63.41	50	39.71	38.24
10	81.37	67.89	53.11	50.25
БКК = 1.0 мг/л				
0	0	0	0	0
1	27.71	20.47	17.07	11.46
3	53.01	37.78	36.59	29.41
5	65.06	50	47.56	44.71
10	83.15	69.86	62.2	60.26
БКК = 10 мг/л				
0	0	0	0	0
1	28.09	22.83	20.93	11.76
3	53.93	43.48	41.86	35.11
5	69.66	57.61	54.65	46.45
10	89.1	80.72	70.65	65.4

Как видно, при увеличении времени флотации растет флотационное извлечение галенита для всех исследуемых классов крупности. Оно растет также при повышении концентрации БКК. Но максимальное извлечение, полученное при более мелких классах крупности (-18+9 и -9+0 мкм), значительно ниже по сравнению с классами крупности -38+23 и -23+18 мкм при одинаковых условиях флотации, что создает проблемы в промышленных условиях [15]. Кроме того, классы крупностью -18+9 и -9+0 мкм весьма медленно флотируются, причем нет большой разницы в флотационном извлечении между указанными двумя классами крупности для данной концентрации коллектора.

Используя данные, приведенные в табл. 1, и уравнения кинетики флотации, проведены исследования, результаты которых представлены на рис. 2.

С помощью уравнения (7) получено хорошее согласие линейных зависимостей, приведенных на рис. 2 переменных, что говорит о том, что кинетику флотации мелких классов галенита можно описать уравнением для процессов первого порядка. Из наклона прямых на данных графиках определены константы скорости флотации (табл. 2).

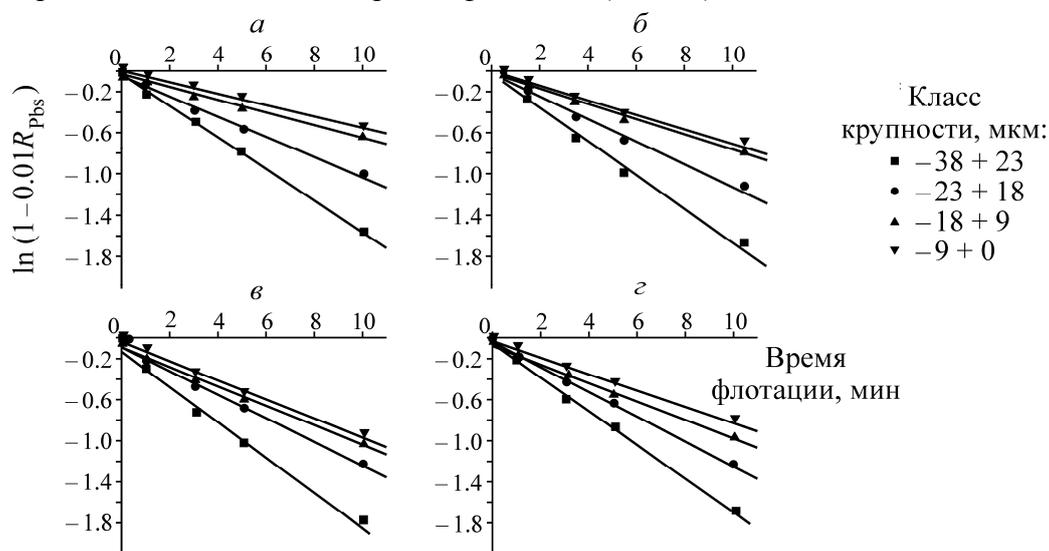


Рис. 2. Зависимость величины $\ln(1 - 0.01R_{pbs})$ от времени флотации для различных классов крупности при концентрации коллектора, мг/л: а — 0.2; б — 0.5; в — 1.0; г — 10

ТАБЛИЦА 2. Константы скорости флотации галенита для разных классов крупности k , мин^{-1}

Класс крупности, мкм	Среднее значение крупности зерен, мкм	БКК, мг/л			
		0.2	0.5	1.0	10.0
-38 + 23	30.5	0.1531	0.1634	0.1718	0.2170
-23 + 18	20.5	0.0982	0.1100	0.1154	0.1601
-18 + 9	13.5	0.0621	0.0743	0.0942	0.1188
-9 + 0	4.5	0.0549	0.0693	0.0926	0.1056

На рис. 3 показано изменение константы скорости флотации галенита в зависимости от средней крупности зерен исследуемых классов минералов при разных БКК. Константа скорости флотации для средней крупности зерна галенита ниже 13.5 мкм почти одинакова для данной концентрации БКК. Галенит, крупностью ниже указанной, обогащается очень медленно. Значительное увеличение константы скорости флотации наблюдается только при увеличении средней крупности зерна более 13.5 мкм для данной концентрации БКК. Для всех классов крупности константа скорости флотации растет с увеличением концентрации коллектора БКК более 0.5 мг/л.

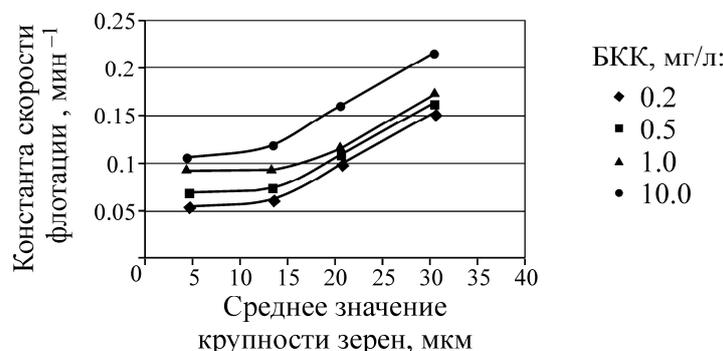


Рис. 3. Изменение константы скорости флотации галенита в зависимости от средней крупности зерен исследуемых классов

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показывают, что флотация мелких классов крупности описывается кинетическим уравнением реакции первого порядка. Константа скорости флотации, т. е. скорость флотации, растет с увеличением концентрации коллектора для всех классов ниже 38 мкм.

Константы скорости флотации и скорость флотации самые низкие для двух самых мелких классов крупности ($-18+9$ и $-9+0$ мкм) и приблизительно одинаковы для одинаковой концентрации коллектора БКК.

Константа скорости флотации растет быстрее с увеличением крупности зерна больше 18 мкм ($-38+23$ и $-23+18$ мкм) при неизменной концентрации коллектора.

Результаты исследований согласуются с результатами, полученными на обогатительной фабрике месторождения “Рудник”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Polat M., Chander S.** First-order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constants, *Int. Journal of Mineral Processing*, 2000, No. 58.
2. **Trahar W. J.** The selective flotation of galena from sphalerite with special reference to the effects of particle size, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1976, No. 3(2).
3. **Trahar W. J., Warren L. J.** The floatability of very fine particles - a review, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1976, No. 3.
4. **Trahar W. J.** A rational interpretation of the role of particle size in floatation, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1981, No. 8.
5. **Jameson G. L.** Physical factors affecting recovery rates in flotation, *Minerals Engineering*, 9, 1977.
6. **Radoev B. P., Alexandrova L. B., Tchaljovska S. D.** On the kinetics of froth floatation, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1989, No. 28.
7. **Loewenberg M., Davis R. H.** Flotation rates of fine spherical particles and droplets, *Chemical Engineering Science*, 1994, No. 49.
8. **Hewitt D., Fornasiero D., and Ralston J.** Bubble particle attachment efficiency, *Minerals Engineering*, 1994, Vol. 7, No. 5/6.
9. **Dobby G. S. and Finch J. A.** Particle Size Dependence in Flotation Derived from a Fundamental Model of the Capture Process, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1987, No. 21.
10. **Schulze H. J.** Flotation as heterocoagulation process: possibilities of calculating the probability of flotation. In B. Dobias (Ed.), *Coagulation and flocculation*, 1993.
11. **Ralston J. Dukhin S. S., and Mishchuk N. A.** Wetting film stability and flotation kinetics, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2002, No. 95.
12. **Pyke B., Fornasiero D., and Ralston J.** Bubble particles heterocoagulation under turbulent conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2003, No. 265.
13. **Duan J., Fornasiero, and D. Ralston J.** Calculation of the flotation rate constant of chalcopyrite in an ore, *Int. Journal of Mineral Processing*, 2003, No. 72.
14. **Koh P. T. L., Schwarz M. P.** CDF modeling of bubble-particle attachments in flotation cells, *Minerals Engineering*, 2006, No. 19.
15. **Cvetičanin L., Lazić P., Vučinić D., and Knežević D.** The Galena Flotation in Function of Grindability, *Journal of Mining Science*, 2012, Vol. 48, No. 4.