

УДК 622.765

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПУЗЫРЬКА ВОЗДУХА
В СУСПЕНЗИИ ШЛАМОВЫХ ФРАКЦИЙ ПИРИТА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

А. А. Николаев, А. Батхуяг, Б. Е. Горячев

*Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”,
E-mail: nikolaevopr@mail.ru, Ленинский проспект, 4, 119049, г. Москва, Россия*

Изучено влияние скорости и времени перемешивания суспензии пирита на кинетику минерализации пузырька воздуха. В качестве объекта исследования использовали пирит крупностью $-0.074 + 0$ мм, а в качестве собирателя — этиловый ксантогенат натрия. Установлено влияние скорости и времени перемешивания суспензии шламистого пирита на нагруженность (минерализацию) пузырька воздуха. Выявлены условия, гидродинамические режимы и время перемешивания суспензии пирита, обеспечивающие минимальную и максимальную площадь минерализации пузырька воздуха при постоянной концентрации этилового ксантогената натрия.

Кинетика минерализации, пирит, шламы, закрепление частиц на пузырьке, флотация, этиловый ксантогенат, кинетика флотации

DOI: 10.15372/FTPRPI20180515

Флотация — основной метод обогащения руд цветных металлов [1–3]. Извлечение металлов в пенный продукт и его качество зависят от скорости флотации [4]. Скорость флотации зависит от скорости составляющих ее субпроцессов: столкновения частиц с пузырьками и закрепления частиц на них, сохранения прочности минеральных комплексов при их всплытии в камере флотационной машины и переходе в пенный слой, а также от переноса частиц из пены в концентрат. Каждый субпроцесс влияет на скорость и эффективность флотации, но значение влияния различно и определяется физико-химическими характеристиками поверхности минералов, типом и расходом используемых флотационных реагентов, гидродинамическими условиями в камере флотационной машины [2, 3, 5–13].

В практике флотации колчеданных медно-цинковых и полиметаллических руд большое влияние на эффективность флотационного обогащения оказывает пирит. В связи с природными свойствами, несовершенством реагентных режимов флотации он может извлекаться в медный, цинковый или свинцовый концентраты, тем самым снижая их качество. Другой причиной перехода пирита в указанные концентраты является неодинаковая флотоактивность пирита разной крупности. В процессе измельчения крупность пирита меняется, достигая значений, при которых образуются шламы крупностью $-0.044 + 0$ мм, имеющие высокую флотационную активность. Меняются и гидродинамические условия в камере флотационной машины, где происходит флотация. Поэтому исследование влияния флотоактивности шламистого пирита на кинетику минерализации воздушных пузырьков в разных гидродинамических условиях флотации является актуальной задачей.

В настоящей работе приведены результаты исследования кинетики минерализации пузырька воздуха в условиях перемешивания суспензии шламистого пирита в растворах сульфгидрильного собирателя.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пирит измельчали в керамической мельнице без добавления воды, после чего выделяли класс крупности $-0.044 + 0$ мм, который использовали для исследования кинетики минерализации воздушного пузырька.

Использовали экспериментальную установку, схема которой приведена в [14]. Навеску пирита массой 0.5 г помещали в цилиндрический реактор, в котором находился раствор собирателя (100 мл) заданной концентрации. В реактор заливали раствор сульфгидрильного собирателя рабочей концентрации. В качестве собирателя использовали рабочие растворы этилового ксантогената натрия. Через микрокапилляр выдували пузырек воздуха постоянного объема, после чего перемешивали суспензию в течение времени t . После остановки мешалки и осаждения частиц твердой фазы пузырек фотографировали. Следующий опыт осуществляли при выдувании нового пузырька и более длительном времени перемешивания суспензии. Дальнейшие опыты проводили, последовательно увеличивая продолжительность перемешивания суспензии до 4 мин.

Для анализа количества минеральной нагрузки пузырька воздуха фотографии пузырька с закрепившимися на нем частицами пирита обрабатывали на компьютере. Рассчитывали абсолютную площадь сегмента поверхности пузырька, покрытого частицами пирита, и относительную площадь S как отношение площади сегмента ко всей площади поверхности пузырька воздуха. Методика расчета описана в [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показана кинетика минерализации пузырька воздуха частицами пирита крупностью $-0.044 + 0$ мм при разной скорости перемешивания его суспензии при постоянном рН 9 и концентрации этилового ксантогената натрия $C = 3.12 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Визуально наблюдалось разное количество частиц пирита, закрепившихся на пузырьке воздуха. При малой, средней и высокой скорости перемешивания увеличение продолжительности перемешивания с 15 до 150 с приводило к росту площади минерализации поверхности пузырька. При малой скорости перемешивания суспензии $n_1 = 380$ об./мин увеличение площади покрытия наблюдалось вплоть до максимального при длительном перемешивании (240 с). Увеличение скорости до $n_2 = 950$ и $n_3 = 1800$ об./мин приводило к тому, что при максимальном времени перемешивания суспензии (240 с) происходил отрыв пузырька воздуха от капилляра.

Изменение минеральной нагрузки пузырька в зависимости от скорости перемешивания связано с разными гидродинамическими условиями в пульпе. Для оценки гидродинамического режима перемешивания суспензии рассчитан центробежный критерий Рейнольдса при стандартных условиях: $N_{Re} = \rho n D^2 / \mu$ (ρ — плотность жидкости; n , D — частота вращения мешалки и ее диаметр; μ — коэффициент динамической вязкости) [15].

Результаты расчета центробежного критерия Рейнольдса N_{Re} : 91 200, 228 000 и 336 000 при $n = 380, 950, 1800$ об./мин соответственно.

Увеличение скорости перемешивания суспензии приводит к росту турбулентности пульпы, что влияет на изменение площади минерализации. На рис. 2 приведены результаты расчета относительной площади минерализации пузырька воздуха в зависимости от скорости перемешивания суспензии пирита при концентрации собирателя $C = 3.12 \cdot 10^{-4}$ моль/л и рН 9 и 10.

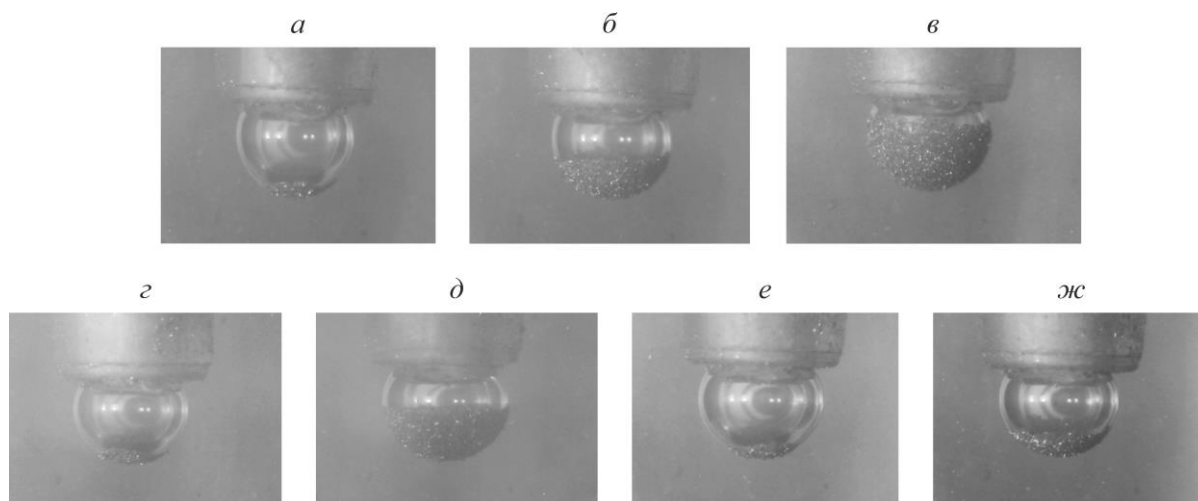


Рис. 1. Кинетика минерализации пузырька воздуха пиритом крупностью $-0.044 + 0$ мм при разной скорости перемешивания суспензии: *a–в* — скорость $n_1 = 380$ об./мин; *г, д* — скорость $n_2 = 950$ об./мин; *е, ж* — скорость $n_1 = 1800$ об./мин

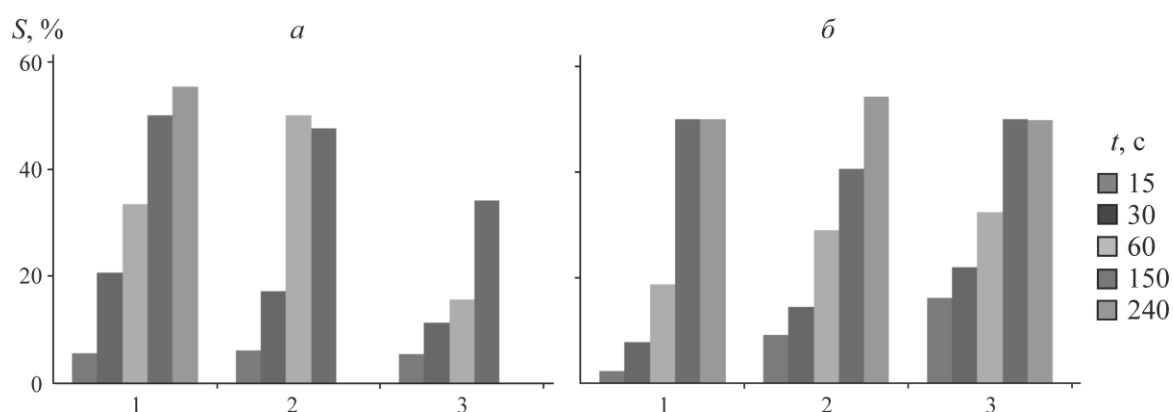


Рис. 2. Влияние скорости перемешивания суспензии пирита крупностью $-0.044 + 0$ мм в растворе этилового ксантогената натрия на относительную площадь минерализации пузырька воздуха частицами: *a* — pH 9; *б* — pH 10; 1 — 380; 2 — 950; 3 — 1800 об./мин

В начале процесса (15 с) при pH 9 увеличение скорости перемешивания суспензии не влияло на относительную площадь минерализации пузырька, которая оставалась на уровне $S = 5.5 - 6.2\%$. При длительном перемешивании суспензии, равном 30, 60 и 150 с, увеличение скорости перемешивания приводило к снижению относительной площади минерализации с 20.7 до 11.4%, с 33.5 до 15.7% и с 50.0 до 34.1% соответственно. При времени 60 с и $n_2 = 950$ об./мин относительная площадь минерализации была максимальной (50.0%).

В более щелочной среде (pH 10) увеличение скорости перемешивания суспензии в пределах первой минуты приводило к росту относительной площади минерализации с 2.4 до 16.1% при 15 с, с 7.8 до 22.0% при 30 с и с 18.7 до 32.5% при 60 с. При pH 10, в отличие от pH 9, частицы пирита удерживались на пузырьке воздуха при максимальном времени перемешивания 240 с. При больших временах агитации суспензии (150 и 240 с) скорость перемешивания практически не влияла на площадь минерализации, которая оставалась на уровне 40–55%.

Такое разное влияние скорости перемешивания при разных значениях pH, вероятно, связано с неодинаковым механизмом закрепления частиц на пузырьке воздуха, прочностью их

закрепления и отрывом от пузырька, а также с меняющимся значением отрывающей силы. Кинетика минерализации пузырька воздуха шламистым пиритом в суспензии при использовании этилового ксантогената натрия показана на рис. 3.

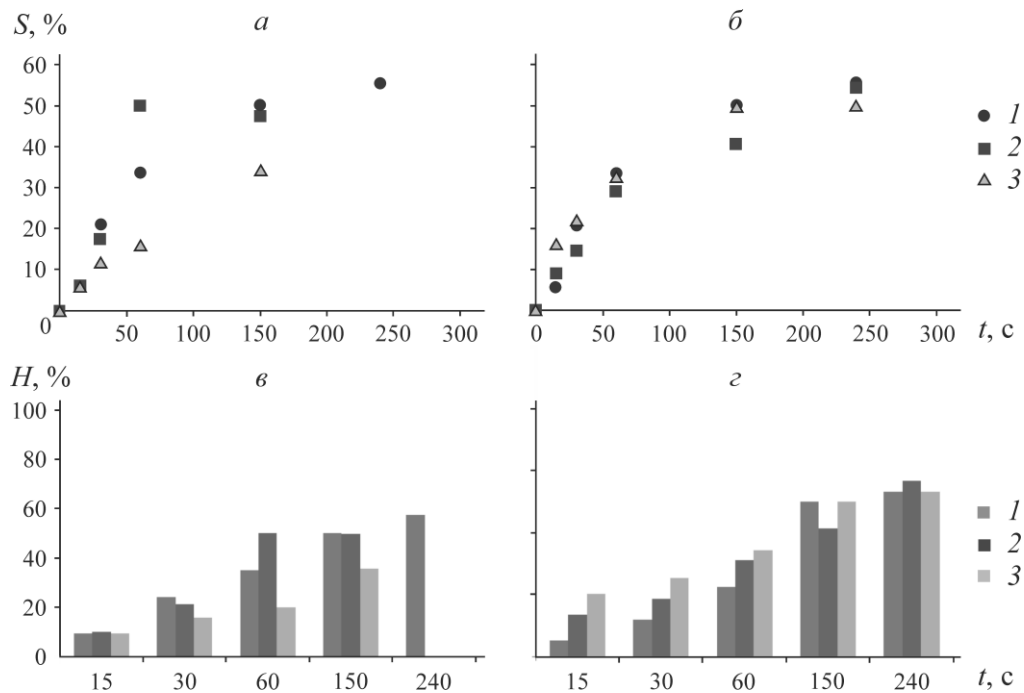


Рис. 3. Зависимость относительной площади (а, б) и высоты (в, г) минерализации пузырька воздуха от времени и скорости перемешивания суспензии пирита крупностью $-0.044 + 0$ мм в щелочной среде: а, в — рН 9; б, г — рН 10; 1 — 380; 2 — 950; 3 — 1800 об./мин

С увеличением продолжительности перемешивания происходил рост площади минерализации пузырька воздуха частицами пирита. При $n_1 = 380$, $n_2 = 950$ об./мин и увеличении времени перемешивания с 15 до 150 с отмечался рост относительной площади с 5.6 до 50.0% и с 6.2 до 47.6%. При максимальной скорости перемешивания 1800 об./мин увеличение времени приводило к меньшему росту площади минерализации от 5.5 до 34.1%. При времени перемешивания 150 с относительная площадь минерализации была меньше на 13–15% по сравнению с гидродинамическими условиями, характеризующимися меньшими значениями центростремительного критерия Рейнольдса. Похожие зависимости наблюдались и при изучении влияния продолжительности перемешивания суспензии на относительную высоту сегмента минерализации пузырька воздуха: $H = (h / D)100\%$ (h — высота сегмента минерализации; D — диаметр пузырька воздуха).

Как и в случае площади, увеличение длительности перемешивания приводило к росту относительной высоты сегмента минерализации. Однако при рН 9 и средней скорости перемешивания 950 об./мин высота не менялась при времени перемешивания суспензии 60 и 150 с. Для рН 10 при 380 и 1800 об./мин относительная высота минерализации была практически одинаковой при временах перемешивания 150 и 240 с, т. е. влияние гидродинамического фактора не сказывалось на минерализации.

ВЫВОДЫ

Минерализация пузырька воздуха частицами пирита крупностью $-0.044 + 0$ мм в водных растворах этилового ксантогената натрия возрастает при рН 10, что проявилось в больших значениях относительной площади минерализации пузырька по сравнению с рН 9. Выявлен не-

одинаковый характер влияния скорости перемешивания суспензии пирита в растворах этилового ксантогената натрия на минерализацию пузырька воздуха: при рН 9 увеличение скорости приводило к снижению относительной площади минерализации за исключением времени 15 с, при рН 10 увеличение скорости вызывало рост относительной площади минерализации пузырька воздуха в течение первой минуты. При более длительном перемешивании суспензии пирита скорость перемешивания не влияла на относительную площадь минерализации, которая оставалась на уровне 50–54 %.

Результаты позволяют предположить, что для снижения извлечения шламистого пирита в пенный продукт при использовании ксантогената флотацию для рН 9 необходимо вести при малых, а для рН 10 — при высоких скоростях перемешивания суспензии. Время перемешивания суспензии пирита влияет на площадь минерализации пузырька воздуха. Увеличение длительности перемешивания пульпы вело к росту площади минеральной нагрузки пузырька при одинаковой концентрации собирателя, но для рН 9 и 10 наблюдались отличия в минерализации при 240 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Классен В. И., Мокроусов В. А.** Введение в теорию флотации. — М.: Госгортехиздат, 1959.
2. **Богданов О. С., Максимов И. И., Поднек А. К., Янис Н. А.** Теория и технология флотации руд. — М.: Недра, 1990. — 363 с.
3. **Абрамов А. А.** Технология обогащения руд цветных металлов. — М.: Недра, 1983. — 359 с.
4. **Рубинштейн Ю. Б., Филиппов Ю. А.** Кинетика флотации. — М.: Наука, 1980. — 367 с.
5. **Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е.** Электрохимия сульфидов. Теория и практика. — М.: Руда и металлы, 2008. — 272 с.
6. **Кондратьев С. А.** Минерализация пузырьков во флотационном процессе // ФТПРПИ. — 2004. — № 1. — С. 99–107.
7. **Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е.** Теория и практика повышения контрастности смачиваемости минералов // Горн. журн. — 2005. — № 4. — С. 59–63.
8. **Кондратьев С. А.** Влияние основных параметров флотации на отрыв гидрофильной частицы от пузырька // ФТПРПИ. — 2005. — № 4. — С. 94–101.
9. **Горячев Б. Е., Наинг Лин У, Николаев А. А.** Особенности флотации пирита одного из медно-цинковых месторождений Уральского региона бутиловым ксантогенатом калия и дитиофосфатом натрия // Цв. металлы. — 2014. — № 6. — С. 16–22.
10. **Verrelli D. I., Koh P. T. L., and Nguyen A. V.** Particle-bubble interaction and attachment in flotation, *Chemical Engineering Science*, 2011, Vol. 66, Issue 23. — P. 5910–5921.
11. **Горячев Б. Е., Николаев А. А.** Взаимосвязь физико-химических характеристик смачивания поверхности двухкомпонентных твердых тел с флотируемостью частиц с той же поверхностью // ФТПРПИ. — 2006. — № 3. — С. 103–111.
12. **Самыгин В. Д., Григорьев П. В.** Моделирование влияния гидродинамических факторов на селективность процесса флотации. Ч. 1. Влияние диаметра пузырька и диссипации турбулентной энергии // ФТПРПИ. — 2015. — № 1. — С. 145–152.
13. **Самыгин В. Д., Григорьев П. В.** Моделирование влияния гидродинамических факторов на селективность процесса флотации. Ч. 2. Влияние разделения исходного питания на крупные и мелкие фракции частиц // ФТПРПИ. — 2015. — № 2. — С. 161–166.
14. **Николаев А. А., Петрова А. А., Горячев Б. Е.** Кинетика закрепления зерен пирита на пузырьке воздуха в условиях перемешивания суспензии // ФТПРПИ. — 2016. — № 2. — С. 131–139.
15. **Мещеряков Н. Ф.** Флотационные машины и аппараты. — М.: Недра, 1982. — 200 с.

Поступила в редакцию 3/VII 2018