© Д.В. Абрютин, К.А. Стрельцов, 2014

УДК 622.7

Д.В. Абрютин, К.А. Стрельцов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОСАДКА ПЕРРЕНАТА ТЕТРАФЕНИЛФОСФОНИЯ

Рений является одним из самых редких металлов (кларк рения 0,7·10–3 г/т). При относительно больших запасах рения в России, его добыча практически не ведется, что связано, в том числе, с технологической сложностью извлечения рения из отечественного сырья. При этом область применения рения довольно обширная – от суперсплавов до медицины. Источниками рения во многих случаях служат промрастворы с очень низким содержанием (5–10 мг/л) извлекаемого металла, что обуславливает сложности в разработке технологии извлечения рения.

В качестве одного из способов переработки таких растворов предлагается использовать ионную флотацию. Проведенные исследования позволили определить оптимальный реагент-собиратель (перренат тетрафенилфосфония), необходимый для наиболее полного перевода перренат-ионов в труднорастворимый осадок.

Для оценки влияния физико-химических условий флотации на эффективность извлечения рения было исследовано изменение силы отрыва частиц от пузырька воздуха при различных значениях pH раствора и концентрации собирателя.

Ключевые слова: ионная флотация, коллигенд, сублат, собиратель, фосфоний, рений, перренат, сила отрыва, сила архимеда.

В настоящее время все больше возрастает спрос на редкоземельные металлы (РЗМ). Одним из таких металлов является рений, который в основном является сопутствующим элементом при добычи молибдена, урана и меди. Его содержание в земной коре примерно в 5 раз меньше, чем золота и платины, в 1000–3000 раз меньше, чем вольфрама и молибдена. Кларк рения составляет около $0{,}7 \cdot 10^{-3}$ г/т [1, 2].

Рений является одним из самых редких элементов земной коры. В настоящий момент в России наблюдается явное несоответствие между запасами рения, составляющими 13% от общемировых, и уровнем его добычи – 3% от мировой, что объясняется во многом технологической сложно-

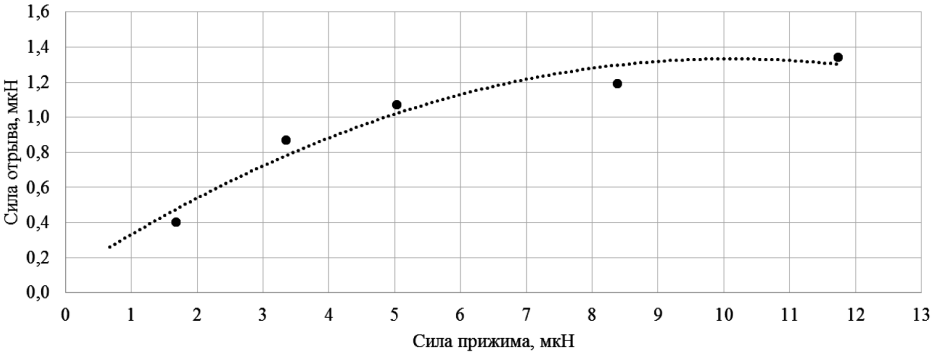

Рис. 1. Влияние силы прижима кристалла к пузырьку на силу его отрыва

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00393).

стью извлечения рения из отечественного сырья [3].

Источниками рения во многих случаях служат промрастворы с очень низким содержанием (5–10 мг/л) извлекаемого металла, что обуславливает сложности в разработке технологии извлечения рения [4, 5, 6].

В качестве одного из способов переработки таких растворов предлагается использовать ионную флотацию. Проведенные исследования позволили определить оптимальный реагент-собиратель (перренат тетрафенилфосфония), необходимый для наиболее полного перевода пер-

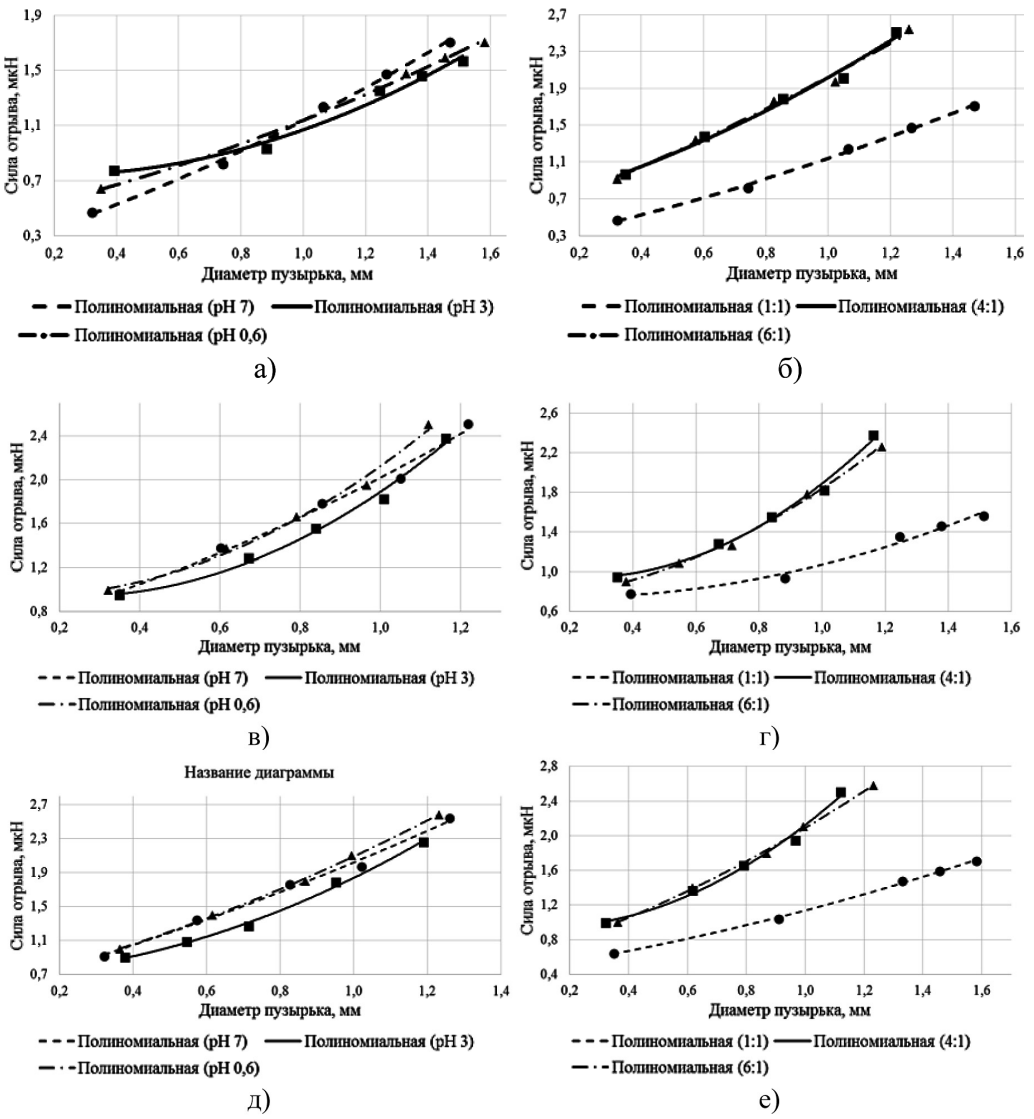

Рис. 2 – Влияние размера пузырьков на силу отрыва кристалла перрената ТФФ (образец 1) при различных значениях pH и концентрации собирателя в растворе: а, в, д – φ составляет 1:1, 4:1 и 6:1 соответственно; б, г, е – pH – 7; 3; 0,6 соответственно

ренат-ионов в труднорастворимый осадок.

Для оценки влияния физико-химических условий флотации на эффективность извлечения рения было исследовано изменение силы отрыва частиц от пузырька воздуха при различных значениях pH раствора и концентрации собирателя.

Для определения силы отрыва частицы осадка перрената ТФФ были укрупнены естественным способом, за счет «старения» осадка. Измерения проводились для частиц разной формы. Образец 1 – кристалл размерами 50×20 мкм; область контакта с пузырьком – острая вершина (площадь места контакта с пузырьком составляла несколько мкм). Образец 2 – кристалл размерами 100×80 мкм; область контакта – ребро. Сделано допущение, что укрупнение кристаллов перрената ТФФ не существенно влияет на характер образования агрегата частица-пузырек.

Абсолютная величина силы отрыва кристаллов перрената ТФФ в статических условиях составляет единицы мкН, что сопоставимо с силой отрыва частиц молибденита (1–10 мкН) от пузырьков.

Было определено, что время, за которое проводятся измерения силы отрыва от пузырька, не должно превышать 3 минут – так называемое время «жизни» пузырька. Со временем пузырек увеличивается в диаметре за счет растворенного воздуха в растворе, что искажает результаты измерений.

До проведения непосредственных измерений сначала было определено оптимальное значение силы прижима, которого достаточно для возникновения площади контакта пузырек-кристалл (рис. 1).

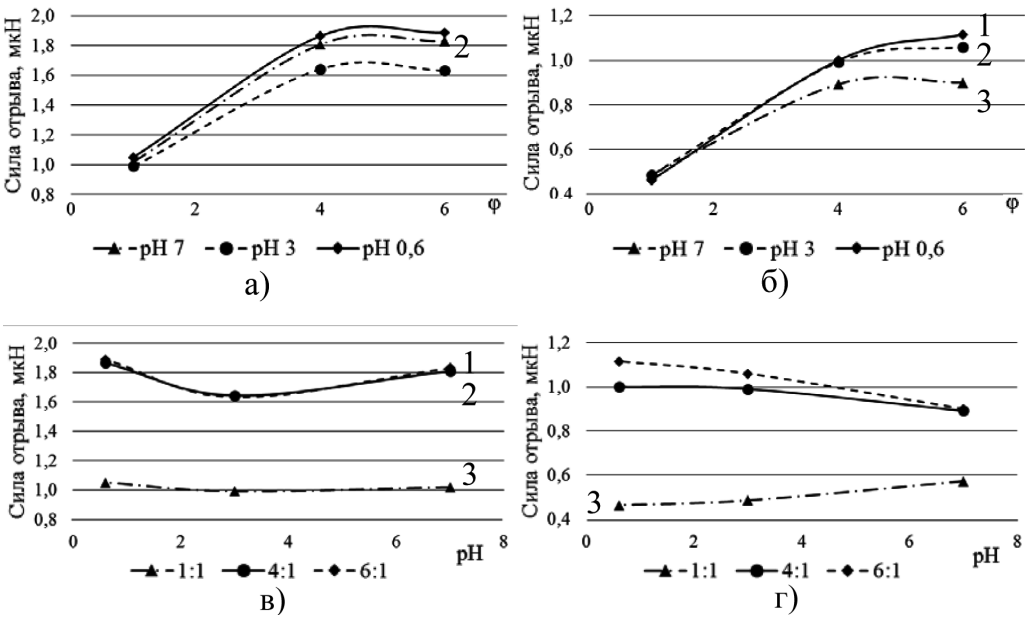

Рис. 3 – Влияние различных параметров на силу отрыва кристаллов перрената ТФФ различной формы от пузырька воздуха в статичных условиях: а – образец 1, влияние pH; б – образец 2, влияние pH; в – образец 1, влияние концентрации собирателя; г – образец 2, влияние соотношения концентрации собирателя

По результатам эксперимента было выбрано оптимальное значение силы прижима частицы к пузырьку воздуха, составляющее 5 мкН. Кроме того, было определено оптимальное время прижима, составляющее 5 сек. Данные время и сила прижима позволяют обеспечить наиболее вероятное закрепление частицы на пузырьке воздуха.

Было изучено влияние pH и концентрация собирателя в растворе на силу отрыва частиц от пузырька воздуха (рис. 2).

Результаты измерений силы отрыва кристаллов перрената ТФФ различной формы от пузырька воздуха диаметром 0,9 мм (соответствует диаметру пузырька промышленных механических флотомашин) представлены на рис. 3.

Отмечено, что pH раствора не оказывает существенного влияния на величину силы отрыва частиц от пузырьков воздуха, но наблюдается тенденция к увеличению силы отрыва в кислой среде.

Установлено, что наличие избытка собирателя в растворе приводит к увеличению силы отрыва, что обусловлено наличием у ТФФ поверхностно-активных свойств, понижающих поверхностное натяжение, а в следствии этого, увеличению гидрофобность осадка и повышению эффективности флотации. 4-х кратный избыток собирателя дает наиболее высокое значение силы отрыва, а дальнейшее увеличение концентрации собирателя не оказывает существенного влияния.

Кроме того, визуально отмечено, что осадки перрената тетрафенилфосфония обладают ярко выраженными гидрофобными свойствами, о чем говорит их склонность к образованию агрегатов на поверхности раздела вода-воздух (рис. 4).

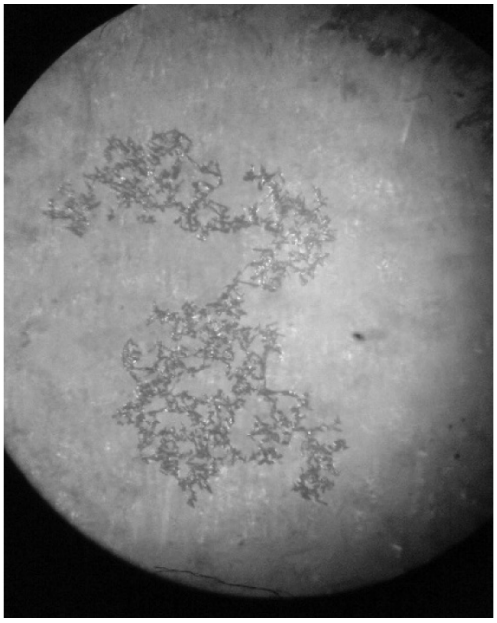

Рис. 4. Агрегаты осадка перрената тетрафенилфосфония, сконцентрированные на поверхности раздела фаз ж-г

Выводы

Измерение силы отрыва кристаллов перрената ТФФ от пузырьков воздуха в статических условиях позволило установить, что абсолютная величина силы отрыва составляет единицы мкН, что сопоставимо с силой отрыва частиц молибденита (1–10 мкН) от пузырьков.

Установлено, что наличие 4-х кратного избытка собирателя в растворе дает наиболее высокое значение силы отрыва, а pH раствора не оказывает существенного влияния на величину силы отрыва частиц от пузырьков воздуха, но наблюдается тенденция к увеличению силы отрыва в кислой среде.

Визуально отмечено, что осадки перрената ТФФ обладают ярко выраженными гидрофобными свойствами, о чем говорит их склонность к образованию агрегатов на поверхности раздела вода-воздух.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Палант А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М.* Металлургия рения. – М.: Наука, 2007.
2. *Иванов В.В., Поплавко Е.М., Горохова В.Н.* Геохимия рения. – М.: Наука, 1969.
3. *Rhenium* // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2014.
4. *Лебедев К.Б.* Рений. – М.: Металлургиздат, 1963.
5. *Джаффи Р., Мейкат Д.Дж., Дуглас Р.У.* Рений и тугоплавкие металлы платиновой группы. – М.: *ИЛ*, 1963.
6. На мировом и американском рынках рения // БИКИ. –2006. – № 40(8986), 08.04.06. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Абрютин Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент,
Стрельцов Кирилл Александрович – аспирант,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
e-mail: adminopr@misis.ru.

UDC 622.7

RESEARCH OF FLOTATION PROPERTIES OF PERRHENATE TETRAPHENYLPHOSPHONIUM PARTICLES

Abryutin D.V., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor,
Strel'tsov K.A., Graduate Student,
National University of Science and Technology «MISiS»,
e-mail: adminopr@misis.ru.

Rhenium is one of the most rare metals (abundance is 0.7•10–3 g/t). Holding relatively large reserves of rhenium, Russia scarcely produces it due to, among other things, processing complexity of rhenium extraction from raw material. The range of use of rhenium is fairly large—from superalloys to medicine.

The source of rhenium is in many instances solutions with low rhenium content (5–10 mg/l), which conditions the difficulties of rhenium extraction.

As a method to process such solutions, it is suggested to use ion flotation. The tests have pointed at the optimum collecting agent (perrhenate tetraphenylphosphonium) for the ultimate transfer of perrhenate-ions to hardly soluble settlings.

Aimed at estimating effect of physicochemical conditions of flotation on rhenium extractability, the force of particle pryout from air bubbles was investigated under various pH values and collecting agent concentrations in the solutions.

Key words: ion flotation, colligend, sublate, collecting agent, phosphonium, rhenium, perrhenate, pryout force, Archimedean force.

REFERENCES

1. Palant A.A., Troshkina I.D., Chekmarev A.M. *Metallurgiya reniya* (Rhenium metallurgy), Moscow, Nauka, 2007.
2. Ivanov V.V., Poplavko E.M., Gorokhova V.N. *Geokhimiya reniya* (Rhenium geochemistry), Moscow, Nauka, 1969.
3. Rhenium. *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, February 2014.
4. Lebedev K.B. *Renii* (Rhenium), Moscow, Metallurgizdat, 1963.
5. Dzhaffi R., Meikat D.Dzh., Duglas R.U. *Renii i tugoplavkie metally platinovoi gruppy* (Rhenium and platinum-group refractory metals), Moscow, IL, 1963.
6. Na mirovom i amerikanskom rynkakh reniya. *Byulleten' inostrannoi kommercheskoi informatsii*. 2006, no 40(8986), 08.04.06.