© В.И. Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова,
П.С. Козлов, М.И. Труфанов,
Н.С. Фролов, Т.И. Юшина,
Е.Н. Липная, 2007

УДК 622.765:681.5.01

В.И. Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова,
П.С. Козлов, М.И. Труфанов, Н.С. Фролов,
Т.И. Юшина, Е.Н. Липная

К МЕТОДИКЕ СНЯТИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ КРИВЫХ σ (t) ДЛЯ РЕАГЕНТОВ ПЕННОЙ ФЛОТАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОДБОРА ИХ ОПТИМАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ

Семинар № 25

1. Снятие релаксационных кривых σ(t) (σ - вектор поверхностного натяжения, t - время) позволяет оценить величину неравновесности, которая может возникнуть на вытягиваемой поверхности пузырька в динамических условиях пенной флотации в зависимости от состава реагента и его содержания в растворе или в пульпе.

Обычно явлению неравновесности на поверхности пузырька не уделяется должного внимания, а именно эта неравновесность, при прочих равных условиях, определяет выход концентрата, его качество, крупность флотируемых частиц, степень селекции частиц минералов, разделяемых при флотации. Кроме того, снятие кривых σ(t) может позволить оперативно управлять процессом пенной флотации в промышленности.

2. Величина неравновесности оценивается по разности $\Delta\sigma = \sigma_д - \sigma_р$ между динамическим значением $\sigma_д$ и равновесным $\sigma_р$, измеренным в том же растворе. В чистой воде $\sigma_д = \sigma_р$, $\Delta\sigma = 0$ и неравновесность вообще не может возникнуть. По этой причине в чистой воде практически не может происходить пенная флотация и образовываться устойчивая пена. В связи с этим снятие кривых σ(t) представляется весьма полезным для оценки именно тех свойств реагентов, которые могут проявляться в динамических условиях пенной флотации, и необходимы для ее успешного проведения.

3. Важность величины Δσ для пенной флотации и для изучения действия реагентов впервые установили А.Ф. Таггарт и А.М. Годэн в 1923 г. [1], обобщив данные практики. Впоследствии и другие исследователи также отмечали это обстоятельство [2, с.24]. Однако, рассматривая пенную флотацию как вариант пленочной, они ошибочно пренебрегали капиллярной силой отрыва [3, с.32] и потому не могли развить свое знаменательное открытие, поскольку не знали, как объяснить, почему реагенты, снижающие σ на поверхности воды, способствуют росту крупности флотируемых частиц. С позиций пленочной флотации это объяснить, действительно, невозможно.

4. В настоящем сообщении рассматривается один из способов снятия

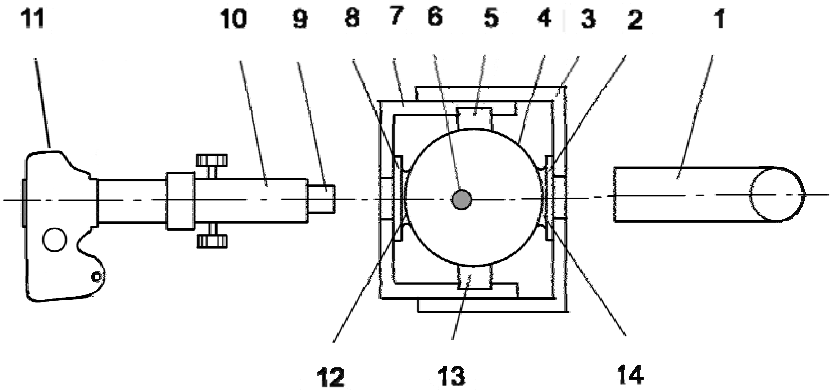

Рис. 1. Схема оптической системы для снятия кривых σ(t) путем фотографирования пузырька 6 в растворе реагента в стакане 4

кривых σ(t) по форме контура сидячего пузырька. Для этого используется простая оптическая система (рис. 1), состоящая из источника параллельных лучей света *1,* горизонтального микроскопа *10* с длиннофокусным объективом *9*, цифрового фотоаппарата *11* и ячейки, в качестве которой используется обычный тонкостенный "химический" стакан *4* диаметром более 50 мм. К стакану спереди и сзади нормально к лучу прижимаются плоские тонкие стеклянные пластинки *2* и *8*, а в пространство между стаканом и пластинками пипеткой заливается дистиллированная вода. Эти водные заливки *12* и *14* превратили стакан в ячейку с плоскопараллельными стенками.

Стекла *2* и *8* закрепляются на П-образных скобах *3* и *7,* вставленных одна в другую и обеспечивающих при их перемещении как взаимную параллельность стекол, так и их нормальное расположение к лучу. Центр стакана *4* выставляется по оси луча по середине узкой светлой вертикальной полоски, видимой в фотоаппарате *11*, когда стакан пустой и его стенки с прижатыми к нему пластинками *2* и *8* и заливками *12* и *14* образуют две обращенные друг к другу плосковогнутые цилиндрические линзы. Стакан фиксируется и по отношению к скобе *7* ограничителями *5* и *13.* После этого в исследуемом растворе создается пузырек *6*, по форме которого определяется величина σ и снимается кривая σ(t).

Увеличение при фотографировании и возможные искажения контура пузырька оптической системой оцениваются путем фотографирования шариков различного размера на подставках и сопоставления их истинных размеров (диаметра и высоты) с соответствующими размерами на их изображении. Измерения показали, что увеличения, как в воздухе, так и в воде практически одинаковые и не зависят от размеров шариков в диапазоне от 2 до 5 мм. Объекты большего размера не фотографировали, так они не входили в поле кадра при выбранном увеличении.

В такой системе, как мы убедились, можно практически без искажения фотографировать объекты размером до 5 мм, что вполне достаточно, ибо размер используемых пузырьков не превышает 4,0 мм.

5. На рис. 2 приведена схема, используемая для создания пузырька желаемого размера и его последующего раздувания на необходимую величину.

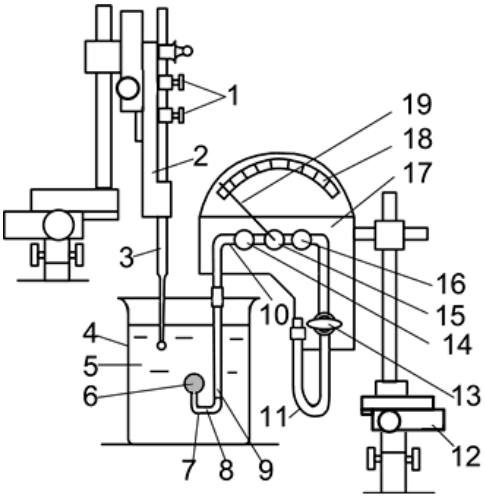

Рис. 2. Схема устройства, позволяющего выдавливать пузырек 6 в стакане 4, раздувать его на заданную величину и подавать на него капли реагента посредством микропипетки 3

Пузырек выдувается на торце загнутой вверх стеклянной трубки *7*, соединенной с резиновыми трубками *10* и *11* и краном *13*. Трубка *10* для теплоизоляции помещена в канал между двумя пластинами *17* из плексигласа толщиной в 10 мм. Перед началом опыта через систему из этих трубок пропускается горячая вода, чтобы удалить с их внутренней поверхности адсорбированные молекулы воздуха. После остывания воды часть ее выдавливается из конца трубки *7* путем сжатия винтами *14* и *16* трубки *10*. Далее вместо вытесненной воды в трубку *7* всасывается воздух *8*, из которого посредством тех же винтов затем формируется пузырек *6*. Величина пузырька ориентировочно устанавливается по меткам, имеющимся на экране фотоаппарата. Дополнительное раздувание пузырька производится посредством винта *15* со стрелкой *19* по шкале *18*.

Для перемещения пузырька в трех взаимно перпендикулярных направлениях с целью совмещения его с осью луча или фокусировки пластина *17* связана с тремя кремальерами. Например, кремальера к*12* использу-ется для перемещения вправо и вле-во. Реагент может подаваться как в виде раствора, так и в капельном ви-де посредством микропипетки *3* и винтов *1*, закрепленных на планке *2*, которая тоже может перемещаться в трех направ-лениях.

6. Снятие кривых σ(t) связанно с применением цифровой технологии. По форме пузырька *6*, образованного на торце трубки *7* (рис. 2) определяется его объем V и поверхностное натяжение σ, как это указанно в [4].

Определение σ производится во времени (от 2 до 15 мин) до тех пор, пока не установится постоянное его значение. На рис. 3, где приведены несколько кривых σ(t), это отвечает начальному горизонтальному участку

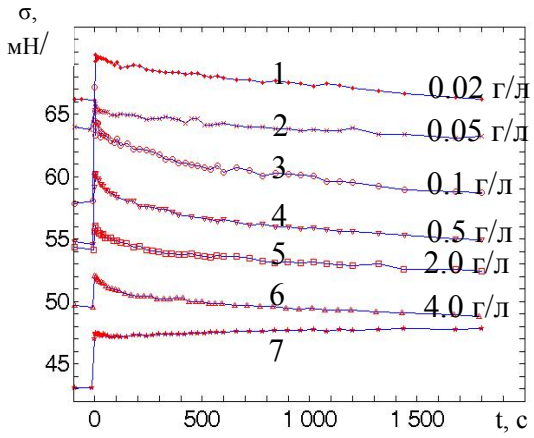

Рис. 3. Кривые σ(t), снятые в растворах Т-66 различных концентраций при 25 ^{o} С

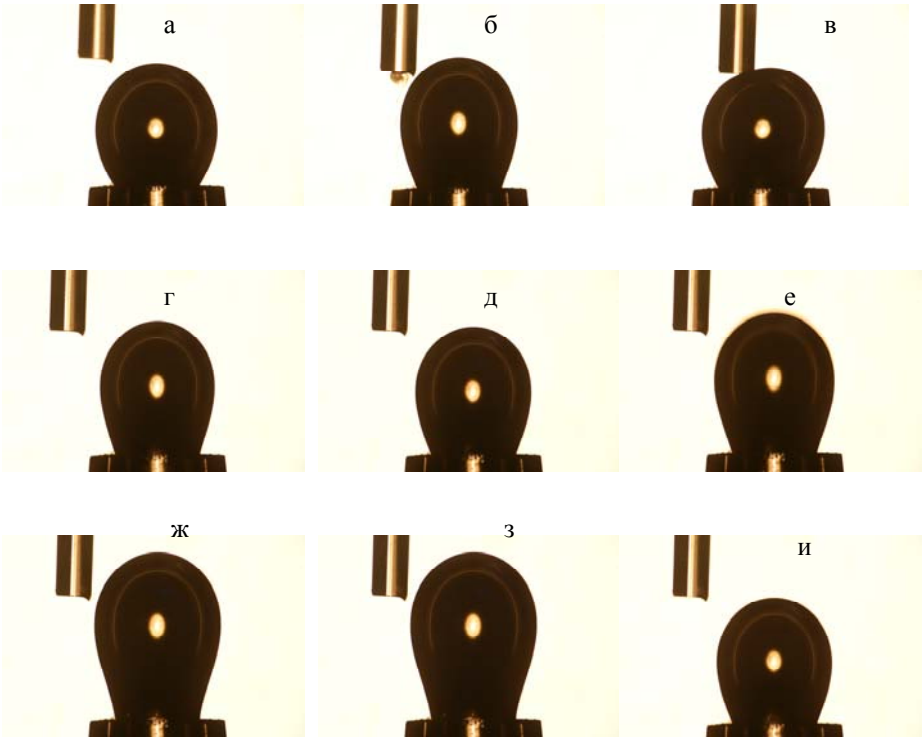

Рис. 4. Микрофотографии пузырька, сидящего на конце стеклянной трубки в растворе Т-66. Справа на всех кадрах виден кончик микропипетки, для подачи реагента: а - начальный пузырек с σ = 68.84 мН/м, de = 3 мм; б - капля реагента на конце капилляра микропипетки; в - реагент подан на поверхность пузырька; г - капилляр микропипетки отвели от пузырька и измеряемое значение σ = 38.69 мН/м, de = 2.82 мм; д,е - раздувание пузырька σ = 43.09 мН/м, de = 2.85 мм; ж - пузырек раздут, поверхностное натяжение на нем стало $\sigma_д$ = 47.44 мН/м, de = 3.10 мм, t = 0 с и начало снятия кривой σ(t); з - такой же пузырек σ = 47.36 мН/м, de = 3.10 мм; к - пузырек сжат, поверхностное натяжение на нем стало $\sigma_р$ = 43.66 мН/м, de = 2.83 мм, t = 1800 с и конец снятия кривой σ(t).

вдоль оси абсцисс до времени 0.

Затем пузырек слегка раздувают поворотом стрелки *19* (рис. 2) вправо на определенный угол. Раздувание пузырька сопровождается ростом площади его поверхности и нарушением адсорбционного равновесия на ней. Компьютер по форме пузырька определяет его параметры, в частности, величину $\sigma_д$. Разность между $\sigma_д$ и начальным равновесным значением $\sigma_н$ дает величину Δσ. Далее (после t = 0) пузырек непрерывно фотографируют через заданные промежутки времени t и по изменяющейся форме его кон-туров, переданных фотоаппаратом в компьютер, определяют все параметры пузырька и, в том числе, уменьшающееся значение $\sigma_д$. Последнее легко заметить по наклону кривых σ(t). Когда кривая примет практически горизонтальный ход, фотографирование прекращается, и это соответствует практически наступлению состояния, равновесия а измеренные последние значения σ отвечают равновесному его значению $\sigma_р$.

На рис. 3 приведены шесть кривых σ(t), соответствующих концентрациям Т-66 от 0.02 до 4.0 г/л.

Кривая *7* на рис. 3 соответствует случаю подачи на поверхность пузырька капли реагента, как это показано на рис. 4. Такая операция имеет своей целью определить предельное значение σ в растворе данного реагента и оценить на сколько близка концентрация 4.0 г/л к состоянию насыщения.

Легко заметить что кривая *7* на рис. 3 имеет со временем восходящий ход, что указывает на десорбцию избытка реагента с поверхности пузырька в раствор.

Микрофотографии на рис. 4 иллюстрируют операции от образо-вания пузырька на торце трубочки (кадр *а*) до завершения снятия кривой σ(t) (кадр *з*) и сброса избыточного давления, который производится поворотом стрелки 19 (рис. 2) влево. В результате пузырек возвращается к первоначальному объему.

Естественно, что процесс снятия кривых σ(t) может показаться трудоемким, но такие измерения позволяют раскрыть механизм действия реагентов и выяснить отдельные его детали

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Taggart A.F., Gaudin A.M.* Surface tension and adsorption phenomena in flotation. – Trans. AIME, 1923, vol.68, p.479-535.
2. *Физико*-химические основы теории флотации /О.С. Богданов, А.М. Гольман, И.А. Каковский и др. – М.: Наука, 1983. – 264 с.
3. *Мелик-Гайказян В.И.* Недостатки классических представлений теории пенной флотации// Современное состояние и перспективы развития теории флотации. – М.: Наука, 1979. – 307 с.
4. *К использованию* цифровой технологии для подбора аполярных флотореагентов, оценки их содержания в пульпе и управления процессом/ В.И. Мелик- Гайказян, А.В. Драганов, Н.П. Емельянова, П.С. Козлов, М.И. Труфанов. – М.: МГГУ, ГИАБ, 2006, № 1, с.349-355. ГИАБ

Коротко об авторах

Мелик-Гайказян В.И.– доктор химических наук, профессор, руководитель лаборатории поверхностных явлений и флотации,
Емельянова Н.П. – кандидат химических наук, доцент,
Козлов П.С. – аспирант,
Труфанов М.И. – кандидат технических наук, доцент,
Фролов Н.С. – кандидат технических наук, доцент,
Курский государственный технический университет,
Юшина Т.И. – кандидат технических наук, доцент,
Липная Е.Н. – аспирант,
Московский государственный горный университет.