

УДК 622.7

Э.П. Ячушко

**О ВОЗДУШНЫХ ПУЗЫРЬКАХ ВО ФЛОТАЦИИ**

Семинар № 25

**И**звестно, что пенная флотация является основным методом обогащения на рудных обогатительных фабриках, а также используется для обогащения мелких частиц угля, железа, марганца и других минералов неметаллического сырья.

Результатом промышленного флотационного процесса является образование слоя пены, удерживающей флотируемые частицы во флотационной машине.

Слой пены в ней образуется воздушными пузырьками, к которым прилипают частицы полезных минералов и пузырьки их выносят на поверхность пульпы, где образуется слой пены. Нефлотируемые частицы к пузырькам не прилипают и остаются в пульпе. Оба продукта - концентрат и хвосты удаляются отдельно из флотационной машины.

Таким образом, без образования воздушных пузырьков в объеме пульпы и пенообразования флотация невозможна.

Воздушные пузырьки образуются в пульпе флотационной машины тем или иным способом. В состоянии равновесия пузырьки - это сосуды, содержащие определенную массу воздуха, смеси газов и насыщенных водяных паров. Так как газы формой не обладают, то они занимают определенный объем только при наличии внешнего сжимающего давления со стороны стенок сосуда, в котором находится данная масса газов. Газы могут подвергаться только всестороннему (объемному) сжатию или рас-

ширению [1, стр. 112]. Так, пузырек газа в жидкости - это сосуд, содержащий, определенную массу газа. Так как пузырек образуется в жидкости, то стенками его сосуда является оболочка жидкости, в которой он находится. Эта оболочка односторонняя, так как на границе раздела газ - жидкость находится с внутренней стороны газ, а наружной границей его является та же жидкость.

Система пузырек газа - жидкость является гетерогенной системой.

Признаками гетерогенности является наличие межфазной поверхности, поверхностного слоя.

Так как силы межмолекулярного взаимодействия газа в поверхностном слое значительно меньше, чем межмолекулярное взаимодействие молекул жидкости в слое, то они обеспечивают наличие поверхностного слоя жидкости определенной толщины.

Обычно толщина поверхностного слоя жидкости составляет несколько молекул. [2, стр. 19].

Свойства поверхности раздела вода-воздух определяются главным образом значением удельной свободной поверхностной энергии и структурой поверхностного слоя воды на границе раздела газ-жидкость, т.е. структурой жидкой оболочки пузырька, которые, в свою очередь, зависят от наличия и концентрации растворенных солей, аполярных и гетерополярных органических соединений в воде [3, стр. 141].

**Рис. 1. Формирование газового - «пенного» пузырька**

Вследствие этого структура водной оболочки воздушного пузырька во флотационной пульпе иная, чем оболочка пузырька в чистой воде.

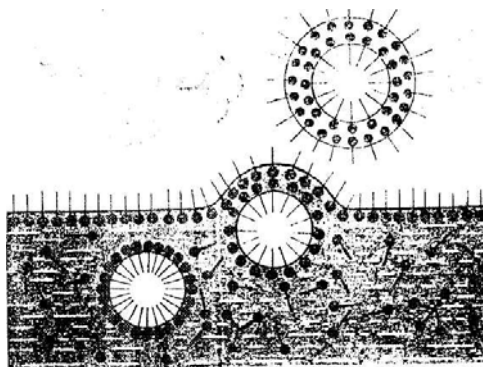
Для флотации важно наличие в пульпе не обычных воздушных пузырьков в воде, а таких пузырьков, которые бы не сливались между собой в объеме пульпы, а при подъеме на поверхность образовывали бы пену.

Выполнение этого условия достигается использованием реагентов-пенообразователей (вспенивателей), вводимых в небольших количествах в процесс. Пенообразователи являются гетерополярными поверхностно-активными веществами, содержащими полярную и аполярную части, причем они адсорбируются на границе раздела вода-воздух, ориентируясь полярной группой к воде, а аполярной - к воздуху.

Адсорбция пенообразователя сопровождается понижением свободной поверхностной энергии границы раздела вода-воздух, а также изменяет коалесцентную способность воздушных пузырьков и степень их дисперсности в пульпе, уменьшает скорость их подъема, структурно-механические свойства водных оболочек пузырьков и образование и прочность пены [3, стр. 193-194].

Пенообразователь также повышает прочность как двухфазной, так и трехфазной - минерализованной пены.

Рассмотрим образование двухфазной пены, по Меркину и Таубе. Пену они определяют как дисперсную систему, состоящую из газа (воздуха) и жидкости, разделяющей воздушные ячейки [4, стр. 11]. Образование двухфазной пены они рассматривают на примере одного элементарного пузырька. Пусть пузырек воздуха попал в раствор, содержащий пенообразователь. На границе пузырька



с жидкостью сразу начнут скапливаться адсорбироваться молекулы пенообразователя (см. рис. 1).

Всплывая, пузырек достигает поверхности, давит на нее и растягивает. Молекулы пенообразователя из раствора устремляются к растущей поверхности, предотвращая разрыв пленки жидкости. Таким образом, при выходе из воды пузырек оказывается окруженным оболочкой из двух монослоев пенообразователя, между которыми находится пленка жидкости. Когда в раствор вовлекается много воздуха, образующиеся пузырьки, всплывая, создают на поверхности пенный слой, толщина которого увеличивается в процессе перемешивания жидкости и газа. В конечном счете вся жидкая фаза превращается в пену.

Для флотации двухфазная пена не характерна, т.к. она не охватывает всего объема пульпы, превращая ее жидкую часть в пену.

Для флотации характерно наличие слоя пены, причем пены трехфазной, т.е. содержащей кроме воздушных пузырьков с жидкими прослойками, твердые частицы - минерализованной пены.

Исследователи флотации почему-то обходят стороной вопрос: каким образом воздушный пузырек в объеме пульпы, обладающий односторонней жидкой оболочкой с прилипшими к ней твердыми частицами, превращается, выйдя на

поверхность пульпы, в «пенный» пузырек, обладающий двухсторонней поверхностью, каждая из которых содержит мономолекулярный слой пенообразователя и пленку жидкости между ними, как это трактуют Меркин и Таубе.

Только Алейников и Марчевская [5, стр. 160], рассматривая вопрос о переносе жидкой фазы во флотационном процессе, упоминают об этом. Они отмечают: известно, что в технологических процессах по селективной флотации руд перенос жидкой фазы Ж.Ф. с флотационной пеной постоянно учитывается в водно-шламовом балансе. Чем меньше относительная величина этого переноса, тем эффективнее протекает в гидродинамическом отношении флотация. Образующиеся первичные флотационные агрегаты в своих структурах (в пульпе) содержат малое количество Ж.Ф., благодаря наличию в них (пузырьках) односторонних пленок.

Пленочно-структурные пены, образованные из полидисперсной суспензии с развитой объемной структурой жидких двухсторонних пленок (пузырьков) содержат в своем составе 70-90 % Ж.Ф. по весу. Как же воздушный пузырек с односторонней оболочкой с прилипшими к нему частицами в объеме пульпы превращается в двухсторонний «пенный» пузырек при выходе на ее поверхность?

Рассмотрим минерализованный пузырек сначала в объеме пульпы. Следует отметить, что в пульпе частицы флотируемых минералов покрыты

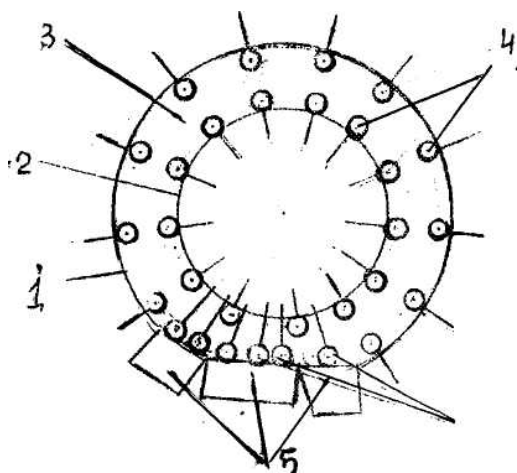
тончайшей гидратной оболочкой и на их поверхностях адсорбированы гетерополярные молекулы собирателя с ориентировкой полярной частью к частицам, а аполярной частью - наружу. Воздушные пузырьки в объеме пульпы также имеют не мономолекулярное покрытие оболочки пенообразователем, как трактуют Меркин и Таубе, а его молеку-

лы расположены реже, потому что по расчетам Эйгелеса [6, стр. 24] во флотационной пульпе процент занятости поверхности пузырьков молекулами вспенивателя составляет менее 8% при фабричных расходах реагента.

К воздушному пузырьку в пульпе, если следовать адсорбционной гипотезе элементарного акта флотации Белоглазова [7], твердые частицы полезного минерала, на поверхности которых прикрепились своими полярными частями молекулы собирателя, прикрепляются к воздушному пузырьку аполярными частями молекул собирателя. Это вполне возможно, если длина аполярных частей собирателя позволяет собирателю войти в оболочку пузырька, то есть адсорбироваться на его поверхности.

При выходе минерализованного пузырька на поверхность пульпы он приобретает вторую - наружную поверхность, содержащую молекулы пенообразователя, ориентированные своими аполярными частями наружу (см. рис. 2).

Что мы имеем? В объеме пульпы частицы прикрепились к односторонней оболочке пузырька. А на поверхности он уже имеет вторую наружную поверхность, каждая из которых имеет уже мономолекулярный слой пенообразователя, а внутри их находится жидкая прослойка. Значит при выходе пузырька на поверхность пульпы и приобретения им наружной поверхности с мономолекулярным слоем пенообразователя, то эта поверхность должна доходить только до боковых сторон частиц, закрепившихся на односторонней оболочке пузырька в пульпе. Таким образом, на внутренней поверхности частиц молекул поверхностного слоя пенообразователя быть не должно, так как жидкая прослойка односторонней оболочки отодвинуть частицы не может. В таком случае продолжением жидкой прослойки минерализованного



**Рис. 2. Минерализованный пузырек после выхода на поверхность - «пенный» пузырек:** 1 – наружная поверхность пузырька; 2 – внутренняя поверхность пузырька; 3 – жидкая прослойка; 4 – молекулы пенообразователя; 5 – твердые частицы, прилипшие к пузырьку; 6 – молекулы собирателя

пузырька на поверхности пульпы, чтобы замкнуть ее в сферу, будет служить остаточная гидратная оболочка твердых частиц, остающаяся после закрепления на них полярных частей молекул собирателя.

Я отмечал, что в пульпе молекулы пенообразователя на поверхности пузырьков расположены реже, т.е. не мономолекулярным слоем. А на поверхности пульпы, чтобы образовалась пена, как трактуют Меркин и Таубе, минерализованные пузырьки

должны обладать мономолекулярными слоями пенообразователя, между которыми находится жидкая прослойка.

Поэтому для того, чтобы на поверхности пульпы образовался слой пены, минерализованные пузырьки, поднимаясь из объема пульпы, будут лопаться. При этом концентрация молекул пенообразователя в поверхностном слое пульпы будет повышаться. Так как минерализованные пузырьки поступают непрерывно, то по достижении в поверхностном слое концентрации пенообразователя достаточной для того, чтобы выходящие на поверхность последующие пузырьки обладали мономолекулярными слоями пенообразователя, и они будут образовывать первый, второй и последующие слои минерализованной пены.

Таким образом осуществляется процесс промышленной флотации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геворкян Р.Г., Шепель В.В. Курс общей физики, – М.: Высшая школа, 1972.
2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1982.
3. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1984.
4. Меркин А.П., Таубе П.П. Непрочное чудо. – М.: Химия, 1983.
5. Алейников Н.А., Марчевская В.И. Перенос жидкой фазы во флотационном процессе. Стр. 160-167. Сб. Теоретические основы и контроль процессов флотации. – М.: Недра, 1980.
6. Эйгелес М.Н. Основы флотации несulfидных минералов. – М.: Metallurgizdat, 1950.
7. Белоглазов К.Ф. Закономерности флотационного процесса. Metallurgizdat, 1947. **ТИАБ**

#### Коротко об авторе

Ячушко Э.П. – инженер.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007».

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.А. Абрамов.