

Шлаки металлургических заводов являются ценным сырьем, содержащим многие виды цветных, редких и благородных металлов, а также редкоземельных элементов. В ближайшем будущем шлаки будут перерабатываться для получения целого ряда указанных металлов.

Комплексная переработка минерального сырья является эффективной при условии, что суммарные затраты на соответствующее количество товарной продукции не превышает затраты на эти продукты при их отдельном получении из различных видов сырья.

Следует отметить, что отходы угледобычи и углеобогащения в Украине еще не находят широкого использования, особенно в

сравнении со странами Западной Европы и Северной Америки. В этой связи в условиях становления рыночных отношений, необходима разработка новых принципов оценки техногенных ресурсов и соответствующих им оценочных показателей.

Целью оценки техногенного месторождения является определение его экономической значимости и эффективности вложения капитала при оптимальном использовании ресурсов. Широкое использование отходов добычи и их переработки экономически выгодно, окупаемость затрат достигается за полтора-два года. Это достигается за счет снижения площади занимаемых земель под отходы и загрязненности окружающей среды, сни-

жения расходов на добычу заменяемых видов первичного минерального сырья; снижения себестоимости производства товарной продукции с использованием отходов по сравнению с традиционными способами производства; экономии топлива при производстве строительных материалов и т.п.

Использование техногенного минерального сырья, получение из него большого количества продукции, нужной народному хозяйству и населению страны, будет способствовать повышению экономической эффективности экономики страны, более рациональному использованию природных минеральных ресурсов и охране окружающей среды.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Негода С.В. – аспирант, Национальная горная академия Украины.

© П.И. Пилов, А.А. Березняк, 2003

УДК 622.794:537.528

П.И. Пилов, А.А. Березняк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН СЖАТИЯ ДЛЯ СГУЩЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ СУСПЕНЗИЙ

К тонкодисперсным отнесем системы, твердые частицы которых преимущественно обладают способностью к диффузии за счет броуновского движения и вследствие этого к определенной кинетической устойчивости.

Тонкодисперсные и коллоидные системы вследствие их большой удельной поверхности являются системами термодинамически неравновесными и принципиально агрегативно неустойчивыми и вследствие этого проявляют в той или иной мере способность к коагуляции или агрегатированию.

На больших расстояниях между частицами наблюдается некоторый перевес сил молекулярного притяжения, обусловленный тем, что эти силы убывают по степенному закону, а силы электростатического отталкивания - по экспоненциальному. На средних расстояниях, отвечающих толщине эффективных ионных оболочек порядка 0,1 мкм, приобре-

тают перевес силы электростатического отталкивания. Наконец, на близких расстояниях порядка 100 \AA опять начинают преобладать силы притяжения.

Если частицы осаждаются без коагуляции, то через некоторое время устанавливается равенство между диффузионным и седиментационным потоками, в результате которого достигается кинетическое равнове-

сие и концентрация твердой фазы по высоте подчиняется гипсометрическому закону. Четкая граница между осветленной и сгущенной частями суспензии отсутствует.

Иной механизм седиментации суспензии при коагуляции твердой фазы. В начальный момент времени, до образования флокул, частицы осаждаются отдельно, и скорость их осаждения незначительна. Благодаря броуновскому движению, турбулентной диффузии происходит столкновение отдельных частиц и образование флокул. Однако для агрегатирования частиц необходимо преодолеть некоторый энергетический барьер, называемый энергией активации, поэтому не каждое столкновение приводит к флокуляции. Величина энергии активации определяется, в основном, величиной дзета-потенциала поверхности и сольватной оболочкой. Если столк-

вающиеся частицы обладают достаточной для преодоления энергетического барьера энергией, то происходит слияние сольватных оболочек, уменьшение суммарной поверхности, в результате чего образуется агрегат, энергия которого меньше суммы энергий частиц до столкновения. Этим объясняется термодинамическая устойчивость флокул.

Образовавшиеся флокулы имеют гораздо большие размеры и скорость осаждения, чем отдельные частицы, поэтому скорость их удаления из зоны осветления увеличивается.

Время, в течение которого образуется необходимое количество флокул, можно назвать индукционным периодом. В результате такого механизма седиментации образуется четкая граница между осветленной и сгущенной частями суспензии, причем часто в осветленной части практически отсутствуют частицы твердой фазы даже коллоидного размера. Следовательно, кинетику сгущения коагулирующей суспензии следует рассматривать с учетом одновременного протекания взаимообусловленных процессов флокуляции и осаждения, причем процесс агрегатирования частиц коллоидной крупности предшествует седиментации. Таким образом, кинетику сгущения суспензии формально можно сравнить с кинетикой последовательно протекающих химических реакций.

Пусть в слое суспензии, находящемся в зоне осветления, в начальный момент времени $t = 0$ содержится некоторое количество несагулировавших частиц суспензии, равное a . Ко времени t пусть количество коагулировавших частиц равно b , а количество частиц, ушедших из рассматриваемого слоя за счет седиментации, обозначим буквой c . Тогда скорость образования коагулировавших частиц определится выражением

$$\frac{db}{dt} = k_1(a - b), \quad (1)$$

где k_1 - константа скорости коагуляции.

Скорость уменьшения количества коагулировавших частиц в слое определяется скоростью седиментации, характеризуемой константой k_2 :

$$\frac{d(b - c)}{dt} = k_1(a - b) - k_2(b - c). \quad (2)$$

Решив систему дифференциальных уравнений (1) и (2), и учитывая, что количеству частиц, которые перешли в сгущенную зону, пропорциональна высота осветленного слоя при условии осаждения в цилиндрической емкости, кинетическое уравнение для высоты осветленного слоя после преобразований можно представить следующим выражением:

$$H = A \left[1 - \frac{k_2}{k_2 - k_1} \exp(-k_1 t) + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \exp(-k_2 t) \right], \quad (3)$$

где A - постоянная, м.

Когда константа скорости седиментации намного превышает константу скорости коагуляции (крупно-

дисперсная суспензия), зависимость вырождается в известную экспоненциальную. В случае, когда константы сравнимы по величине между собой, на графике зависимости появляется перегиб и время, соответствующее этому перегибу, можно назвать индукционным периодом системы. До этого времени в системе преобладают процессы коагуляции, или образования и укрупнения флокул, а после него - седиментации или осаждения. Следует отметить лишь количественное отличие в двух процессах, а качественно они протекают в суспензии одновременно.

По мере удаления по оси времени от нулевой точки отсчета кривая асимптотически приближается к прямой, параллельной оси абсцисс и имеющей значение ординаты, равное постоянной A . Однако нельзя считать эту постоянную конечной высотой осветленного слоя, поскольку она имеет другое значение и часто эта разница существенна. Объясняется разница тем, что при выводе уравнения (3) предполагается, что образовавшиеся флокулы удаляются седиментацией из зоны осветления свободно, не взаимодействуя друг с другом, и это справедливо на начальном этапе сгущения суспензии. Когда концентрация твердой фазы в зоне сгущения возрастает настолько, что флокулы и отдельные частицы начинают взаимодействовать между собой и образовывать пространственные структуры, то предлагаемое кинетическое уравнение несправедливо. Но в этом случае следует рассматривать уже не собственно процесс осаждения твердой фазы, а процесс уплотнения образовавшегося осадка, который, очевидно, подчиняется другим закономерностям.

Известно, что с помощью звукового воздействия можно интенсифицировать флокуляцию и сгущение. Под действием сил, вызванных акустическими течениями, частицы движутся навстречу друг другу, число их столкновений возрастает, при этом образуются агрегаты. Практическое применение способа сдерживается сложностью и дороговизной изготовления оборудования, особенно большой единичной мощности, и низким акустическим коэффициентом полезного действия подобного рода устройств.

Если в жидкости расположить два электрода и подключить к ним заряженный до пробойной разности потенциалов конденсатор, то в жидкости возникнет электрический разряд. В канале разряда температура плазмы достигает 10 тыс. градусов, а давление может превышать 100 МПа. Впервые это явление описали Лейн и Пристли еще в 1747 г., но в промышленности его стали применять после исследований Юткина, поэтому часто электрогидроимпульсный эффект называют эффектом Юткина.

Под воздействием давления парогазовый пузырь расширяется со скоростью, превышающей скорость звука, поэтому возникает ударная волна, которая очень быстро, на расстоянии нескольких радиусов канала, затухает вследствие сильной диссипации энергии. Скорость ударной волны уменьшается до скорости звука, и она переходит в акустическую, которую в физике взрыва принято называть волной сжатия среды.

Акустический коэффициент полезного действия этого способа тоже невелик, однако импульсная

РЕЗУЛЬТАТЫ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН СЖАТИЯ НА КАОЛИНОВЫЕ СУСПЕНЗИИ.

| Коэффициенты уравнения | Плотность 1080 кг/м ³ , рН=6,5 | | Плотность 1015 кг/м ³ , рН=8 | |
|------------------------|---|---------------|---|---------------|
| | с воздействием | без воздейст. | с воздействием | без воздейст. |
| A | 62,16 | 22,69 | 107,43 | 93,44 |
| K ₁ | 0,087 | 0,0057 | 0,0804 | 0,075 |
| K ₂ | 0,0055 | 0,0055 | 0,02 | 0,02 |

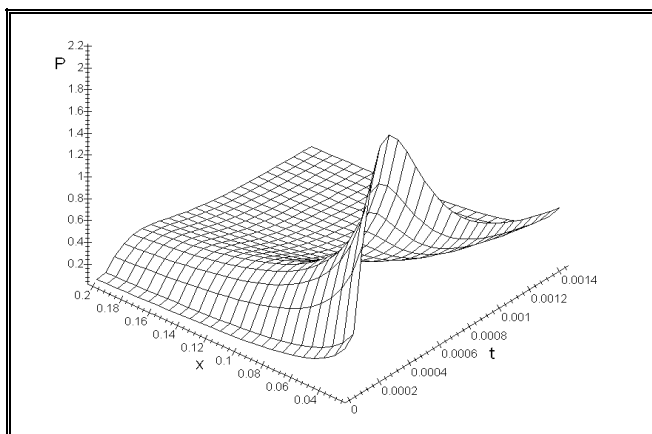


Рис. 1. Зависимость акустического давления от времени разряда и расстояния: P – давление, МПа, x – расстояние от источника, м, t – время, с

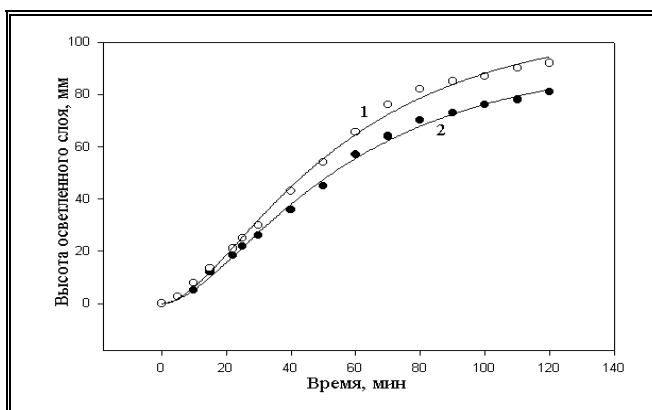


Рис. 2. Зависимость высоты осветленного слоя от времени (плотность суспензии 1080 кг/м³, рН=6,5): 1 – с воздействием волн сжатия. 2 – без воздействия

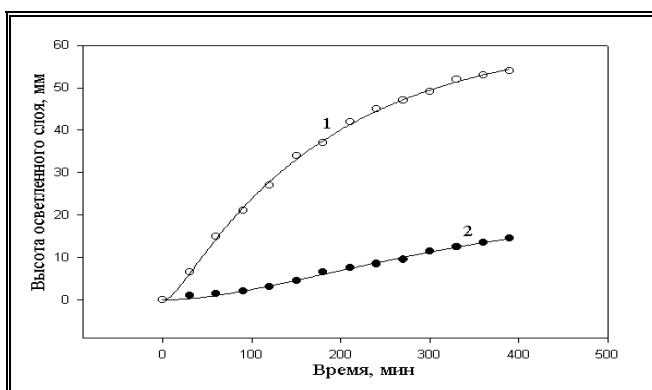


Рис. 3. Зависимость высоты осветленного слоя от времени (плотность суспензии 1015 кг/м³, рН=8): 1 – с воздействием волн сжатия. 2 – без воздействия

В сферическом приближении для несжимаемой среды, используя основные уравнения гидродинамики, электротехники и физики взрыва, можно получить в явном виде уравнение изменения во времени давления на поверхности парогазового пузыря:

$$P(t) = \frac{3(\gamma-1)}{4\pi \cdot R^3} \times \left\{ \frac{U^2 C \exp\left(-\frac{\Omega_k t}{L}\right)}{4L + \Omega_k^2} \left[2L + \frac{\Omega_k C}{2} \left(L \sqrt{\frac{4}{LC} - \frac{\Omega_k^2}{L^2}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{4}{LC} - \frac{\Omega_k^2}{L^2}} \cdot t\right) - \Omega_k \cos\left(\sqrt{\frac{4}{LC} - \frac{\Omega_k^2}{L^2}} \cdot t\right) \right) \right] - 2\pi p R \frac{\partial R}{\partial t} \right\}$$

где γ - показатель адиабаты, в нашем случае он равен 1,26; R - зависимость радиуса пузыря от времени, м; L - индуктивность контура, Гн; C - емкость контура, Ф; Ω_k - активное сопротивление разрядного контура, Ом; U - начальное напряжение на емкости, В.

Экспериментально определив зависимость коэффициента затухания гармонических акустических колебаний от частоты, или диссипативные свойства суспензии, и воспользовавшись методами гармонического анализа, получим математическую модель распространения акустической волны сжатия в суспензии

$$P(t, x) = \frac{R_{\max}}{x} \left\{ \frac{a_0}{2} \exp(-\gamma(\omega)(x - R_{\max})) + \sum_{k=1}^n [(a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)) \exp(-\gamma(\omega)(x - R_{\max}))] \right\}$$

где $\gamma(\omega)$ - зависимость коэффициента поглощения от частоты.

В качестве примера на рис. 1 приведено решение для распространения акустической волны сжатия в суспензии плотностью 1240 кг/м³, которая возбуждается разрядом с энергией 9 Дж.

Экспериментальные результаты по воздействию волн сжатия на суспензии каолина в воде различной плотности и концентрации ионов водорода графически представлены на рис. 2 и рис. 3. Кривые 1 на обоих рисунках соответствуют увеличению высоты осветленного слоя при воздействии волн сжатия, а кривые 2 – без воздействия. Кружками отмечены экспериментальные точки, а сплошными линиями –

мощность получаемых колебаний в широком спектре частот на много порядков превышает мощности, которые можно получить другими известными и практически приложимыми способами. К достоинствам электрогидроимпульсного способа следует отнести легкость регулировки длительности, мощности и периода следования импульсов.

результаты их аппроксимации численными методами согласно уравнению (3). Полученные в результате аппроксимации значения коэффициентов уравнения, сведены в таблицу.

Из рис 2 видно, что кривая 2 имеет перегиб, соответствующий времени осаждения около 200 мин. До этого момента времени в суспензии преобладают процессы агрегатирования твердой фазы, а после него – седиментации образовавшихся агрегатов. Время образования и укрупнения флокул соответствует индукционному периоду. Как следует из рис 3, в случае повышения pH среды и соответственно снижения отрицательного ζ -потенциала поверхности твердой фазы индукционный период сокращается приблизительно на порядок. Интересно, что кривая 1 на рис. 3 при выбранном масштабе изображения перегиба практически не имеет, что означает отсутствие индукционного периода, и аппроксимирующее уравнение (3) вырождается в простую экспоненциальную зависимость.

Анализируя результаты, видим, что в обоих слу-

чаях при воздействии на каолиновую суспензию волн сжатия среды константа скорости седиментации остается неизменной. В то же время как константа скорости коагуляции увеличивается, причем в первом случае при pH = 6,5 более чем в 15 раз, тогда как во втором при pH = 8 в 1,072 раза.

Следует полагать, что воздействие волн сжатия уменьшает энергию активации, увеличивая тем самым константу скорости образования ассоциатов или флокул. Другими словами, воздействие волн сжатия не оказывает влияния на термодинамическое равновесие системы, а только способствует более быстрому его установлению. Во втором случае, когда pH = 8, энергия активации намного меньше, чем при pH = 6,5, поэтому процесс коагуляции без воздействия протекает быстрее, флокулы образуются более крупные, чем обусловлено и большее значение константы скорости седиментации. Очевидно, чем выше энергия активации, тем значительнее она может быть понижена в результате воздействия акустических волн сжатия

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Пилов П.И. – профессор, Национальная горная академия Украины.

Березняк А.А. – Национальная горная академия Украины.