

гидравлическому удару, о чем также свидетельствует опыт эксплуатации водоотливных установок с баковым аккумулятором на шахтах ПО "Донецкуголь".

Таким образом, разработана математическая модель процесса пуска насоса шахтной водоотливной установки с баковым аккумулятором и проведен всесторонний анализ устойчивости этого режима работы. Показано что, не изменяя гидравлическую схему напорного трубопровода в водоотливных установках с баковыми аккумуляторами, оборудованными насосами ЦНС 300 - 120... 600, удастся обеспечить устойчивый пуск насоса без возникновения гидравлических ударов. Этот вывод использован при проектировании водоотливных установок с баковым аккумулятором для шахт ПО "Донецкуголь" и подтверждается их успешной эксплуатацией на целом ряде шахт объединения.

Список источников.

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учебник для вузов. М.: Недра, 1987. -270 с.
2. Тимошенко Г.М., Марков Н.А. / Средства защиты шахтных водоотливных установок от гидравлических ударов. Известия высших учебных заведений. Горный журнал 1994. - № 3 - С. 109-112.

УДК 622.7

ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ГРОХОЧЕНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сергеев П.В. канд. тех. наук., доц.,

Букин С.Л. канд. тех. наук., доц.

Донецкий государственный технический университет,

Соломичев Н.Н. инж., ПИИ "Интерус" (Украина)

Определена и исследована зависимость коэффициента динамичности режима грохочения от крупности и влажности исходного материала.

Is defined and the dependence of dynamics coefficient of a mode screening from size and moisture of a source material is investigated.

Грохочение материалов предполагает взаимное относительное перемещение зерен сыпучего материала с разрывом связей между ними. По нашему мнению, связность зернистого материала необходимо рассматривать с позиций теории аутогезии, под которой пони-

мают способность двух приведенных в соприкосновение поверхностей одного и того же вещества давать прочную связь, препятствующую их разделению по месту контактов [1]. Силу аутогезии F_a , или прочность контактов можно представить как сумму некоторого числа слагаемых в следующем виде:

$$F_a = F_m + F_k + F_э + F_{\text{кап}} + F_{\text{мз}}, \quad (1)$$

где F_m - силы межмолекулярного притяжения; F_k - когезионные силы; $F_э$ - силы электрического взаимодействия; $F_{\text{кап}}$ - капиллярные силы; $F_{\text{мз}}$ - силы механического зацепления.

Рассмотрим возможность возникновения в грохотимом зернистом материале указанных составляющих аутогезии. Как показано в работе [2], прочность грубодисперсных материалов за счет межмолекулярных (Ван-дер-Ваальсовых) сил невелика из-за малого числа контактов на единицу сечения. Кроме того, величина F_m быстро убывает с увеличением расстояния H между частицами. Для малых расстояний она пропорциональна $1/H^3$, для больших $-1/H^4$.

Силы когезионного взаимодействия F_k имеют ту же природу, что и силы, действующие между молекулами внутри частиц. Однако, для возникновения когезионных сил недостаточно непосредственного соприкосновения частиц. Необходимо внешнее усилие, вызывающее деформацию частиц с образованием свежих поверхностей [3]. Следовательно, вклад составляющей F_k (1) в случае отсутствия интенсивного шламообразования в процессе грохочения невелик.

При рассмотрении влажного материала из уравнения (1) следует исключить силы электрического взаимодействия $F_э$, поскольку в работе [4] доказано, что присутствие влаги в зазоре между соприкасающимися поверхностями делает невозможным появление электрических сил.

Силы механического зацепления $F_{\text{мз}}$ характерны для частиц неправильной формы с развитым микрорельефом поверхности и реализуются в основном в сыпучих материалах, испытывающих значительную внешнюю нагрузку, например, при брикетировании.

Таким образом, анализ показывает, что решающий вклад в силу аутогезии зернистых частиц должны вносить силы $F_{\text{кап}}$, что подтверждается данными [5,3], согласно которым структурно-механические свойства зернистых материалов определяются капиллярными силами.

Капиллярные силы могут проявляться в различных вариантах в зависимости от количества влаги в материале. Частицы, связанные между собой водными мостиками - менисками, притягиваются друг к

другу под действием сил поверхностного натяжения. При слиянии отдельных мостиков и заполнении водой поровых пространств между зернами, сыпучий материал испытывает действие капиллярного (лапласовского) давления, которое стремится удержать частицы вместе. При полном обволакивании водой материала образуется наполненная твердыми частицами капля, которая сохраняет свою форму благодаря силам поверхностного натяжения. Последний вариант маловероятен во влажных материалах, подвергаемых сухому грохочению. Поэтому будем считать, что сила капиллярного сцепления $F_{\text{кан}}$ двух зерен, соединенных жидким мостиком, равна сумме составляющих F_1 поверхностного натяжения и F_2 лапласовского давления:

$$F_{\text{кан}} = F_1 + F_2 = 2\pi \cdot \rho_1 \cdot \sigma + \pi \cdot \rho_1^2 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right), \quad (2)$$

где ρ_1 и ρ_2 - главные радиусы кривизны водной манжеты; σ - поверхностное натяжение воды.

Автором работы [3] получено выражение для $F_{\text{кан}}$ с учетом крупности взаимодействующих частиц, степени гидрофильности материала и количества влаги в зазоре между частицами:

$$F_{\text{кан}} = \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot R \cdot \cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)}, \quad (3)$$

где R - радиус частиц; θ - краевой угол смачивания; β - угол, зависящий от количества жидкости в зазоре.

Как видно из уравнения (3), при прочих равных условиях, сила капиллярного сцепления зерен пропорциональна крупности частиц и степени гидрофильности их поверхности. В соответствии с уравнением (2) силы F_1 и F_2 определяются величинами радиусов кривизны водной манжеты ρ_1 и ρ_2 . В случае контакта типа «шар - шар», исходя из геометрических построений, можно записать [5]:

$$\rho_1 = R \left(\operatorname{tg} \beta - \frac{1}{\cos \beta} + 1 \right); \quad \rho_2 = R \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right).$$

Следовательно, радиусы ρ_1 и ρ_2 определяются крупностью взаимодействующих зерен и количеством воды в манжете. С увеличением воды в манжете возрастают величины ρ_1 и ρ_2 . Согласно (2) увеличивается составляющая F_1 сил капиллярного сцепления $F_{\text{кан}}$. Величина составляющей F_2 зависит от соотношения ρ_1 и ρ_2 . При $\rho_1 > \rho_2$ давление в манжете становится отрицательным и сила F_2 усиливает

капиллярное сцепление зерен. При $\rho_1 = \rho_2$ давление в манжете равно нулю и F_2 стремится к нулю. Когда $\rho_1 < \rho_2$, давление в манжете становится положительным и величина $F_{кан}$ будет определяться только значением силы F_1 .

Таким образом, аутогезия зерен влажного материала обусловлена в основном силами капиллярного сцепления. Последние определяются абсолютной величиной и соотношением между радиусами кривизны водных манжет в зазоре между частицами. Увеличение воды в манжете сопровождается ростом составляющей поверхностного натяжения F_1 и уменьшением вплоть до нуля составляющей лапласовского давления F_2 сил капиллярного сцепления. Капиллярные силы пропорциональны размерам зерен. Однако с увеличением размеров частиц уменьшается координационное число материала, что должно привести к уменьшению механической прочности сыпучего материала. Действительно, с увеличением размеров частиц в противоречие вступают две тенденции: рост прочности индивидуальных контактов и сокращение числа этих контактов. Но если прочность индивидуальных контактов пропорциональна радиусу частиц, то число контактов на единицу площади сечения материала уменьшается пропорционально квадрату радиуса. Следовательно, вторая тенденция опережает первую, и механическая прочность структуры более крупного материала снижается.

Для разделения зернистого материала по классам крупности необходимо обеспечить условия для разрыва капиллярно-стыковочных мостиков между частицами. По-видимому, эффективность грохочения зернистого материала будет определяться соотношением между силами инерции зерен, стремящимся разрушить структуру материала на просеивающей поверхности, и силами, обеспечивающими сцепление зерен материала в этой структуре. В общем виде условие грохочения зернистой фракции влажного материала имеет вид:

$$F_{ин} = F_k + F_{кан} ,$$

где $F_{ин}$ - сила инерции, действующая на частицу на просеивающей поверхности; F_k - когезия воды, определяемая совокупностью межмолекулярных сил, действующих в ее объеме.

Так как работа когезии воды равна удвоенному значению ее поверхностного натяжения на границе с воздухом, т.е. $W_k = 2\sigma$, то $F_k = W_k \cdot P = 2\sigma \cdot P$, где P - периметр смачивания частицы.

Величина P определяется длиной окружности манжеты радиуса ρ_1 . Тогда $F_k = 2\sigma \cdot 2\pi\rho_1$.

Поскольку $F_{ин} = m \cdot A \cdot \omega^2$ и $F_{кан} = \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot \rho_1 \cdot \cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)}$, то можно записать:

$$m \cdot a \cdot \omega^2 \geq 4\sigma \cdot \pi \cdot \rho_1 + \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot R \cdot \cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)},$$

где m - масса частицы; A - амплитуда колебаний; ω - частота колебаний.

Допуская сферическую форму зерен материала, получим следующее выражение:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \delta \geq 4\sigma \cdot \pi \cdot \rho_1 + \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot R \cdot \cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)},$$

где δ - плотность материала.

Разделив обе части неравенства на g и сделав преобразования, получим:

$$K_g \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma}{R^3 \cdot \delta \cdot g} \left(2\rho_1 + \frac{R \cdot \cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)} \right),$$

где $K_g = A \cdot \omega / g$ - коэффициент динамичности.

Тогда неравенство окончательно примет вид:

$$K_g \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma}{R^2 \cdot \delta \cdot g} \left[2 \left(\operatorname{tg} \beta - \frac{1}{\cos \beta} + 1 \right) + \frac{\cos \theta}{1 + \operatorname{tg}(\beta/2)} \right] \quad (4)$$

Анализ выражения (4) показывает, что величина K_g пропорциональна $1/R^2$, т.е. с уменьшением радиуса частиц влажного материала требуется значительное увеличение интенсивности режима грохочения.

На рис. 1 представлена зависимость $K_g = f(R)$, полученная из выражения (4) при условии полного разрыва водной прослойки между частицами антрацита плотностью $\delta = 1500 \text{ кг/м}^3$ при значении краевого угла смачивания $\theta = 60^\circ$.

Как видно из приведенных на рис.1 данных, при обычных для механических грохотов режимах грохочения с K_g в пределах от 1 до 3...4 эффективный разрыв водных прослоек между зернами с нарушением их связности возможен для материала с радиусом частиц более

1...2 мм. При этом с увеличением влажности материала интенсивность динамического воздействия должна возрастать.

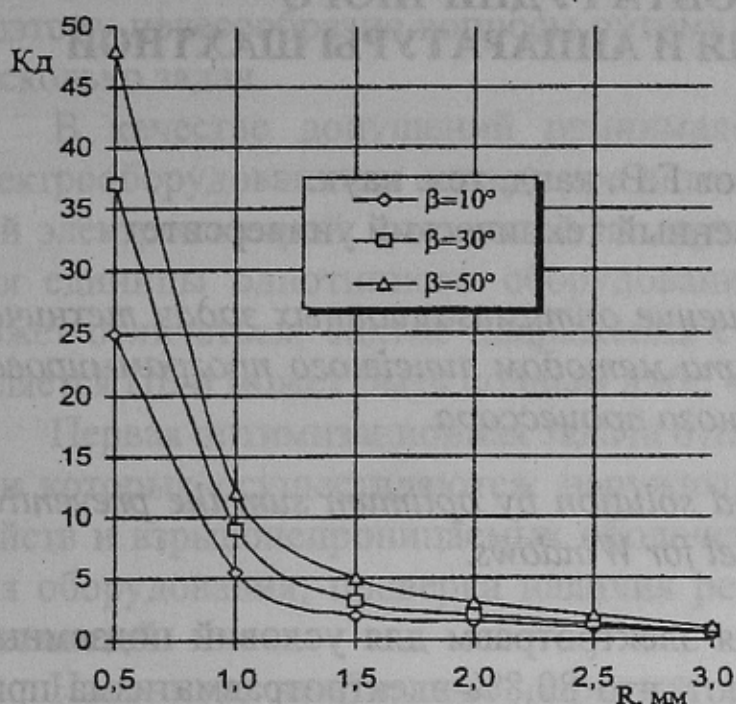


Рисунок 1- Зависимость коэффициента динамичности K_g режима грохочения от радиуса частиц при условии полного разрыва водной пленки между ними

Эти выводы хорошо согласуются с практикой грохочения углей и антрацитов, в соответствии с которой, эффективность сухого отсева резко снижается при граничной крупности разделения менее 3...6 мм. Как следует из наших теоретических исследований, для грохочения влажных углей и антрацитов крупностью менее 3...6 мм необходимы высокие динамические режимы ($K_g = 20..50$ и более) с целью разрыва водных прослоек между частицами. Очевидно, что с увеличением

плотности материала интенсивность динамического режима, при котором нарушается связность частиц, уменьшается. Это в свою очередь, приводит к снижению граничной крупности разделения при сухом грохочении.

Список источников

1. Фрейдлин А.С., Турусов Р.А. Свойства и расчет адгезионных соединений.- М.: Химия, 1990.-256с.
2. Соколов В.Н. Исследования формирования структурных связей в глинах при их дегидратации. - Автореферат диссерт. на соискание ученой степени канд. техн. наук.-М.:1974. -16 с.
3. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов.- М.: Металлургия,1978.-288с.
4. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М.: Химия, 1976.- 432 с.
5. Верхотуров М.В. Сепарация влажных материалов. - Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1978. -136 с.