

Н.Д. ОРЛОВА, канд. техн. наук, доц., ОНМА, Одесса

ВЛИЯНИЕ ИСТИРАЮЩЕГО И УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

В статье представлены результаты теоретических и практических исследований проблем вибрационного измельчения материалов.

В вибрационных мельницах высокая степень измельчения материала достигается за счет ударного и истирающего воздействия мелющих тел. Вибрационные мельницы имеют конструктивные особенности, а именно вибрационные мельницы горизонтальным расположением помольных камер и вибрационные мельницы с вертикальным расположением помольных камер.

Среди зарубежных создателей вибрационных мельниц следует отметить немецкую форму “KHD Humboldt Wedag”, создавшую вибрационную многотрудную мельницу “Palla-U” с возможностью варьирования режимных и конструктивных параметров и американскую фирму “Micro Grinding Systems Inc”, сконструировавшую наиболее энергосберегающую вибрационную мельницу [1 – 3]. Отличительной особенностью перечисленных выше вибрационных машин является возможность варьирования режимных параметров. Для оценки соотношения между истирающим и ударным действием мелющих тел в вибрационных мельницах, сравним кинетическую энергию истирания и удара. Кинетическая энергия при ударном разрушении.

Ударное разрушение происходит за счет потерянной энергии при ударе, в простейшем случае потерянную при ударе кинетическую энергию можно рассчитать по формуле:

$$T_y = \frac{m_1 m_2 (\Delta)^2 (1 - k^2)}{2(m_1 + m_2)} \quad (1)$$

где m_1, m_2 – масса измельчаемой частицы и масса мелющего тела; v_1, v_2 – проекции скоростей центра масс измельчаемой частицы мелющего тела на прямую, соединяющую их центры до удара; $\Delta = v_1 - v_2$ относительная скорость соударяемых частиц; k – коэффициент восстановления.

Доказано [4], что при постоянных параметрах вибрации величина T_y , зависящая от упругих свойств измельчаемого материала, убывает. Следовательно, и доля энергии идущей на разрушение материала также убывает, отсюда следует, что при длительном вибрационном измельчении роль ударного разрушения уменьшается. Кроме того, как следует из (1), величина потерянной при ударе кинетической энергии зависит от массы измельчаемой частицы и массы мелющего тела. Допустим, что измельчаемые частицы защемляются между мелющими телами (массой m_{21}, m_{22}), количество частиц защемленных между мелющими телами определяется по формуле [1]:

$$N = 1,8 \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}, \quad (2)$$

где r_1, r_2 – радиус измельчаемой частицы и мелющего тела. В процессе измельчения (без агрегации частиц) количество частиц приходящихся на контактную площадку мелющего тела возрастает ($r_2 = \text{const}$, r_1 – убывает). Если учесть, что после n – кратного разрушения радиус измельчаемой частицы уменьшается по закону $r_n = \frac{r_1}{2^n}$, то скорость роста количества частиц будет превосходить возможности их полного размещения в контакте между телами. Потерянная при ударе кинетическая энергия, приходящаяся на каждую частицу (количество частиц возрастает) так же будет убывать.

Экспериментальное подтверждение движения загрузки в барабане вибрационной мельницы приведено в [3]. Картина ударных импульсов, представлена на рисунке в виде зависимости амплитуд ударных импульсов от времени. Как следует из рисунка амплитуда и длительность ударного импульса с течением времени затухают. Следовательно, теоретически и экспериментально затухание ударного воздействия мелющих тел в барабане вибрационной мельницы. Кинетическая энергия при разрушении истиранием.

Для гипотетических вибрационных мельниц с одним мелющим телом кинетическая энергия истирания равна кинетической энергии мелющего тела в его безотрывном от корпуса движении [1]. В безотрывном движении мелющее тело либо находится в относительном покое, либо катится, либо скользит. При качении по корпусу кинетическая энергия истирания T_u рассчитывается по формуле:

$$T_u = \frac{J_1(\dot{\psi}_1)^2}{2} + \frac{J_3(\dot{\psi}_3)^2}{2}, \quad (3)$$

где J_1 – момент инерции мелющего тела относительно оси, проходящей через геометрический центр корпуса вибрационной мельницы O_1 ; J_3 – момент инерции мелющего тела относительно его оси вращения, проходящей через центр масс тела O_3 ; ψ_1, ψ_3 – углы поворота мелющего тела относительно осей, проходящих через точки O_1, O_3 .

При скольжении мелющего тела по корпусу кинетическая энергия истирания T_u^1 рассчитывается по формуле:

$$T_u^1 = \frac{m_2 v_2^2}{2}, \quad (4)$$

где m_2, v_2 – масса и относительная скорость центра масс мелющего тела по отношению к корпусу.

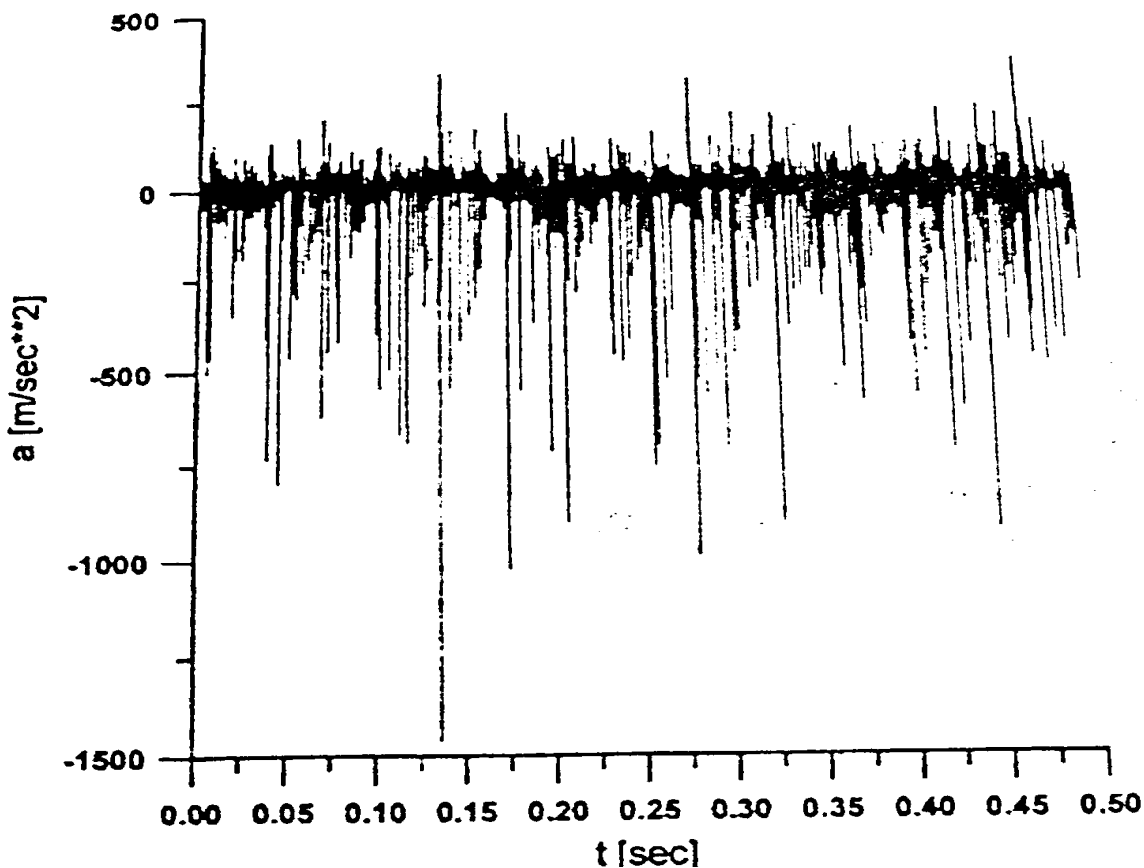


Рис. – Динамическая картина загрузки барабана вибрационной мельницы

При скольжении и одновременном вращении мелющего тела по корпусу кинетическая энергия истирания T_u^2 равна:

$$T_u^2 = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{J_3 (\dot{\psi}_3)^2}{2}, \quad (4)$$

В случае вибрационной мельницы с n – мелющими телами, имеющими форму либо шара радиуса R , либо цилиндра с радиусом и образующей равными R . Если все мелющие тела участвуют только в качении по корпусу или друг другу, то

$$T_u^k = \frac{J_4 (\dot{\psi}_2)^2}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n J_{3i} (\dot{\psi}_{3i})^2 \quad (5)$$

где J_4 – момент инерции мелющего тела относительно оси O_4 , проходящей через вихревой центр [6], массы мелющих тел, которые участвуют в безотрывном движении; $\dot{\psi}_2$ – скорость циркуляции мелющих тел.

Если допустить, что вся загрузка (совокупность мелющих тел и измельчаемого материала) участвует в безотрывном движении:

$$T_4^O = \frac{m}{2} \left(\rho_4^2 (\dot{\psi}_2)^2 + R^2 \omega_{3c}^2 \right) \quad (6)$$

где $J_4 = m \rho_4^2$; $\dot{\psi}_{3i} \approx \dot{\psi}_{3c} \approx \omega_{3c}$; m – масса всех мелющих тел и измельчаемого материала, участвующего в качении.

Для осуществления процесса истирания необходимо, чтобы в поверхностном слое измельчаемых частиц возникли касательные (τ) и нормальные (σ) напряжения большие предельных выносливых ($\tau > \tau_p$) или прочностных ($\sigma > \sigma_p$). При выполнении этих условий работа разрушения при истирании пропорциональна кинетической энергии истирания.

Исследуем возможность выполнения условия $\tau > \tau_p$. Максимальное воздействие на измельчаемые частицы со стороны мелющего тела [3, 5] равно:

$$F_{\tau} = k_c m_3 a \omega^2, \quad (7)$$

где k_c – коэффициент трения скольжения (качения) мелющего тела об измельчаемый материал; ω – частота колебания мелющего тела; a – амплитуда колебания барабана.

Предположим, что мелющее тело сплошь покрыто измельчаемыми частицами, тогда касательные напряжения, возникающие в зоне контакта равны:

$$\tau = \frac{k_c m_3 a \omega^2}{S_3} \text{ или } \tau = \frac{k_c \gamma V_3 a \omega^2}{S_3 g}, \quad (8)$$

где V_3, S_3, γ – объём, площадь поверхности и удельный вес мелющих тел.

Если мелющее тело шар радиуса R , то

$$\frac{V_3}{S_3} = \frac{1}{3}R \text{ и } \tau = \frac{k_c \gamma a \omega^2 R}{3g} \text{ или } \frac{k_c \gamma R}{3} \cdot \frac{a \omega^2}{g} > \tau_p. \quad (9)$$

Если мелющее тело цилиндр с образующей и радиусом R , то

$$\frac{V_3}{S_3} = R \text{ и } \tau = \frac{k_c \gamma a \omega^2 R}{g} \text{ или } k_c \gamma R \cdot \frac{a \omega^2}{g} > \tau_p. \quad (10)$$

Таким образом, возможность выполнения и сохранения условия $\tau > \tau_p$ в процессе измельчения можно достигнуть только при переменных параметрах вибрации (амплитуда, частота – a, ω).

Из соотношения $\tau \approx (0,2 - 0,4)\tau_p$ следует разрушение от истирания возможно лишь в очень узких пределах и не может быть осуществлено при постоянных параметрах вибрации.

В связи с выше изложенным, соотношение между истирающим и ударным воздействием мелющих тел в процессе измельчения в вибрационных мельницах, можно представить следующим образом: ударным воздействием создаются трещины и микротрещины, приводящие к разрушению частиц материала, под истирающим воздействием мелющих тел.

Экспериментальное подтверждение полученных результатов получено в работах [5, 6].

Список литературы: 1. *Овчинников П.Ф.* Виброреология / *П.Ф. Овчинников.* – К.: Наукова Думка, 1983. – 271 с. 2. *Анциферов В.Н.* Механическое легирование железа фосфором и углеродом / *В.Н. Анциферов, С.А. Оглезнева, С.Н. Терещенко* // Физика металлов и металловедение. – 1998. – Т. 85, Вып. 2. – С. 98 – 104. 3. *Дмитрак Ю.В.* Теория движения мелюшей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / *Ю.В. Дмитрак.* – М., 2000. – 45 с. 4. *Овчинников П.Ф.* О характере ударного разрушения в вибромельницах / *П.Ф. Овчинников* // Прикладная механика. – 1968. – № 10, Т. 4. – С. 104. 5. *Орлова Н.Д.* Расчет зон изменения параметров вибрации для измельчения сплава кремний – алюминий – лантан в различных средах // Разработка технологии виброизмельчения металлических порошков для коррозионностойких и антифрикционных покрытий: отчет о НИР / *Н.Д. Орлова.* – Одесса, 1988. – С. 18 – 20. 6. *Овчинников П.Ф.* Выбор размера мелющих тел при вибрационном измельчении различных материалов / *П.Ф. Овчинников, Н.Д. Орлова* // Применение аппаратов порошковой технологии и процессов термосинтеза в народном хозяйстве: Всесоюз. конф., 27-29 мая 1987 г.: тезисы докл. – Томск, 1987. – С. 55 – 56.

Поступила в редколлегию 20.08.12

УДК 621762.22+621.926.55

Влияние истирающего и ударного действия мелющих тел при вибрационном измельчении / *Н.Д. ОРЛОВА* // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 59 (965). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 74 – 79. – Бібліогр.: 6 назв.

У статті викладені результати теоретичних і практичних досліджень з проблем вібраційного подрібнення матеріалів.

In article comparison of results of calculation of vibrating viscosity under various theoretical formulas is given. Comparison and with experimental data is spent.