

**В. С. Михальков, канд. техн. наук, доц.; Е. А. Шаройкина**  
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилев, Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КЛИНКЕРА В РЕССОРНО-СТЕРЖНЕВОЙ МЕЛЬНИЦЕ**

В статье рассмотрена деформационная модель механизма измельчения контактируемых частиц рабочими органами рессорно-стержневой мельницы.

Процесс измельчения частиц материала является довольно энергозатратным и вызывает необходимость создания нового технологического оборудования, обеспечивающего повышение технологической эффективности путем совершенствования его рабочих органов и параметров технологии.

Одним из новых видов машин для измельчения являются рессорные мельницы с упругодеформируемыми рабочими органами в виде рессор.

Установлено, что перспективным направлением их развития является интенсификация колебаний рессорных рабочих органов и оптимизация единичных актов разрушения, улучшение реологических условий проведения процессов диспергирования с целью снижения энергозатрат на разрушение, улучшение качества получаемого продукта и повышение производительности.

Рассмотрим деформационную модель измельчения контактируемых частиц в такой мельнице. Основной задачей при разработке теории измельчения является установление зависимости между исходной плотностью измельчаемых частиц и силой удара [1]. Для решения этой задачи необходимо получить деформационную модель деформации частиц. Данная модель должна учитывать все составляющие деформации: упругую, пластическую и структурную, межчастичную.

Примем следующие допущения: структура измельчаемых частиц не является геометрически правильной; взаимное расположение частиц равновероятно; все направления в частице порошка равноправны и равноценны. Каждая частица порошка, как отдельное тело, подчиняется всем законам классической механики.

Схема силового взаимодействия частиц клинкера при измельчении представлена на рис. 1.

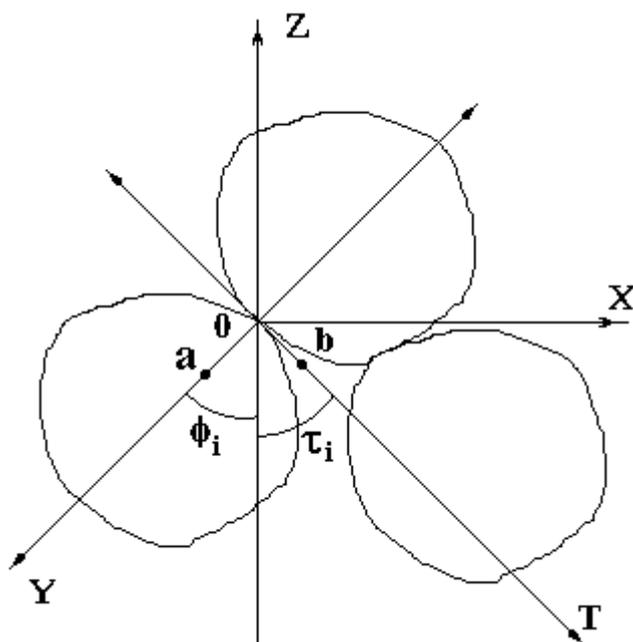


Рис. 1. Схема силового взаимодействия частиц при измельчении

Предполагаем, что измельчение частиц происходит за счет нормальной деформации контактов частиц материала и их относительного сдвига при увеличении усилия удара вибромеханизма. В результате силового воздействия на частицы вдоль оси  $z$ , совпадающей с направлением движения рабочего органа вибромеханизма, величины элементарной нормальной деформации контакта взаимодействующих частиц  $d\theta_i$  и элементарного сдвига, являющегося следствием смятия контакта, соответственно будут равны:

$$a\theta = d\theta_i, b\theta = du_i.$$

Переходя к средним величинам, имеем

$$d\theta_i + d\theta_{i+1} = d\Delta_{\kappa i} = d\Delta_{\kappa}; \quad du_i + du_{i+1} = 2du_c.$$

Изменение величины деформации частиц получаем в следующем виде:

$$dh = -n_z \cdot \cos\phi \cdot \left( 1 + 2 \frac{du_c}{d\Delta_{\kappa}} \cdot \frac{\cos\tau}{\cos\phi} \right) \cdot d\Delta_{\kappa}, \quad (1)$$

где  $\phi_i$  – угол между осью  $z$  и линией нормального взаимодействия частиц в шихте;  $\tau_i$  – угол между осью  $z$  и направлением сдвига.

Приведенное число слоев частиц материала по высоте будет равно:

$$n_z = \frac{N}{n_s}, \quad (2)$$

где  $N$  – общее число частиц измельчаемого материала;  $n_s$  – число частиц в рассматриваемом слое.

Общее число частиц измельчаемого материала можно определить по формуле

$$N = \frac{S_n \cdot h \cdot \rho}{\Psi_o \cdot a_{cp}^2}, \quad (3)$$

где  $S_n$  – номинальная площадь сечения измельчаемого материала;  $\Psi_o$  – коэффициент объемной формы измельчаемых частиц материала;  $a_{cp}$  – средний размер частиц материала.

Среднестатистическое число частиц материала в рассматриваемом слое будет равно:

$$n_s = \frac{S_n \cdot \rho}{\Psi \cdot a_{cp}^2}, \quad (4)$$

где  $\Psi$  – коэффициент плоскостной формы частиц материала.

Подставляя выражения (3) и (4) в (2), получим:

$$n_z = \frac{\Psi \cdot h}{\Psi_o \cdot a_{cp}}. \quad (5)$$

Окончательно выражение для (1) с учетом (5) будет иметь вид:

$$dh = -\frac{\Psi}{\Psi_o} \cdot \frac{h}{a_{cp}} \cdot \cos\phi \cdot \left(1 + 2 \frac{du_c}{d\Delta_k} \cdot \frac{\cos\tau}{\cos\phi}\right) \cdot d\Delta_k. \quad (6)$$

Откуда

$$d\Delta_k = -\frac{\Psi_o}{\Psi} \cdot \frac{a_{cp}}{\left(1 + 2 \frac{du_c}{d\Delta_k} \cdot \frac{\cos\tau}{\cos\phi}\right) \cdot \cos\phi} \cdot \frac{dh}{h}. \quad (7)$$

Для определения величины числа контактов, приходящихся на одну частицу материала, воспользуемся тем, что число частиц материала, соприкасающихся с рассматриваемой прямо пропорционально плотности измельчаемого материала (4). Тогда площадь проекции суммарной поверхности контактов в момент измельчения можно определить по формуле:

$$S_k = n_s \cdot K_\alpha \cdot S_{sr} \cdot \cos\phi, \quad (8)$$

где  $K_\alpha$  – среднее число контактов частицы материала;  $S_{sr}$  – средний размер площадки контакта.

Согласно выражения (4), число частиц материала, соприкасающихся с исследуемой, прямо пропорционально плотности измельчаемого материала. Поэтому имеем зависимость:

$$K_\alpha = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \rho, \quad (9)$$

где  $K$  – среднее число контактов одной частицы материала при стопроцентной плотности тела.

Для верхнего слоя имеем:

$$K_\alpha^e = 0,5 \cdot K \cdot \rho. \quad (10)$$

Подставляя выражения (4) и (10) в (8), получим:

$$S_k = 0,5 \cdot K \cdot \rho \cdot S_{sr} \cdot \cos\phi \cdot \frac{S_n \cdot \rho}{\Psi \cdot a_{sr}^2}. \quad (11)$$

Решая выражение (11) относительно среднестатистической величины площадки контакта, получим:

$$S_{sr} = \frac{2 \cdot \Psi \cdot a_{sr}^2 \cdot \alpha_k}{K \cdot \cos\phi \cdot \rho^2}, \quad (12)$$

где  $\alpha_k = \frac{S_k}{S_n}$  безразмерная, относительная величина проекции суммарной контактной поверхности деформирования в рассматриваемый момент соприкосновения частиц материала.

Таким образом, элементарное приращение среднестатистического размера площадки контакта при изменении усилия удара:

$$dS_{sr} = \frac{2 \cdot \Psi \cdot a_{sr}^2}{K \cdot \cos\phi} \cdot d\left(\frac{\alpha_k}{\rho^2}\right). \quad (13)$$

Решая совместно приведенные уравнения окончательно получаем:

$$d\left(\frac{\alpha_k}{\rho^2}\right) = \frac{\Psi_0 \cdot K}{2 \cdot \Psi^2 \cdot m \cdot \left(1 + 2 \frac{du_c \cdot \cos\tau}{d\Delta_k \cdot \cos\phi}\right)} \cdot \frac{d\rho}{\rho}. \quad (14)$$

Полученное выражение является дифференциальным уравнением, описывающим рассматриваемый деформационный механизм измельчения частиц материала. Данное уравнение связывает приращение контактной поверхности измельчаемых частиц материала при изменении усилия виброударного механизма на  $d\rho$ .

Модель мельницы приведена на рис. 2.

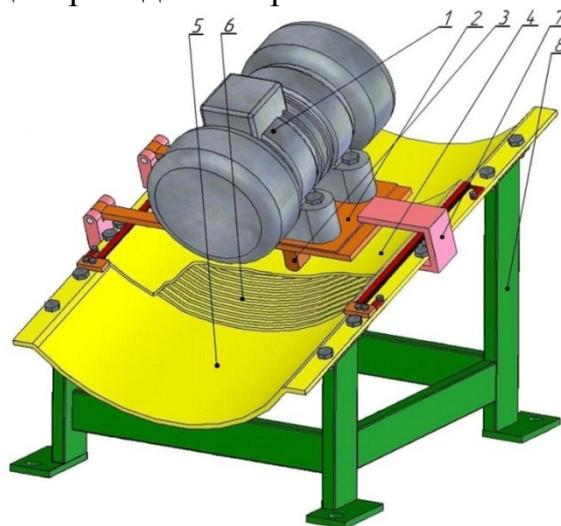


Рис. 2. Модель рессорно-стержневой мельницы

Вибратор 1, установленный на консоль 2, приводит в движение прижимную плиту 4 с помощью прижима 3. Между лотком 5, установленном

на раме 8 и прижимной плитой находятся рессорные (стержневые) элементы, собранные в кассету 6. Так при движении материала вдоль лотка он попадает в рабочую полость, где и разрушается. Компенсация действия вибратора достигается с помощью возвратной пружины 7. Между консолью и возвратным механизмом установлена пружина, которая и обеспечивает возвратное действие. В процессе работы стержневые элементы упруго деформируются только от силы разрушения частиц материала и имеют высокую надежность. Они обеспечивают адаптивное воздействие на разрушаемый материал.

На рессорно-стержневой мельнице были проведены экспериментальные исследования процесса измельчения клинкера. Работа выполнялась в лаборатории завода ПРУП «Кричевцементшифер»; просев материала производился в лаборатории завода на ситах с отверстиями диаметром 3; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,2; 0,08 мм (рис.3).

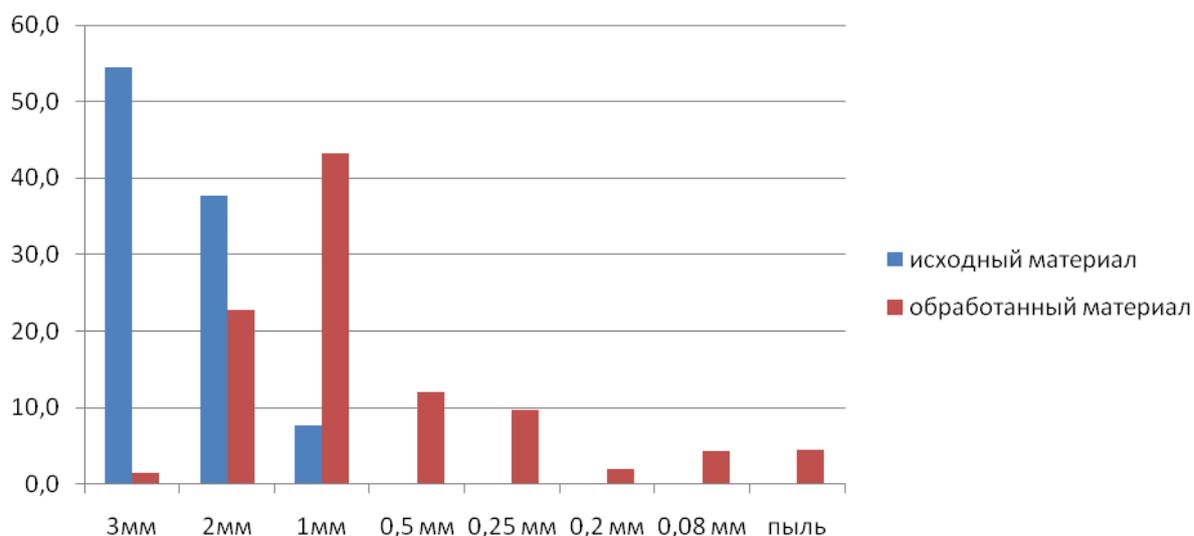


Рис. 3. Результаты эксперимента по измельчению клинкера

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить оптимальные параметры ударного механизма рессорно-стержневой мельницы. Установлено, что данную мельницу наиболее целесообразно применять для предварительного измельчения клинкера в схеме технологического процесса до шаровой мельницы. Это позволит значительно снизить энергетические затраты на финишное измельчение, существенно уменьшит износ шаров шаровой мельницы, а также позволит более качественно провести технологический процесс измельчения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беляев, Н. М.** Труды из теории упругости и пластичности / Н. М. Беляев. – М. : Гостехиздат, 1957.