

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, проф.,  
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Горбань Т.Л., аспирант,  
Трофимов И.О., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА ВСТРЕЧНЫМ ЛОБОВЫМ УДАРОМ В ЦЕНТРОБЕЖНО-ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

olimp69@narod.ru

Дано математическое описание процесса разрушения частиц материала в зоне встречных потоков в камере помола центробежно-противоточной мельницы. В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение, позволяющее определить степень дробления исходных частиц материала сферической формы в зоне встречных потоков в зависимости от конструктивно-технологических параметров центробежно-противоточной мельницы.

**Ключевые слова:** лобовой удар, частица, степень измельчения.

В настоящее время центробежно-противоточные мельницы являются перспективным видом оборудования для помола некоторых абразивных материалов [1].

При рассмотрении данного раздела будем предполагать, что частицы разрушаемого материала имеют сферическую форму с диаметром  $D_n$ . Если в случае лобового соударения в частицы исходного материала будет введено значение энергии, превышающее пороговое значение, то произойдет их разрушение. При этом будем считать, что вновь образовавшиеся частицы материала также имеют сферическую форму с диаметром  $D_k$ .

Согласно результату работы [2] при столкновении двух сферических объектов происходит их деформация на величину:

$$h_0 = \left[ \frac{15m_1m_2(v_1-v_2)^2\sqrt{R_1+R_2}}{16(m_1+m_2)\sqrt{R_1R_2}} \left( \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) \right]^{2/5}, \quad (1)$$

где  $m_1$ ,  $v_1$ ,  $R_1$ ,  $\mu_1$ ,  $E_1$  – соответственно масса, скорость, радиус, коэффициент Пуассона и модуль Юнга первого сферического объекта, а  $m_2$ ,  $v_2$ ,  $R_2$ ,  $\mu_2$ ,  $E_2$  – соответственно масса, скорость, радиус, коэффициент Пуассона и модуль Юнга второго сферического объекта.

Если применительно к нашему случаю в выражении (1) необходимо положить  $m_1 = m_2 = m_n$  (здесь  $m_n$  – начальная масса сферических частиц);  $R_1 = R_2 = D_n/2$ ;  $v_1 = v_0$ ,  $v_2 = -v_0$ ;  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ ;  $E_1 = E_2 = E$ .

Тогда выражению (1) можно придать следующий вид:

$$h_0 = \left[ \frac{15m_nv_0^2}{4\sqrt{D_n}} \cdot \frac{1-\mu^2}{E} \right]^{2/5}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона частицы материала, для известняка  $\mu = 0,2$ ;  $E$  – модуль Юнга материала, для известняка  $E = 35 \cdot 10^9$  Па.

Выразим начальную массу исходных частиц материала согласно соотношению:

$$m_n = \frac{\pi D_n^3}{6} \gamma, \quad (3)$$

здесь  $\gamma$  – плотность материала.

С учетом (3) выражение (2) представим в виде:

$$h_0 = \delta_0 D_n, \quad (4)$$

где введена следующая безразмерная величина:

$$\delta_0 = \left( \frac{5\pi\gamma v_0^2(1-\mu^2)}{4E} \right)^{2/5}. \quad (5)$$

В результате лобового столкновения двух частиц сферической формы происходит деформация, глубина которой определяется из соотношения (4) и (5) и приводит к возникновению зоны уплотнения. В результате расширения зоны уплотнения совершается работа, значение которой применительно к нашему случаю задается следующим выражением [2]:

$$A = \frac{2(2-\mu)\sigma D_n}{\delta_0^{3/2} \mu E D_k} Q_B - \frac{3\pi(1-2\mu)\sigma^2}{4\delta_0 D_k^2 E} D_n^5, \quad (6)$$

где  $\sigma$  – значение напряжения, при котором происходит разрушение вследствие сжатия;  $Q_B$  – значение энергии, вводимой в зону уплотнения.

Выражение (6) представим в следующем виде:

$$A = \frac{2(2-\mu)\sigma}{\mu E \delta_0^{3/2}} \cdot \frac{D_n}{D_k} (Q_B - Q_{min}), \quad (7)$$

здесь введено следующее обозначение:

$$Q_{min} = \frac{3\pi(1-2\mu)\mu\sigma\delta_0^{1/2} D_n^4}{8(2-\mu)D_k}. \quad (8)$$

Согласно соотношению (7), разрушение сферических частиц материала, участвующих в лобовом соударении. Будет происходить при условии:

$$Q_B \geq Q_{min}. \quad (9)$$

Значение вводимой энергии  $Q_B$  в нашем случае равно значению кинетической энергии встречного лобового соударения, а именно [3]:

$$Q_B = \frac{m_H(2v_0)^2}{2}, \quad (10)$$

Учет (3) позволяет (10) записать в виде:

$$Q_B = \frac{\pi D_H^3 v_0^2}{3} \gamma. \quad (11)$$

Знак равенства в (9) отвечает нулевому значению работы в (7), что в свою очередь приводит к разрушению материала с максимально большими кусками.

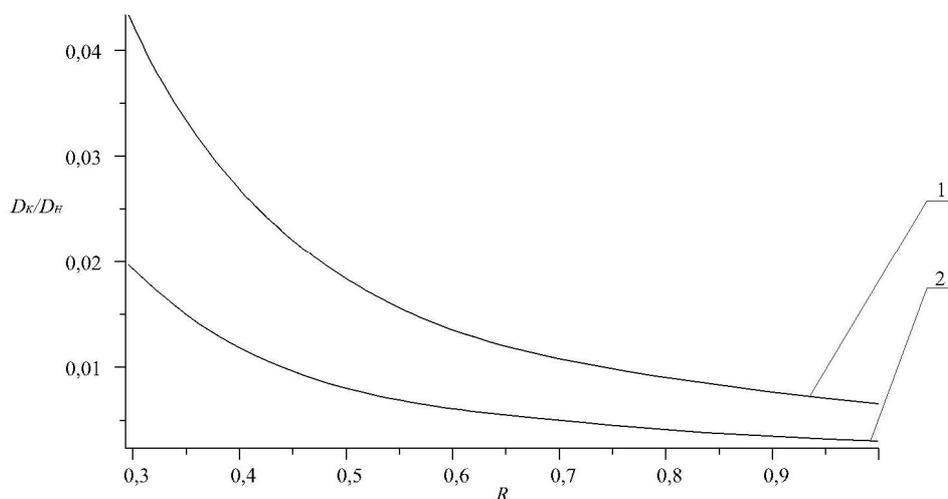


Рис. 1. График зависимости отношения конечного размера частицы материала к начальному в зависимости от изменения радиального расстояния от центра вращения до схода частицы материала с криволинейной лопасти при лобовом столкновении частиц. Материал: известняк, предел прочности на растяжение  $\sigma = 1,136 \cdot 10^7$  Па; модуль Юнга  $E = 35 \cdot 10^7$  Па; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,2$ ; плотность  $\gamma = 2000$  кг/м<sup>3</sup>; радиус точки загрузки  $\rho_1 = R/4$ . Кривая 1 отвечает частоте вращения – 100с<sup>-1</sup>, кривая 2 соответствует частоте вращения – 200с<sup>-1</sup>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Горбань Т.Л. Определение угла схода частицы материала с поверхности лопасти ротора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2. С. 88-90.

2. Шарапов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла. Белгород. Изд-во БГТУ, 2008. 270 с.

3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов ВУЗов. М.: Оникс, 2006. 1056 с.

## Semikopenko I.A., Voronov V.P., Gorban T.L., Trofimov I.O. THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF THE MATERIAL PARTICLES COUNTER FRONT KICK IN A CENTRIFUGAL COUNTERCURRENT MILL

*Given the mathematical description of the process of destruction of the material particles in the area of counter-flows in the grinding chamber of the centrifugal-flow mill. As a result of theoretical research analytical expression that allows to determine the degree of fragmentation of the original material particles of spherical shape in the area of counter-flows depending on the constructive and technological parameters of a centrifugal countercurrent mills.*

**Key words:** frontal impact, particle crushing.