

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ ВСТРЕЧНЫХ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ПОТОКОВ В ЦЕНТРОБЕЖНО-ПРОТИВОТОЧНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

olimp69@narod.ru

Дано математическое описание движения измельчения материала в зоне встречных пересекающихся потоков в камере помола центробежно-противоточной мельницы. Приведена расчетная схема для описания процесса измельчения материала в зоне встречных пересекающихся потоков. В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение, позволяющее определить степень измельчения частиц материала в зоне касательных столкновений в зависимости от конструктивно-технологических параметров центробежно-противоточной мельницы.

Ключевые слова: пересекающиеся потоки, частица, степень измельчения

Изменение скорости w частицы материала в зоне встречных пересекающихся потоков в центробежно-противоточной мельнице можно описать, основываясь на втором законе динамики:

$$m \frac{dw}{dt} = F, \tag{1}$$

где m – масса частицы материала, равная:

$$m = \frac{\pi d_n^3}{6} \rho_0, \tag{2}$$

здесь ρ_0 – плотность частицы материала; F – сила воздействия на частицу материала в зоне встречных пересекающихся потоков, которую

выразим через величину возникающих касательных напряжений σ :

$$\sigma = \frac{F}{S_0}, \tag{3}$$

где S_0 – площадь контакта частиц материала при косом ударе.

С учетом (2) и (3) формуле (1) можно придать следующий вид:

$$\frac{\pi d_n^3}{6} \rho_0 \frac{dw}{dx} \frac{dx}{dt} = \sigma S_0. \tag{4}$$

На основании расчетной схемы, представленной на рисунке 1, находим, что

$$x = L + 2R_p \cos \varphi. \tag{5}$$

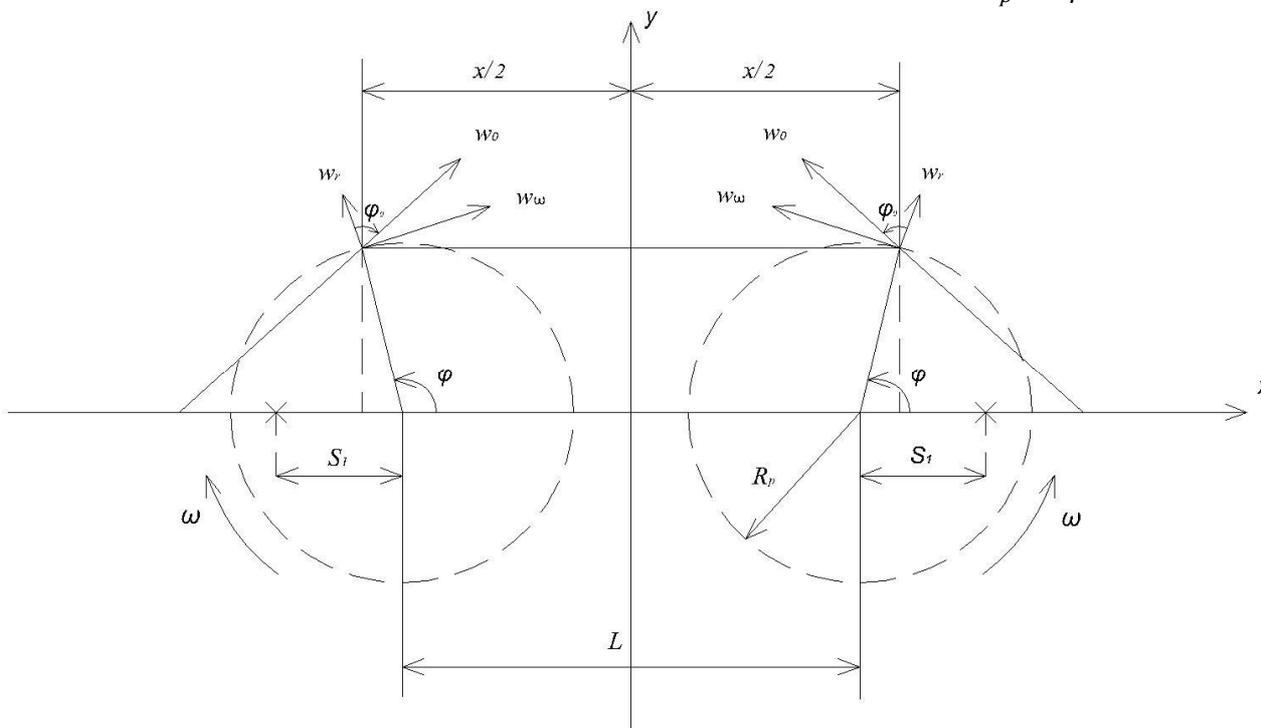


Рис. 1. Расчетная схема для описания процесса измельчения материала в зоне встречных пересекающихся потоков

Согласно результату работы [1], в зоне встречных пересекающихся потоков величину действия касательных напряжений можно определить на основании следующего выражения:

$$\sigma = \mu \frac{w_x}{x}, \tag{6}$$

где μ – коэффициент псевдовязкого измельчения, величина которого равна 2618 Па·с.

Вычислим проекцию w_x скорости взаимодействия при косом ударе. На основании расчетной схемы, представленной на рисунке 1, находим:

$$w_x = w_0 \cos(\varphi - \varphi_0) + w_0 \cos(\varphi + \varphi_0) = 2w_0 \cos\varphi_0 \cos\varphi, \quad (7)$$

здесь w_0 – суммарная скорость схода частицы материала с радиальной плоской лопасти, величина которой равна:

$$w_0 = \sqrt{w_r^2 + w_\omega^2}. \quad (8)$$

Согласно [2] имеем:

$$w_r = \frac{\omega\rho_1}{2f}, \quad (9)$$

а

$$w_\omega = \omega R_p. \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) выражение (8) принимает вид:

$$w_0 = \omega R_p \sqrt{1 + \frac{1}{4f^2} \left(\frac{\rho_1}{R_p}\right)^2}. \quad (11)$$

Подстановка (5), (7) в (6) с учетом, что

$$\frac{dx}{dt} = w$$

приводит к следующему выражению:

$$\sigma = 2w_0 \cos\varphi_0 \cdot \mu \frac{\cos\varphi}{L + 2R_p \cos\varphi}. \quad (12)$$

После несложных математических преобразований выражений (5) и (12) дифференциальному уравнению (4) можно придать вид:

$$\frac{\pi d_h^3}{6} \rho_0 w dw = -4w_0 S_0 \cos\varphi_0 \mu \frac{\cos\varphi \sin\varphi}{\frac{L}{R_p} + 2\cos\varphi} d\varphi, \quad (13)$$

где согласно расчетной схемы на рисунке 1 величина:

$$\cos\varphi_0 = \frac{w_r}{w_0}. \quad (14)$$

Время движения частицы материала по радиально расположенной лопасти длиной l на основании (9) определяется следующим соотношением:

$$\tau_1 = \frac{l - \rho_1}{\omega\rho_1} 2f = \frac{2f}{\omega} \left(\frac{l}{\rho_1} - 1\right). \quad (15)$$

За промежуток времени (15) радиально расположенная лопасть с частицей материала проворачивается на угол Ω от момента контакта с частицей [4] (символ «х» на рисунке 1).

Величина данного угла равна:

$$\Omega = \omega \cdot \tau_1 = 2f \left(\frac{1}{\rho_1} - 1\right). \quad (16)$$

Получение дифференциального уравнения (13) описывает изменение скорости w взаимодействия частицы материала в зоне косых соударений.

Будем считать, что при изменении угла поворота радиально расположенной лопасти ротора от значения Ω до π скорость частицы материала в результате косых соударений изменится от величины w_0 до u_0 . Величина u_0 представляет собой скорость воздушного потока в зоне ко-

сых соударений. Величина скорости данного воздушного потока равна:

$$u_0 = \sqrt{u_p^2 + \omega^2 R_p^2}, \quad (17)$$

Опираясь на результат работы [3] имеем:

$$u_p = \omega R_p \sqrt{\frac{2h}{R_p} - \left(\frac{h}{R_p}\right)^2}. \quad (18)$$

Подстановка (18) в (17) приводит к следующему результату:

$$u_0 = \omega R_p \sqrt{1 + \frac{2h}{R_p} - \left(\frac{h}{R_p}\right)^2}. \quad (19)$$

Интегрирование уравнения (13) приводит к следующему соотношению:

$$\frac{\pi d_h^3}{12} \rho_0 (u_0^2 - w_0^2) = -4w_0 \cos\varphi_0 \cdot S_0 \cdot \mu \cdot J(\Omega), \quad (20)$$

где введено следующее обозначение:

$$J(\Omega) = \int_{\Omega}^{\pi} \frac{\cos\varphi \sin\varphi d\varphi}{a + 2\cos\varphi}, \quad (21)$$

здесь

$$a = \frac{L}{R_p}. \quad (22)$$

Вычисление интеграла (21) приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned} J(\Omega) &= -\frac{1}{2} \int_{\Omega}^{\pi} \frac{2\cos\varphi d(\cos\varphi)}{a + 2\cos\varphi} = \\ &= -\frac{1}{2} \int_{\Omega}^{\pi} \frac{a + 2\cos\varphi - a}{a + 2\cos\varphi} d(\cos\varphi) = \\ &= -\frac{1}{2} \int_{\Omega}^{\pi} d(\cos\varphi) + \frac{a}{4} \int_{\Omega}^{\pi} \frac{d(a + 2\cos\varphi)}{a + 2\cos\varphi} = \\ &= -\frac{1}{2} (-1 - \cos\Omega) + \frac{a}{4} \ln(a + 2\cos\varphi) \Big|_{\Omega}^{\pi} = \\ &= -\frac{1}{2} (-1 - \cos\Omega) + \frac{a}{4} \ln \left| \frac{a-2}{a+2\cos\Omega} \right| \\ &= \frac{1+\cos\Omega}{2} + \frac{a}{4} \ln \frac{a-2}{a+2\cos\Omega}. \end{aligned} \quad (23)$$

На основании соотношения (20) можно найти величину площади контакта взаимодействующих частиц:

$$S_0 = \frac{\pi d_h^3 \rho_0 (w_0^2 - u_0^2)}{\left[12(1 + \cos\Omega) + 6 \frac{L}{R_p} \ln \left| \frac{\frac{L}{R_p} - 2}{\frac{L}{R_p} + 2\cos\Omega} \right| \right] \cdot \mu \cdot w_r}. \quad (24)$$

Предположим, что в зоне косых соударений получаются частицы материала сферической формы с диаметром d_k и площадью поверхности S_0 . Поэтому на основании сказанного можно записать следующее соотношение:

$$\pi d_k^2 = \frac{\pi d_h^3 \rho_0 (w_0^2 - u_0^2)}{6\mu w_r \left[2(1 + \cos\Omega) + \frac{L}{R_p} \ln \left| \frac{\frac{L}{R_p} - 2}{\frac{L}{R_p} + 2\cos\Omega} \right| \right]}. \quad (25)$$

На основании (25) можно записать следующее выражение:

$$d_k = \xi_0 d_h, \quad (26)$$

здесь введена следующая безразмерная величина:

$$\xi_0 = \sqrt{\frac{d_n \rho_0 (w_0^2 - u_0^2)}{6\mu \cdot w_r (2(1 + \cos\Omega) + \frac{L}{R_p} \ln \left| \frac{\frac{L}{R_p} - 2}{\frac{L}{R_p} + 2\cos\Omega} \right|)}}. \quad (27)$$

Таким образом, полученное выражение (27) определяет степень измельчения частицы материала в зоне касательных столкновений камеры помола при изменении конструктивных и технологических параметров центробежно-противоточной мельницы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов Р.Г. Механизм тонкого измельчения в роторных мельницах с зубчатоподоб-

ным зацеплением. // Строительные и дорожные машины. 1997.

2. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа // Известия ВУЗов. Строительство. 2008. № 11-12. С. 93-96.

3. Клочков Н.В., Блиничев В.Н., Бобков С.П., Пискунов А.В. Методика расчета воздуха в центробежно-ударной мельнице. // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 1982. №2. С. 230-232.

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

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Gorban T.L.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF GRINDING MATERIAL IN THE AREA OF COUNTER-INTERSECTING FLOWS IN CENTRIFUGAL COUNTERCURRENT MILL

The mathematical description of the grinding material in area of intersecting threads in the opposing grinding chamber countercurrent centrifugal mill. The calculated diagram to describe the process of grinding the material in the area of counter intersecting streams. As a result of theoretical studies, an analytical expression is used to determine particle size reduction of the material in the zone of tangential collisions, depending on the design and technological parameters of countercurrent centrifugal mill.

Key words: overlapping flows, particle crushing