

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI:10.12737/article_5af5a72e84ed33.36220594

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.,
Флоринский В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.,
Беляев Д.А., аспирант,
Маняхин А.С., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЧАСТИЦЫ МЕЖДУ ДВУМЯ КОНИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

semikopenko.ia@bstu.ru

В настоящее время находят широкое применение мельницы, в основе работы которых положен принцип раздавливания и истирания. Одной из таких мельниц является дисковая мельница с коническими рабочими поверхностями. Угол наклона рабочих поверхностей к горизонту должен превышать угол естественного откоса измельчаемого материала. В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить значение мощности, затрачиваемой на измельчение частицы, находящейся в зазоре между двумя коническими поверхностями. Представлены схемы для определения мощности, затрачиваемой на измельчение частицы истиранием и раздавливанием между двумя коническими поверхностями. Анализ полученных соотношений позволяет сделать вывод о том, что мощность, расходуемая на измельчение частицы зависит от геометрических и технологических параметров.

Ключевые слова: коническая поверхность, измельчение, частица, мощность.

Кинетическая энергия частицы материала сферической формы при её попадании в область истирания, которая представлена на рис. 1 [1], представляющую зазор между двумя коническими поверхностями, которые являются по форме двумя усеченными конусами, вращающимися в противоположных направлениях с постоянной угловой скоростью « ω », определяется следующим соотношением [2]:

$$W = \frac{I_{\text{ч}} \cdot \omega^2}{2}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ч}}$ – момент инерции сферической частицы материала, равный:

$$I_{\text{ч}} = \frac{2}{5} m r^2, \quad (2)$$

здесь m – масса сферической частицы материала с радиусом « r ».

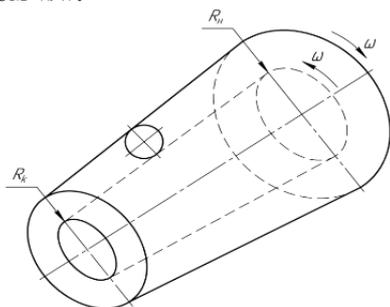


Рис. 1. Схема движения частицы в зазоре между двумя коническими поверхностями, вращающимися в противоположных направлениях

При движении сферической частицы материала в зазоре между двумя коническими поверхностями вдоль оси симметрии в основном под действием центробежной силы она уменьшается в размерах от R_n до R_k за счет процесса истирания.

На основании сказанного изменяется масса сферической частицы согласно соотношению:

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho r^3, \quad (3)$$

где ρ – плотность частицы материала.

С учетом (3) выражение (2) принимает вид:

$$I_{\text{ч}} = \frac{8}{15} \pi \rho r^5. \quad (4)$$

На основании соотношения (1) изменение кинетической энергии сферической частицы материала будет определяться соотношением:

$$\Delta W = \frac{\omega^2}{2} \Delta I_{\text{ч}}. \quad (5)$$

Согласно (4) находим, что

$$\Delta I_{\text{ч}} = \frac{8}{15} \pi \rho (R_n^5 - R_k^5). \quad (6)$$

Подстановка (6) в (5) позволяет получить соотношение следующего вида:

$$\Delta W = \frac{4}{15} \pi \omega^2 \rho (R_n^5 - R_k^5). \quad (7)$$

Для измельчения частицы материала массой

(3) истиранием при её движении в рассматриваемой области необходимо затратить мощность « P_1 », равную [2]:

$$P_1 = \Delta W \cdot n, \quad (8)$$

где n – частота вращения сферической частицы материала.

Величина мощности $P_{\text{доп}}$, которую необходимо затратить для прохождения частицы через рассматриваемую область частиц материала числом n_0 , будет определяться соотношением вида:

$$P_{\text{доп}} = P_1 \cdot n_0, \quad (9)$$

где число частиц n_0 с массой материала M связано соотношением:

$$n_0 = \frac{M}{m}. \quad (10)$$

Подстановка (10), (8) с учетом (3) приводит к выражению следующего вида:

$$P_{\text{доп}} = \frac{1}{5} M \omega^2 n R_K^2 \left[\left(\frac{R_H}{R_K} \right)^5 - 1 \right]. \quad (11)$$

Таким образом, полученное соотношение (11) определяет величину мощности, которую необходимо затратить на дополнительное измельчение частиц материала истиранием. Из формулы (11) видно, что данная мощность зависит от массы частиц, находящихся в зазоре между коническими поверхностями, частоты вращения конусов, частоты вращения сферической частицы, а также соотношения начального и конечного размеров сферических частиц. В случае, если образующие конических поверхностей оснащены прямолинейными ребрами (рис. 2), то величина мощности, которую необходимо затратить на измельчение материала в зазоре между ребристыми коническими поверхностями определяется следующим соотношением:

$$P_2 = A \cdot \omega \cdot k_0, \quad (12)$$

где A – величина работы, затрачиваемой на формирование зоны разрушения в объеме сферической частицы материала диаметром « d_0 »; ω – частота вращения конических ребристых поверхностей; k_0 – количество ребер.

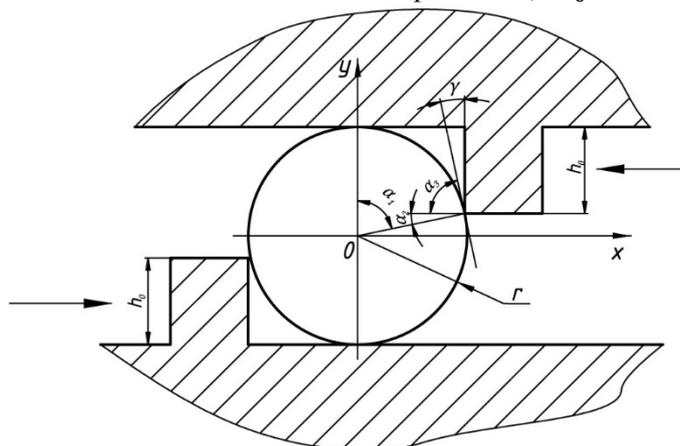


Рис. 2. Расчетная схема для определения угла взаимодействия ребра конической поверхности с частицей сферической формы радиуса r_m .

Согласно результату работы [3], значение работы по формированию зоны разрушения в результате удара ребрами конической поверхности по частице материала определяется следующим выражением:

$$A = \frac{48 \nu d_0^3}{\pi^2 d} \left(\frac{\pi \sigma_p}{4 Q d_0} \right)^{\frac{1}{2}} (Q - Q_0), \quad (13)$$

где ν – коэффициент Пуассона; σ_p – величина напряжения, приводящая к разрушению частицы материала; d – средний размер частиц материала в результате разрушения исходной частицы; Q – величина кинетической энергии, вводимой в зону разрушения.

Значение величины Q_0 определяется следующей величиной [3]:

$$Q_0 = \frac{27 \pi (1-2\nu) \sigma_p^2 d_0^4}{96 \nu E d}, \quad (14)$$

здесь E – модуль Юнга материала частицы.

В свою очередь, величина кинетической энергии, вводимой в зону разрушения, определяется соотношением вида:

$$Q = 2E_0 \cos \gamma; \quad (15)$$

$$E_0 = \frac{I_k \cdot \omega^2}{2}, \quad (16)$$

где I_k – момент инерции ребристой конической поверхности (рис. 3), равный [4]:

$$I_k = \frac{\rho \pi H_1}{10} \cdot \frac{R^5 - r^5}{R - r}, \quad (17)$$

где ρ – плотность материала частицы; H_1 – высота усеченного конуса; R – больший радиус усеченного конуса; r – меньший радиус усеченного конуса.

Величину угла « γ » можно найти согласно расчетной схеме, представленной на рис. 3.

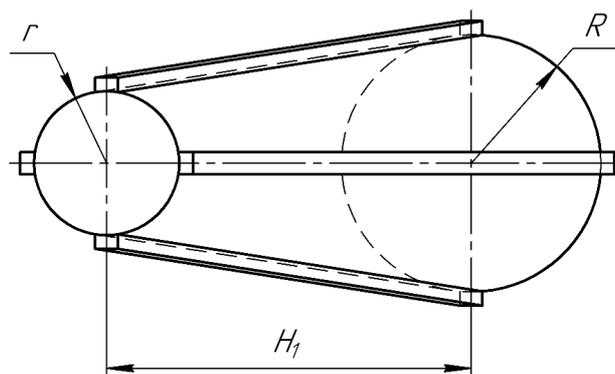


Рис. 3. Расчётная схема для определения момента инерции усечённого конуса

Согласно данной расчетной схемы находим:

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{R_n - h_0}{R_n}\right); \quad (18)$$

$$\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1; \quad (19)$$

$$\alpha_3 = \alpha_1; \quad (20)$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha_3 = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{R_n - h_0}{R_n}\right). \quad (21)$$

С учетом (16) и (21) формула (15) принимает вид:

$$Q = I_k \omega^2 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{R_n - h_0}{R_n}\right)\right). \quad (22)$$

Полученное соотношение (22) можно привести к следующему виду:

$$Q = I_k \omega^2 \sqrt{\frac{h_0}{R_n} \left(2 - \frac{h_0}{R_n}\right)}. \quad (23)$$

Таким образом, полученные соотношения (23), (17), (14), (13) и (12) определяют искомую величину мощности, которая зависит от угловой

скорости конических поверхностей, их моментов инерции, момента инерции частицы и геометрических параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2637216 Дезинтегратор. Семикопенко И.А., Вялых С.В., Горбань Т.Л., Беляев Д.А. Опубл. 01.12.17. Бюлл. №34.
2. Третьяк И.В. Математика. Универсальный справочник. М.: Изд-во «Эксмо», 2016. 352 с.
3. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Вялых С.В. Математическое описание процесса предварительного разрушения материала в ударно-отражательном узле дезинтегратора // Вестник ИргТУ. 2014. № 10. С. 139–142.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. 4 издание, М.: ФИЗМАТЛИТ, изд-во МФТИ, 2005, 560 с.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.

E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Флоринский Владимир Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Беляев Денис Александрович, аспирант, кафедра механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Маняхин Алексей Степанович, магистрант, кафедра механического оборудования.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2018 г.

© Семикопенко И.А., Флоринский В.В., Беляев Д.А., Маняхин А.С., 2018

I.A. Semikopenko, V.V. Florinsky, D.A. Belyaev, A.S. Manyakhin
DETERMINATION OF CAPACITY REDUCED BY PARTICLE ROLLING BETWEEN
TWO CONICAL SURFACES

Currently, mills are widely used, which are based on the principle of crushing and abrasion. One of these mills is a disk mill with conical working surfaces. The angle of inclination of the working surfaces to the horizon should exceed the angle of natural slope of the crushed material.

In this article the analytical expression allowing to define value of the power spent for grinding of the particle which is in a gap between two conical surfaces is received. Schemes for determination of the power spent for grinding of a particle by abrasion and crushing between two conical surfaces are presented. The analysis of the obtained relations leads to the conclusion that the power consumed for particle grinding depends on geometrical and technological parameters. In this paper we obtain an analytical expression that allows us to determine the value of the power expended for grinding a particle in the gap between two conical surfaces.

Schemes for determining the power expended for grinding a particle by abrasion and impact between two conical surfaces are presented. An analysis of the correlation obtained allows us to conclude that the power consumed for grinding the particle depends on the geometric and technological parameters.

Keywords: conical surface, grinding, particle, power.

REFERENCES

1. Patent RF № 2637216 Disintegrator. Semikopenko I. A., Slack S.V., Gorban, T.L., Belyaev D.A. Publ. 01.12.17. Bull. No. 34.
2. Tretyak I.V. Math. Universal reference book. M.: publishing House "Eksmo", 2016, 352 .
3. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Vyalykh S.V. Mathematical description of the process of preliminary destruction of the material in the shock-reflective node disintegrator. Vestnik Irstu, 2014, no. 10, pp. 139–142.
4. Sivukhin D.V. General course of physics. Vol.1. Mechanics. 4 edition, Moscow: FIZMATLIT, Moscow, MIPT, 2005, 560 p.

Information about the author

Igor A. Semikopenko, PhD, Assistant professor.
E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vladimir V. Florinsky, PhD, Assistant professor.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Denis A. Belyaev, Research assistant.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Alexey S. Manyakhin, graduate student.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

Received in March 2018