

А. Д. Учитель /д. т. н./, С. В. Швед /к. т. н./,  
Н. А. Дац, И. В. Засельский /к. т. н./

Криворожский металлургический институт  
Национальной металлургической академии  
Украины, г. Кривой Рог, Украина  
e-mail: a.d.uchitel@yandex.ru

## Исследования энергоемкости процесса дробления кусковой части агломерационной руды в вибрационной конусной дробилке

A. D. Uchitel /Dr. Sci. (Tech.)/,  
S. V. Shved /Cand. Sci. (Tech.)/, N. A. Dats,  
I. V. Zasel'skiy /Cand. Sci. (Tech.)/

Kryvyi Rig Metallurgical Institute of the National  
Metallurgical academy of Ukraine,  
Kryvyi Rig, Ukraine  
e-mail: a.d.uchitel@yandex.ru

## Research the energy intensity of the crushing process lumpy ore in the sinter vibrating cone crusher

**Цель.** Обоснование минимально возможной установленной мощности двигателей конусных дробилок для подготовки рудной части аглошихты к окомкованию на основе энергетического анализа процесса.

**Методика.** Теоретические исследования на основе теории разрушения согласно гипотезе П. Риттингера, связывающей условия разрушения кусков заданных размеров с амплитудой колебаний рабочего органа дробилки.

**Результаты.** В статье приведен анализ условий разрушения кусков в рабочем канале дробилки и, на этой основе, получено выражение для расчета установленной мощности двигателя, учитывающие как механические свойства дробимого материала, так и геометрию камер дробления.

**Научная новизна.** Получена математическая модель процесса дробления, учитывающая величину работы разрушения исходя из ограничения содержания «мелких» фракций в дробленом продукте.

**Практическая значимость.** Развитие теории и практики дробления кусковой части руды с минимизацией выхода «мелких» не кондиционных фракций. (Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.)

**Ключевые слова:** рабочий канал, кинетическая энергия, мощность, коэффициент полезного действия, механические напряжения.

**Постановка проблемы.** Подготовка шихтовых материалов агломерационного производства включает операцию дробления крупнокусковой части руды. Особенностью процесса дробления при подготовке руды является необходимость ограничения мелких (-2 мм) классов в дробленном продукте, что определяет необходимость ограничения избыточной энергии, сообщаемой дробимому материалу, т. е. оптимизации энергоемкости процесса дробления.

**Формулировка цели.** Разработка методики определения установленной мощности двигателя вибрационной дробилки, обеспечивающей снижение до необходимого уровня крупности дробленого продукта одновременно с ограничением в дробленном продукте содержания «мелких» фракций, т. е. сужение диапазона размеров кусков дробленого продукта.

**Методика исследований.** В основу теоретических исследований энергоемкости процесса дробления кускового материала в вибрацион-

ных дробилках положена гипотеза П. Риттингера, предполагающая, что «увеличение обнаженной поверхности прямо пропорционально силе, требуемой для дробления»; это тождественно утверждению, что сила, необходимая для одноактного дробления, пропорциональна величине поверхности разлома, образующегося при разрушении куска.

**Фактический материал.** Если дроблению подлежат два куска разных размеров, то площади их разломов (вновь создаваемых поверхностей) относятся как квадраты соответствующих размеров:

$$\frac{S_1}{S_2} \equiv \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

или, учитывая, что удельная работа разрушения кусков одного и того же материала (в рассматриваемом случае – руды) есть величина постоянная, можно записать:

$$\frac{W_1}{W_2} = \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (2)$$

Таким образом, работа, затрачиваемая на разрушение кусков материала в рабочем канале в течение единичного акта разрушения, пропорциональна квадрату отношения размеров кусков, при этом удельная работа разрушения зависит только от материала разрушаемого куска [1-3].

Работа разрушения всех кусков в рабочем канале в цикле для случая, когда канал (камера дробления) полностью заполнен кусками, подлежащими дроблению (рис. 1), равна:

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_x+2} W_i. \quad (3)$$

Холостой ход рабочего органа дробилки вдоль общей оси симметрии конусов происходит по гармоническому закону. При этом энергия колебательного процесса в холостом ходу без учета потерь может быть определена по величине максимальной кинетической энергии системы [4]:

$$K_0 = 0.5M \cdot A_0^2 \omega_0^2, \quad (4)$$

где  $M$  – масса колеблющихся элементов рабочего органа, кг;  $A_0$  – амплитуда колебаний холостого хода, м;  $\omega_0$  – круговая частота вынужденных колебаний холостого хода,  $c^{-1}$ .

Для зарезонансной настройки ( $\omega_0 \gg \omega_{\text{собст}}$ ):

$$A_0 = \frac{M_{\text{кин}} K_{\text{ср}}}{M} \quad (5)$$

где  $M_{\text{кин}}$  – кинетостатический момент вибровозбудителей,  $кг \cdot м$ ;  $K_{\text{ср}}$  – коэффициент, учитывающий неполную самосинхронизацию вибровозбудителей.

$\omega_{\text{собст}}$  – собственная частота колебаний динамической системы, образованной рабочим органом и упругой системой, через которую он опирается на основание,  $c^{-1}$ .

На рабочем ходу энергия колебательного процесса в цикле уменьшится на величину работы разрушения всего материала в рабочем канале:

$$K = K_0 - W \quad (6)$$

Амплитуда колебаний рабочего органа под нагрузкой:

$$A_w = \sqrt{A_0^2 - \frac{2W}{M\omega_0^2}}. \quad (7)$$

С использованием выражения (7) проводится проверка возможности разрушения дробимых кусков при амплитуде колебаний рабочего органа, равной  $A_w > A_d$ . Разрушение кусков в канале в течение одного цикла произойдет, если вибрационное перемещение, приводящее к

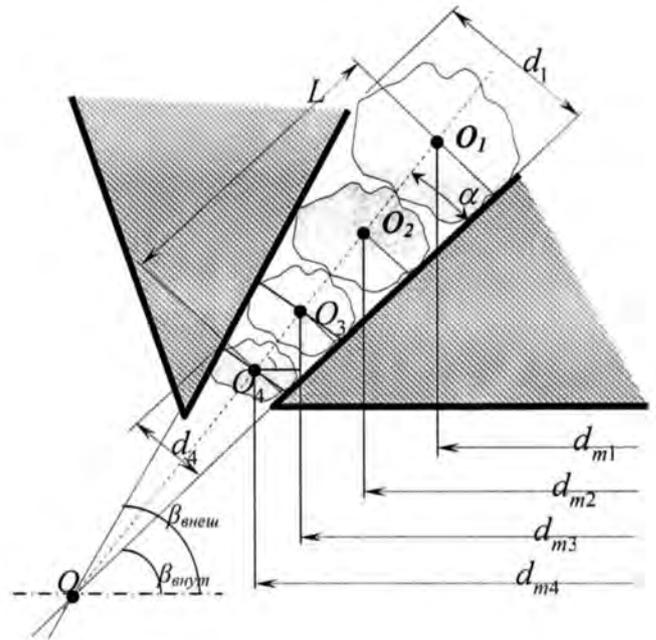


Рис. 1. К расчету максимального количества кусков, разрушаемых за цикл дробления:

$L$  – расчетная длина рабочей части канала;  $d_1$  – максимальный размер куска, подлежащего дроблению;  $d_4$  – максимально возможный размер куска дробленого продукта;  $d_{m1} \dots d_{m4}$  – диаметры концентрических окружностей, с центрами, лежащими на вертикальной оси симметрии конусной дробилки, описывающих положения центров тяжести кусков в канале;  $O_1 \dots O_4$  – геометрические центры тяжести кусков;  $\beta_{\text{внутр}}, \beta_{\text{внешн}}$  – углы конусности внутренних и внешних конусов;  $\alpha$  – угол наклона оси канала к образующей внутреннего конуса.

сжатию куска  $A_d$ , будет равным или большим, чем требуемая для разрушения деформация.

Исходя из этого, условием разрушения является:

$$\frac{l_1}{\cos \beta} \left[ \operatorname{tg}(2\alpha) - \frac{\varepsilon_R d_1}{l_1} \right] = \varepsilon_R d_1. \quad (8)$$

где  $\varepsilon_R$  – относительная деформация, при которой в теле куска возникает разрушающее механическое напряжение  $\sigma_R$ ; с учетом того, что относительная деформация вызывает в теле куска напряжения  $\sigma = \varepsilon_R \cdot E$ , то условие разрушения самого крупного куска записывается в виде:

$$\frac{l}{\cos \beta} \cdot \left[ \operatorname{tg}(2\alpha) - \frac{[\sigma_{\text{разп}}]}{E} \cdot \frac{d_1}{l_1} \right] \geq \frac{[\sigma_{\text{разп}}]}{E} \cdot d_1. \quad (9)$$

При этом перемещений куска по поверхности канала за цикл должно быть не меньше:

$$l_1 \geq \frac{[\sigma_{\text{разп}}] \cdot d_1 (1 + \cos \beta)}{E \cdot \cos \alpha}. \quad (10)$$

Если амплитуда  $A_0$  оказывается не достаточной для разрушения кусков с заданными исходными размерами, следует повысить амплитуду колебаний вибрирующего конуса так, чтобы выполнялись условия (8) и связанные с ним (9) и (10).

Потребляемая мощность  $N$  для рассматриваемой конструкции дробилки определится по соотношению:

$$N_{ном} = \frac{\omega_0}{2\pi} \cdot W. \quad (11)$$

а установленная мощность двигателей:

$$N_{уст} = \frac{1}{\eta} N_{ном}. \quad (12)$$

**Выводы.** На основе энергетического анализа процесса дробления крупнокусковой части металлургической шихты получены выражения для определения работы ее разрушения и установленной мощности двигателя конусной вибрационной дробилки.

Установка в качестве привода в конусных вибрационных дробилках двигателей с установленной мощностью большей, чем та, что определена по выражению (12), приводит к повышению затрат на дробление и к переизмельчению продуктов дробления, что, в свою очередь, снижает эффективность его окомкования.

#### Библиографический список / References

1. Дац Н. А. Расчет производительности и энергопоказателей вибрационных конусных дробилок / Н. А. Дац, С. В. Швед, Д. В. Пополов // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 487–493.

Dats N. A., Shved S. V., Popolov D. V. (2014). *Raschet proizvoditelnosti i energopokazateley vibratsionnykh konusnykh drobilok* [The calculation of productivity and energy indicators vibrating cone crushers]. *Kachestvo mineralnogo syrya* [Quality of mineral raw materials]. Krivoy Rog, pp. 487–493.

2. Дац Н. А. Исследование рабочего процесса вибрационных конусных дробилок / Н. А. Дац, С. В. Швед, Д. В. Пополов // Качество минераль-

ного сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 469–487.

Dats N. A., Shved S. V., Popolov D. V. (2014). *Issledovanie rabocheho protsessa vibratsionnykh konusnykh drobilok* [Research the working process vibrating cone crushers]. *Kachestvo mineralnogo syrya* [Quality of mineral raw materials]. Krivoy Rog, pp. 469–487.

3. Патент на корисну модель 91304 України, МПК В02С19/16. Конусна вібраційна дробарка / Учитель О. Д., Лялюк В. П., Ступнік М. І., Пополов Д. В., Дац Н. О., Учитель С. О., заявл. 17.02.2014 опубл. 25.06.2014. Бюл. № 12.

Uchitel O. D., Lyalyuk V. P., Stupnik M. I., Popolov D. V., Dats N. O., Uchitel S. O. Patent for utility model 91304 Ukrain, МПК V02S19/16. Cone crusher vibrating., zayavl. 17.02.2014 opubl. 25.06.2014. Byul. No. 12.

**Purpose.** Justification power set the lowest possible engine cone crushers for the preparation of the ore pelletizing agloshihty to power on the basis of the analysis process.

**Methodology.** Theoretical studies based on the theory of failure according to the hypothesis P. Rittinger linking the conditions for the destruction of pieces of predetermined dimensions with an amplitude of oscillation of the working body of the crusher.

**Findings.** The article provides an analysis of pieces breaking conditions in mills operating channel and, on this basis, an expression for calculating the engine installed capacity, taking into account the mechanical properties of the crushed material and the geometry of the crushing chamber.

**Originality.** The mathematical model of the crushing process, which takes into account the value of the fracture on the basis of content restrictions, «fine» fractions in the crushed product.

**Practical value.** Development of the theory and practice of crushing lumps of the ore while minimizing the release of «small» is not conditional fractions.

**Рекомендована к публикации  
д. т. н. А. Д. Учителем**

**Поступила 22.11.2016**

