

УДК 622.73

Ю.Г. Клыков, Т.С. Гуриев

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЛИЯНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ИЗМЕЛЬЧЕННОГО МАТЕРИАЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ**

Рассмотрены зависимости влияния крупности измельченного материала и его удельной поверхности на величину энергопотребления процесса измельчения.

Ключевые слова: измельчение, гранулометрический состав, деформация, энергопотребление.

Процесс дезинтеграции, в особенности тонкое измельчение, требует значительных затрат энергии. Общая энергия, потребляемая мельницей делится на две основные части. Первая, полезно потребляемая энергия, — непосредственно направлена на изменение гранулометрического состава измельчаемого материала и раскрытие сростков минералов, а вторая, — теряемая часть, — расходуется на перемешивание материала в зоне измельчения, износ футеровки и т.д.

Интерес в первую очередь представляет определение энергии непосредственно направленной на раскрытие сростков при изменении гранулометрического состава.

Рассмотрим известные гипотезы закона измельчения — Ребиндера, Риттингера, Кирпичева-Кика, Бонда, Хукки.

В общем виде их можно сформулировать так — энергия измельчения пропорциональна вновь образованной поверхности и объему измельченного материала. В этом случае выражение справедливое для измельчения единицы объема частиц материала размером от l_1 до l_2 можно представить в виде

$$f(l_1, l_2) \approx k_n \frac{1}{l_1} \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right) + k_y \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right), \text{kBt ч/m}^3 \quad (1)$$

где k_n — работа пластических деформаций на единицу площади поверхности; k_y — работа упругих деформаций на единицу объема материала.

Рассмотрим кубик хрупкого материала с ребром (l_1), который необходимо разрушить до кубиков размером $l_2 < l_1$ (рис. 1). Прикладывая нагрузку в направлении перпендикулярном стороне кубика, отделим слой толщиной l_2 . Затраченная на это работа упругих сил равна $k_y l_1^3$, работа сил пластических деформаций $k_n l_1^2$. Для следующего слоя эти силы равны $k_y l_1^2 (l_1 - l_2)$ и $k_n l_1^2$, дальше $k_y l_1^2 (l_1 - 2l_2)$ и $k_n l_1^2$. Общее количество слоев равно $\frac{l_1}{l_2}$.

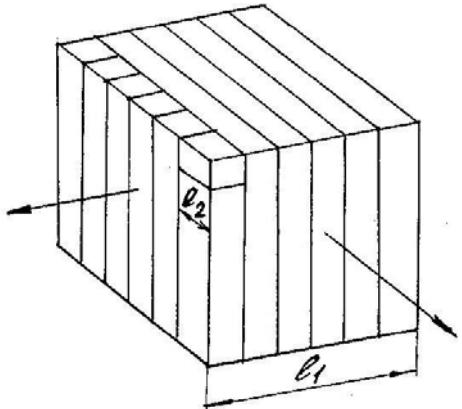


Иллюстрация разделения частиц

Суммарная работа сил пластических деформаций равна $k_n l_1^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right)$, а упругих сил $k_y l_1^2 \sum_{i=1}^n [l_1 - (i-1)l_2]$.

Теперь к каждому из полученных слоев приложим нагрузку в перпендикулярном направлении. Отколем от каждого слоя столбики и определим для каждого работу сил пластических и упругих деформаций. Работа пластических деформаций равна $k_n l_1 l_2 \left(\frac{l_2}{l_1} - 1 \right)$, а упругих — находится в пределах от

$k_y l_1^2 l^2$ до $k_y l_1 l_2 \sum_{i=1}^n [l_1 - (i-1)l_2]$, количество слоев равно $\frac{l_1}{l_2}$ и все полученные количества необходимо умножить на $\frac{l_1}{l_2}$.

Теперь будем разрушать столбики, общее количество которых $\left(\frac{l_1}{l_2} \right) \cdot (l_1 l_2)$ для каждого столбика работа сил пластических деформаций равна $k_n l_2^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right)$, а упругих находится в пределах от $k_y l_2^2 l^2$ до $k_y l_2^2 \sum_{i=1}^n [l_1 - (i-1)l_2]$.

Суммарная работа получится умножением этих количеств на $\left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2$.

Суммируя все произведенные работы, получим, что работа сил пластических деформаций не зависит от последовательности разрушения и равна $k_n l_1^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right)$, а работа сил упругих деформаций в среднем можно принять $k_y l_1^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right)$.

Общая энергия необходимая для разрушения кубика от размера l_1 до l_2 равна

$$k_n l_1^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right) + K_y l_1^2 \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right). \quad (2)$$

Учитывая, что исходный и измельченный материал содержит частицы различного размера, то на измельчение 1 м³ материала затрачивается энергия равная

$$E = \int_0^\infty \gamma_\alpha(l_2) \left[\int_0^\infty \gamma_\alpha(l_1) f(l_1, l_2) dl_1 \right] dl_2. \quad (3)$$

Обобщенную зависимость количества энергии от крупности измельчения представим в виде формулы Хукки

$$\frac{dE}{dl} = -\frac{k}{e^{f(l)}}, \quad (4)$$

где k — коэффициент зависящий от прочности материала; $f(l)$ — экспериментально определенная функция крупности.

Учитывая, что наши интересы в данной работе ограничены тонким измельчением, примем $f(l) = 2$, что приведет к зависимости Риттингера, а коэффициент k можно определить через индекс работы Бонда — w (энергию затраченную на измельчение 1 тонны материала «бесконечного» размера до крупности 0,1 мм) $k = 100w$. Численные значения индекса w Бонда измерены для многих типов руд и легко экстраполируются с помощью коэффициента крепости по шкале проф. Протодьяконова (1).

В частности для кварца $w_k = 14,05$ кВт ч/т, для свинцово-цинковой руды $w_p = 12,75$ кВт ч/т, и соответственно для кварца $k_k = 1405$, для свинцово-цинковой руды $k_p = 1275$

$$\begin{aligned} E_k^{\text{общ}} &= 1405 \left[\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1} \right], \\ E_p^{\text{общ}} &= 1275 \left[\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Дифференциальные гранулометрические характеристики могут быть взяты в виде различных функций распределения.

Предпочтительнее использовать экспоненциально-степенную зависимость Розина-Рамлера, представленную в виде

$$R = 100e^{-bl^n}, \quad (6)$$

где $\gamma(l)$ — выход верхнего класса, %; l — крупность частиц, мкм; b и n — постоянные характеризующие крупность свойства измельчаемого материала и условия размола.

Продифференцировав уравнение (6) и взяв выход классов $\gamma(l)$ в долях единицы, получим

$$\frac{dR}{dl} = nbl^{n-1}e^{-bl^n}. \quad (7)$$

Подставив в формулы (5) и (7) в (3) получим

$$\sum E = k \int_0^{l_2} b_2 n_2 l_2^{n-1} e^{-b_2 l_2^n} \left(\frac{1}{l_2} - \int_{l_2}^{l_1} b_1 n_1 l_1^{n-1} e^{b_1 l_1^n} \frac{dl_1}{l_1} \right) dl_2. \quad (8)$$

Заменив в формуле (8) интегралы на суммы можно получить численные результаты удобные для практического использования.

Порядок интегрирования в формуле можно изменить, изменив и пределы интегрирования. Результат по суммарной затраченной энергии будет тот же, однако это даст возможность определения энергии необходимой для получения частного выхода каждой крупности как «по плюсу» так и «по минусу».

В первом случае определяется энергия разрушения всех крупных классов исходного продукта, дающих один мелкий класс готового продукта

$$E_1(j) = \gamma_{j2} \sum_{i=j}^n E_i \gamma_{il}. \quad (9)$$

Во втором случае — энергия разрушения одного крупного класса исходного материала, дающего все мелкие классы конечного продукта. Указанные частные величины энергии являются составными частями суммарной энергии. Их анализ дает представление о показателях распределения расходуемой на деинтеграцию энергии.

В качестве исходных данных взяты результаты экспериментов по измельчению кварца и полиметаллической руды в центробежной мельнице.

Применение в расчетах гипотезы Риттингера предполагает, что вновь образованная при измельчении поверхность, при прочих равных условиях, пропорциональна длительности процесса размола, определяемой кинетикой измельчения, а следовательно, и потребляемой энергии.

Для тонкого измельчения удельная поверхностная энергия очень важный, а часто единственно возможный, показатель тонкости измельчения.

Для вычисления теоретической удельной поверхности любого продукта следует определить поверхность зерен каждого узкого класса крупности, считая, что все зерна данного класса имеют средний размер l .

Поверхность всех зерен узкого класса равна

$$S = 6 \cdot 10^4 \frac{\gamma}{\delta \cdot l}, \text{ см}^2 \quad (10)$$

где γ — выход данного класса, доли ед.; δ — удельный вес материала, $\text{г}/\text{см}^3$; l — средний размер зерна, мкм, независимо от того, представлены измельчающие частицы в форме куба или шара.

После получения поверхности каждого класса крупности, общая удельная поверхность всех зерен одной весовой единицы находится суммированием частных значений

$$S_{\Sigma} = \sum S = \frac{6 \cdot 10^4}{\delta} \sum_{i=1}^i \frac{\gamma_i}{l_i}. \quad (11)$$

Разработанная программа для ЭВМ позволяет определить прирост удельной поверхности каждого класса крупности, а также сами удельные поверхности каждого класса исходного и конечного продукта, при минимальном расходе энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хуэто А.А., Тихонов О.Н. Прогноз энергии измельчения с учетом гранулометрических характеристик материалов. Изв. Вузов. Цветная металлургия. № 3-4, 1992. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Клыков Юрий Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры начертательной геометрии и черчение. E-mail: klikovu@mail.ru

Гуриев Тамерлан Созырикоевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры начертательной геометрия и черчение. E-mail: klikovu@mail.ru
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)



UDC 622.73

EFFECT OF GRAIN SIZE COMPOSITION OF GROUND MATERIAL ON ENERGY PARAMETERS OF THE MATERIAL DISINTEGRATION

Klykov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: klikovu@mail.ru

Guriev T.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,
North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University).

The curves of the ground material size, particle specific surface and grinding energy demand are analyzed. Energy necessary to produce partial yield of each size, either "plus" or "minus," is found.

The first case estimation was aimed at energy spent to crush all coarse sizes of original material to produce one fine size of end product.

In the second case, energy spent for crushing one large size of original material to obtain all fine sizes of end product was determined.

The found partial energies are the components of the total energy; their analysis yields distribution of disintegration energy.

The study source data are the data of experimental grinding of quartz and complex ore in centrifugal mills.

The developed software program allows evaluation of the specific surface increment for each size grade particles and the specific surface for each size grade of the original material and end product at energy consumption minimum.

Key words: grinding, grain size composition, deformation, energy consumption.

REFERENCES

1. Khueto A.A., Tikhonov O.N. 1992. Material crushing energy forecasting, considering granular size, University Bulletin, Nonferrous Metallurgy, Nos. 3 and 4.

