

УДК 621.762.3

ВЫБОР СПОСОБОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВ

Ложечников Е.Б. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Гавриленя А.К. (Барановичский государственный университет, г. Барановичи, Беларусь)

В статье исследуется зависимость удельной энергоемкости измельчения от размеров частиц продуктов измельчения, предложена математическая модель определения удельной энергоемкости измельчения в виде гиперболической функции. Определены параметры, зависящие от свойств и состояния материалов, способа и режима измельчения, также – наименьший размер частиц, предельно достижимый в конкретных условиях обработки. Приведена методика построения графика удельной энергоемкости измельчения.

Введение

В результате силового взаимодействия с размольными телами и между собой частицы измельчаемого материала испытывают упругую, а затем пластическую деформацию до разрушения на более мелкие частицы. Многократность этого взаимодействия обуславливает наклеп, образование и развитие в материале частиц микро- и макродефектов, что приводит к их разрушению при контактных и внутренних напряжениях, меньших предела прочности материала частиц. Удельная энергоемкость процесса измельчения определяется при этом материалом частиц, состоянием их поверхности, рациональностью способа и конструкции размольного устройства, степенью измельчения (отношения размеров частиц до и после измельчения) и многими другими факторами. При этом с уменьшением размеров частиц удельная энергоемкость их механического измельчения возрастает и при приближении к размерам d_0 , минимально достижимым для конкретных материалов, способов и условий процесса, измельчение прекращается. Вследствие насыщения избыточной энергией в высокодисперсных порошках с размерами частиц, близкими к d_0 , возможен обратный процесс – гранулирование частиц, а в случае смесей разных по составу порошков – к их химическому взаимодействию с образованием твердых растворов и соединений [1-4].

Сложность протекающих при механическом измельчении физико-химических процессов предопределила использование различных подходов и моделей их теоретических исследований, обобщенные результаты которых дают представление об этих процессах. Однако они не достаточны для принятия технических решений при проектировании и выборе конструкций измельчающих устройств и режимов их работы, обеспечивающих достижение поставленных целей при минимальных энергозатратах. Базовыми для таких решений в связи с этим являются результаты пилотных экспериментов по измельчению конкретных материалов.

Опыты показывают, что уменьшение энергозатрат и повышение дисперсности продуктов измельчения достигаются последовательно изменяющимися способами и средствами их размола. Так, например, на обогатительных фабриках измельчение руд осуществляют в несколько стадий, используя для каждой стадии наиболее подходящий тип измельчителя: крупное дробление выполняют в щековых дробилках, среднее и мелкое дробление до 5...6 мм – в конусных дробилках, а измельчение до 0,04...0,05 мм достигается в валковых, молотковых или барабанных измельчителях [4].

Результаты исследования

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований [2-5] дает основание моделировать зависимость удельной энергоемкости измельчения n_{yi} от размеров частиц продуктов измельчения (порошка) d_i дробной рациональной функцией

$$n_{yi}d_i = E_y = 0,5\tilde{N}_y^2, \tag{1}$$

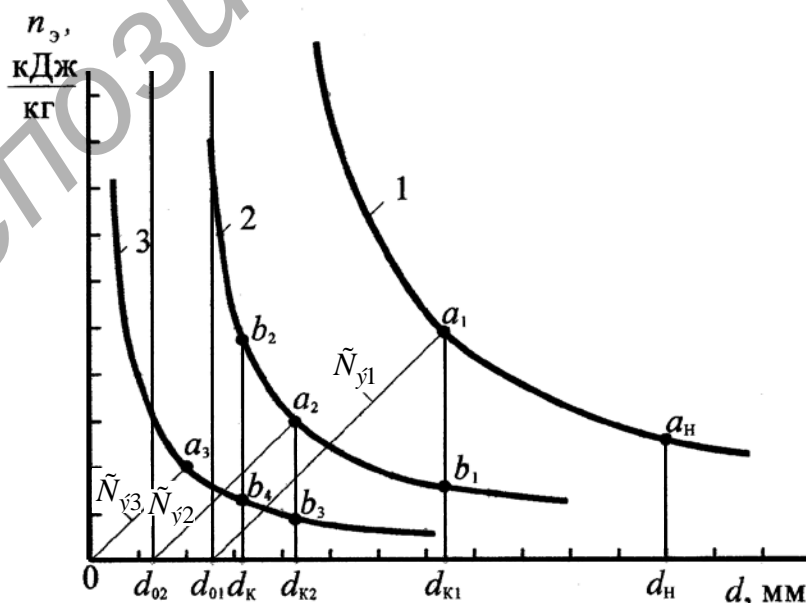
где E_y, \tilde{N}_y – параметры, зависящие от свойств и состояния материала, способа и режима измельчения.

Выражение (1) представляет математическое описание гипербол, асимптотами которых являются оси координат d и n_y , а параметр \tilde{N}_y – наименьшее до нее расстояние от центра координат. Очевидно, что с уменьшением величины параметра \tilde{N}_y возможности соответствующих им машин и условий для получения высокодисперсных порошков при наименьших удельных энергозатратах, выраженных, например, в кДж/кг, повышаются.

В выражении (1) не учтены предельные возможности измельчения материалов до размеров d_0 , разных для различных измельчителей, материалов и режимов обработки ($d_i \rightarrow d_0$ при $n_{yi} \rightarrow \infty$). Для учета этого условия необходимо сместить центр координат графиков удельной энергоемкости (ось n_y) на величину d_0

$$n_{yi}(d_i - d_0) = E_y = 0,5\tilde{N}_y^2. \tag{2}$$

На рисунке 1 приведены графические изображения функции (2) для разных способов измельчения одного и того же материала при $\tilde{N}_{y1} > \tilde{N}_{y2} > \tilde{N}_{y3}$ и $d_{01} > d_{02} > d_{03} = 0$.



$a_1 \dots a_n, b_1 \dots b_4$ – характерные точки гиперболы

Рисунок 1 – Зависимость удельной энергии измельчения от размера частиц d в виде гипербол со смещенными асимптотами (1 и 2) и симметричной (3)

Для определения параметров $E_{\dot{y}}$ и $\tilde{N}_{\dot{y}}$ и построения графиков зависимости удельной энергоёмкости измельчения от размеров частиц порошка необходимо выполнить пилотные эксперименты измельчения определенной массы Q материала с фиксированием через определенное время t среднего размера (гранулометрический состав) до d_1 и после d_2 измельчения и расход энергии $\dot{A}_{\dot{y}}$ за время t измельчения ($\dot{A}_{\dot{y}} = Nt$, кДж; кВт·час, где N – мощность). Тогда удельная энергоёмкость этапа измельчения, при котором средний размер частиц уменьшается с d_1 до d_2 , $\Delta n_{\dot{y}} = \dot{A}_{\dot{y}}/Q$. При этом, как видно из рисунка 2, $\Delta n_{\dot{y}} = n_{\dot{y}2} - n_{\dot{y}1}$. По установленным экспериментам удельной энергоёмкости этапа измельчения $\Delta n_{\dot{y}}$ и предельно достижимого в исследуемом измельчителе минимального размера d_0 частиц материала, принимаемого за координату смещенной полуоси (асимптоты), устанавливается координата на оси абсцисс точек (рисунок 2) d_1 ; d_2 и $d_{\tilde{n}} = 0,5(d_1 + d_2)$.

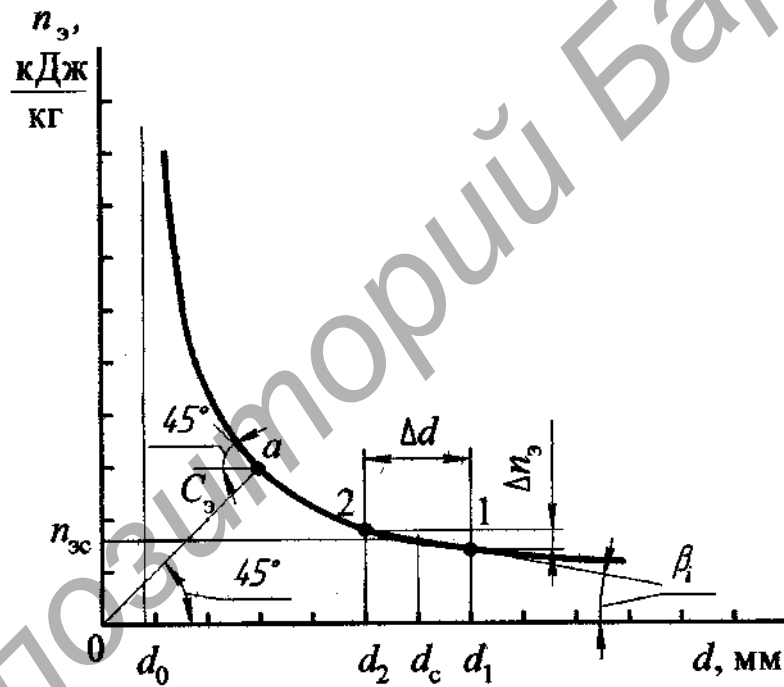


Рисунок 2 – Схема построения графика удельной энергии измельчения

Для получения расчетной формулы координаты точки $n_{\dot{y}c}$ оси ординат, соответствующей размеру частиц $d_{\tilde{n}}$, дифференцируем выражение (2) по двум переменным $n_{\dot{y}i}$ и d_i

$$n_{\dot{y}c} \Delta d + d_c \Delta n_{\dot{y}} - d_0 \Delta n_{\dot{y}} = 0. \quad (3)$$

В результате преобразования выражения (3) получаем формулу для расчета положения точки $n_{\dot{y}c}$, соответствующую среднему размеру частиц $d_{\tilde{n}}$,

$$n_{yc} = -\frac{\Delta n_{\tilde{y}}}{\Delta d}(d_{\tilde{n}} - d_0), \quad (4)$$

где $\Delta d = d_2 - d_1$.

Расчетом по формуле (2) определяем $C_{\tilde{y}}$

$$C_{\tilde{y}} = \sqrt{2n_{\tilde{y}\tilde{n}}(d_c - d_0)}. \quad (5)$$

После определения значений $\tilde{A}_{\tilde{y}}$ и $\tilde{N}_{\tilde{y}}$, постоянных для конкретных устройств и материалов, строится график зависимости удельной энергии измельчения от размеров частиц. Использование таких графиков позволяет принимать обоснованные решения о возможностях и последовательности способов, обеспечивающих энергоэкономичное измельчение материалов.

Так, например, при наличии трех разных измельчителей, диаграммы удельной энергоемкости которых известны и приведены на рисунке 1, очевидно, что измельчение порошка, средний размер частиц которого d_i , возможно лишь в измельчителе 1 (рисунок 1, диаграмма 1). Однако достигнуть требуемых размеров частиц d_e в этом измельчителе невозможно, так как $d_e > d_{01}$. Требуемая степень измельчения d_i / d_e может быть достигнута за два или три последующие стадии обработки сначала в измельчителе 1, а затем во 2 и 3. Из рисунка 1 очевидно, что в первом измельчителе целесообразно обрабатывать порошок до размеров частиц, близких к d_{e1} ($\beta = \arctg \frac{\Delta n_{\tilde{y}}}{\Delta d} \leq 1$), а затем во втором – до требуемых размеров d_e или до d_{e2} и в третьем измельчителе – до d_e . Удельная энергоемкость двухстадийного измельчения при этом будет равна сумме проекций на ось ординат ($n_{\tilde{y}}$) дуг $\tilde{a}_i\tilde{a}_1$, b_1b_2 , а при трехстадийном – дуг $\tilde{a}_i\tilde{a}_1$, b_1b_2 и b_3b_4 . Из приведенного выше очевидно преимущество с точки зрения энергозатрат трехстадийного измельчения.

Следует отметить, что в реальных условиях измельчения возможна несимметричность графиков удельной энергоемкости относительно осей координат. В таких условиях по результатам пилотных и контрольных экспериментов в выражения (2) и (4) следует ввести корректирующий чувствительность к изменению размеров частиц параметр в виде показателя степени, заключенного в скобках выражения, отличающегося от единицы ($m \neq 1$)

$$n_{\tilde{y}}(d - d_0)^m = E_{\tilde{y}}, \quad (6)$$

а координату положения точки n_{yc} рассчитывать по формуле

$$n_{yc} = -\frac{\Delta n}{m \cdot \Delta d}(d - d_0). \quad (7)$$

Выводы

При проектировании и выборе конструкции измельчительных устройств и режимов их работы для достижения оптимальных параметров измельчения при мини-

мальных энергозатратах рекомендуется использование предложенной в статье методики оценки возможностей и удельной энергоемкости способов измельчения материалов, что позволяет принимать обоснованные решения о возможностях и последовательности способов.

Список цитированных источников

1. **Губкин, С.И.** Теория обработки металлов давлением / С.И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1947. – 532 с.
2. **Сиденко, П.Л.** Измельчение в химической промышленности / П.Л. Сиденко. – М.: Химия, 1968. – 382 с.
3. **Акунов, В.И.** О нормальном ряде измельчения / В.И. Акунов. – М.: Госстройиздат, 1958. – 186 с.
4. **Коротич, В.Н.** Metallургия черных металлов / В.Н. Коротич, С.Г. Братчиков. – М.: Metallургия, 1987. – 240 с.
5. **Степурин, В.С.** О рациональном распределении энергии измельчения между последовательными стадиями в условиях Талнахской обогатительной фабрики / В.С. Степурин // VI Конгресс обогатителей стран СНГ: Материалы конгресса. Т.1 – М.: Альтекс, 2007. – С. 204.

Поступила в редакцию 11.02.2008 г.