

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В АГРЕГАТАХ РАЗДАВЛИВАЮЩЕГО ТИПА

Затраты энергии на процесс измельчения выступают в качестве основного показателя, характеризующего эффективность работы помольного агрегата. В настоящее время при расчете мощности привода валковых среднеходных мельниц приходится пользоваться эмпирическими зависимостями, полученными ранее [1]. В тех немногочисленных работах, в которых исследовались эти агрегаты, не сделано даже попытки связать энергозатраты с теоретическими аспектами разрушения и дезинтеграции.

Ранее нами была разработана модель разрушения материала между размольным столом и валком, учитывающая кратность воздействия при изменении степени измельчения и удельной поверхности [2]. Предложенная модель базировалась на работах Ребиндера и учитывала энергию, затрачиваемую на упругие деформации и образование новой поверхности. Но, как известно, разрушение твердых материалов сопровождается еще и пластической деформацией, на которую затрачивается некоторая доля подводимой к ним энергии. Аморфизация и другие изменения кристаллической структуры, наблюдаемые при измельчении ряда твердых материалов, позволяют считать наличие заметной пластической деформации при тонком измельчении достаточно общим явлением. Наряду с этим имеются и другие затраты энергии, в частности потери на работу трения и разрушение агломератов. Ходаковым [3] было предложено уравнение для плотности энергии измельчения в общем виде

$$dw_v = \frac{9 \cdot b \cdot w_{vy} dS}{a_2 S} + \left(\frac{3 \cdot b \cdot w_{vp} + w_{st}}{a_2} + w_s \right) dS - \frac{b \cdot w_{vp} \cdot l_1^2}{4 \cdot a_2} S dS, \quad (1)$$

где b – объемный фактор формы; w_{vy} – плотность энергии пластической деформации; dS – прирост площади поверхности при разрушении; w_{vp} – плотность энергии пластических деформаций, предшествующих хрупкому разрушению; a_2 – коэффициент; w_{st} – поверхностная плотность работы сил трения и энергии образования и разрушения агрегатов; w_s – свободная энергия единицы площади поверхности;

$l_1 = \frac{2l}{a_1}$ – коэффициент; l – толщина слоя пластической деформации; S – текущая поверхность измельчаемого материала, m^2 .

В данной зависимости первый член представляет собой затраты энергии на объемное деформирование твердого тела, второй – затраты

энергии на неупругие деформации, работу сил трения и создание новых поверхностей, третий учитывает изменение объема области пластических деформаций в связи с изменением размеров частиц.

Для оценки вклада неучтенных ранее статей затрат на суммарную работу разрушения было получено уравнение для плотности энергии измельчения трансформированное непосредственно для валков раздавливающего типа:

$$w_v = \frac{v \cdot b \cdot w_{vy}}{a_1} \left(\ln \frac{S}{S_0} + \ln \frac{S_{max} - S_0}{S_{max} - S_2} \right) + \frac{S_{max}}{a_2} (z \cdot b \cdot w_{sp} \cdot l_1 + a_2 \cdot w_s) \cdot \ln \frac{S_{max} - S_0}{S_{max} - S_2} \quad (2)$$

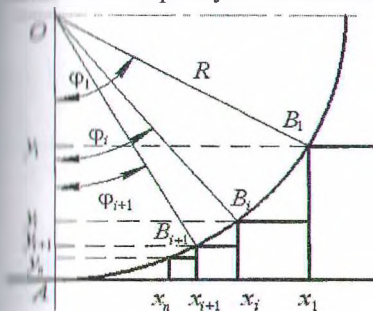
где S_0 , S_{max} – начальная и максимально возможная поверхности измельчаемого материала, м².

Полная работа за один оборот размольного стола будет равна [2]

$$A_{\Sigma} = w_v \cdot V \cdot n \cdot \frac{360}{\varphi_1} \cdot \frac{R_T}{R}, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где R_T – радиус беговой дорожки стола, м; V – объем измельчаемого материала (остается неизменным в процессе измельчения), м³; n – количество циклов измельчения; φ_1 – угол захвата куса материала валком ($\varphi_1 = 2\varphi$, где φ – угол трения, который зависит от коэффициента трения f материала о валок $\varphi = \arctg f$); R – радиус размольного вилка, м.

Определенную сложность в предложенной методике расчета работы измельчения вызывает определение количества циклов воздействия на материал. Нами был разработан метод расчета этого параметра применительно к валковым измельчителям. Валок воздействует на материал по дуге AB_1 (Рисунок 1) При перекачивании вилка по материалу с соответствующей силой прижатия его размер



должен уменьшаться от y_1 до y_n . Но это уменьшение происходит постепенно по мере уменьшения зазора между валком и тарелкой. Так как измельчить частицы от размеров y_1 до y_n за один цикл невозможно, то воздействие части вилка в виде сектора с углом φ_1 и дугой AB_1 можно представить как многоцикловой процесс. Примем по аналогии с классической

Рисунок 1 - Расчетная схема дение, что частицы после каждого цикла воздействия имеют кубическую форму. Тогда кратность воздействия определяется количеством кубиков, уменьшающихся

размеров, разместившихся между плоскостью тарелки (ось x) от x_1 до x_n и дугой окружности вала. Количество контактов вала с частицами материала (точки $B_1, \dots, B_i, \dots, B_n$) как раз соответствуют кратности воздействия. Пройдя весь участок от x_1 до x_n , мы найдем количество контактов, соответствующее по принятой модели кратности воздействия вала на материал. Рассчитав поверхность при каждом цикле воздействия, определим S_n – конечную поверхность, соответствующую размеру частиц u_n .

Таким образом, мощность, затрачиваемая на измельчение:

$$P = A_{\Sigma} \cdot n_T, \text{ Вт} \quad (4)$$

где n_T – частота вращения размольного стола, об/с.

По предложенной методике были проведены расчеты теоретической мощности привода промышленной мельницы с диаметром размольной тарелки 1 м, которая составила около 170 кВт, что соответствует удельному расходу энергии 10-15 кВт·ч/т при помоле клинкера. Сравнение полученных данных со сведениями по эксплуатируемым за рубежом валковыми мельницам свидетельствует о хорошей сходимости полученных результатов [4], что подтверждает возможность использования вышеизложенного для расчета энергозатрат на измельчение различных материалов в данных агрегатах.

Кроме того, используя предложенную методику при расчете работы измельчения для некоторых материалов и сравнив полученные данные с ранее посчитанными затратами энергии на упругую деформацию и увеличение удельной поверхности при разрушении материала [2], мы можем оценить вклад затрат энергии на пластические деформации и работу сил трения для любого материала, измельчаемого в мельницах раздавливающего типа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Летин, Л. А. Среднеходные и тихоходные мельницы / Л.А. Летин, К.Ф. Роддатис. - М.: Энергоиздат, 1981.
- 2 Вайтехович, П.Е. Энергетика процесса измельчения в мельницах раздавливающего типа / П.Е. Вайтехович, В.С. Францкевич // Строительная наука и техника. – 2008. – № 43. – С. 18-21.
- 3 Ходаков, Г.С. Физика измельчения / Г.С. Ходаков. М.: Наука, 1972.
- 4 Янг, О. Разработки и производственный опыт использования вертикальных валковых мельниц в цементной промышленности / О. Янг, Р. Биссо // Цемент и его применение. – 2000. – № 2. – С. 8-15.