

УДК 621.926: УДК 622.73

А.А. ТИТОВ, канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА МЕЖДУ СФЕРИЧЕСКОЙ И ПЛОСКОЙ ДРОБЯЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Введение

Современные машины для дезинтеграции полезных ископаемых осуществляют разрушение кусков преимущественно за счет сжатия между двумя рабочими поверхностями [1], за исключением тех, которые реализуют инерционный принцип нагружения об одну рабочую поверхность, например, молотковые дробилки. В данной работе пойдет речь именно о случае квазистатического нагружения, характерного для щековых, конусных и валковых дробилок, а также, с определенными оговорками, для барабанных мельниц, где, при падении шаров с высоты в "водопадном" режиме работы, на последнем этапе осуществляется кратковременное сжатие материала между шарами или между шаром и футеровкой в условиях, близких к статическим.

По мере сближения дробящих поверхностей, давление на материал увеличивается, и с определенного момента частицы начинают разрушаться. В работе [2] был рассмотрен случай плоской зоны деформирования, при этом были получены зависимости параметров зоны деформирования – высоты слоя материала в конце стадии захвата материала от радиуса этого слоя по верхней рабочей поверхности. Здесь под окончанием стадии захвата понималось получение перелома на компрессионной кривой, соответствующей началу разрушения частиц. Также получены соответствующие экспериментальные зависимости.

Актуальность работы. Сегодня доказано, что разрушение материала "в слое", когда происходит захват 3...5 и более слоев материала по толщине и приложении нагрузки к кускам по 6 и более точкам, является более эффективным по сравнению с нагружением в один слой с двумя точками контакта. При этом, в том числе за счет увеличения доли сдвиговых деформаций даже при чисто нормальном сжатии, достигается селективное раскрытие минералов и повышенный выход частиц кубовидной формы, чему в последнее время уделяется большое внимание [3].

Параметры зоны деформирования материала позволяют судить о давлении на слой материала, при котором начинается разрушение частиц. Чем меньше площадь зажатого материала, на которую будет воздействовать дезинтегратор, тем больше будет степень дробления кусков. Таким образом, однозначно определив параметры зоны деформирования и соотнеся это с энергией нагружения, возможно предсказать характеристики продукта разрушения.

Однако рассмотренный ранее случай сжатия между плоскими поверхностями редко встречается на практике. Обычно поверхностям придают некоторую кривизну, это относится, например, к профилированию камер дробления конусных вибрационных дробилок, или к случаю деформации частиц между шарами мельниц. При этом вторая поверхность может иметь заметно меньшую кривизну или вообще быть плоской.

Вероятно, с увеличением кривизны поверхностей, влияние выталкивающих сил в сыпучем материале будет уменьшать величину сближения дробящих поверхностей при том же усилии дробления, приходящемся на аналогичный объем материала, что вызовет перераспределение напряжений в слое и изменит характеристики продукта разрушения. Проведенный нами анализ публикаций говорит об отсутствии аналогичных исследований в такой постановке.

Цель данной работы – экспериментальное установление зависимостей влияния радиуса кривизны дробящей поверхности на параметры зоны деформирования, при нормальном сжатии материала между сферической и плоской поверхностями.

Основная часть

Исходным материалом является дробленый гранит фракции -0,5 мм. Рабочими поверхностями являлись стальная плита и стальной шар, радиус которого имел значения 47, 66 и 107 мм.

Схема нагружения слоя материала и параметры зоны деформирования показаны на рис. 1.

Первоначально материал насыпался на нижнюю горизонтальную плиту в виде конуса (рис. 1, а). Затем производилось деформирование путем вертикального прижатия верхнего шара к плите с заданным постоянным усилием $P = 300$ Н (или $P = 600$ Н) до момента останова материала. После этого измерялись параметры высоты h и радиуса верхней окружности сферической выемки в материале x_R (рис. 1, б). При этом варьировался объем материала в конусе V и радиус шара R . После выполнения опытов с шарами, проведена серия контрольных опытов сжатия аналогичного материала между двумя горизонтальными плитами, соответствующего случаю $R \rightarrow \infty$, для того же диапазона объемов.

Первоначально объем материала отмерялся по диаметру конуса D_0 (см. рис. 1, а), все конуса имели угол образующей равный углу естественного откоса материала β . Объем такого конуса определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot D_0^3 \cdot \operatorname{tg} \beta}{24}, \text{ м}^3. \quad (1)$$

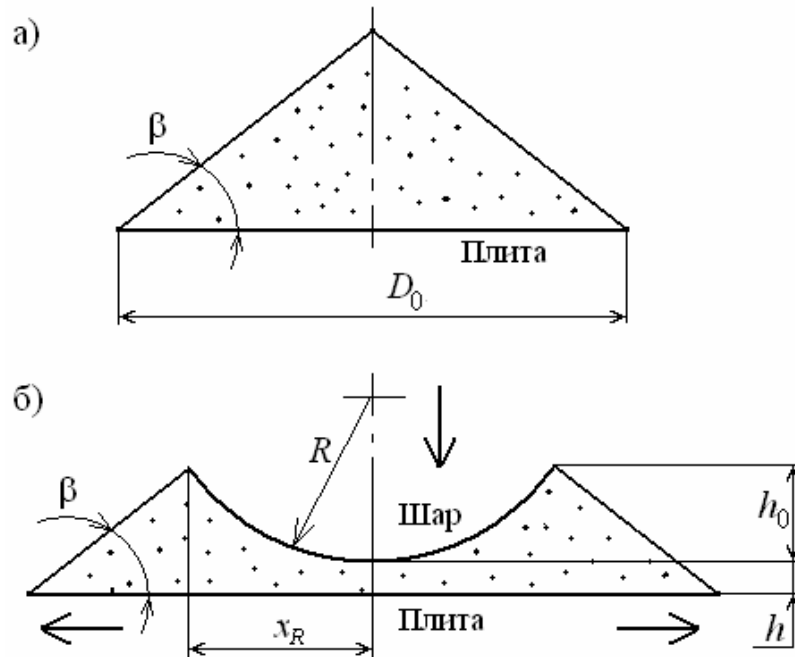


Рис. 1. Схема нагруження і параметри зони деформування

Объем полученной фигуры (рис. 1, б) можно определить как объем усеченного конуса радиусом x_R , высотой $(h + h_0)$ и углом наклона образующей β , за вычетом объема шарового сегмента радиусом x_R и высотой h .

Объем усеченного конуса:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot H}{3} \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2), \quad (2)$$

где H – высота; R_1 и R_2 – радиусы оснований усеченного конуса, т.е. в данном случае

$$V_1 = \frac{\pi \cdot (h + h_0)}{3} \cdot \left[x_R^2 + x_R \cdot \left(x_R + \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} \right) + \left(x_R + \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Объем шарового сегмента:

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \cdot h_0^2 \cdot (3 \cdot R - h_0), \quad (4)$$

где высота шарового сегмента

$$h_0 = R - \sqrt{R^2 - x_R^2}. \quad (5)$$

Если считать материал несжимаемым, то получим

$$V = V_1 - V_2. \tag{6}$$

Из последнего уравнения, с учетом (1), (3), (4) и (5) несложно получить решение относительно высоты между шаром и плитой h :

$$h = f(D_0, R, x_R). \tag{7}$$

Так как заранее неизвестны обе величины h и x_R , их определяли по результатам экспериментов, а зависимость (7) использовалась для контроля точности полученных данных.

На основании анализа результатов измерений, построены зависимости текущей высоты зоны деформирования от h от ее радиуса x_R для различных размеров шаров при величине усилия прижатия $P = 300$ Н (рис. 2) и $P = 600$ Н (рис. 3).

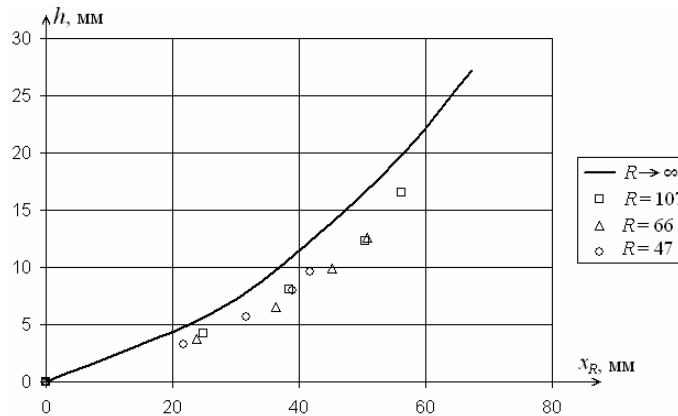


Рис. 2. Соотношение параметров зоны деформирования при $P = 300$ Н

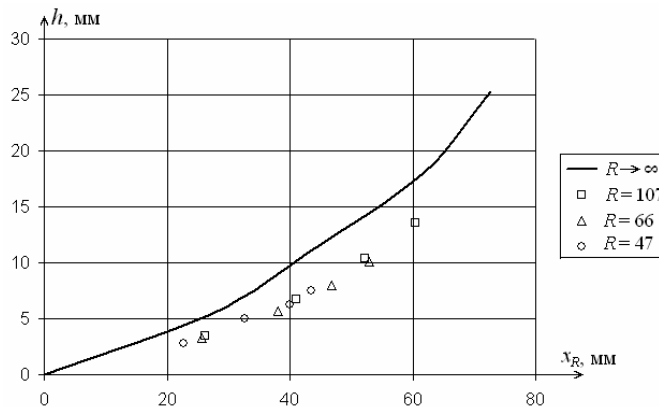


Рис. 3. Соотношение параметров зоны деформирования при $P = 600$ Н

Підготовчі процеси збагачення

Как видно, с увеличением радиуса зоны деформирования также возрастает и ее высота. Характер кривых близок к степенной функции, при этом для плоской зоны деформирования значения выше, чем для криволинейных зон. Приведенные значения для криволинейных зон деформирования ложатся практически на одну кривую, а при увеличении радиуса шара точки только смещаются в сторону больших h .

Также сравнение графиков на рис. 2 и рис. 3 показывает, что увеличение усилия прижатия в 2 раза приводит к незначительному уменьшению высоты зоны деформирования и еще менее существенному увеличению радиуса зоны.

Проанализируем влияние радиуса шара на параметры зоны деформирования в зависимости от объема материала (параметр D_0).

Введем безразмерные параметры:

$$X = \frac{x_{R,i}}{x_R(R \rightarrow \infty)}; \quad (8)$$

$$Y = \frac{h_i}{h(R \rightarrow \infty)}. \quad (9)$$

На рис. 4 и 5 показаны результаты для радиуса зоны деформирования в относительных координатах $X = f(D_0)$.

На рис. 6 и 7 показаны результаты для высоты зоны деформирования в относительных координатах $Y = f(D_0)$.

Полученные результаты показывают постепенное снижение как радиуса, так и высоты криволинейной зоны деформирования по сравнению с плоской зоной при уменьшении радиуса кривизны поверхности, а также при увеличении количества деформируемого материала. Теоретически, при $x_R \rightarrow 0$ криволинейные зоны стремятся к геометрии плоской зоны и все соответствующие значения должны совпасть.

Выводы

1. Экспериментально установлены зависимости влияния радиуса кривизны дробящей поверхности на параметры зоны деформирования, при нормальном сжатии материала между сферической и плоской поверхностями и постоянном усилии прижатия.

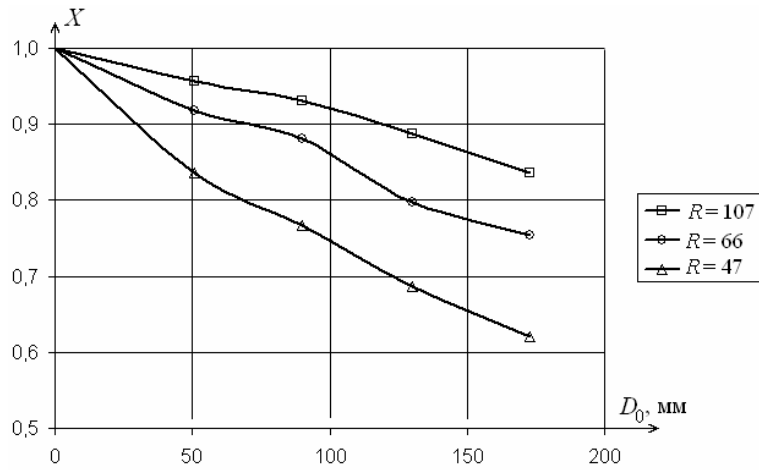


Рис. 4. Значення $X = f(D_0)$ при $P = 300$ Н

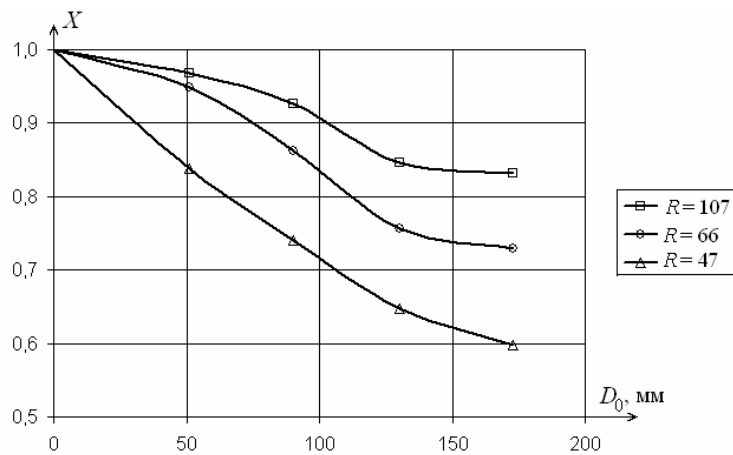


Рис. 5. Значення $X = f(D_0)$ при $P = 600$ Н

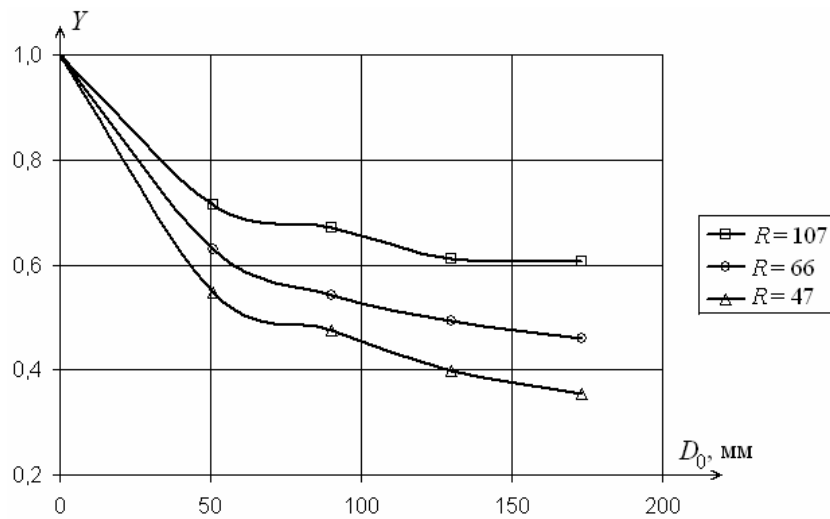


Рис. 6. Значення $Y = f(D_0)$ при $P = 300$ Н

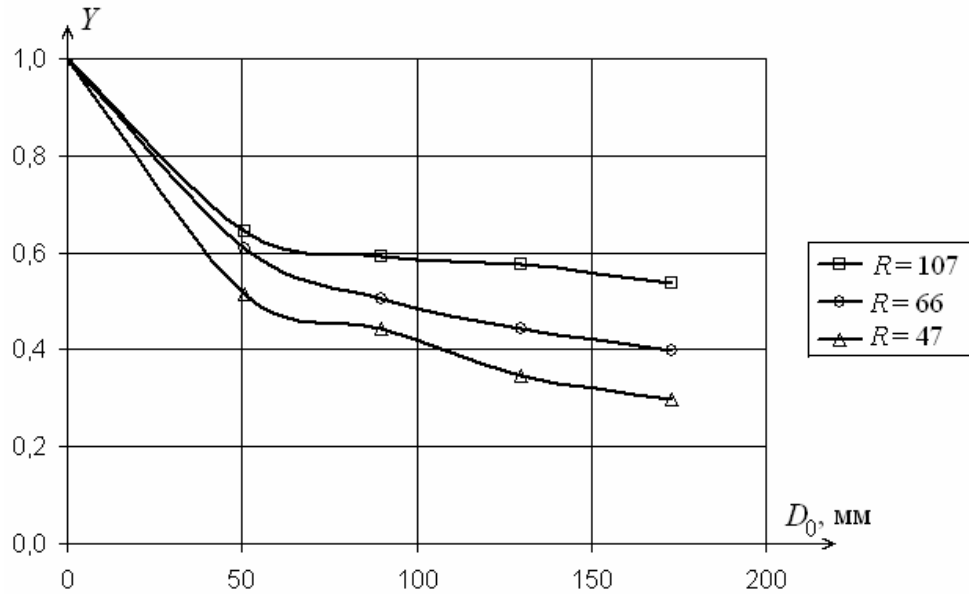


Рис. 7. Значения $Y = f(D_0)$ при $P = 600$ Н

2. Характер кривых в координатах $x_R = f(h)$ близок к степенной функции, при этом значения для криволинейных зон деформирования ложатся практически на одну кривую и они меньше, чем для плоской зоны.

3. Увеличение усилия прижатия в 2 раза приводит к незначительному уменьшению высоты зоны деформирования и еще менее существенному увеличению радиуса зоны.

4. При уменьшении количества материала в зоне деформирования и увеличении радиуса шара параметры зоны приближаются к случаю плоской зоны.

Список литературы

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
2. Анциферов А.В., Титов А.А. Определение угла захвата измельчителей тонкодисперсных материалов // Вибрации в технике и технологиях. – 2004. – № 1(33). – С. 28-30.
3. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов / В.И. Ревнивцев, Г.А. Денисов, Л.П. Зарогатский и др. – М.: Недра, 1992. – 430 с.
4. Кухарь А.Г. О закономерностях процесса измельчения в вертикальной вибрационной мельнице // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1983. – Вып. 32. – С. 44-51.

© Титов А.А., 2016

*Надійшла до редколегії 22.03.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. К.С. Заболотним*