

В. М. КУЗНЕЦОВ, Е. Н. ШЕР

ПРИНЦИП РАВНОМЕРНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ВЗРЫВОМ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 5 IX 1975)

В современной горнодобывающей промышленности при использовании взрыва проблема получения взорванной массы заданной кусковатости стоит весьма остро. Экономически невыгодно как получение кусков большого размера (негабарит), так и излишнее переизмельчение породы или руды. Различные схемы и способы взрывания, применяемые в настоящее время на карьерах и рудниках, не дают полного решения данной проблемы. Они основаны на эмпирических или полумэмпирических соображениях и в каждом конкретном случае требуют проведения большого количества опытных работ. Ниже излагается принципиальная схема взрывания, обеспечивающая теоретически абсолютную равномерность дробления среды.

Примем следующие предположения.

1. Среда является идеальной и несжимаемой.
2. Действие взрыва характеризуется только импульсивным давлением

$$P = \int_0^{\infty} p(t) dt,$$

где $p(t)$ — давление. Оба эти предположения совпадают с гипотезами, принятыми при решении задачи от абсолютно направленного взрыва в грунте ⁽¹⁾, они довольно часто и с успехом применяются ⁽²⁾. Мгновенное поле скоростей $\mathbf{v}$ определяется при этом формулой

$$\mathbf{v} = \text{grad} \left(-\frac{P}{\rho} \right), \quad (1)$$

где ρ — плотность среды. Таким образом, величина $\varphi = -P/\rho$ есть потенциал поля скоростей.

В дальнейшем будем рассматривать плоскую задачу. Этот случай на практике приближенно реализуется при взрывании одного или нескольких рядов скважин, в плоскости, перпендикулярной их оси. В плоском случае, как известно, можно ввести в рассмотрение комплексный потенциал

$$w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y), \quad z = x + iy. \quad (2)$$

Пусть задана область G в плоскости z , ограниченная выпуклой кривой. Можно ли (и если можно, то как) расположить на поверхности Γ слой взрывчатого вещества (ВВ) так, чтобы после подрыва среда в области G была разрушена равномерным образом? Сформулированные выше два предположения трансформируют тот же вопрос в следующий: можно ли на поверхности Γ создать такой потенциал φ , чтобы поле скоростей, определяемое комплексным потенциалом $w(z)$, привело к деформациям, в некотором смысле равномерным во всей области G ?

Прежде всего уточним, о каких деформациях идет речь. Из физических соображений ясно, что при разрушении материала решающую роль играют сдвиги. Поэтому в качестве третьего предположения примем следующий критерий разрушения: разрушение среды происходит при дости-

жении в некоторой точке максимальных деформаций сдвига некоторой критической величины.

В данной постановке, однако, имеет смысл говорить только о скоростях деформаций. Нетрудно убедиться, что вторая производная d^2w/dz^2 определяет компоненты тензора скоростей деформаций:

$$\frac{d^2w}{dz^2} = u_x - iu_y = -v_y - iv_x, \quad (3)$$

где u, v — составляющие вектора скорости по x и y , нижние индексы означают дифференцирование.

Максимальная скорость сдвига $\eta_{\max}$ равна

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2} [(u_x - v_y)^2 + (u_y + v_x)^2]^{1/2}, \quad (4)$$

или

$$\eta_{\max} = \left| \frac{d^2w}{dz^2} \right|. \quad (5)$$

Очевидно, разрушение материала в области G произойдет равномерным образом, если всюду внутри области максимальные скорости сдвигов будут равны одной и той же константе, являющейся прочностной характеристикой материала.

В работе О. Е. Власова и С. А. Смирнова ⁽³⁾ рассматривается критерий дробимости D , имеющий в плоском случае вид

$$D = 2 \left[\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Нетрудно убедиться, что

$$D = 2\eta_{\max}^2. \quad (7)$$

Возвращаясь к задаче о равномерном дроблении, приходим к следующему выводу: на поверхности области G нужно обеспечить такое распределение импульсивного давления, чтобы всюду внутри области выполнялось равенство

$$\left| \frac{d^2w}{dz^2} \right| = \text{const.} \quad (8)$$

Отсюда

$$w(z) = Az^2 + Bz + C, \quad (9)$$

где A, B и C — комплексные постоянные.

Практическую реализацию поля скоростей, описываемого потенциалом (9), проиллюстрируем на следующем примере. Пусть надо разрушить породу в объеме призмы с равнобедренным прямоугольным треугольником в основании (рис. 1, а). Выберем действительный потенциал в виде

$$\varphi = axy, \quad a = \text{const.} \quad (10)$$

Начало координат и положение осей указаны на рисунке. Такой потенциал является частным случаем (9) и удовлетворяет условию равенства нулю на свободной поверхности AB . На боковых поверхностях призмы распределение потенциала таково:

$$\begin{aligned} \text{на грани } AC \quad \varphi &= -ax^2, \\ \text{на грани } BC \quad \varphi &= -ax(AB - x). \end{aligned} \quad (11)$$

Одна из возможных схем многорядного взрывания может быть такова. Сначала взрывается прямоугольная призма по схеме рис. 1, а. Затем по

аналогичной схеме взрываются две соседние треугольные призмы, после чего последовательно взрываются прямоугольные призмы (рис. 1, б). Распределение потенциала на поверхности прямоугольной призмы показано на рис. 1, в.

Переменное распределение потенциала можно создать, например, закладывая в скважины, пробуренные вдоль соответствующих граней, разное количество ВВ, как это делалось при направленном взрыве. Не исключено, что подобное распределение потенциала можно получить, регулируя время замедления при взрывании отдельных скважин и рядов скважин.

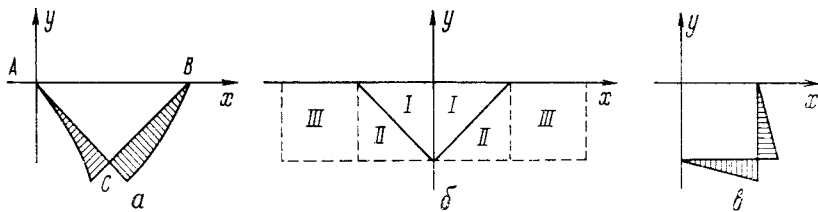


Рис. 1

Размер осколка l , образующегося при дроблении, определяется, следуя ⁽³⁾, из равенства

$$l_{\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho}}, \quad (12)$$

где σ_s — прочность материала на сдвиг. Разрушенный объем V_0 среды обладает суммарным импульсом

$$I = k \eta_{\max} V_0, \quad k = \text{const.} \quad (13)$$

Этот импульс связан с весом ВВ соотношением ⁽²⁾

$$I \sim Q^\alpha, \quad \alpha < 1. \quad (14)$$

Из этих соотношений получаем

$$l = \text{const} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_s}{\rho}} \left(\frac{V_0}{Q} \right)^\alpha V_0^{1-\alpha}. \quad (15)$$

При $\alpha = 1/5$ это выражение неплохо согласуется с экспериментально проверенными значениями среднего размера куска, приведенными в ⁽⁴⁾.

Институт горного дела
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
28 VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Лаврентьев, В. М. Кузнецов, Е. Н. Шер, Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 4 (1960). ² В. М. Кузнецов, В сб: Некоторые проблемы математики и механики, «Наука», 1970. ³ О. Е. Власов, С. А. Смирнов, Основы расчета дробления горных пород взрывом, М., Изд-во АН СССР, 1962. ⁴ Э. А. Кошелев и др., Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 2 (1971).