

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Л. А. ШРЕЙНЕР

О МЕХАНИЗМЕ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ДРОВОМ БУРЕНИИ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 7 III 1947)

Попытки теоретически рассмотреть вопрос разрушения горных пород при дробовом бурении до сих пор не дали положительных результатов, и существующие взгляды по этому вопросу физически мало обоснованы. К решению вопроса о механизме разрушения горных пород при дробовом бурении можно подойти, используя теорию Герца о соприкосновении двух тел и экспериментальные работы Ауэрбаха⁽¹⁾ по определению абсолютной твердости стекол и минералов шкалы Моса.

Ауэрбах, исходя из теоретических работ Герца, применял для определения твердости плоско-параллельную пластину и сферические линзы из испытуемого тела с различными радиусами кривизны. Такие линзы вдавливались в пластину до тех пор, пока вокруг центра площадки смятия не образовывалась круговая трещина, идущая с поверхности в глубь тела с некоторым уклоном к оси, проходящей через центр площадки смятия. Величина абсолютной твердости вычислялась по формуле Герца

$$p_0 = \frac{6}{\pi} \frac{P}{d^2},$$

где p_0 — абсолютная твердость, P — общее усилие в момент образования трещины и d — диаметр площадки смятия.

Ауэрбах показал, что эта формула, как и другие следствия из теории Герца, не совпадает с полученными им экспериментальными результатами. Абсолютная твердость не является величиной инвариантной, а в сильной степени зависит от радиуса кривизны. С увеличением радиуса кривизны величина абсолютной твердости закономерно уменьшается, что и заставило Ауэрбаха ввести поправочный множитель \sqrt{R} в формулу Герца (R — радиус кривизны). Тогда, по Ауэрбаху,

$$p_0 = \frac{6}{\pi} \frac{P}{d^2} \sqrt{R}.$$

Уменьшение линейных размеров испытуемого тела, а при измерениях твердости — напряженной области всегда ведет к увеличению прочности, которое делается особенно заметным, когда линейные размеры менее 1 мм.

Мы считаем, что изменения величины твердости в опытах Ауэрбаха также связаны с масштабным фактором, поэтому имеет значение не абсолютная величина радиуса кривизны и не самая кривизна, как это предполагал Ауэрбах, а диаметры площадок смятия, которые в его опытах были всегда меньше 1 мм.

Опыты Ауэрбаха можно рассматривать как моделирование элементарного процесса разрушения горных пород дробью. На основании первичных данных Ауэрбаха для кварца с экстраполированием в сторону меньших радиусов кривизны составлена табл. 1.

Интервал диаметров, приведенный в табл. 1, несколько перекрывает максимальные размеры дроби, применяемой при бурении, и раз-

Таблица 1

Диаметр дроби в мм	Число частиц на 1 см ² площади, занятой дробью	Абсолютная твердость по Герпу, кг/мм ²	Суммарная площадь «площадок смятия» в мм ² /см ²	Общее давление при образовании трещин, кг/см ²
0,1	10000	955	5	2500
0,2	2500	645	3,2	1250
0,5	400	535	1,8	500
1,0	100	415	1,15	250
2,0	25	330	0,68	125
3,0	11	298	0,53	82,5
5,0	4	260	0,37	50,0

меры, при которых дробь практически полностью теряет свою работоспособность. При расчетах было принято, что дробинки имеют геометрически правильную форму шаров одинакового диаметра с плотной упаковкой. Результаты при вдавливании чугунных шариков были бы несколько иными, чем приведенные в табл. 1, но это едва ли может в сильной степени исказить общую картину.

Прежде всего следует отметить, что действительный контакт, т. е. суммарная поверхность всех площадок смятия, даже в нашем, сильно утрированном для практики случае, колеблется от долей процента до 5% общей площади, занимаемой дробинками, поэтому давление, необходимое для разрушения такого твердого минерала, как кварц, относительно невелико. Если же принять во внимание, что размеры дроби по диаметрам колеблются в больших пределах, то общее давление распределяется на небольшую часть дроби, а отсюда делается понятным, почему при дробовом бурении давление на торец коронки составляет в среднем всего 15—20 кг/см². По мере измельчения дроби в процессе бурения возрастает общее давление, необходимое для разрушения, и одновременно уменьшается относительная разница между диаметрами, вследствие чего значительно увеличивается число дробин, воспринимающих давление, и суммарная площадь «площадок смятия». Все это приводит при неизменном давлении к снижению скорости бурения.

Из анализа таблицы можно вывести и ряд других следствий, хорошо известных из практики дробового бурения. Например, очень тщательная сортировка дроби по диаметрам должна повести к некоторому снижению скорости бурения, особенно в начальный период. Далее, применение дроби диаметром в 1 мм явно нецелесообразно, хотя такой диаметр раньше рекомендовался для бурения в твердых породах.

В работах по дробовому бурению⁽²⁾ часто указывается, что процесс разрушения пород производится почти исключительно колотой дробью, круглая же дробь выполняет вспомогательные функции, а именно «ставит» колотую дробь в выгодное положение — острыми частями к породе. Такие представления о механизме разрушения возникли по той причине, что казалась маловероятной возможность разрушения породы телом, не имеющим острых выступов, при тех малых давлениях, которые имеют место при дробовом бурении.

Как видно из приведенных данных, для разрушения пород круглой дробью не требуется больших давлений, и они не превосходят значений, обычных для дробового бурения.

Круглая дробь, находящаяся в „сфере действия“ давления, раздавливает породу в зоне площадок смятия, а перекатывание дробинки по забою при вращении коронки приводит к разрушению породы по всему кольцевому сечению скважины. По мере износа дробы, а также вследствие ее раскалывания в активный процесс разрушения входит дробь с меньшим диаметром и т. д., до тех пор, пока ее диаметр не делается настолько малым, что при данном давлении дальнейшее разрушение практически прекращается. Одновременно в разрушении принимает участие и колотая дробь, но ее роль, повидимому, невелика, так как острые выступы колотой дробы не обладают большой стойкостью, а вероятность их выгодного расположения к породе мала.

Представляет также большой интерес еще одно соотношение, вытекающее из работ Ауэрбаха, а именно $P/d = \text{const}$, где P — давление на дробинку в момент разрушения твердого тела и d — ее диаметр. Оказывается, что это соотношение мало зависит от твердости разрушаемого тела. Отсюда можно было бы сделать вывод, что давление на коронку при дробовом бурении в основном определяется диаметром дробы, а не твердостью породы. Это положение требует проверки, так как данных Ауэрбаха для этого явно недостаточно, тем более, что эти данные относятся к телам с небольшой разницей в твердости.

Исследовательские работы в этом направлении следует развивать дальше, направив главное внимание на модельные опыты по разрушению горных пород дробью различной величины, с различным распределением по крупности и т. д. Таким путем можно будет создать и физически вполне обоснованную теорию дробового бурения и рационализировать технологию этого вида бурения.

Лаборатория деформации твердых тел
Института физической химии
Академии Наук СССР

Поступило
7 III 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ F. Auerbach, Wied. Ann. d. Phys. u. Chem., 43, 61 (1891). ² М. В. Мачинский, Тр. ЦНИГРИ, в. 95, 131 (1937).