

К ВОПРОСУ РЕЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В. И. ЗВАРЫГИН, С. С. СУЛАКШИН

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

В существующих теориях по резанию горных пород не дается достаточно четкого объяснения различия резания по свободной поверхности и резания в условиях забоя. В некоторых теориях горизонтальное усилие, действующее на резец, не рассматривается вообще. Это ведет часто к неточностям при рассмотрении вопроса.

Распределение напряжений в породе при резании на поверхности образцов и при резании в условиях забоя имеет неодинаковый характер. Наиболее точным и убедительным методом исследования данного вопроса, по нашему мнению, является метод теории упругости.

В данной статье делается попытка объяснить механизм разрушения горных пород и выявить математическую зависимость между некоторыми параметрами резания.

В процессе резания горных пород резец скалывает впереди себя некоторые объемы породы. Причем эти объемы в течение какого-то промежутка времени действия резца имеют различную величину: сначала резец скалывает небольшие элементы, увеличивающиеся к концу цикла до максимума.

Горизонтальные усилия в зависимости от элемента скола также имеют различную величину: от минимума до максимума. В связи с этим возникают трудности расчета усилий резания. Для простоты мы будем вести расчет усилий лишь по максимальной величине горизонтальной силы. Это оправдывается тем, что при расчете резцов на прочность следует ориентироваться на верхний предел.

Рассмотрим вначале процесс резания породы в условиях забоя.

В процессе резания горной породы действуют осевые усилия P , стремящиеся внедрить резец в породу, и горизонтальные усилия F , скалывающие элемент породы. Осевые и горизонтальные усилия составляют общую результирующую. Процесс резания горных пород можно рассматривать как внедрение резца в результате действия на него результирующей R , поэтому в данном случае для расчета значения R может быть использована формула, выведенная нами для внедрения резца в породу

$$R = \frac{2\pi\sigma h(b+l)}{3 \cos \alpha}, \quad (1)$$

здесь σ — критическое напряжение данной породы при скальвании;
 h — глубина внедрения резца;
 b — ширина резца;
 l — постоянная величина;
 α — угол скола элемента породы.

Если процесс резания происходит по свободной поверхности образца, то горизонтальную силу можно рассматривать как силу, действующую на прямоугольный клин в асимметричном (по отношению к оси симметрии клина) направлении (рис. 1, а — по Фрохту).

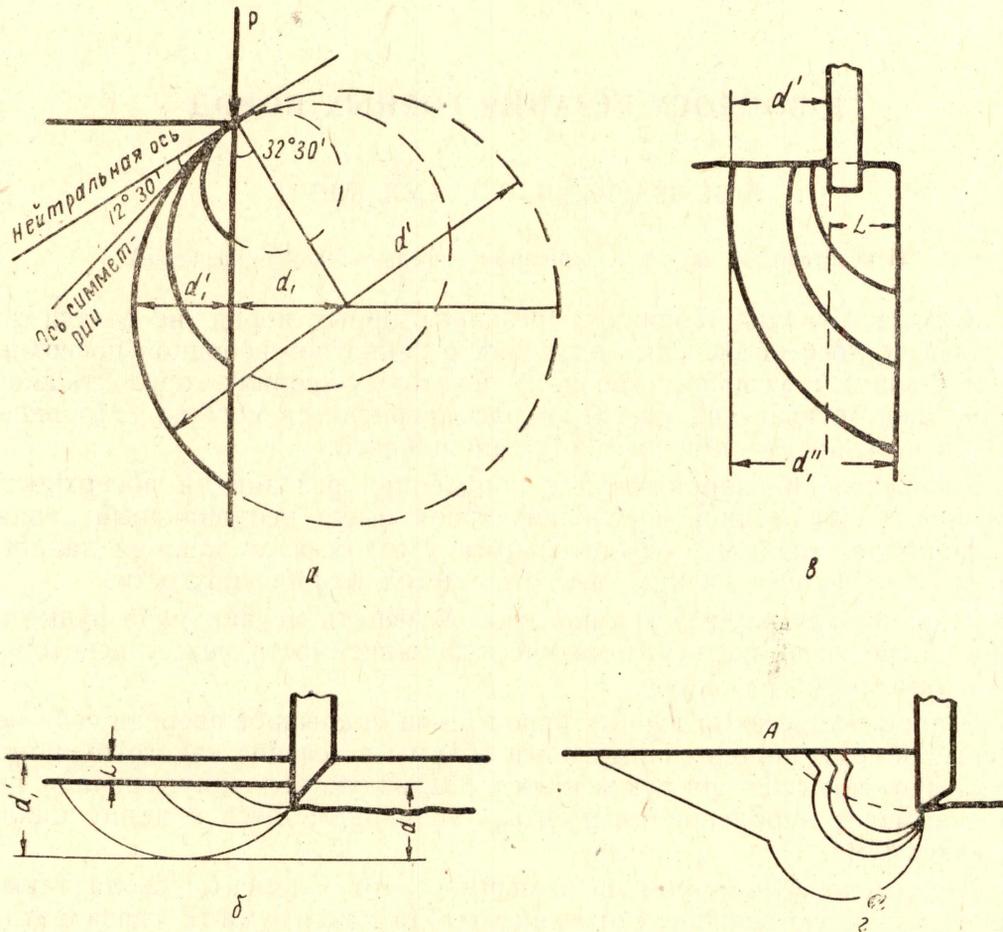


Рис. 1.

Согласно теории упругости, в случае асимметричного направления приложенных усилий, действующих на клин, в последнем центры линий равных напряжений располагаются не на направлении прилагаемого усилия, а на прямой, смещенной от направления усилий на некоторый угол.

М. М. Фрохт [1] рассчитал, что для случая приложения нагрузки к прямоугольному клину с направлением силы параллельно одной из граней клина, угол между осью симметрии клина и нейтральной осью (прямой, перпендикулярной к направлению действия силы) составляет $12^\circ 30'$ (рис. 1, а). Прямая линий равных напряжений смещается от направления силы на $45^\circ - 12^\circ 30' = 32^\circ 30'$.

Таким образом, в результате действия горизонтальной силы напряжения распределяются лишь по части сферы (рис. 1, б), а в результате действия осевой и горизонтальной сил получается сложная картина

равных напряжений (рис. 1, з). Непосредственно у резца в нижней части линии равных напряжений распределяются аналогично линиям равных напряжений при внедрении резца. На поверхности образца и на некотором удалении изохромы распределяются по закону распределения напряжений при асимметрично приложенной к прямоугольному клину нагрузки. Полное напряжение в точке А (точки скола на поверхности образца) можно рассчитать на основании формулы Буссинеска [2].

$$\sigma = \frac{3P}{2\pi d^2} = \frac{3P}{2\pi d' d''}, \quad (2)$$

где d — диаметр сферы распределения напряжений;

d' — малая ось эллиптической поверхности распределения напряжений;

d'' — условная длина большой оси эллиптической поверхности распределения напряжений при отсутствии влияния свободной поверхности образца.

Так как при резании свободной поверхности распределение напряжений будет происходить по части сферы, то значение d' в данном случае заменится значением d'_1 .

Из рис. 1, а видно, что

$$d'_1 = \frac{d'}{2} - d_1 = \frac{d'}{2} - d' \sin 32^\circ 30' \approx 0,23d'$$

Подставляя это значение в формулу (2), получим

$$\sigma = \frac{3F}{2\pi \cdot 0,23d' d''},$$

здесь $F = P_0$ — горизонтальное усилие, действующее на резец при отсутствии влияния свободной поверхности.

Заменяя d' и d'' равными им значениями

$$d' = \frac{h}{\cos \alpha}, \quad d'' = b + l,$$

получим

$$\sigma = \frac{3F \cos \alpha}{0,46\pi h (b + l)} = \frac{2F \cos \alpha}{h (b + l)}. \quad (3)$$

Если мы будем резать на некоторой глубине L от поверхности при условии $0,23(L + d_0) < d'$, то скол элемента породы произойдет, видимо, в тот момент, когда полные напряжения выйдут на поверхность образца и в этом случае

$$d'_2 = 0,23(d_0 + L) = 0,23\left(\frac{h}{\cos \alpha} + L\right),$$

здесь L — глубина резания (глубина канавки, на дне которой происходит резание).

Напряжение в случае $0,23(L + d_0) < d'$ будет равно

$$\sigma = \frac{2F}{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + L\right) (b + l)}.$$

Однако экспериментальные данные показывают, что в слое напряжения распространяются несколько по иному закону и, следовательно, в пер-

вой скобке знаменателя следует прибавлять не величину L , а большую величину κL . Из опытов установлено, что эта величина составляет $1,25 L$. Подставляя это значение вместо L , получим

$$\sigma = \frac{2F}{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + 1,25 L\right)(b+l)} \quad (4)$$

или

$$F = 0,5 \left(\frac{h}{\cos \alpha} + 1,25 L\right)(b+l)\sigma. \quad (5)$$

Для проверки полученных уравнений были проведены опыты по резанию песчаников и алевролитов на специальной установке, записывающей горизонтальное и вертикальное усилия, а также глубину внедрения резца при резании на различной глубине от поверхности образца.

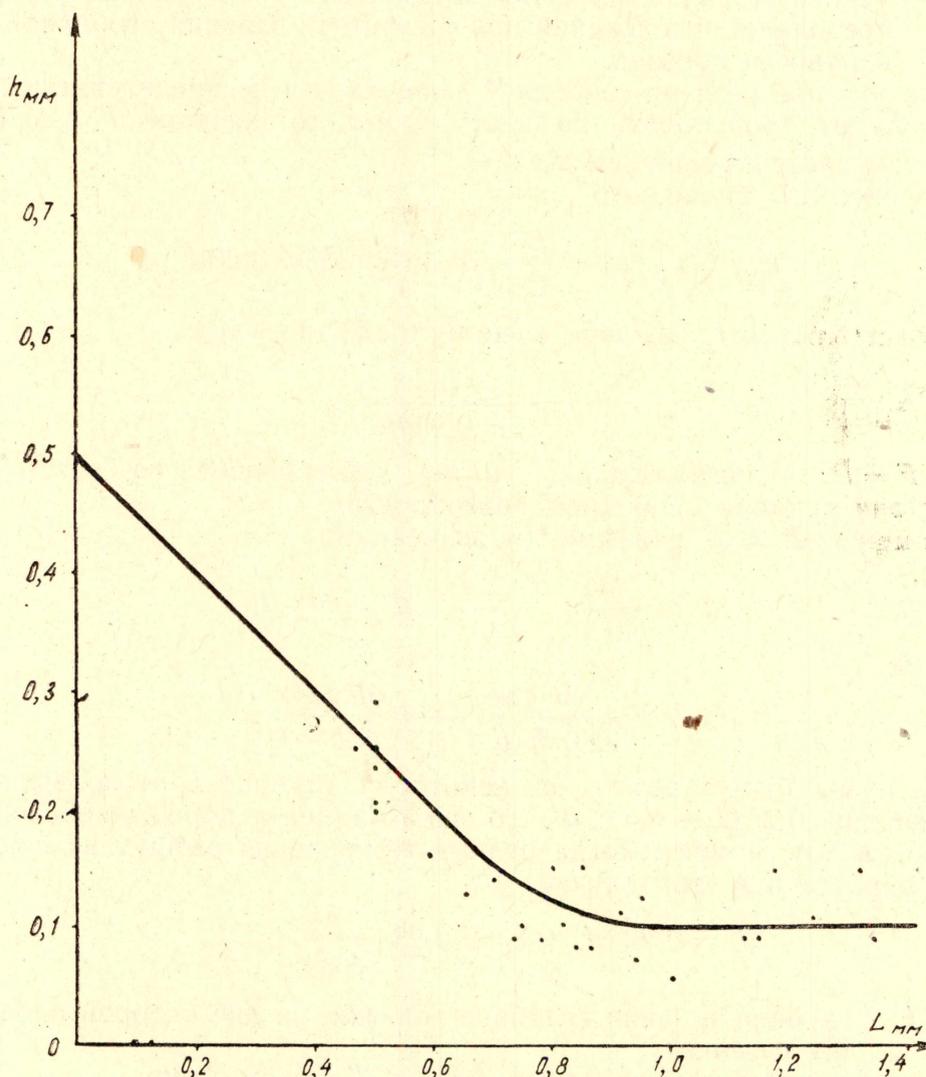


Рис. 2. Сравнение теоретических кривых зависимости глубины внедрения резца от глубины резания с экспериментальными точками.

На графике (рис. 2) точками показаны опытные данные линиями результаты расчетов по формулам (3), (4) и (5). Сходство теоретических и экспериментальных данных подтверждает справедливость выводов.

Предположим теперь, что резание породы происходит по краю образца. Рассматривая в этом случае осевое усилие как силу, приложенную к прямоугольному клину в асимметричном направлении, на основании выводов аналогичных предыдущим получим

$$d_1'' = \frac{d''}{2} - d_2'' = \frac{d''}{2} - d'' \sin 32^\circ 30' \approx 0,23d''.$$

Подставим это выражение в формулу (1)

$$\sigma = \frac{3F}{2\pi \cdot 0,23d' \cdot 0,23d''} = \frac{9,0F \cos \alpha}{h(b+l)}. \quad (6)$$

На некотором удалении от края образца L (рис. 1, ν) аналогично формуле (4) имеем

$$\sigma = \frac{9F}{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + \frac{5}{4}L\right)(b+l)} \quad (7)$$

или

$$F = \frac{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + \frac{5}{4}L\right)(b+l)}{9}. \quad (8)$$

Для проверки данной формулы были использованы материалы В. И. Солода по резанию антрацита [3].

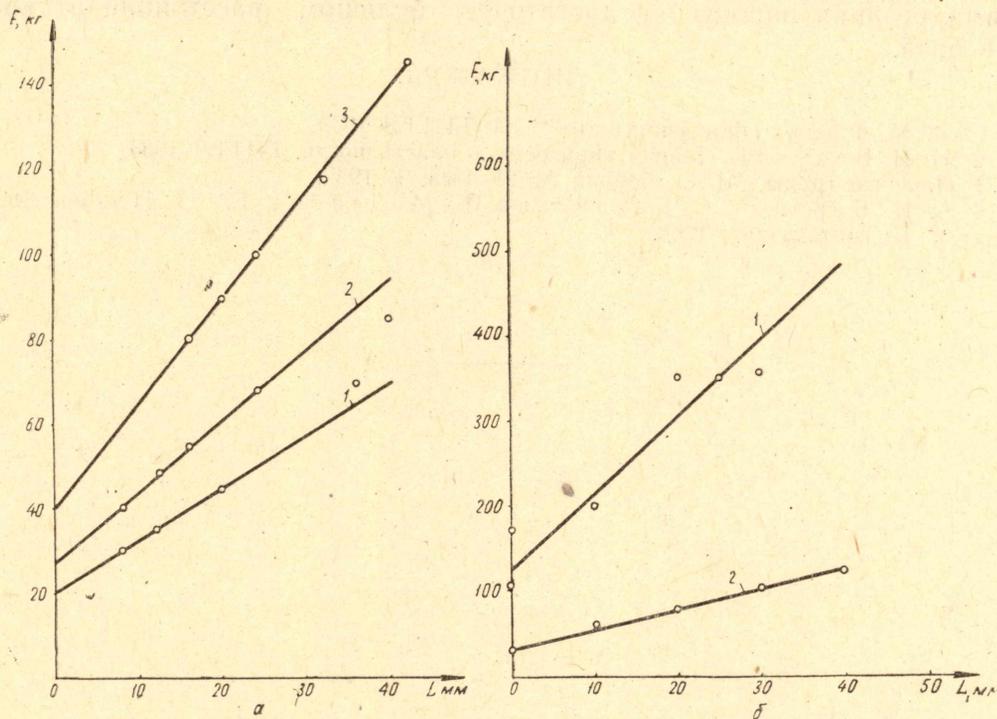


Рис. 3. Сравнение теоретических кривых с экспериментальными данными: а) зависимость усилий резания от расстояния резания до свободной боковой поверхности образца: 1 — для $\nu = 4$ мм; 2 — для $\nu = 8$ мм; 3 — для $\nu = 16$ мм; б) зависимость усилий резания от глубины резания антрацита: 1 — для врубных резцов, 2 — для средних резцов.

На графике (рис. 3, а) точками обозначены экспериментальные данные, линии начерчены на основании расчета по формулам (6), (7), (8).

Для иллюстрации вышесказанного, приводим график, построенный по материалам Е. З. Позина (рис. 3, б), проводившего резание угля непосредственно в забое [4]. Из графика видно, что по мере увеличения глубины резания усилия резания возрастают в 4 раза, что соответствует нашим расчетам.

Кроме того, из графика видно, что в наиболее неблагоприятных условиях находятся первые врубовые резцы, на которые действуют усилия резания в 4 раза больше, чем на средние резцы. Это также подтверждает наши расчеты.

Выводы

1. При резании горной породы по поверхности и в условиях забоя усилия, действующие на резец при одинаковой глубине внедрения резца, будут различными. Минимальные усилия резец испытывает при резании по поверхности образца, а максимальные — по забою. Причем усилия, возникающие при резании породы «на забое», в 4 раза выше усилий резания по поверхности образца. Зная закономерности распределения усилий на резце при увеличении глубины резания, мы можем на основании лабораторных исследований при резании по свободной поверхности судить о характере процесса резания на забое скважины.

2. В наиболее благоприятных условиях находятся резцы, работающие у края образца. Причем усилия в этом случае при одинаковой глубине внедрения резца у края образца уменьшаются по сравнению с усилиями резания породы на достаточно большом расстоянии от края в 4 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Фрохт. Фотоупругость. Ч. II, ГИТТЛ 1950.
2. Н. И. Безухов. Теория упругости и пластичности. ГИТТЛ 1963.
3. Научные труды МГИ, сборник № 21, вып. 1, 1957.
4. А. И. Берон, А. С. Казанский, Б. М. Лейбов, Е. З. Позин. Резание угля. Госгортехиздат, 1962.