

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ ЧЕРЕЗ СЫПУЧИЙ МАТЕРИАЛ В ШПУРЕ

Николай Георгиевич Кю

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, e-mail: Ku.nik1945@mail.ru

Обсуждается принцип формирования ориентированной трещины раскалыванием горной породы в заданной плоскости ударными нагрузками через сыпучий материал в шпурах. Показано, что при передаче ударных нагрузок от клиньев через сыпучий материал стенкам шпуров в горной породе не возникают локальные напряжения, обуславливающие появление случайных микро разрывов, способных изменять ориентацию плоскости формируемой трещины. Приведены технические средства реализации указанного принципа и инженерный расчёт их рабочих органов.

Ключевые слова: горная порода, шпур, сыпучий материал, клин, ударная нагрузка, разрыв, ориентация, формируемая трещина.

DESTRUCTION OF GROUND BREEDS BY SHOCK LOADING THROUGH BULK MATERIAL IN SLEEP

Nikolai G. Kyu

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Doctor of Engineering Sciences, e-mail: Ku.nik1945@mail.ru

The principle of the formation of an oriented crack by splitting a rock in a given plane by shock loads through the bulk material in the bore holes is discussed. It is shown that the transmission of shock loads from wedges through the bulk material to the walls of the holes in the rock does not cause local stresses, causing the appearance of random micro discontinuities that can change the orientation of the plane of the formed crack. The technical means for the implementation of this principle and the engineering calculation of their working bodies are given.

Key words: rock, bore-hole, bulk material, wedge, strike load, gap, orientation, formed crack.

В традиционных буроклиновых способах разрушения горных пород ударными нагрузками клинья на горную породу воздействуют через накладки (щёлки), поверхности которых не адаптируются к деформациям и шероховатостям стенок шпуров. Поэтому напряжения по поверхности сопряжения накладок и стенок шпуров распределяются неравномерно, что существенно повышает вероятность возникновения случайных трещин с произвольными ориентациями. Это приводит к дополнительным затратам энергии на образование лишних (не нужных) трещин, а в отдельных случаях, например, при добыче природного камня, и к безвозвратным потерям добываемого сырья. Кроме этого, трещина возникает в месте контакта раздвижных накладок со стенками шпура. Затем по мере роста трещины её фронт удаляется от накладок, т.е. от места приложения сил. При этом возникают изгибающие усилия, стремящиеся искривить плоскость

трещины. Поэтому зона, в пределах которой можно получить относительно ровную поверхность горной породы в результате её разрыва, весьма ограничена.

В отличие от накладок сыпучий материал способен легко изменять свою форму и рельеф поверхности. Поэтому вытесняемый клином сыпучий материал ещё до своего уплотнения легко приобретает форму и рельеф стенок шпура, от чего на их контактной поверхности концентрации напряжений не происходит.

Один из возможных вариантов реализации принципа разрушения горных пород ударными нагрузками через сыпучий материал в шпуре [1] представлен на рис. 1. При этом на рис. 1, а показана схема разрушения горной породы путём заполнения шпура сыпучим материалом, в который внедряют клин. На рис. 1, б – схема образования в шпуре бороздок со сходящимися поверхностями. На рис. 1, в – схема заполнения шпура сыпучим материалом путём подачи в него стержня из монолитного материала, который под действием нагрузки со стороны внедряющегося клина становится сыпучим.

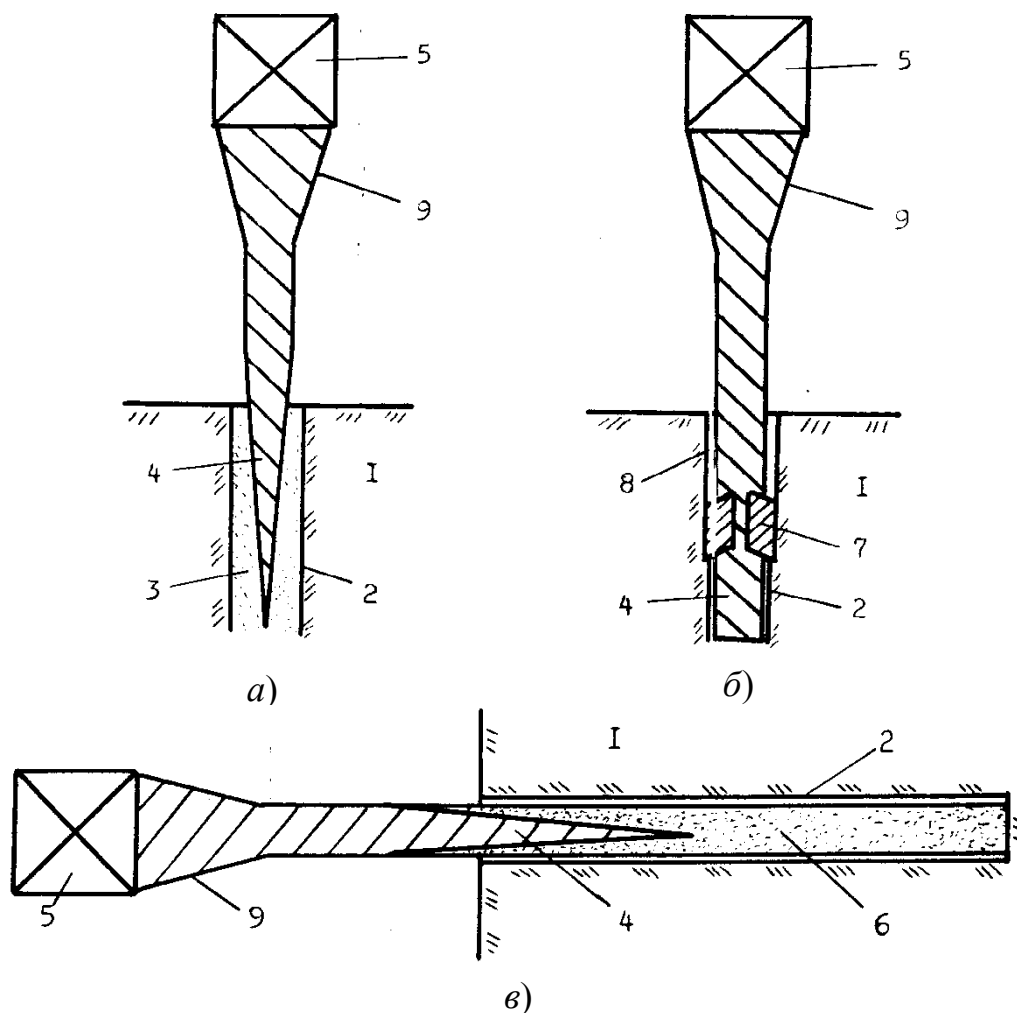


Рис. 1. Схема разрушения горной породы ударными нагрузками через сыпучий материал в шпуре:

1 – горная порода; 2 – шпур; 3 – сыпучий материал; 4 – клин; 5 – ударный механизм; 6 – стержень; 7 – твёрдосплавные вставки; 8 – бороздки; 9 – конус

Размеры клина подбираются таким образом, чтобы разрыв горной породы происходил в зоне его сходящихся поверхностей. В этом случае существенных изгибающих сил не возникает, так как клин перемещается синхронно с фронтом трещины.

Отметим, что часто, например, при необходимости отделения от массива либо раскалывания на отдельные части блока камня, требуется раскрывать трещину до полного разделения её поверхностей. Для этой цели клин выполняют с конусом ϑ , который на последней стадии разрушения горной породы входит в шпур и дополнительно раздвигает его стенки до необходимых значений.

Заполнение горизонтальных или восстающих шпуров сыпучим материалом представляет известные трудности. Поэтому в них подают стержни из монолитного материала (рис. 1, в), который под действием механической нагрузки становится сыпучим. Таким монолитным материалом может быть песок, сцементированный небольшим количеством алебастры. Практически стержни изготавливают путем заливки твердеющего водного раствора песка и алебастры в специальные формы, в которых затем устанавливают клинья. После этого, выполненные таким образом стержни вместе с клиньями подают в шпуры. Подобная технология существенно повышает производительность, ибо позволяет до минимума снизить трудоемкость выполнения операций, непосредственно связанных с разрушением горной породы, сравнительно просто механизировать и автоматизировать изготовление стержней с внедренными в них клиньями, выполнять значительный объем работы в закрытом помещении, что особенно важно при отрицательной внешней температуре.

При отрицательной температуре иногда практически более удобным и экономически целесообразным является заполнение шпуров водным раствором песка. Замерзший в шпуре раствор и горную породу можно рассматривать как единое целое. Однако замерзший раствор является сравнительно непрочным, и поэтому в него относительно легко могут внедряться клинья. При этом внедряющиеся клинья пробивают отверстия, но не круглого, а совпадающего с их формой сечения, что, как известно, позволяет раскалывать горную породу по заданным плоскостям.

Известно, что нанесение на поверхность шпуров бороздок существенно снижает усилия разрыва горной породы. В предлагаемом способе бороздки в горной породе образуются одновременно с подачей клиньев в шпур за счет установки на них твердосплавных вставок. При этом дополнительных технологических операций выполнять не нужно. Кроме того бороздки здесь имеют еще одно назначение. Они для клиньев являются направляющими, исключая возможность их поворота в шпурах.

Следует стремиться к тому, чтобы клин не только выполнял свои основные функции, но был дешёвым, простым в изготовлении и эксплуатации, надёжным в работе. Он должен свободно входить в шпур. Клин (рис. 2), который обладает требуемыми качествами, изготавливают следующим образом. Круглый стержень, радиус которого немного меньше радиуса шпура, обрезают по двум пересекающимся плоскостям так, чтобы линия пересечения плоскостей совпадала

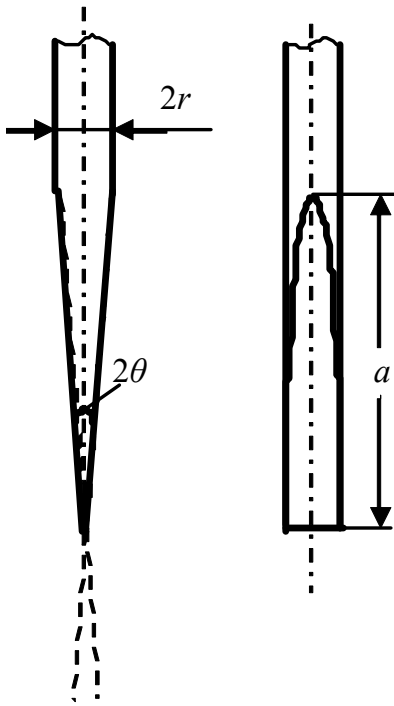


Рис. 2. Клин

с диаметром поперечного сечения стержня. При этом секущие плоскости 1 (рис. 2) располагают симметрично оси стержня и под углом, равным углу заострения клина.

Известно, что в секущей плоскости круглого стержня (не параллельной его оси) получается эллипс. В соответствии с принятыми на рис. 2 обозначениями уравнение эллипса в декартовой системе координат (рис. 3) имеет вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{r^2} = 1, \quad (1)$$

где x и y – текущие координаты; r – малая ось эллипса (радиус стержня); a – большая ось эллипса.

Усилие внедряющегося клина передаётся через сыпучее вещество горной породе и образует в ней поле напряжений, которое имеет сложный характер и зависит от многих факторов, в частности, динамики движения клина, его размеров

и формы, свойств сыпучего вещества и горной породы. Тем не менее, с целью упрощения математических выражений для качественной приближённой оценки, основываясь на линейной теории упругости, можно принять, что напряжение σ убывает к вершине клина линейно. Максимальное напряжение σ_{max} получается на линии сопряжения поверхности сыпучего материала и боковой поверхности клина (см. рис. 3), пунктирная линия, проходящая через точку x_1), а минимальное – $\sigma_{min} = 0$ в вершине клина.

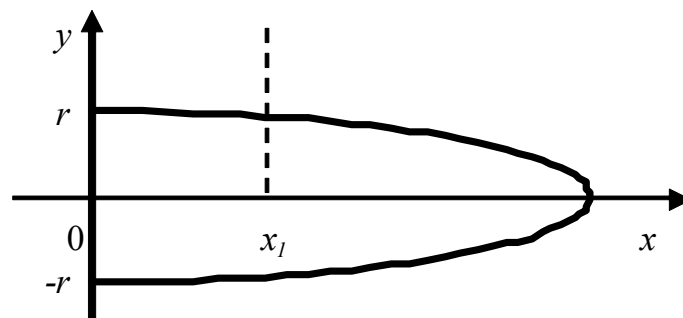


Рис. 3. К расчёту усилия внедрения клина в сыпучий материал в шпуре

На рис. 4 показана зависимость напряжения σ на боковой поверхности клина от расстояния до его вершины x . Из него видно, что

$$\sigma = \frac{\sigma_{max}}{x_1} x. \quad (2)$$

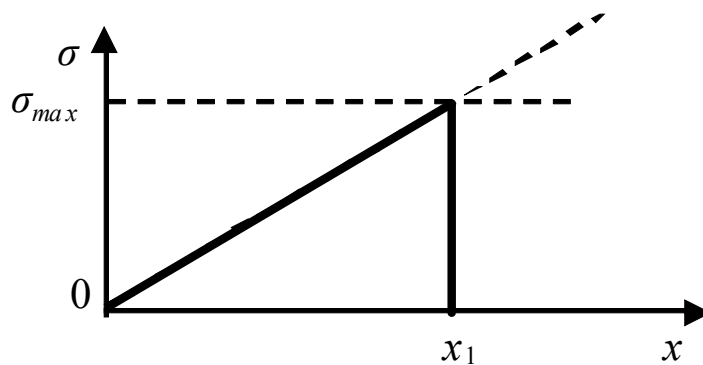


Рис. 4. Зависимость напряжения σ на контакте клина и сыпучего вещества от расстояния x до вершины клина:

x_1 – расстояние от поверхности сыпучего материала до вершины клина

Усилие F , с которым поверхность клина взаимодействует с сыпучим веществом в шпуре, определяется как

$$F = 2 \int_0^{x_1} \sigma y dx. \quad (3)$$

Или с учётом выражений (1) и (2)

$$F = 2 \frac{r}{a} \frac{\sigma_{\max}}{x_1} \int_0^{x_1} x \sqrt{a^2 - x^2} dx = \frac{2r\sigma_{\max}}{3ax_1} \left[a^3 - \sqrt{(a^2 - x_1^2)^3} \right]. \quad (4)$$

Силу $F_{y\partial}$, с которой нужно воздействовать на клин со стороны ударника, определим как

$$F_{y\partial} = 2F (\sin \theta + K \cos \theta) = 2F \left[\frac{r}{a} + K \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2} \right], \quad (5)$$

где K – коэффициент трения между поверхностями клина и сыпучего материала; 2θ – угол заострения клина.

Подставив (4) в (5), имеем

$$F_{y\partial} = \frac{4r\sigma_{\max}}{3ax_1} \left[a^3 - \sqrt{(a^2 - x_1^2)^3} \right] \cdot \left[\frac{r}{a} + K \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2} \right]. \quad (6)$$

Примем диаметр шпура, равным 42 мм (стандартный шпур). Чтобы клин мог входить в него свободно, будем считать $r = 0,02$ м.

Разброс значений прочности горной породы на растяжение достаточно большой. Чтобы оценить предельное усилие, которое необходимо для внедрения клина в сыпучий материал, в расчётах примем максимальную прочность горной породы на растяжение σ_p , равную 30 МПа. [2].

Коэффициент трения K можно изменять в больших пределах смазыванием поверхностей клина соответствующим веществом или добавлением в сыпучий материал различных смазок, например, масла, солидола, графитового порошка и т. д. Для упрощения анализа примем его постоянным и равным 0,3, что согласно результатам исследований А. П. Бобрякова соответствует трению поверхностей металла и песка без смазки.

Подставляя принятые значения в формулу (6), имеем

$$F_{y\partial} = \frac{8 \cdot 10^5}{ax_1} \left[a^3 - \sqrt{(a^2 - x_1^2)^3} \right] \cdot \left[\frac{0,02}{a} + 0,3 \sqrt{1 - \left(\frac{0,02}{a} \right)^2} \right]. \quad (7)$$

Свойствами сыпучего материала можно варьировать в широких пределах изменением размеров частиц, добавлением различных веществ, предварительным уплотнением, например, ударным нагружением круглым стержнем, вибрированием и т.д. Зависимость усилия $F_{y\partial}$, необходимого для внедрения клина в сыпучий материал, от величины a (длины клина) для различных значений x_1 представлена таблицей.

Зависимость усилия внедрения клина $F_{y\partial}$ от величины a для различных значений x_1

$a, \text{ м}$	$F_{y\partial}, \text{ кН}$				
	$x_1 = 0,1 \text{ м}$	$x_1 = 0,2 \text{ м}$	$x_1 = 0,3 \text{ м}$	$x_1 = 0,4 \text{ м}$	$x_1 = 0,5 \text{ м}$
0,1	40	-	-	-	-
0,2	44,7	63,7	-	-	-
0,3	42,7	77,2	87,8	-	-
0,4	41,3	78,4	106	112	-
0,5	40,4	78,2	110,5	133,2	135,9

Из таблицы следует, что даже при самых неблагоприятных условиях для разрыва горной породы ($\sigma_{max} = \sigma_p = 30$ МПа; $K = 0,3$) образование начальной трещины внедрением клина в шпур с сыпучим материалом возможно существующими ударными машинами.

Рассчитанные по формуле (7) и представленные таблицей значения характеризуют силу, с которой нужно внедрять клин в сыпучий материал, до образования в горной породе начальной трещины. Дальнейшее усилие, необходимое

для продвижения клина в направлении забоя шпура, определяется применяемым способом.

Представленное техническое решение реализует идею направленного разрушения прочных горных пород (гранит, сиенит, диабаз) путем создания специальных участков, в которых относительно легко внедряются клинья, обеспечивающие необходимые распорные усилия в заданном направлении. При этом в горной породе не возникают точечные контактные напряжения, приводящие к появлению микротрещин с произвольной ориентацией, и изгибающие усилия, искривляющие поверхность разрыва. Техническое решение может применяться на любых горных предприятиях без создания специальных технических средств как альтернативный метод разрушения горных пород, например, для добычи ценного кристаллического сырья, природного камня, дробления негабаритов.

Выводы.

1. Применение предложенного принципа разрыва горной породы внедрением клина в поданный в шпур сыпучий материал позволяет создавать трещину с ровными поверхностями, заданных размеров и ориентацией.

2. Благодаря адаптации сыпучего материала к форме и шероховатости стенок шпуров, существенно снижается вероятность возникновения случайных трещин с произвольной ориентации, снижающих эффективность разрушения горной породы.

3. Для разрушения горных пород клиньями с параметрами, которые удовлетворяют найденным в работе условиям, можно использовать ударные механизмы, например, от пневматической буровой машины, применяемые на горных предприятиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2079654 Российская Федерация, МПК E21C 37/06, Способ разрыва горных пород и устройство для его осуществления / Кю Н.Г.; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН - № 2012117918/03; заявл. 27.04.2012, опубл. 10.01.2014.
2. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975, с. 278.

© Н. Г. Кю, 2019