© Д.А. Цыганков, 2005

УДК 622.35:622.531

Д.А. Цыганков

*НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Современные технологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых располагают большим количеством средств и способов подготовки запасов к выемке, выбор которых обусловлен физико-механическими свойствами массива горных пород, а также геологическими особенностями месторождения.

Анализ опыта подготовки крепких горных пород к выемке [1-4] свидетельствует о том, что в перспективе сохранится преимущественное использование комбинированных способов. Буроклиновой способ будет применяться в сочетании с термогазоструйным и буровзрывным при их дальнейшем усовершенствовании с целью повышения эффективности подготовки, качества монолитов, а также снижения негативного воздействия на породный массив и окружающую среду. При этом необходимо сокращение объемов буровзрывных работ, а также внедрение новых конструкций, методов и приемов работы с применяемыми клиньями.

Одним из новых решений в области усовершенствования буроклинового способа подготовки является внедрение метода направленного разрушения горных пород пластичными веществами [5]. Результаты его исследования в условиях динамического режима приложения нагрузки, особенности применения, достоинства и недостатки приведены в [6].

Оборудованием и материалами для новой технологии являются клиновые устройства (рис. 1, [6]), ударные инструменты и пластичные вещества.

Задача, решаемая путем выбора формы клина 8, заключалась в улучшении качества формируемых трещин за счет уменьшения изгибных сил, действующих в плоскости разрыва, а также снижения концентрации напряжений в точках, находящихся вне ее. Для решения поставленной задачи штанга *5* была оборудована твердосплавной вставкой *6*, задающей направление плоскости разрыва, а форма заострения клина *5* была выбрана в виде двух сходящихся поверхностей. Благодаря клиньям *8* такой конфигурации разрыв горных пород происходил только в зоне их сходящихся поверхностей. Места приложения растягивающих сил перемещались синхронно с фронтом трещины, от чего не возникали изгибающие силы и не происходило искривление формируемой трещины. При этом линия пересечения сходящихся поверхностей клина *8* должна быть параллельна линии, на которой находится твердосплавная вставка *6* и располагаться с ней в одной и той же вертикальной плоскости [7]. При этом имеет большое значение величина угла заострения клина *8* (угла схождения двух его поверхностей). Известно, что с увеличением этого угла снижается величина силы трения, возникающей при внедрении клина *8* в пластичное вещество, но при этом снижается и величина разрывного усилия, передаваемого на разрушаемый материал через пластичное вещество. По данным экспериментальных исследований для обеспечения максимальной величины разрывного усилия при минимальной возникающей при этом силе трения угол заострения клина *8* должен находиться в пределах от 12-15° до 25-30°. В рассматриваемых исследованиях использовался клин с углом заострения 25° (рис. 1).

В качестве ударных инструментов для производства работ по формированию направленных трещин с применением пластичных веществ могут использоваться бензиновые, пневматические или электрические молотки, вместо стандартных пик которых применяется предла-

*Исследования выполнены при финансовой поддержке комплексного интеграционного проекта СО РАН и УрО РАН № 73: «Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования».

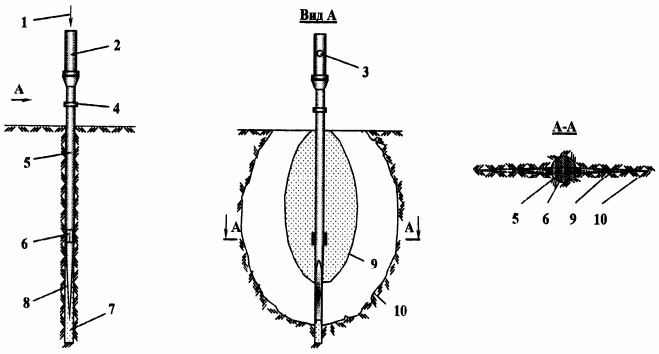


Рис. 1. Клиновое устройство для направленного разрушения горных пород пластичными веществами: 1 – направление приложения нагрузки; 2 – оголовок штанги; 3 – отверстие для извлечения застрявшей штанги; 4 – ограничитель хода штанги; 5 – штанга; 6 – вставка из твердого сплава ВК-6 – ВК-15; 7 – шпур, заполненный пластичным веществом; 8 – клин; 9 – граница зоны заполнения формируемой трещины пластичным веществом; 10 – граница формируемой трещины.

гаемое клиновое устройство, размеры оголовка штанги *2* которого идентичны размерам их хвостовиков (рис. 1). Предлагаемая конструкция монтируется в специально предназначенной буксе в нижней части ствола молотка и удерживается от выпадения концевой пружиной или колпачковым устройством. Частота производимых ударов (850-2800 мин$^{-1}$) и их работа (3,9-78,5 Дж) у этих молотков позволят осуществлять направленный разрыв горных пород любой крепости с применением пластичных веществ.

В соответствии с этим были проведены экспериментально-теоретические исследования по определению зависимости энергоемкости разрушения хрупких материалов от соответствующего расхода энергии для устройства, приведенного на рис. 1, и упоминаемых молотков. В качестве пластичного вещества использовался пластилин, состоявший из очищенного и тщательно измельченного порошка монтмориллонитовой (бентонитовой) глины, в который были добавлены небольшие количества воска, церезина и вазелина, препятствующие его высыханию (ρ = 1,47-1,54 г/ см^3, ОСТ 6 15-1525-86). Разрушаемым хрупким материалом искусственного происхождения являлось конструкционное органическое стекло СТ-1 (полиметилметакрилат, $\sigma_р$ = 65 МПа, ГОСТ 15809-70). Результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что с увеличением расхода энергии уменьшается энергоемкость разрушения хрупкого материала пластичными веществами. В данном случае использование мощных высокочастотных молотков, обеспечивающих расход энергии свыше 30000 Дж/ мин, нецелесообразно, так как снижение энергоемкости разрушения при этом будет незначительным.

Одной из основных целей применения пластичных веществ в предлагаемой технологии является использование материалов с динамической вязкостью на несколько порядков большей, чем у воды. Преимуществом использования пластичного вещества является отсутствие необходимости герметизации шпуров и то, что процесс разрушения продолжается даже при выходе отдельных участков фронта формируемой трещины на свободную поверхность. В практике могут применяться следующие хорошо зарекомендовавшие себя пластичные составы: технический воск, парафин, пластилин, смесь битума или сухой глины и минерального масла, смесь жидкой смолы и графита, а также солидол, упакованные в полиэтилен по типу гидравлической забойки шпуров. Экспериментально установлено, что направленное разрушение растягивающими усилиями более эффективно, чем сжимающими, так как сопротивление большинства горных пород растяжению составляет 5-10 % их сопротивления сжатию. Эта известная закономерность используется в традиционных технологиях подготовительных работ, в которых шпуры располагают близко друг к другу, предварительно образуя ослабленное сечение по всей поверхности намечаемого раскола, который производят гидравлическими клиньями с накладками. В случае использования метода направленного разрушения горных пород пластичными веществами в режиме динамического приложения нагрузки и предлагаемого устройства (рис. 1), эффективность разрыва растягивающими усилиями многократно увеличивается. Особенность заключается в том, что энергия разрушения передается от ударного инструмента на клиновое устройство и, далее, на пластичное вещество и фронт формируемой трещины с минимальными потерями. Это происходит потому, что пластичное вещество адаптирует клиновое устройство, передающее энергию разрушения, к геометрическим параметрам им же формируемой трещины. В этой связи отпа-

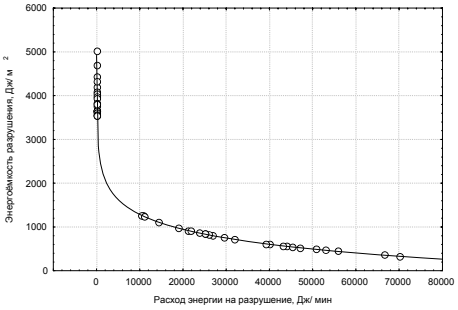


Рис. 2. Зависимость энергоемкости разрушения хрупких материалов от расхода энергии.

дает необходимость предварительного создания ослабленного сечения по всей поверхности намечаемого разрыва, а также появляется возможность сокращения объемов буровых работ путем сокращения количества шпуров при одновременном увеличении расстояния между ними.

В соответствии с предлагаемым методом, оборудованием и материалами рекомендуются пять вариантов технологии производства работ (рис. 3). Намечаемый к отбойке монолит должен иметь как минимум две свободные поверхности. В случае наличия третьей вертикальной свободной поверхности, оставшейся от предыдущего откола, - четвертая свободная вертикальная поверхность образовывается скалыванием термогазоструйной машиной 5 (I-V). Пятая свободная горизонтальная поверхность образовывается взрывом детонирующего шнура 7 (I), пороха 9 (II), используется постельная трещина 10 (III), либо производится разрыв с применением пластичного вещества (IV, V). Шестая свободная поверхность образовывается вертикальным разрывом с применением пластичного вещества (V). В первую очередь проводятся работы по скалыванию термогазоструйной машиной, затем – откол взрывом и, в последнюю, - разрыв с применением пластичного вещества. Достоинством новой технологии является сокращение объемов буровзрывных работ, что приводит к снижению трещиноватости отбиваемых монолитов, прилегающего массива горных пород, негативного воздействия на окружающую среду, а также выхода твердых отходов. Использование пластичного вещества позволяет сформировать ровную плоскость разрыва, исключить образование полупараболической поверхности в нижней части отбиваемого монолита у горизонтальной подсечной трещины и не разрушать устье шпура в отличие от традиционной технологии, применяющей гидравлические клинья с накладками.

В практике производства работ по подготовке облицовочного гранита с использованием пластичных веществ могут применяться три способа их выполнения: I – с постоянной глубиной шпура; II – с переменной глубиной шпура; III – с одним шпуром постоянной или переменной глубины. Эти способы характеризуются параметрами, приведенными в таблице. Таблица. Основные параметры технологии подготовительных работ: *M* – в зависимости от пространственной ориентации намечаемой плоскости разрыва – максимально допустимая по [8] длина, ширина или высота блока, м. Независимо от выбранной по [8] группы блока и принятой для достижения соответствующего объема длины, ширины или высоты, которые могут быть меньше своих предельно допустимых значений, показатель *M* оставляется постоянным; *F* – в зависимости от пространственной ориентации намечаемой плоскости разрыва – принятая длина, ширина или высота блока с учетом его группы по [8], м; *D* – диаметр шпура, м; *X* – запас на схождение предыдущей и последующей трещины, равный 0,03-0,05 м. Под количеством циклов вытеснения пластичного вещества *P* понимается число раз заполнения им шпура, необходимое для формирования трещины заданных размеров.

Зависимости, указанные в табл., получены путем статистической обработки данных экспериментальных исследований средствами Statistica 6.0, проведенных на указанном пластичном веществе и органическом

Параметры	Способы производства работ				
Г	I	II	III	IV	V
Р					
м					
К					
п					
К					
нения пластичного вещест					
ва из шпура, *P*			$0{,}1\exp\left(9\sqrt{DH}\right)$		

Рис. 4. Технология подготовительных работ с использованием пластичных веществ: *1* – фронт пластичного вещества; *2* – фронт формируемой трещины; с – центральный шпур; l (r) - шпуры для последующего разрыва в левом (правом) направлении

стекле. Поскольку органическое стекло обладает бóльшим пределом прочности при разрушении растягивающими усилиями чем граниты (σ_p = 25-30 МПа), то в последнем случае процесс разрыва будет проходить быстрее и эффективнее. На практике требуемые параметры откола устанавливаются опытно-экспериментальным путем. При этом его ориентировочные значения принимаются по табл.

Предлагаемые способы производства работ характеризуются следующими основными особенностями. Способ I: постоянная длина применяемых клиньев; постоянное расстояние между шпурами; переменное количество шпуров на блок различных размеров; возможность перебура отделяемого блока в плоскости откола; высокий расход пластичного вещества. Способ II: переменная длина применяемых клиньев; переменное расстояние между шпурами; постоянное количество шпуров на блок различных размеров; отсутствие перебуров отделяемых блоков в плоскости откола; высокий расход пластичного вещества. Способ III: возможность применения клиньев постоянной или переменной длины; возможность проводить работы с перебурами или без них; низкий расход пластичного вещества.

Для производства работ по отколу блоков с помощью пластичных веществ (способы I и II) необходимо соблюдение следующей последовательности действий (рис. 4).

Глубину шпуров *H*, расстояние между ними *R* и их количество на поверхность разрыва *N* определяют по табл. Бурение шпуров (*c, l, r*) начинают последовательно или одновременно с последующим заполнением пластичным веществом на всю глубину. Формирование магистральной трещины начинают с любого шпура, применяя клиновое устройство с твердосплавной вставкой 6 (рис. 1), ориентированной вдоль поверхности намечаемого разрыва. С помощью молотка клиновое устройство внедряют в блок до тех пор, пока ограничитель хода штанги 4 (рис. 1) не достигнет устья шпура. Этим добиваются однократного вытеснения из него пластичного вещества. Фронт работ развивают в любом направлении. Клиновые устройства извлекают вручную после образования магистральной трещины и, как следствие этого, окончания работ по отколу блока (рис. 4). Ограничитель хода штанги 4 (рис. 1) служит для контроля количества циклов вытеснения пластичного вещества и воспрепятствования касанию конуса клинового устройства забоя шпура при его максимальном внедрении в блок. Для этого расстояние ограничителя хода штанги 4 (рис. 1) от вершины конуса клина принимается равным или несколько меньшим глубины шпура. В этой связи процесс направленного разрушения пластичным веществом не сможет превратиться в обыкновенный механический раскол на завершающей стадии.

Для производства работ по направленному разрыву с помощью пластичного вещества по способу III используется только центральный шпур *c* (рис. 4). Этим достигается максимальное снижение объемов буровых работ. Расход пластичного вещества, в среднем, в два раза ниже, чем в случае использования способов I или II, и зависит от количества циклов его вытеснения *P*. Недостатком способа III является необходимость периодического извлечения клинового устройства перед следующим циклом заполнения шпура пластичным веществом. Для облегчения решения этой задачи в оголовке штанги *2* предусмотрено специальное отверстие *3* (рис. 1).

Рис. 3. Варианты технологии подготовки монолитов крепких горных пород при открытом способе разработки: *1а (1б)* – ударный инструмент для формирования вертикальной (горизонтальной) трещины; *2* – клиновое устройство; *3* – шпур, заполненный пластичным веществом; *4а (4б)* – стадии формирования вертикальной (горизонтальной) трещины; *5* – торцевая отрезная щель, образованная термогазоструйной машиной ТРВ-1; *6* – шпуры с детонирующим шнуром ДШ-А (Б, В); *7* - трещина, образуемая взрывом детонирующего шнура; *8* – шпуры с бикфордовым шнуром и дымным порохом ДВТ; *9* - трещина, образуемая взрывом дымного пороха; *10* – естественная (постельная) трещина; *11* – шпуры для последующих разрывов с применением пластичных веществ

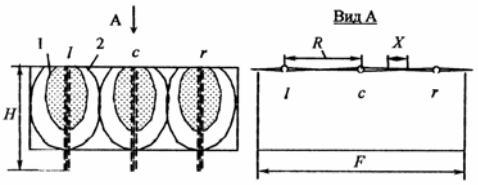
Выводы:

1. Технологии подготовки облицовочного гранита с применением пластичных веществ могут использоваться как самостоятельно, так и в комбинации со скалыванием и буровзрывными работами. При этом для откола монолитов необходимо наличие не менее двух свободных поверхностей.

2. Варианты и способы производства работ по отделению монолитов облицовочного гранита с применением пластичных веществ, используемые в предлагаемой технологии, позволяют адаптировать производство работ к изменяющимся горнотехническим и горно-геологическим условиям разработки месторождения. Это позволит развивать фронт горных работ в любом направлении и учитывать кондиции на поставляемое минеральное сырье.

3. Технология подготовки облицовочного гранита с применением пластичных веществ позволяет сократить объемы работ по скалыванию, бурению и взрыванию. Это будет связано с сокращением количества образующихся твердых отходов, повышением качества и выхода товарных блоков из добываемой горной массы при одновременном снижении негативного воздействия на производителей работ, породный массив и окружающую среду.

Дополнительной областью применения предлагаемой технологии может быть пассировка отбитых монолитов облицовочного гранита и раскалывание негабаритов горных пород. Ее достоинством является использование известного оборудования и материалов за исключением несложных в изготовлении клиновых устройств. Это позволит исключить дополнительные затраты на научно-технические и проектно-конструкторс-кие разработки, направленные на создание специальных технических средств для предлагаемой технологии перед ее внедрением на горнодобывающих предприятиях.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Орлов А.М.* Добыча и обработка природного камня. – М.: Стройиздат, 1977.

2. *Волуев И.В., Сычев Ю.И., Ткач В.Р.* Безотходная технология добычи и обработки природного камня. – М.: Недра, 1994.

3. *Карасев Ю.Г.* Технология горных работ на карьерах облицовочного камня. – М.: Недра, 1995.

4. *Смирнов А.Г., Бакка Н.Т., Биржискис И.С. и др.* Добыча и обработка природного камня. Справочник. – М.: Недра, 1990.

5. Пат. РФ № 2131032 от 01.08.1997 / Н. Г. Кю, О. И. Чернов. Способ разрушения горных пород. – Опубл. 27.05.1999. Бюл. № 15.

6. *Кю Н.Г., Цыганков Д.А.* Направленное разрушение пластичным веществом // Известия вузов. Строительство. – 2003. - № 2.

7. Пат. РФ № 2079654 от 08.09.1994 / Н. Г. Кю, О. И. Чернов. Способ разрушения горных пород. – Опубл. 20.05.1997. Бюл. № 14.

8. ГОСТ 9479-98. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. – М.: Госстрой России, 2000.

Коротко об авторах

Цыганков Д.А. – кандидат технических наук, Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск.