УДК 622.235

Г.М.КРЮКОВ, В.В.СТАДНИК
Московский государственный горный университет, Россия
Ю.В.ГЛАЗКОВ
ООО «РОКИ ЛТД», Москва, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ УДЛИНЕННЫХ ЗАРЯДОВ ПВВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТОВ НА БЛОКАХ ОРГСТЕКЛА

Приведены результаты исследований по взрыву микрозарядов взрывчатых веществ в блоках органического стекла. На основе полученных данных и теоретического обоснования установлены закономерности процессов деформирования и разрушения блоков из искусственных материалов.

Results of researches on explosion of microcharges of explosives in blocks of an organic glass are resulted. On the basis of the received data and a theoretical substantiation laws of processes of deformation and destruction of blocks from artificial materials are established.

Закономерности радиального трещинообразования горных пород при взрывах в последних удлиненных зарядов ПВВ представляют значительный практический и теоретический интерес. Именно этими закономерностями определяются радиус зоны и степень регулируемого дробления пород, эффективность взрывной добычи штучного камня, формирование контурных поверхностей, степень нарушенности законтурной части массива и т.д. В многочисленных лабораторных исследованиях [1-3, 5, 9, 11] соответствующие опыты проводились на моделях из прозрачных (в том числе и на оптически активных) материалов: кварцевом стекле, разных типах оргстекла, канифоли, каменной соли и т.д. При этом в качестве ВВ, как правило, использовался ТЭН. В этих опытах был установлен ряд важных особенностей формирования и развития разных процессов взрывного разрушения: формирования зон пластического течения, отставания фронта разрушения материалов от переднего фронта взрывной волны, формирование, рост и модуляция трещин и т.д. Вместе с тем оставался нерешенным ряд очень важных для практики взрывного дела вопросов: закономерности формирования зоны регулируемого дробления; условия формирования магистральных трещин между одновременно взрываемыми зарядами; закономерности формирования нарушенностей в законтурной части массива при взрывах зарядов ПВВ; влияние времени замедления инициирования соседнего заряда на процесс разрушения породы взрывом данного заряда и т.д. Более того, применяемые с начала 60-х годов до настоящего времени соотношения для расчетов параметров БВР [8, 10] теоретически никак не обоснованы и поэтому являются лишь ориентировочными. Вследствие этого всегда на каждом горном предприятии обязательно проводятся опытно-промышленные взрывные работы для корректировки расчетных параметров БВР. Всеми этими обстоятельствами и было обусловлено дальнейшее проведение исследований [4, 6, 7] по установлению обобщающих закономерностей процессов разрушения горных пород взрывом удлиненных зарядов ПВВ для обоснования хотя бы некоторых соотношений при расчетах параметров БВР.

В первой группе опытов [7] осуществлялось установление закономерностей процессов деформирования и разрушения бло-



Рис.1. Разрушение оргстекла при одиночном взрыве удлиненного заряда

ков из искусственных материалов и свинца, подтвердивших оценки этих процессов по ФКСВ-теории. Во второй группе экспериментальных исследований [4] опыты проводились на блоках оргстекла одной плавки со следующими параметрами механических свойств: $\rho = 1{,}18 \cdot 10^3$ кг/м^3; $A = 1{,}88 \cdot 10^{10}$ Па; $\mu = 0{,}363$; $N_1 = 2{,}774 \cdot 10^3$ м/с; $\sigma_{\text{ñò}}^{\text{Ò}} = 1{,}275 \cdot 10^8$ Па. В качестве ВВ использовался пиротехнический состав (ПС) с размерами частиц от 0,25 до 0,5 мм, надежно инициирующийся в шпурах диаметром ≥1 мм (разработка кафедры разрушения горных пород взрывом МГГУ). Плотность заряжания ПС составляла 0,9 г/см^3, теплота взрывчатого превращения чистого ПС $Q_6 = 5024$ Дж/г со скоростью детонации $D_6 = 1{,}286 \cdot 10^3$ м/с. При добавлении в ПС порошкообразной чистой поваренной соли теплота взрывчатого превращения смеси в продукты детонации (ПД) уменьшалась до $Q_3 = 2512$ Дж/г, при которой скорость детонации смеси составляла $D_3 = 9{,}174 \cdot 10^2$ м/с. Применялись шпуровые заряды массой 0,1 г, диаметром 1,9 мм, длиной 40 мм, при длине шпуров 60 мм. Песчаная забойка составляла 20 мм. Основной объем исследований был выполнен с зарядами ПС, имеющими Q_3.

В [4] установлено (рис.1), что в оргстекле при одиночном взрыве удлиненного заряда ПС формируются три вида трещин:

- эллипсоидальные – по 5-7 шт. на одной образующей шпура;
- магистральные – практически по всей длине образующей, по 1-2 шт. при взрыве одного заряда;
- конические – около торцов зарядов.

Эллипсоидальные трещины имеют длину от 8 до 42 мм и многомодальное распределение по длинам. Среднее значение этих трещин $b_0 = 21{,}22$ мм, при этом число трещин для двух основных групп (соседние моды справа и слева от b_0) составляло не менее 55 % от общего числа эллипсоидальных трещин. Величина b_0 интерпретировалась как средний радиус радиального трещинообразования – регулируемого дробления пород [6]:

$$b_0 = 0{,}5 d_{\text{çá}} \sqrt{P_{\text{Æ}} / k_3 \sigma_{\text{pac}}}\,, \qquad (1)$$

где $P_{\text{Ж}}$ – давление ПД в точке Жуге, Па; σ_{pac} – предел прочности твердых тел на растяжение, Па; $k_3 = 1 + 2\gamma P_{\text{Æ}}(1+\mu)/A$ – коэффициент, которым учтено влияние уменьшения давления в зарядной полости вследствие ее расширения на размеры зоны разрушения; γ – показатель изоэнтропы ПД.

В проведенных опытах зависимость (1) от $P_{\text{Ж}}$ была косвенно подтверждена, поскольку это давление прямо пропорционально Q теплоте взрывчатого превращения ПС.

При расчетах параметров БВР радиус зоны регулируемого дробления породы (в метрах) около каждого заряда следует рассчитывать по соотношению

$$W_{\text{á.ä}} = 2b_0 = d_{\text{çá}} \sqrt{P_{\text{Æ}} k_3 / \sigma_{\text{pac}}}\,, \qquad (2)$$

принимая $a = b = W_{\text{á.ä}}$.

При одновременном взрыве нескольких удлиненных, расположенных рядом (но не в одной плоскости) зарядов, формировалась одна магистральная трещина, состоящая из



Рис.2. Разрушение оргстекла при одновременном взрыве удлиненных зарядов



Рис.3. Разрушение оргстекла при одновременном взрыве двух параллельных удлиненных зарядов

кусков плоскостей между соседними зарядами (рис.2). Если такие заряды инициировались последовательно с замедлениями в 500 мкс и более, то взрывное разрушение каждым зарядом осуществлялось так, как будто рядом не происходили взрывы других зарядов, что согласуется с теоретическими оценками [6].

Таким образом, для обеспечения качественного взрывного дробления горных пород необходимо исключить влияние на этот процесс взрывов соседних зарядов.

Подтверждена теоретическая оценка [6] о том, что начало взаимного влияния на процесс разрушения породы одновременным взрывом двух параллельных удлиненных зарядов имеет место при $a = 2b_0$ (рис.3), а не при $a = \sqrt{2}b$, как утверждалось ранее [8], несмотря на то, что при взрыве каждого заряда ПС в оргстекле формировались отдельные эллипсоидальные трещины длиной до $2b_0$.

В [6, 7] доказано теоретическое положение [6], согласно которому при одновременном взрыве двух удлиненных зарядов ($\grave{a} < 2b_0$) происходит ухудшение процесса разрушения породы между зарядами (по сравнению с ее разрушением каждым зарядом без взаимного влияния) и формирование магистральной трещины по плоскости расположения зарядов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- качественное дробление породы имеет место, если расстояние между двумя одновременно инициируемыми зарядами будет удовлетворять условию $\grave{a} > 2b_0$.
- для формирования магистральной трещины между соседними одновременно инициируемыми зарядами (контурное взрывание, заоткоска бортов и т.д.) расстояние должно удовлетворять условию $\grave{a} < 2b_0$.

Экспериментально подтверждено, что при взрывах зарядов ПВВ в горных породах скорость развития радиальных трещин существенно больше скорости прорастания трещин $\tilde{N}_{\delta\delta} = 0{,}4\tilde{N}_1$ при квазистатическом нагружении твердых тел. Это обстоятельство обусловлено тем, что время формирования радиальной трещины в данной точке породы определяется в основном временем прихода в эту точку взрывной волны со скоростью $\tilde{N}_1$. Поэтому при одновременном взрыве зарядов ПВВ в контурном ряду не успевает произойти негативное воздействие



Рис.4. Разрушение оргстекла при одновременном взрыве зарядов в контурном ряду

взрыва соседнего заряда, замедляющего развитие радиальной трещины от взрыва данного заряда в перпендикулярном к контуру направлении (рис.4).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что невозможно заметно снизить нарушенность законтурной части массива только за счет уменьшения расстояния между зарядами в контурном ряду не меняя массы зарядов.

В заключение подчеркнем большую значимость параметра b_0, рассчитываемого по (2), поскольку именно его значениями определяются многие рациональные параметры БВР.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адушкин В.В.* Моделирование взрывов на выброс при помощи лабораторной вакуумной установки / В.В.Адушкин, В.Н.Родионов // Взрывное дело. 1968. № 64/21.

2. *Багдасарян А.Б.* О действии взрыва в органическом стекле / А.Б.Багдасарян, С.С.Григорян // ПМТФ. 1967. № 3.

3. *Гольдсмит В.* Динамическая фотоупругость // Физика быстропротекающих процессов. 1971. Т.2.

4. *Глазков Ю.В.* Результаты лабораторных экспериментальных исследований деформирования и разрушения твердых тел взрывом // Труды Четвертой междунар. науч. конф. (18-22 октября 2004 г.) / ИПКОН РАН. М., 2005.

5. *Керкхоф Ф.* Модуляция хрупкой трещины упругими волнами // Физика быстропротекающих процессов. 1971. Т.2.

6. *Крюков Г.М.* Модель ФКСВ деформирования и разрушения горных пород взрывом зарядов промышленных ВВ / Г.М.Крюков, Ю.В.Глазков // Труды Четвертой междунар. науч. конф. (18-22 октября 2004 г.) / ИПКОН РАН. М., 2005.

7. *Крюков Г.М.* Закономерности разрушения трещиноватых сред при взрывах зарядов промышленных ВВ / Г.М.Крюков, В.В.Стадник // Труды Третьей междунар. науч. конф. (9-14 сентября 2002 г.). г.Абаза (Хакасия). Новосибирск: Наука, 2003.

8. *Кутузов Б.Н.* Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов / МГИ. М., 1992.

9. Механический эффект подземного взрыва / В.Н.Родионов, В.В.Адушкин, В.Н.Костюченко и др. М.: Недра, 1971.

10. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А.Авдеев, В.Л.Барон, Н.В.Гуров, В.Х.Кантор. М.: Недра, 1986.

11. *Юхансон К.* Детонация взрывчатых веществ / К.Юхансон, П.Персон. М.: Мир, 1973.