

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. И. ПЕТРОСЯН

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ МИКРОТРЕЩИН В ИНТЕРПРЕТАЦИИ
 ПРОЦЕССОВ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ВЗРЫВНОМУ РАЗРУШЕНИЮ
 ТЕЛА

В настоящее время разрушение деформируемых сред взрывом рассматривается как явление, которое наступает под воздействием взрывной волны при достижении предела прочности материала. Ввиду такого традиционного подхода представляется, что процессы, связанные с действием взрыва, на которые затрачивается время, не существенны, и само разрушение наступает критическим образом. Эксперименты, на которых основывается это представление, выполнены на оптически активных материалах (эпоксидная смола, плексиглас, стекло и др.), которые ввиду особых механических свойств не обеспечивают подобия между натурой и моделью. Другим существенным недочетом является ограниченная способность применяемой аппаратуры: так, например, регистрация, осуществляемая с помощью скоростного фоторегистратора типа СФР-1, длится не более 100 мкс, которое значительно меньше периода разрушения тела. При этом не обеспечивается качество регистрации картины разрушения, ввиду ее размазывания лучами предыдущего кадра. Поэтому во многих работах, посвященных исследованию кинетики разрушения, приняты допущения, согласно которым темные зоны на кадрах отнесены за счет разрушения в макроскопическом объеме, несмотря на отсутствие видимых трещин. Это послужило основанием для разработки новых способов фиксации напряжений, возникающих при взрыве [1], и регистрации трещин в оптически неактивных материалах, какими являются горные породы, бетон и др. [2].

Автором выполнено экспериментальное исследование кинетики разрушения различных материалов, в частности, горных пород взрывом [3]. Соотношение скорости распространения трещин в среде V_p к скорости продольной волны C_p равнялось:

$$\frac{V_p}{C_p} = 0,0168 \pm 0,0369,$$

а соотношение скорости расширения трещины V_s к скорости поперечной волны C_s —

$$\frac{V_s}{C_s} = 0,0022 \pm 0,0092. \quad (1)$$

Соотношение (1) и кадры скоростной регистрации трещинообразо-

вания (рис. 1) достаточно убедительны для кардинального вывода: основным агентом взрывного разрушения горных пород (руды) в макроскопическом объеме являются продукты детонации заряда, а течение самого процесса квазистатическое.



Рис. 1. Кадры трещинообразования при взрыве в базальте. Время экспозиции кадра 20 мкс, интервал времени между кадрами 300 мкс.

В работе [4] показано, что долговечность породы (временной интервал, отделяющий момент разрушения от начала приложения взрывной нагрузки) при лабораторном испытании равна $140 \div 630$ мкс на относительном расстоянии $7 \div 35$ радиусов заряда. Минимальная ширина трещины, зарегистрированная на поверхности исследуемого объекта, равна 0,25 мм. Это означает, что разрушению тела в макроскопическом объеме предшествует процесс микроразрушений, обусловленный действием взрывной волны. В настоящее время фотографическая регистрация этого процесса не представляется возможным, поэтому с целью его интерпретации была привлечена теория микротрещин [5].

Максимальное напряжение σ_{\max} возникающее при взрыве, является функцией от прочности материала

$$\sigma_{\max} = \varphi(R_{\text{пр}}).$$

С помощью оригинального способа фиксации напряжений, возникающих при прохождении взрывной волны, установлена зависимость $\sigma_{\max} - R_{\text{пр}}$ (рис. 2), математическая интерпретация которой имеет вид:

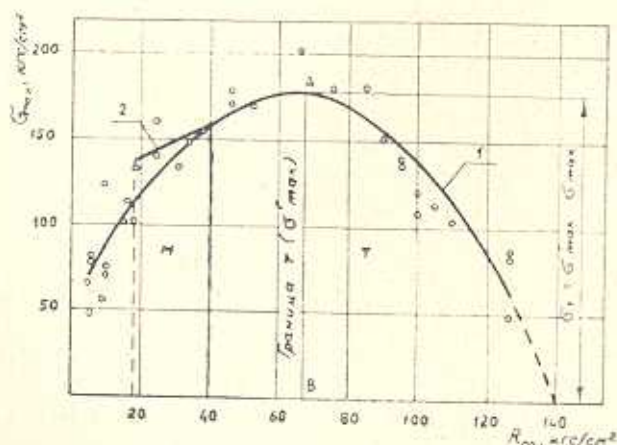


Рис. 2. Зависимость максимальных напряжений от прочности эквивалентного материала. *M* — область моделирования, *T* — область микроразрушений.

$$\sigma_{\max} = 51,16 + 3,87 R_{\text{пр}} - 0,03 K_{\text{пр}}^2. \quad (2)$$

Регистрацию σ_{\max} осуществляли с помощью глубинных датчиков, устанавливаемых в эквивалентном материале (табл. 1) при постоянном относительном расстоянии $r/r_0 = 40$ (r — расстояние места регистрации от заряда, r_0 — радиус заряда). Из рис. 2 видно, что при призмочной прочности материала $R_{\text{пр}} \leq 67 \text{ кгс/см}^2$ регистрируется рост амплитуды σ_{\max} , а когда $R_{\text{пр}} > 67 \text{ кгс/см}^2$, наблюдается затухание σ_{\max} . С увеличением $R_{\text{пр}}$ от 67 до 127 кгс/см^2 величина затухания σ_{\max} равна 117 кгс/см^2 , что, по-видимому, связано с процессом возникновения микротрещин. В области, расположенной левее линии АВ (рис. 2), с ростом прочности материала напряжения увеличиваются, т. к. растущие микротрещины отсутствуют, а правее — постоянное затухание напряжений обусловлено увеличением объема микроразрушений. Значение напряжения σ_T , соответствующее границе области образования микротрещин, определяется величиной спада максимального напряжения из выражения

где σ_{\max}^I — и σ_{\max} — соответственно, значения максимальных напряжений на границе области образования микроразрушений и при принятой прочности материала.

Таблица 1

Состав эквивалентного материала

№ п/п	Материал	Весовое соотношение твердых компонентов, %
1.	Молотый черный мрамор	70
2.	Чугунные опилки	22
3.	Цемент	
4.	Количество воды от веса твердых компонентов	8
		11

$$\sigma_T = \sigma_{\max}^I - \sigma_{\max}. \quad (3)$$

На рис. 2 пунктирными линиями выделена область моделирования взрывной отбойки, обеспечивающая достаточные и необходимые условия подобия между материалами натуры и модели. Зависимость σ_{\max} — $R_{\text{пр}}$ в этой области выражается кусочно-линейной функцией

$$\sigma_{\max} = 117,04 + 1,03 R_{\text{пр}}, \quad (4)$$

которая графически показана линией 2.

Вычисленные значения σ_T из выражения (3), соответствующие принятой прочности материала $R_{\text{пр}}$, представлены в табл. 2.

Граница образования микроразрушений (рис. 3) определена на основании данных табл. 2, согласно которой соотношение $\sigma_T/R_{\text{пр}}$ пропорционально увеличению прочности материала.

Таким образом, долевое участие взрывной волны при отбойке руды, в основном, связано с микроразрушениями. Этот инкубационный

Таблица 2

Граница образования микротрещин при взрыве в эквивалентном материале?

$R_{np}, \text{ кгс/см}^2$	70	80	90	100	110	120	130
$\sigma_T, \text{ кгс/см}^2$	1	18	30	47	72	101	141
$\frac{\sigma_T}{R_{np}}$	0,01	0,22	0,33	0,47	0,65	0,81	1,08

процессе имеет место задолго до разрушения среды, в которой производится взрыв. Между периодом инкубации микротрещин и началом их

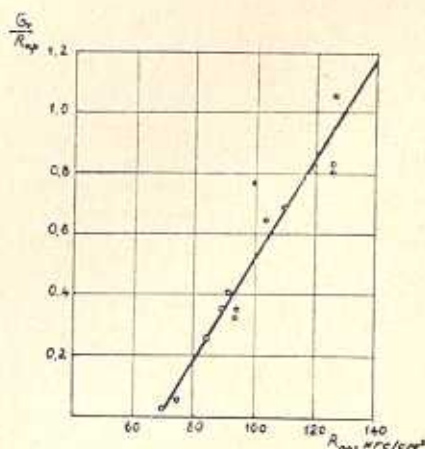


Рис. 3. Граница образования микротрещин при взрыве в блоке эквивалентного материала.

разрушения деформируемых сред взрывом: стадия разрушения в микроскопическом объеме, обусловленная динамическим воздействием взрывной волны; стадия разрушения в макроскопическом объеме, обусловленная квазистатическим действием образовавшихся газов. Это означает, что основным средством повышения полезной работы взрыва в горных породах является увеличение периода квазистатического действия взрыва, а техническим средством достижения этой цели — применение взрывчатых веществ с умеренными детонационными свойствами, выделяющих сравнительно большое количество продуктов детонации, применение короткозамедленного способа взрывания и конструкции зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками.

Армипроцветмет

Поступило 10.IV.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Петросян М. И. Моделирование взрывной отбойки с фиксацией напряжений в любой точке модели. Сб. «Проблемы разрушения горных пород и совершенствования технологии разработки месторождений полезных ископаемых». М., «Наука», 1969.

2. *Петросян М. И., Гаспарян Т. Г.* Об одной методике моделирования разрушающего действия взрыва на горные породы. Научн. сообщ. Арменипроцветмета, вып. 23, Ереван, «Айастан», 1978.
3. *Петросян М. И.* Установление скорости роста трещины при взрыве в горных породах. «Промышленность Армении», 1979, № 8.
4. *Петросян М. И.* О связи взрывной волны с разрушением горных пород. «Известия АН АрмССР. Наука о Земле», 1979, № 1.
5. *Берг О. Я.* Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М., Госстройиздат, 1961.