

находим

$$\rho^* = \rho_0 \exp[-1,02\varepsilon^2 (c_0/u_0)^{2/3} (\delta/a_0)^{1/3}]. \quad (9)$$

Выражение (9) можно использовать для оценки изменения плотности продуктов детонации в камуфлетной полости из-за утечки газов на динамической стадии взрыва: если величина, стоящая под знаком экспоненты, мала, то и энергетические потери при камуфлетном взрыве из-за истечения ПД также малы, параметры взрыва в этом случае определяются прочностными свойствами среды, в которой проводится взрыв.

По данным [1], изменение плотности продуктов детонации в полости за счет истечения равно 40%. Подставив это значение в (9) и учитывая, что  $\varepsilon = 0,4$ ,  $\delta \approx 10^{-3}$  м,  $a_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  м, получим  $(c_0/u_0)^{2/3} \approx 7,1$ . Выражение (9) можно записать иначе:

$$\rho^* = \rho_0 \exp[-7,1\varepsilon^2 (\delta/a_0)^{1/3}]. \quad (10)$$

Отсюда следует, что уменьшение  $\varepsilon$  существенно снижает возможность утечки ПД. Увеличение масштаба взрыва также приводит к снижению относительной доли вышедших газообразных продуктов на динамической стадии взрыва.

Отметим, что оценка влияния радиуса полости  $a_0$  на истечение ПД по формулам, полученным в данной работе, дает завышенные результаты по сравнению с данными работы [1]. Приведенные здесь формулы, конечно, имеют оценочный характер. В них не учтен ряд процессов, которые в той или иной степени могут повлиять на характер изменения плотности продуктов детонации в полости. Прежде всего возможно изменение характера истечения из-за дилатансионного разрыхления среды при камуфлетном взрыве [9]. Процессы теплообмена при утечке ПД могут также изменить характеристики изучаемого явления. В настоящее время с помощью вычислительного эксперимента проводится изучение влияния всех перечисленных выше факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов В. П., Шацкевич А. Ф. ФГВ, 1974, 7, 3, 441.
2. Комир В. М., Кузнецов В. М., Шацкевич А. Ф. ФТПРПИ, 1979, 6.
3. Колобашкин В. М., Кудряшов П. А., Мурзенко В. В. ФГВ, 1985, 21, 6, 126.
4. Гордеев Ю. П., Колобашкин В. М., Кудряшов П. А. Изв. АН СССР. МЖГ, 1985, 1, 183.
5. Колобашкин В. М., Кудряшов П. А., Мурзенко В. В. Изв. АН СССР. МЖГ, 1985, 2, 73.
6. Захарова П. Г. ФГВ, 1984, 20, 3, 101.
7. Компанец А. С. Докл. АН СССР, 1956, 109, 1, 49.
8. Родионов В. Н., Адушкин В. В., Костюченко В. В. и др. Механический эффект подземного взрыва. — М.: Недра, 1971.
9. Николаевский В. П. Докл. АН СССР, 1967, 177, 3, 542.

Поступила в редакцию 9/VI 1986,  
после доработки — 15/XII 1986

#### ПРЕДЕЛЬНЫЙ И КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТРЫ ЗАРЯДА В ПРЕДДЕТОНАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ

*В. С. Жученко, Н. К. Мошатин, А. А. Орлов*  
(Москва)

Критический  $d_{кр}$  и предельный  $d_{пр}$  диаметры — фундаментальные характеристики детонации, определяющие возможность ее стационарного распространения и границу идеального режима. В преддетонационной области эти понятия имеют тот же физический смысл: при  $d > d_{пр}$  краевые эффекты не влияют на развитие детонации, при  $d < d_{кр}$  детонационный процесс в заряде затухает. Для установившейся детонации  $d_{кр}$  и

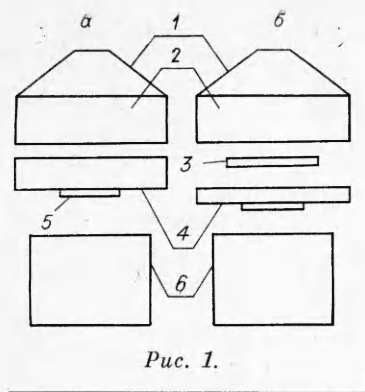


Рис. 1.

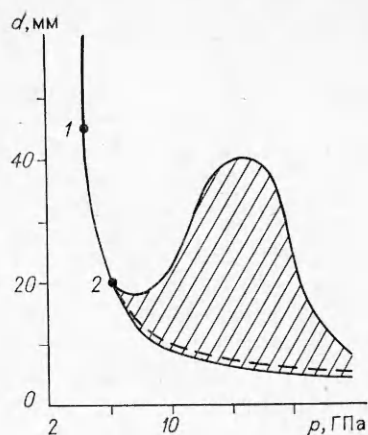


Рис. 2.

$d_{пр}$  есть константы, характеризующие детонационную способность ВВ (при данной плотности заряда). В переходном режиме  $d_{кр}$  и  $d_{пр}$  зависят от условий инициирования и могут изменяться в широких пределах [1]. В данной работе детонация в заряде возбуждалась ударом пластин различного диаметра. Отыскивалась связь между диаметром заряда и инициирующим давлением.

Схема опытов показана на рис. 1. Образцы 6 из прессованного тротила плотностью  $1,56 \text{ г/см}^3$  нагружались ударом алюминиевой пластины 5 толщиной 1 мм, разогнанной до необходимой скорости  $W$  с помощью взрывного устройства. Применялись устройства двух вариантов. В диапазоне  $W = 1000 \div 2500 \text{ м/с}$  использовалась схема (см. рис. 1, а), включающая плоскостолновую линзу 1, метательный заряд 2 и медный экран-ослабитель 4. Скорость регулировалась выбором ВВ метательного заряда, толщиной экрана и зазором между экраном и метательным зарядом. Для получения более высоких скоростей применялась изображенная на рис. 1, б двухступенчатая схема. Продуктами взрыва заряда разогнался стальной диск 3 до  $W = 1700 \div 3100 \text{ м/с}$ , в результате удара диска по медному экрану приложенная к нему алюминиевая пластина отлетала с  $W = 2500 \div 5000 \text{ м/с}$ .

Взрывные устройства проверены и откалиброваны с помощью импульсной рентгено съемки. На базе пролета 10–15 мм максимальный прогиб метаемых пластин не превышал 1 мм. Возникновение детонации в нагружаемом образце контролировалось электроконтактными датчиками.

В первой серии опытов испытывались образцы диаметром 50 мм, диаметр ударяющей пластины  $d_y = 4 \div 50 \text{ мм}$ . Для каждого  $d_y$  методом вверх-вниз находилась  $W_{мин}$ , обеспечивающая инициирование в заряде нормальной детонации; соответствующее давление соударения  $p$  рассчитывалось по известным ударным адиабатам алюминия и тротила [2]. Во второй серии при фиксированном диаметре ударника, метаемого с критической скоростью, менялся диаметр заряда; отыскивалось мини-

$d_y$ , мм	$W$ , м/с	$p$ , ГПа	$d_y$ , мм	$W$ , м/с	$p$ , ГПа	$d_{кр}$ , мм
50	1050(1000)	4,5(4,3)	20	1350	6,2	20
45	1050(1000)	4,5(4,3)	12	1650	8,0	18(16)
40	1100(1050)	4,7(4,5)	8	2000	10,3	22(20)
30	1150(1100)	5,0(4,7)	6	2460	13,4	40(36)
20	1350(1300)	6,2(5,9)	5	2860	16,5	40(36)
10	1820(1750)	9,0(8,7)	4	3200	19,4	18(16)
8	2000(1820)	10,3(9,0)				
6	2460(2250)	13,4(12,0)				
4	3200(3000)	19,4(17,7)				

малейшее значение  $d_{кр}$ , при котором образец еще детонировал. Результаты опытов приведены в таблице (в скобках указаны ближайшие к критическим параметры, при которых зарегистрированы отказы).

На рис. 2 экспериментальные данные представлены в виде  $p-d$ -диаграммы, на которой нижний график определяет критический диаметр ударника, верхний — критический диаметр заряда. Графики имеют общую ветвь, на которой  $d_y$  и  $d_{кр}$  совпадают. Указанная на этой ветви точка 1, выше которой критическое давление инициирования не изменяется, отвечает  $d_{пр} \approx 45$  мм. В точке 2 пороговые кривые расходятся, выделяя заштрихованную на диаграмме область, в которой параметры  $p$ ,  $d_y$  и  $d_{кр}$  взаимосвязаны. Например, для иницирующего давления 13,4 ГПа минимальный диаметр ударника  $d_y = 6$  мм; при этих значениях  $p$  и  $d_y$  детонируют образцы, диаметр которых не меньше 40 мм. На верхней границе заштрихованной области критический диаметр заряда вначале растет, достигая 40 мм, а затем при давлении, близком к детонационному, начинает уменьшаться, приближаясь к критическому диаметру установившейся детонации:  $d_{кр} = 3$  мм. Если при фиксированном  $p$  незначительно увеличить  $d_y$ , значение  $d_{кр}$  резко уменьшается, пороговые кривые сближаются и в пределе сливаются, образуя единую ветвь, показанную на диаграмме штриховой линией. Эта ветвь определена в опытах, в которых, подобно [3], образцы нагружались по всему торцу.

Итак, выше точки 1 расположена область плоскорежимного инициирования, в которой критическое давление минимально, не зависит от диаметра:  $p_{кр} = 4,5$  ГПа. Этому давлению соответствует плотность энергии 105 Дж/см<sup>2</sup>, несколько превышающая (возможно, из-за различия в плотностях образцов) критическое значение 101,5 Дж/см<sup>2</sup>, приведенное в [4]. В интервале 1—2  $p_{кр}$  определяется величиной  $d_y$  и не зависит от диаметра (а следовательно, и от оболочки) заряда. Из этого можно заключить, что в зоне химических реакций течение остается плоским, по крайней мере вблизи оси симметрии заряда, где условия для развития детонационного процесса наиболее благоприятны. (Действительно, если бы боковая нагрузка проникала в зону реакций, ее воздействие можно ослабить, увеличив диаметр заряда.) Справа от точки 2, в которой пороговые кривые разветвляются, переходной процесс завершается в расходящемся потоке, необходимом для возбуждения детонации давление резко возрастает. В этой области величину  $d_{кр}$ , намного превышающую  $d_y$ , можно уменьшить, поместив заряд в оболочку.

Полученные в данной работе экспериментальные зависимости справедливы только для конкретных рассмотренных условий нагружения. Например, уменьшение толщины ударника приведет, согласно [3], к сдвигу пороговых кривых вправо и уменьшению предельного диаметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев А. Ф., Боболев В. К. и др. Переход горения конденсированных систем во взрыв. — М.: Наука, 1973.
2. Boyle U. M., Smoters M. G. 5-th Symp. (Intern.) on Detonation. California, 1970.
3. Батьков Ю. В., Новиков С. А. и др. ФГВ, 1983, 19, 3, 122.
4. Глушак Б. Л., Новиков С. А. и др. ФГВ, 1981, 17, 6, 90.

Поступила в редакцию 4/ХІ 1986