

Рис. 3

разложения, происходящего в химике. Критический диаметр при этом должен уменьшаться с ростом  $\rho_0$  в соответствии с уменьшением ширины зоны  $\alpha$  (см. табл. 1). Даваемое этой оценкой значение  $\rho_0 \approx 1,7 \text{ г/см}^3$  есть верхняя граница действительных предельных плотностей, так как при малых диаметрах медленное энерговыделение во второй стадии реакции не способно конкурировать с боковым разлетом при значительно меньших плотностях, поэтому требование обращения в ноль скорости вторичной реакции

является слишком строгим.

Авторы приносят благодарность Л. В. Дубнову за содействие в проведении работы.

ИФЗ АН СССР

Поступила в редакцию  
9/1 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Беляев. — В сб.: Вопросы теории ВВ. Вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1947.
2. А. Н. Дремин, К. К. Шведов, В. А. Веретенников. — В сб.: Взрывное дело, № 52/9. М., 1963.
3. А. Н. Дремин, Л. В. Дубнов и др. ФТПРПИ, 1971, 1.
4. А. Н. Дремин и др. ФТПРПИ, 1971, 4.
5. Л. В. Дубнов, Э. В. Постниченко. — В сб.: Взрывное дело, № 52/9. М., 1963.
6. П. Ф. Похил, В. М. Мальцев, В. М. Зайцев. Методы исследования процессов горения и детонации. М., «Наука», 1969.
7. Л. И. Альбов, В. А. Васильев. Труды МФТИ, серия «Аэромеханика. Процессы управления». М., 1974.
8. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.

УДК 534.222.2:662.398

### О КРИТИЧЕСКИХ ДИАМЕТРАХ ДЕТОНАЦИИ ВВ С ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ

Г. В. Димза

Исследовались критические диаметры детонации взрывчатых композиций на основе гексогена, октогена и тротила с разным содержанием в них твердых инертных наполнителей и воздуха. Оценивалось влияние на развитие детонации плотности и пористости зарядов. Последнее связывалось с возможностью поджигания частиц ВВ газообразными продуктами реакции [1] в процессе распространения детонации по заряду. Ранее [2] отмечалось воздействие горячих газов при возбуждении детонации передачей через воздушный промежуток. Было показано, что нанесение слоя флегматизатора на зерна ВВ или помещение слоя воды на торец пассивного заряда приводит к существенному уменьшению расстояния передачи детонации. Можно было предположить, что механизм возбуждения детонации, в известной мере аналогичный предложенному А. Я. Апиным механизму взрывного горения [1], может наблюдаться и у исследуемых в настоящей работе взрывчатых систем.

Для изучения критических диаметров детонации применялись порошки взрывчатых веществ со средним размером частиц около 0,1 мм.

Содержание ВВ в единице объема заряда во всех случаях сохранялось постоянным и составляло  $1 \text{ г/см}^3$ . Инертный наполнитель вводился в свободное пространство, его количество варьировалось от нескольких процентов до почти полного заполнения свободного объема в заряде. В соответствии с изменением количества наполнителя менялись плотность и пористость исследуемых систем. Это позволило при постоянном содержании ВВ в единице объема получать заряды различной структуры от насыпных порошков до предельно плотных систем.

В качестве инертных наполнителей были выбраны парафин, тальк, алюминиевая пудра и мелкодисперсный (размер частиц  $\sim 1 \text{ мкм}$ ) порошок полиметилметакрилата.

Предполагалось, что парафин, нанесенный на зерна ВВ из бензинового раствора, с последующим удалением растворителя, покрывает всю их поверхность и будет препятствовать поджиганию зерен горячими газами. Хорошо прессующийся тальк позволяет получить системы различной плотности, пористости и газопроницаемости, но не обеспечивает полного покрытия поверхности зерен ВВ. При одинаковом объемном содержании инертной добавки заряды ВВ с полиметилметакрилатом, в силу малого размера частиц последнего, должны обладать значительно меньшей газовой проницаемостью, хотя, как и тальк, полиметилметакрилат не обеспечит бронирования поверхности частиц ВВ. Кроме того, плотность талька в  $\sim 2,5$  раза выше, чем у парафина и полиметилметакрилата и, следовательно, при одинаковом объеме вводимой добавки плотности зарядов должны заметно различаться. Набор свойств добавок позволял в более чистом виде следить за влиянием таких факторов, как плотность, пористость и газопроницаемость на критические диаметры и критические скорости детонации исследуемых смесей.

Заряды из приготовленных смесей патронировались в целлофановые оболочки и имели длину не менее десяти диаметров. Детонацию в зарядах и ее скорость записывали прибором СФР-2М.

Характеристики зарядов и полученные результаты приведены в таблице. На рис. 1, а показано, как меняются критические диаметры детонации тротила (кривая 1), октогена, (2), гексогена (3) в зависимости от содержания в смесях парафина (по оси абсцисс вместо содержания инертной добавки отложена пористость исследуемых зарядов). На рис. 1, б аналогичные зависимости даны для ВВ с порошкообразными добавками; кривая 1 — критические диаметры тротила с полиметилметакрилатом, 2 — тротила с тальком, 3 — гексогена с тальком. Точки, отмеченные значком +, соответствуют смесям тротила с алюминием — дополнительно исследованной системе, причем плотность алюминия равна плотности талька и частицы близки по размерам. Эти точки практически полностью лежат на кривой тротила с тальком. Из-за плохой прессуемости смесей октогена с тальком для него не удалось снять всю зависимость, а только отдельные точки, которые лежат вблизи кривой для гексогена с тальком (см. таблицу). Значения критических диаметров при пористости меньше 20% для гексогена с тальком определить не удалось. Однако было найдено, что они меньше 3,3 мм, поскольку по зарядам этого диаметра детонация проходила (точки на рис. 1, б, отмеченные значком X).

Как следует из приведенных на рис. 1 данных, характер изменения  $d_{кр}$  с ростом содержания инертной добавки меняется в зависимости от

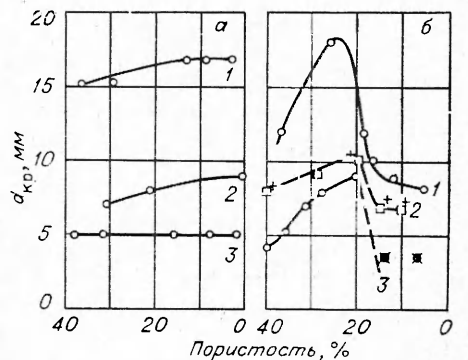


Рис. 1.

Зависимости  $d_{кр}$  и  $D_{кр}$  от содержания инертной добавки в смесях с ВВ

| Состав смеси, %           |                  | Плотность заряда, г/см <sup>3</sup> | Пористость заряда, % | $d_{кр}$ , мм      |                    | $D_{кр}$ , м/с | Состав смеси, %                     |                  | Плотность заряда, г/см <sup>3</sup> | Пористость заряда, % | $d_{кр}$ , мм      |                    | $D_{кр}$ , м/с |
|---------------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| ВВ                        | инертная добавка |                                     |                      | детонация проходит | детонация затухает |                | ВВ                                  | инертная добавка |                                     |                      | детонация проходит | детонация затухает |                |
|                           |                  |                                     |                      |                    |                    |                |                                     |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| <i>Гексоген — тальк</i>   |                  |                                     |                      |                    |                    |                |                                     |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| 90                        | 10               | 1,10                                | 40,4                 | 4,0                | 3,0                | 5050           | 90                                  | 10               | 1,1                                 | 40,0                 | 8,0                | 7,0                | 4100           |
| 80                        | 20               | 1,25                                | 35,2                 | 5,0                | 4,0                | 5100           | 75                                  | 25               | 1,33                                | 28,0                 | 9,0                | 8,0                | 4100           |
| 75                        | 25               | 1,33                                | 32,2                 | 7,0                | 6,0                | 5100           | 70                                  | 30               | 1,43                                | 24,0                 | 9,0                | 8,0                | 4000           |
| 70                        | 30               | 1,43                                | 28,6                 | 8,0                | 7,0                | 5070           | 65                                  | 35               | 1,54                                | 20,0                 | 10,0               | 9,0                | 4450           |
| 60                        | 40               | 1,66                                | 20,0                 | 9,0                | 8,0                | 5900           | 60                                  | 40               | 1,66                                | 15,0                 | 7,0                | 6,0                | 4550           |
| 55                        | 45               | 1,80                                | 14,5                 | 3,3                | —                  | —              | 5                                   | 45               | 1,80                                | 10,0                 | 7,0                | 6,0                | 4970           |
| 50                        | 50               | 2,0                                 | 7,5                  | 3,3                | —                  | —              | <i>Тротил — алюминий (АПП-3)</i>    |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| <i>Гексоген — парафин</i> |                  |                                     |                      |                    |                    |                | 90                                  | 10               | 1,1                                 | 40,0                 | 8,0                | 7,0                | 4100           |
| 95                        | 5                | 1,05                                | 38,7                 | 5,0                | 4,0                | 5250           | 65                                  | 35               | 1,54                                | 20,0                 | 10,0               | 9,0                | 4600           |
| 90                        | 10               | 1,10                                | 32,3                 | 5,0                | 4,0                | 5250           | 60                                  | 40               | 1,66                                | 15,0                 | 7,0                | 6,0                | —              |
| 80                        | 20               | 1,25                                | 16,7                 | 5,0                | 3,8                | 6200           | 55                                  | 45               | 1,80                                | 10,0                 | 7,0                | 6,0                | 5390           |
| 76                        | 24               | 1,32                                | 9,4                  | 5,0                | 3,8                | 6730           | <i>Тротил — полиметилметакрилат</i> |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| 72                        | 28               | 1,39                                | 1,2                  | 5,0                | 3,8                | 7300           | 95                                  | 5                | 1,05                                | 36,0                 | 12,0               | 10,0               | 4070           |
| <i>Октоген — тальк</i>    |                  |                                     |                      |                    |                    |                | 85                                  | 15               | 1,16                                | 26,0                 | 18,0               | 15,0               | 4880           |
| 70                        | 30               | 1,43                                | 31,1                 | 8,0                | 7,0                | 5090           | 80                                  | 20               | 1,25                                | 19,0                 | 12,0               | 10,0               | 4800           |
| 58                        | 42               | 1,72                                | 20,0                 | 7,0                | 6,0                | 6170           | 78                                  | 22               | 1,28                                | 17,0                 | 10,0               | 9,0                | —              |
| 50                        | 50               | 2,05                                | 3,8                  | 3,8                | —                  | 6300           | 75                                  | 25               | 1,33                                | 12,0                 | 9,0                | 8,0                | 4880           |
| <i>Октоген — парафин</i>  |                  |                                     |                      |                    |                    |                | 70                                  | 30               | 1,43                                | 3,4                  | 8,0                | 7,0                | 5800           |
| 90                        | 10               | 1,10                                | 36,0                 | 7,0                | 6,0                | 5200           | Примечание. Размер зерна ВВ 0,1 мм. |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| 78                        | 22               | 1,28                                | 21,0                 | 8,0                | 7,0                | 5850           |                                     |                  |                                     |                      |                    |                    |                |
| 70                        | 30               | 1,42                                | 0                    | 9,0                | 8,0                | 6800           |                                     |                  |                                     |                      |                    |                    |                |

того, вводится ли инертная добавка в виде порошка или является флегматизатором, бронирующим зерна ВВ (парафин). В отличие от смесей с парафином, где имеет место слабая (плавная) зависимость критических диаметров детонации от содержания инертного наполнителя, в случае порошкообразных добавок она приобретает сложный характер. Возрастание  $d_{кр}$  с увеличением содержания порошкообразной добавки до некоторого максимального значения, по-видимому, связано с участием в поджигании зерен ВВ газообразных продуктов реакции. Поскольку рост содержания инертной добавки и, как следствие, уменьшение проницаемости ухудшает условия проникновения горячих продуктов реакции к частицам ВВ, то изменение структуры заряда приводит к увеличению времени превращения ВВ и возрастанию критического диаметра детонации. Сказанное выше объясняет заметно большие величины критических диаметров детонации смесей тротила с полиметилметакрилатом (см. рис. 1, б кривая 1), по сравнению со смесями тротила с тальком и алюминием (кривая 2), поскольку размер частиц полиметилметакрилата значительно меньше чем талька и, следовательно, газопроницаемость смеси ниже.

Резкое уменьшение критического диаметра зарядов с увеличением содержания инертной добавки в районе 20%-ной пористости, имеющее место в случае всех порошкообразных добавок и для всех исследованных ВВ, по-видимому, означает смену механизма поджигания зерен. Логично предположить, что плавность и слабое изменение критических диаметров детонации с увеличением содержания парафина (см. рис. 1, а) указывают на то, что механизм развития реакции во всем интервале плотностей зарядов остается неизменным.

С увеличением степени заполнения свободного пространства в заряде инертным наполнителем меняются и критические скорости детонации систем. На рис. 2 изображены зависимости предельных  $D_n$  (кривая 1) и критических  $D_{кр}$  (кривая 2) скоростей детонации для смесей гексогена с тальком. Видно, что при низких содержаниях талька (пористость смесей более 20%) скорости детонации лежат на постоянном уровне и разница между  $D_{кр}$  и  $D_n$  составляет 900—1000 м/с. Постоянный уровень значений  $D_{кр}$  (рис. 2, 2) совпадает с участком возрастания  $d_{кр}$  детонации (см. рис. 1, б). Следует обратить внимание на точку, которая находится на верхнем конце кривой 2 (рис. 2) и соответствует 20%-ной пористости, где  $D_{кр}$  смеси (гексоген/тальк 60/40) почти достигает уровня ее предельного значения. По-видимому, в этой точке происходит смена механизмов возбуждения детонации. При дальнейшем увеличении содержания инертной добавки критические диаметры детонации резко снижаются. Отметим, что факт возрастания  $D_{кр}$ , когда пористость ВВ с инертными добавками достигала  $\sim 20\%$ , наблюдался ранее [3] и объяснялся тем, что в определенных условиях к горению зерна с поверхности добавляется еще и реакция разложения в очагах (микропоры и другие неоднородности в заводских зернах ВВ). Можно сделать предположение, что в указанной точке давление в детонационной волне в критических условиях достигает того значения, когда оно может вызвать реакцию в очагах внутри зерна и соответственно смену характера возбуждения реакции — поджигание горячими газами уступает ведущее место действию давления и сжатия вещества в детонационной волне.

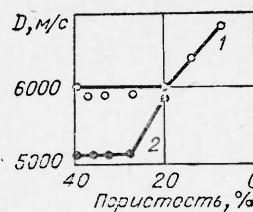


Рис. 2.

ИХФ АН СССР

Поступила в редакцию  
11/II 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Апин. Докл. АН СССР, 1939, 24, 992; 1945, 50, 285.
2. А. Я. Апин, А. Н. Афанасенков, Г. В. Димза. — В сб.: Взрывное дело, № 75/32, М., «Недра», 1975.
3. Г. В. Димза. ФГВ, 1972, 8, 2.

УДК 662.3

### ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕРХЛОРАТНЫХ ВВ

Л. Н. Акимова, Л. Н. Стесик

Большинство неорганических окислителей — слабые взрывчатые вещества (ВВ) с малым тепловыделением. К таким окислителям относятся, например, нитрат и перхлорат аммония (НА, ПХА). Энергия смесей этих окислителей с горючей добавкой (невзрывчатой) превышает энергию нитрата и перхлората аммония в 3—4 раза. Это означает, что почти вся энергия в этих смесях выделяется за счет взаимодействия продуктов разложения окислителя с горючим. Это обстоятельство делает подобные смеси удобным объектом исследования. Хотя реакции взаимодействия более существенны при больших диаметрах заряда, не вызывает сомнения тот факт, что эти реакции осуществляются и