

**ПРОТЕКАНИЕ РЕАКЦИИ В ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ СМЕСЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

*А. Я. Апин, И. М. Воскобойников, Г. С. Соснова*

(Москва)

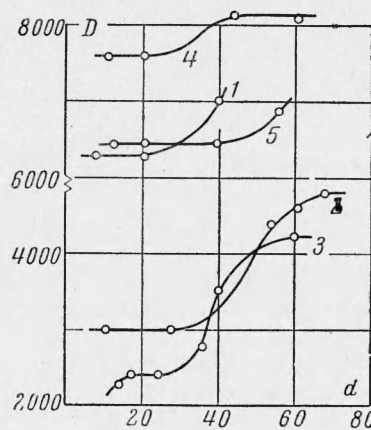
Развитие теории взрывчатых веществ (ВВ) требует знания кинетики реакций во фронте детонационной волны. Сложность изучения этого вопроса заключается в отсутствии прямых методов регистрации состава продуктов взрыва в волне и невозможности экстраполировать в область столь высоких температур  $T$  и давлений  $p$  данные о термическом разложении ВВ при низких  $T$  и  $p$ .

Некоторые сведения о протекании реакций в условиях детонационной волны можно получить, исследуя зависимость скорости детонации  $D$ , м / сек, от диаметра заряда  $d$ , мм, смесевых ВВ, содержащих взрывчатые составляющие различной реакционной способности. Вследствие разных времен реакции разложения этих составляющих рост скорости детонации при увеличении диаметра заряда будет происходить не непрерывно, а с фиксацией некоторых значений, соответствующих завершению промежуточных стадий реакции. Аналогичные зависимости  $D(d)$  могут иметь место и для смесей типа окислитель — горючее, если дореагирование после разложения взрывчатых составляющих потребует для своего завершения значительного промежутка времени из-за затрудненности диффузий при давлениях детонации конденсированных ВВ. Ниже приводятся экспериментальные данные о скоростях детонации различных смесевых ВВ, во фронте волны которых обнаружена стадийность протекания реакции.

Первоначально исследовались смеси, состоящие из взрывчатого окислителя и невзрывчатого горючего; о степени прохождения дореагирования можно было судить по увеличению скорости детонации. На фиг. 1 представлены зависимости  $D = D(d)$  для суспензии ламповой сажи с размером частиц около микрона в тетранитрометане 10 / 90 (кривая 1); механических смесей перхлората аммония с парафином 90 / 10, размер зерна 0.01 мм,  $\rho_0 = 1.0 \text{ г / см}^3$  (кривая 2) и тротила с коллоидальным бором 90/10,  $\rho_0 = 0.65 \text{ г / см}^3$  (кривая 3). Общим для указанных смесей является постоянство в некотором интервале диаметров зарядов идеальной скорости детонации («псевдоидеальная» скорость), величина которой соответствует энергии разложения окислителя.

Увеличение скорости детонации смеси тротила с коллоидальным бором при диаметрах заряда больших 40 мм указывает на то, что металлы (в частности, бор) могут сгорать в детонационной волне конденсированных ВВ с выделением дополнительного количества тепла, ведущему к росту скорости детонации, — факт, который часто ставится под сомнение при рассмотрении мощных металлизированных ВВ. Скорости детонации измерялись ионизационным и оптическим методами, ошибка в обоих случаях не превышала 50 м / сек.

На фиг. 1 помещены также кривые  $D = D(d)$  для смеси гексогена с аммонийной селитрой 58 / 42, размер зерна 0.1 мм (кривая 4) и взвеси крупнокристаллического гексогена с размером частиц 1.0 ÷ 1.6 мм в желатинированном 2% плексигласа тет-

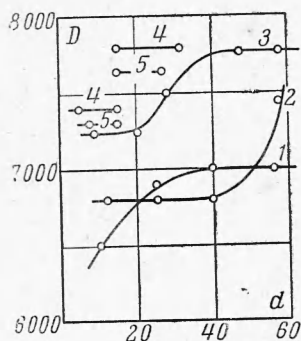


Фиг. 1

Таблица 1  
Псевдоидеальные скорости детонации  $D_2$  смесевых ВВ, соответствующие разложению только одной компоненты

Взрывчатые вещества	$\rho_0$	$D_2$	$D_i$
58% $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3 + 42\% \text{NH}_4\text{NO}_3$	1.73	7600	8100
58% $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3 + 42\% \text{NaCl}$	1.89	—	7500
70% $\text{C}(\text{NO}_2)_4 + 30\% (\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3$	—	6400	7500
70% $\text{C}(\text{NO}_2)_4 + 30\% \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	—	—	6200
90% $\text{NH}_4\text{ClO}_4 + 10\%$ парафина	1.00	3000	4800
$\text{NH}_4\text{ClO}_4$	1.00	—	2900
90% $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3 + 10\% \text{B}$	0.65	2400	4200
$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3$	0.65	—	3800

ранитрометане 30 / 70 (кривая 5). Величины псевдоидеальных скоростей соответствуют энергиям разложения гексогена и тетранитрометана во фронте волны. В последнем легко убедиться, измеряя скорости детонации в смесях, где не успевающая разложиться в волне составляющая (аммонийная селитра и крупнокристаллический гексоген) заменена на инертное вещество. Из приведенных в табл. 1 значений видно, что скорости детонации смеси гексогена с поваренной солью и взвеси гипосульфита в тетранитрометане мало отличаются от соответствующих псевдоидеальных скоростей детонации. В табл. 1 помещены также значения идеальных скоростей детонации  $D_i$  изучавшихся смесей.



Фиг. 2

Псевдоидеальные скорости детонации удается наблюдать и для смесей, взрывчатые составляющие которых разлагаются в волне за близкие времена. На фиг. 2 в качестве примера представлены кривые  $D(d)$  для взвесей гексогена с размером частиц 0.3—0.4 мм 30/70 и тротила 20/80 в тетранитрометане (кривые 1 и 2), а также для раствора динитроэтана в тетранитрометане 76/24 (кривая 3). Анализ величин псевдоидеальных скоростей в этом случае может быть проведен при помощи расчета параметров детонационной волны [1]. Предполагается, что реакция в волне протекает следующим образом: сначала взрывчатые компоненты полностью разлагаются в собственном объеме, а затем, по прошествии некоторого промежутка времени, начинается эффективная реакция дореагирования между продуктами их разложения. Совпадение результатов расчета скоростей детонации  $D_3$ , соответствующих завершению первой стадии реакции, с экспериментальными значениями псевдоидеальных скоростей детонации  $D_2$  для ряда взрывчатых смесей, служит хорошим подтверждением такой схемы протекания реакции.

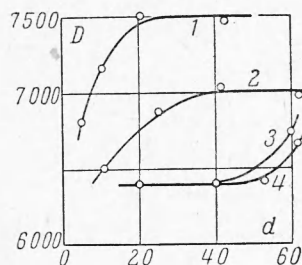
Таблица 2

Псевдоидеальные скорости детонации смесевых ВВ, соответствующие разложению двух составляющих

Взрывчатые вещества	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$D_2$ , м/сек	$D_3$ , м/сек	$D_i$ , м/сек
80% С (NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> + 20% CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	1.64	6800	6800	7600
70% С (NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> + 30% (CH <sub>2</sub> NNO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	1.70	7000	7000	7500
76% CH <sub>2</sub> CH(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> + 24% С (NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	1.42	7250	7000	7800
50% С (CH <sub>2</sub> ONO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> + 50% CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	1.65	7450	7550	7450

При исследовании жидких взрывчатых растворов авторы обнаружили сильную зависимость скорости детонации от диаметра заряда, хотя она практически полностью отсутствует для индивидуальных жидких и монокристаллических ВВ. Иногда эта зависимость имеет весьма своеобразный вид: например, у растворов тетранитрометана с нитробензолом 76 / 24 и керосином 88 / 12 (кривые 4 и 5, фиг. 2) существует в некотором диаметре заряда, зависящем от толщины и материала оболочки, с равной вероятностью для значения скорости детонации, отличающиеся на 400 м/сек. Причем температуры детонационных фронтов, измеренные электронно-оптическим методом, разнятся на 500° К.

Основной причиной наблюдаемого явления псевдоидеальной скорости детонации является стадийное протекание реакции во фронте детонационной волны смесевых ВВ, обусловленное кинетикой разложения взрывчатых составляющих. На скорость выделения энергии в волне влияет целый ряд факторов (реакционная способность компонент и теплота их взрывной реакции, дисперсность и процентный состав смеси), действие каждого из которых для конкретной взрывчатой смеси часто трудно выявить. Однако уменьшение дисперсности компонент в смеси всегда увеличивает вероятность наблюдения псевдоидеальной скорости детонации, так как увеличивает временную разницу между разложением компонент и последующим дореагированием. Так, если у взвеси мелкокристаллического гексогена с размером частиц около 0.1 мм в желатинированном тетранитрометане (кривая 1, фиг. 3) нарастание скорости детонации при увеличении диаметра заряда происходит непрерывно, то при размере частиц 0.3—0.4 мм (кривая 2) в диаметрах зарядов 20—50 мм удается фиксировать задержку дореагиро-



Фиг. 3

вания между продуктами разложения тетранитрометана и гексогена. Увеличение размера частиц до 1.0—1.6 мм и 3—4 мм ведет к тому, что в малых диаметрах зарядов крупнометаллический гексоген не успевает разлагаться в волне (кривые 3 и 4).

Рассмотрение кривых  $D(d)$  для взвесей гексогена в тетранитрометане (фиг. 3) позволяет обнаружить, что при увеличении размера частиц больше некоторой величины (1.0—1.6 мм) диаметр заряда  $d_1$ , в котором разлагается гексоген, перестает зависеть от его дисперсности. Величина  $d_1$  характеризует время задержки разложения гексогена в объеме (для поверхностной реакции она была бы функцией размера частиц) и уменьшается при увеличении давления в детонационной волне.

Помещая зерна крупнокристаллического гексогена размером 1.0—1.6 мм в жидкие ВВ, давление в детонационной волне которых меняется от 180 до 220 тыс. атм, можно было проследить уменьшение диаметра  $d_1$  с ростом давления (фиг. 4). Если считать, что реакция протекает эффективно до тех пор, пока давление не уменьшается на фиксированную долю, то времена задержки реакции будут в первом приближении пропорциональны диаметрам зарядов  $d_1$  и при давлениях 180, 190 и 205 тыс. атм относиться как числа 8 : 3 : 2.

Кривые 2 и 3 соответствуют одному и тому же давлению  $p = 190$  тыс. атм, но разным температурам продуктов взрыва жидких ВВ: кривая 2 —  $T = 3200^\circ \text{K}$ , кривая 3 —  $T = 4200^\circ \text{K}$ , отличающимся на  $1000^\circ \text{K}$ . Зерна гексогена разлагались в равных диаметрах зарядов. Кривая 1 соответствует давлению  $p = 205$  тыс. атм, а кривая 4 —  $p = 180$  тыс. атм. Жидкие ВВ имели малые критические диаметры и для них предполагалось сравнительно малое время реакции разложения в детонационной волне.

Проведенное рассмотрение кривых  $D(d)$  для взвеси гексогена в жидких ВВ указывает на возможность использования явления псевдоидеальной скорости детонации для оценки времен разложения взрывчатых компонент в волне

Идеальные скорости детонации соответствуют составу продуктов взрыва, который зависит только от содержания С — Н — N — O и температур и давлений детонации; все параметры идеальной детонационной волны смесового ВВ могут быть рассчитаны точно так же, как это делалось для индивидуальных ВВ [1]. Следует только учитывать особенности протекания реакции в детонационной волне смесового ВВ, связанные с тем, что сначала взрывчатые компоненты разлагаются в собственном объеме, а затем происходит дореагирование в продуктах взрыва. В том случае, когда состав продуктов взрыва на первой стадии энергетически более выгоден, чем после дореагирования, первая стадия реакции ответственна за идеальную скорость детонации (это относится к смесям типа пентолита, табл. 2).

Поступила 25 V 1963

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Апин А. Я., Воскобойников И. М. Расчет параметров детонационной волны конденсированных ВВ. ПМТФ, 1960, № 4.

### ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА НАРУШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ПОРИСТЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

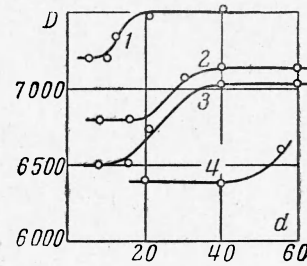
А. Ф. Беляев, А. И. Коротков, А. А. Сулимов

(Москва)

Было отмечено [1], что проникание горения в глубь пористого взрывчатого вещества (ВВ), вызывая резкое увеличение поверхности горения и скорости газообразования, может привести к взрыву.

К. К. Андреев [2] показал, что возникновение взрыва при горении пористых ВВ происходит при достижении в процессе горения достаточно высокого давления.

Ниже приводятся некоторые количественные данные о давлениях, при которых нарушается устойчивое горение запрессованных зарядов гексогена, тэна и тротила (с частицами исходных порошков близкого размера  $\sim 10 \div 20 \text{ мк}$ ). Заряды были различной пористости  $m = 1 - \rho / \rho_{\text{max}}$ , где  $\rho$  — плотность заряда и  $\rho_{\text{max}}$  — плотность монокристалла. Величина  $m$  дает долю объема, занятую порами.



Фиг. 4