

сложных веществ, для которых известны ударные адиабаты [1]. Это приведет к смещению оставшихся светлых точек на рис. 1 к расчетной кривой (2). В число  $n$  не включаются только атомы водорода и, например, для воды  $n=1$ , а для карбида вольфрама  $n=2$ , хотя по атомным весам W и C отличаются в такое же число раз, как O и H. Как показал анализ большого числа экспериментальных результатов [1], это правило выполняется во всех случаях.

Точка  $b$  на рис. 1 для NaCl находится левее расчетной кривой. Если следовать предложенному правилу нахождения числа  $n$ , то получаем, что каждый ион Na в кристалле достаточно прочно связан более чем с одним ионом противоположного знака и эффективное значение  $n > 2$ . Возможно, такое отклонение вызвано фазовыми превращениями в NaCl, которые видны из сравнения экспериментальных и расчетных данных на рис. 2.

На рис. 2 показаны результаты экспериментов и расчетов ударных адиабат по формулам (1), (2) для рассмотренных на рис. 1, 1, 2, 4, 5, 7—10, веществ. Поскольку ударные адиабаты различных веществ близки, то на рис. 2 они для наглядности смещены по вертикальной оси. Видно, что обобщенная адиабата (1) хорошо описывает экспериментальные данные. Как показала проверка, соотношения (1), (2) можно применять и для расчета ударных адиабат смесей, у которых размеры частиц компонентов меньше ширины фронта ударной волны. На рис. 2 приведен характерный пример: буквой  $A$  обозначены расчетные и экспериментальные [1] данные для сплава 55% W+45% Cu.

Автор признателен В. М. Титову за внимание к работе.

Поступила в редакцию  
18/II 1980

#### ЛИТЕРАТУРА

1. M. van Thiel, J. Shaner et al. UCRL — 50108, Compendium of shock wave data, Lawrence Livermore Lab., Univ. of California, Livermore, California, 1977.
2. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1969, 4.
3. В. М. Шунин, В. В. Якушев, А. Н. Дремин.— В сб.: Детонация. Черноголовка, ОИХФ АН СССР, 1978.
4. В. Ф. Анисичкин. ФГВ, 1979, 15, 2.

#### ВОЗБУЖДЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ ПОРОШКОВЫХ ВВ ВЗРЫВОМ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

*В. В. Андреев, Л. А. Лукьянчиков,  
В. В. Митрофанов, В. С. Тесленко  
(Новосибирск)*

Известны работы [1, 2] по возбуждению детонации жидких ВВ (смесь тетрапирометана с бензолом, нитроглицерин) взрывом стехиометрических смесей водорода и метана с кислородом, где рассмотрено нормальное падение инициирующей волны на границу раздела газ — жидкое ВВ. Показано, что начиная с давления в газе 0,7 бар, в жидком ВВ возбуждается горение, переходящее в детонацию [2]. Увеличение начального давления в смеси приводило к уменьшению времени преддетонационного развития процесса в жидком ВВ, и для давления выше 12 бар задержка возникновения детонации была в пределах временного разрешения фоторегистратора (скорость развертки — 100 м/с). Оценкой термического разогрева авторы [2] показали, что волна газовой детонации прогревает слой жидкого ВВ вплоть до образования вспышки, приводящей к возбуждению детонации по классической схеме перехода [3].

Реализация подобного процесса во вторичных твердых конденсированных ВВ согласно [3] требует наличия оболочки заряда, которая выдерживала бы давление  $\geq 10$  кбар, гарантирующее инициирование детонации волной сжатия. Однако наряду с переходом горения конденсированных ВВ в детонацию в оболочках высокой прочности, в порошковых вторичных ВВ возможен режим ускоренного перехода горения в детонацию в зарядах с оболочкой значительно меньшей прочности, выдерживающей статическое давление порядка 0,1 кбар [4]. Механизм возникновения и развития ускоренного перехода в соответствии [4, 5] заключается в возбуждении в неуплотненном порошковом ВВ ( $\rho_0 \sim 1$  г/см<sup>3</sup>) конвективного горения со скоростью

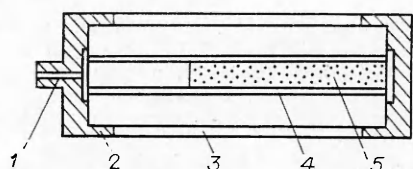


Рис. 1.

вторичных ВВ. Можно ожидать, что газовая детонация при начальном давлении в несколько бар будет инициировать ускоренный переход горения в детонацию в заряде вторичного порошкового ВВ.

Экспериментальная проверка этого предположения проводилась для зарядов порошкового тэна и гексогена насыщенной плотности, инициируемых взрывом стехиометрических смесей водорода и ацетилена с кислородом. Детонация инициировалась в устройстве, изображенном на рис 1. Заряд ВВ 5 в стеклянной трубке 4 фиксировался в обойме 2, соединяемой с системой газоподвода 1. Герметизация устройства допускала вакуумирование заряда и напуск газовой смеси до  $p_0=6$  бар. Газ подрывался высоковольтным синхроимпульсом камеры СФР, на фоторазвертке которой (через щель 3 вдоль боковой поверхности заряда) проводилась регистрация свечения возбуждаемого процесса.

В первых опытах использовались заряды полидисперсного тэна ( $\rho_0 \approx 0,9$  г/см<sup>3</sup>, средний размер частиц ВВ  $\Delta \approx 0,3$  мм) в трубках диаметром 3,9—6 мм со стенкой толщиной около 1 мм. Иницирование осуществлялось взрывом стехиометрической смеси ацетилена с кислородом, выбор которой обусловлен высокими значениями температуры, давления и скорости продуктов детонации, а также небольшим размером зоны перехода в детонацию при воспламенении [8].

Фоторазвертка свечения, регистрируемого в этих опытах, приведена на рис. 2. Видно, что выше границы раздела газ—ВВ 1 фиксируются два фронта свечения в заряде ВВ: граница зоны 2—слабого стационарного свечения—движется со скоростью, приблизительно в 1,5 раза меньшей скорости детонации газа в свободном объеме; зона 3—затухающее свечение с начальной скоростью около 1 км/с. Во всех опытах ампула с ВВ дробилась, а сохранившиеся частицы заряда представляли собой оплавленные, спекшиеся конгломераты. Изменение начального давления газовой смеси от 1 до 5 бар и диаметра заряда от 3,9 до 6 мм существенных изменений в наблюдаемую картину явления не внесли.

Опыты с инертным порошком одинаковой с ВВ пористости (рис. 3) показали, что первому фронту соответствует детонация газовой смеси, распространяющаяся в порах ВВ, как в инертной среде. Ампула с инертным порошком после взрыва не разрушилась, а ее содержимое представляло собой спекшийся каркас с сообщающимися полостями. Второму фронту свечения на рис. 2 соответствует затухающая детонация с малой скоростью ВВ.

С уменьшением размера зерна ВВ при сохранении той же начальной плотности протекание процесса качественно изменяется. Начиная с некоторого характерного размера поры, меньшего среднего размера структурной ячейки фронта газовой детонации в свободном объеме, ударно-волновое инициирование газовой взрывчатой смеси в пористой среде сменяется конвективным. Одновременно скорость процесса резко падает до значений, меньших 1 км/с. При этом в заряде малоплотного ВВ реализуется процесс ускоренного перехода горения в детонацию. Развертка такого процесса в заряде тэна со средним размером частиц  $\Delta=50$  мкм при  $\rho_0=1$  г/см<sup>3</sup>, инициируемого детонацией ацетилена с кислородом при начальном давлении 3 бар, приведена на рис. 4.

Проведены также эксперименты по инициированию полидисперсного тэна ( $\rho_0=0,9$  г/см<sup>3</sup>,  $\Delta \approx 0,3$  мкм) детонацией кислородно-водородной смеси, размер детонационной ячейки в которой, при прочих равных условиях, значительно превышает

$\geq 500$  м/с. В работе [4] инициирование ускоренного перехода осуществлялось потоком продуктов горения исходного ВВ с давлением торможения  $\leq 0,1$  кбар.

Анализ количественных характеристик параметров детонации газовых смесей [6, 7] показывает, что течение, возникающее за фронтом детонации стехиометрических топливно-кислородных смесей, может быть использовано для инициирования порошковых

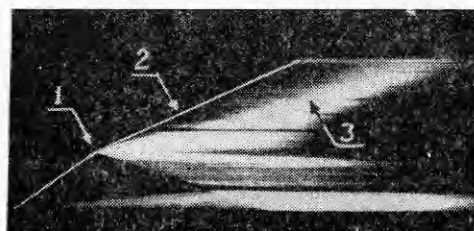


Рис. 2.

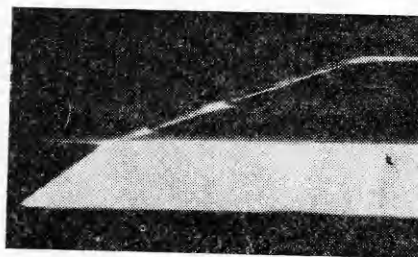


Рис. 3.

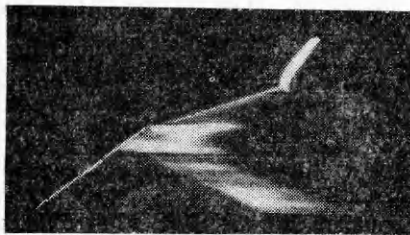


Рис. 4.

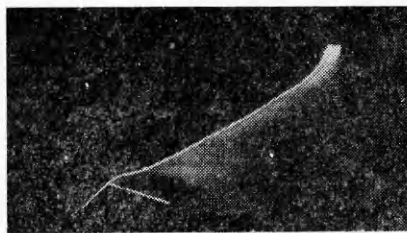


Рис. 5.

соответствующий размер для смеси ацетилен — кислород. Фоторазвертка процесса при начальном давлении в газе 2,5 бар приведена на рис. 5. Здесь также фиксируется только один фронт свечения в ВВ, соответствующий развивающемуся ускоренному переходу. Характерные размеры участка разгона соответствуют полученным в работах [4, 5] при других методах возбуждения.

Опыты с гексогеном дали аналогичные зависимости условий возбуждения ускоренного перехода от соотношения между размером зерен ВВ и величиной ячейки детонации газовой смеси. Из проведенных опытов следует, что необходимым условием ускоренного перехода горения в детонацию в порошковом ВВ при возбуждении реакции газовым взрывом является отсутствие в порах порошка газовой детонационной волны, опережающей фронт низкоскоростной детонации в самом ВВ.

Можно предполагать, что отрицательное влияние на этот процесс опережающей волны газовой детонации связано со следующими факторами. Во-первых, волна, распространяющаяся в порах при исследованных давлениях, не вносит достаточного количества тепла для быстрого развития реакции в ВВ непосредственно за ее фронтом (во всяком случае, вносимое количество тепла в несколько раз меньше того, которое переносится конвективным потоком продуктов горения самого ВВ во фронте низкоскоростного режима). Газовая детонация обеспечивает лишь разложение тонкого поверхностного слоя ВВ и самых мелких частиц; последующее горение ВВ либо развивается слишком медленно, либо может вообще не возникнуть (при достаточно низких  $p_0$ ).

Во-вторых, за фронтом опережающей газовой детонации порошковое ВВ оказывается флегматизированным для последующего развития режима ускоренного перехода по конвективному механизму из-за исчезновения мелких частиц и острых углов, прежде всего поддерживающих реакцию во фронте конвективной волны.

В-третьих, в случае развития медленного горения частиц ВВ за волной газовой детонации возникает поле нарастающих давлений с малыми градиентами, препятствующее развитию последующей конвективной переходной волны и вызывающее преждевременное разрушение оболочки заряда.

Поступила в редакцию  
4/II 1980

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон, Е. В. Рдултовская. Докл. АН СССР, 1939, 23.
2. В. Е. Гордеев, А. Н. Сербинков и др. НТНПГВ, 1965, 1, 2, 12.
3. А. Ф. Беляев, В. К. Боболев и др. Переход горения конденсированных систем во взрыв. М., Наука, 1973.
4. В. В. Андреев. — В сб.: Динамика сплошной среды. Вып. 29. Новосибирск, ИГД СО АН СССР, 1977.
5. В. В. Андреев, Л. А. Лукьянчиков. Международный симпозиум по высоким динамическим давлениям, Париж, 1978.
6. Ю. А. Николаев, М. Е. Топчян. ФГВ, 1977, 13, 3, 393.
7. В. И. Манжалей, В. В. Митрофанов, В. А. Субботин. ФГВ, 1974, 10, 1, 102.
8. Р. И. Солоухин. Ударные волны и детонация в газах. М., Физматгиз, 1963.