

ИНИЦИИРОВАНИЕ ПОРОШКОВОГО ГЕКСОГЕНА СЛАБОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

В. В. Андреев

(Новосибирск)

Исследование механизма инициирования детонации ударными волнами небольшой интенсивности (1—20 кбар) представляет значительный интерес для решения ряда вопросов теории детонации и практического использования взрывчатых веществ [1—6]. Наиболее чувствительны к ударному воздействию порошковые ВВ. Экспериментальное изучение инициирования порошковых тэна и гексогена проводилось в работах [1—4]. Для указанных ВВ определены минимальные амплитуды инициирующих волн и непрерывной фоторегистрацией свечения прослежен характер развития детонационного превращения. Однако, как отмечено в работе [5], существующей информации о возбуждении порошковых ВВ слабыми ударными волнами недостаточно для построения теоретической модели, в полной мере описывающей особенности развития явления. Ниже на примере гексогена рассмотрено инициирование порошкового ВВ слабой ударной волной.

Экспериментально исследовалось развитие детонации в зарядах порошкового гексогена ($\rho_0 \approx 0,82$ г/см³, $d=6$ мм), инициируемой ударной волной интенсивностью ≤ 10 кбар. Инициирующий импульс, генерируемый детонацией активного заряда 2 (рис. 1), ослаблялся инертной преградой 3 (блок оргстекла) толщиной 8 мм и передавался в пассивный заряд 4. Оболочки зарядов 2 и 4 выполнялись из стекла или оргстекла толщиной ~ 1 мм. Развитие явления изучалось по фоторазверткам свечения и данным одновременных измерений волновой и массовой скоростей электромагнитным методом [3, 7, 8]. В опытах использовались двухплечевые датчики 5 с длиной рабочих плеч 2 мм, а базовое расстояние между ними составляло 0,5—1 мм (ошибка в измерении массовой скорости не превышала 10%, точность регистрации волновой скорости определялась ускорением развивающегося процесса, не превышая в начальной стадии 10%, а в области резкого изменения скорости $\sim 60\%$). Выделение местоположения датчика непрозрачной меткой на оболочке заряда допускало сопоставление результатов фоторегистрации и электромагнитных измерений.

Пример развертки свечения исследуемого процесса приведен на рис. 2. В верхней части снимка — свечение детонации активного заряда, далее фиксируется преграда, границы которой подсвечены натекающим

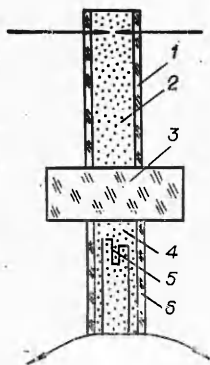


Рис. 1.

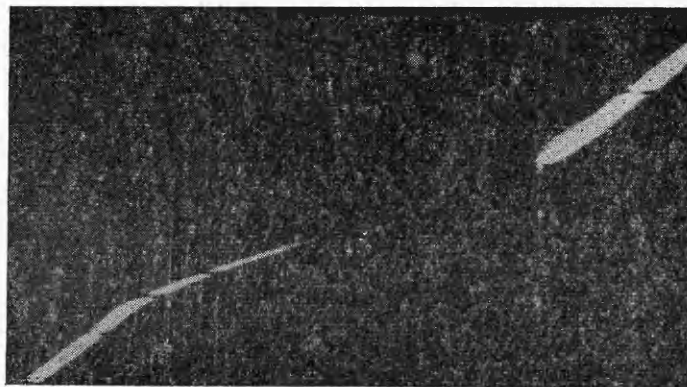


Рис. 2.

процессом, а за ней — свечение исследуемого явления. Скорость фронта свечения здесь вначале плавно увеличивается до 3 км/с, затем следует «скачок» до 6,5 км/с, область (6—7 мм) распространения с повышенной скоростью и выход на режим нормальной детонации исходного ВВ 5,4 км/с.

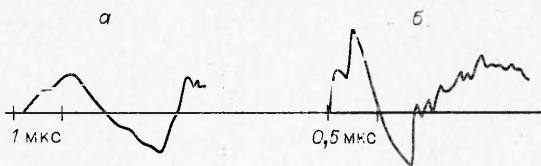


Рис. 3.

Следует отметить, что данные непрерывной регистрации свечения по боковой поверхности заряда встречают определенные затруднения в интерпретации, связанные с неоднородностью реакционного фронта [3]. Однако в рассматриваемых опытах протяженность области с повышенной скоростью составляла 6—7 мм, а зона возможных искажений, вносимых фиксацией фазовой скорости, установлена по торцевым разверткам, не превышала 2—3 мм. Другое подтверждение корректности получаемых результатов — соответствие скоростей распространения фронтов свечения и ионизации в зарядах принятой геометрии [8].

Примеры профилей массовой скорости, записанных в зоне развития детонации, даны на рис. 3, а, б (а — на расстоянии 3 мм от преграды, б — 10 мм). Профиль (рис. 3, а) с пологим передним фронтом свидетельствует о том, что вблизи границы раздела инициирующая волна представляет собой волну сжатия с амплитудой ~ 9 кбар. При продвижении по заряду интенсивность и крутизна волны возрастают (рис. 3, б), достигая перед «скачком» значений, соответствующих ударной волне с массовой скоростью за фронтом, близкой к массовой скорости нормальной детонации Чепмена — Жуге.

Кинематика развития ударной волны 1, фронта свечения 2 и массовой скорости 3 в соответствующих сечениях заряда прослежена на рис. 4. Скорость волны на преддетонационном участке выше скорости фронта свечения, и максимальное опережение (в момент возникновения «скачка») составляет $\sim 1,5$ мкс ($x-t$ -диаграммы фронтов см. рис. 5). Ускорение ударной волны на преддетонационном участке незначительно (от 2,5 до 3 км/с), а амплитуда ее возрастает более чем в два раза (с 9 до 22 кбар перед «скачком»). Оценка давления проводилась по значениям волновой и массовой скоростей, устанавливаемых в опыте. В зоне распространения свечения с повышенной скоростью величина волновой скорости вначале (на участке 4—5 мм) составляет $\sim 4,4$ км/с, а затем совпадает со скоростью фронта свечения, включая режим нормальной детонации.

Полученный результат позволяет предположить, что возникновение «скачка» скорости может быть связано с возникновением детонации в веществе, сжатом инициирующей волной до плотности $\sim 1,2$ г/см³, для которого скорость 6,5 км/с соответствует нормальной детонации, а характерный размер $l \sim \tau \bar{D}^*$ области уплотнения совпадает с протяженностью «скачка», наблюдаемого на фоторазвертке (здесь \bar{D}^* — среднее значение волновой скорости). Несоответствие в зоне «скачка» волновой и массовой скоростей можно связать с низкой точностью используемого метода при быстром изменении контролируемых параметров, что требует дальнейших, более детальных измерений. Результаты опытов показывают, что в отличие от непрерывного перехода при инициировании сильными ударными волнами [3] исследуемое возбуждение осуществляется «скачком», которому предшествует непрерывное нарастание давления. Установленное в опытах нарушение линейной связи волновой и массовой скоростей на стадии развития детонации, подобное наблюдавшемуся ранее в работе [4], по-видимому, связано с паковкой и начинающимся разложением вещества в очагах, инициируемых слабой волной,

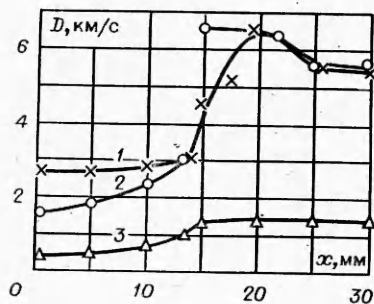


Рис. 4

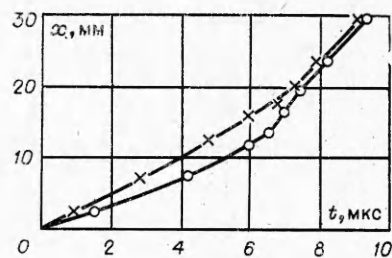


Рис. 5.

амплитуда и время нарастания давления в которой ~ 10 кбар и 0,5 мкс соответственно.

На основании изложенного в соответствии с гипотезами [1] и данными [3, 4, 7, 9] можно заключить, что инициирующая волна осуществляет дробление и уплотнение ВВ, возбуждая в нем первичные очаги реакции. Развитие реакции в очагах обуславливает усиление волны, дальнейший рост количества очагов и скорости разложения, приводя к сближению фронтов реакции и ударной волны. Достижение за фронтом волны массовым потоком скорости, близкой к массовой скорости для нормальной детонации, ведет к «скачкообразному» возникновению детонационного превращения.

В заключение автор считает своим долгом выразить глубокую признательность Л. А. Лукьянчикову и Ю. И. Фадеенко за постоянное внимание и полезные обсуждения.

Поступила в редакцию
10/VIII 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Соколов, Ю. Н. Аксенов.— В сб.: Взрывное дело, № 52/19. М., «Недра», 1963.
2. G. E. Seay, L. V. Seely. J. Appl. Phys., 1961, 32, 6.
3. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.
4. С. А. Колдунов, К. К. Шведов, А. Н. Дремин. ФГВ, 1973, 9, 2.
5. Т. Н. Фортова, К. Г. Шкадинский и др. ФГВ, 1977, 13, 1.
6. В. В. Митрофанов. ФГВ, 1975, 11, 1.
7. В. Г. Хотин, В. А. Пономарев, Т. А. Манина.— В сб.: Взрывное дело, № 75/32. М., «Недра», 1975.
8. В. В. Андреев.— В сб.: Механика взрывных процессов (Динамика сплошной среды). Т. XXIX. Новосибирск, 1977.
9. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М., «Наука», 1975.

ПОПРАВКА

В № 1 1978 г. на стр. 118 в табл. 1 следует читать:

ТЭН $A=2,249; B=3,410; \alpha=0,729$
Гексоген $B=3,589;$

На стр. 120 формулу (6) следует читать:

$$D=2,249+3,410 \rho_{00}$$