

О НИЗКОСКОРОСТНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ВЗРЫВА В ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВАХ

В. К. Бобосев, А. В. Дубовик (Москва)

В настоящее время выяснено [1], что если во взрывчатом веществе (ВВ) возникают очаги разогрева достаточно большого размера (10^{-3} — 10^{-5} см), то развитие реакции может привести сначала к горению, а затем к детонации с малой или большой скоростью. Температура очага разогрева, необходимая для инициирования взрыва, составляет приблизительно 500°C , а длительность разогрева колеблется от 10^{-4} до 10^{-6} сек.

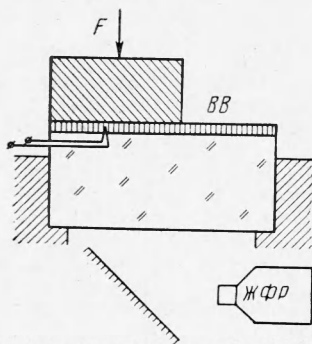
Ниже исследуется распространение взрыва в тонких слоях вторичных ВВ, плотно зажатых между твердыми поверхностями и инициированных раскаленной провололкой.

Прессованная таблетка вторичного ВВ толщиной ~ 1 мм и диаметром 50 и более мм сдвигалась на прессе между двумя цилиндрами, один из которых был металлический, другой — из плексигласа, причем через последний осуществлялось фотографирование процесса распространения взрыва на скоростном фоторегистре ЖФР. Наибольшие давления, которые можно осуществить на установке и которые выдерживал нижний плексигласовый цилиндр, не превышали 2000 кг/см^2 . Опыты проводились при давлении сжатия вещества 1200 — 1500 кг/см^2 . Схема установки представлена на фиг. 1.

Иницирование ВВ производилось путем введения в вещество тонкой (диаметром 0.15 мм) нихромовой проволочки, которая нагревалась до температуры около 1000°C импульсным током длительностью 10^{-5} сек от разряда конденсатора. Сложенный вдвое небольшой участок проволоки, точно касающийся ВВ, имитировал собой горячий очаг, от которого радиально распространялся взрыв. Обычно развитие взрыва начинается в виде сравнительно медленного горения (десятки м/сек), которое быстро ускоряется за счет повышения давления за зоной пламени в результате сильного увеличения объема продуктов разложения по сравнению с объемом исходного вещества. По мере распространения профиль плоского фронта пламени искривляется, что приводит к увеличению поверхности горения и возрастанию скорости процесса.

Ускоряющееся до нескольких сот м/сек пламя, действуя подобно ускоренно движущемуся поршню, создает перед собой предварительную волну сжатия, распространяющуюся приблизительно с акустической скоростью в исходном веществе.

Достигнув величины скорости несколько сот м/сек, процесс стабилизируется; ниже приводятся обычные режимы распространения взрыва в рассмотренных выше условиях опыта.

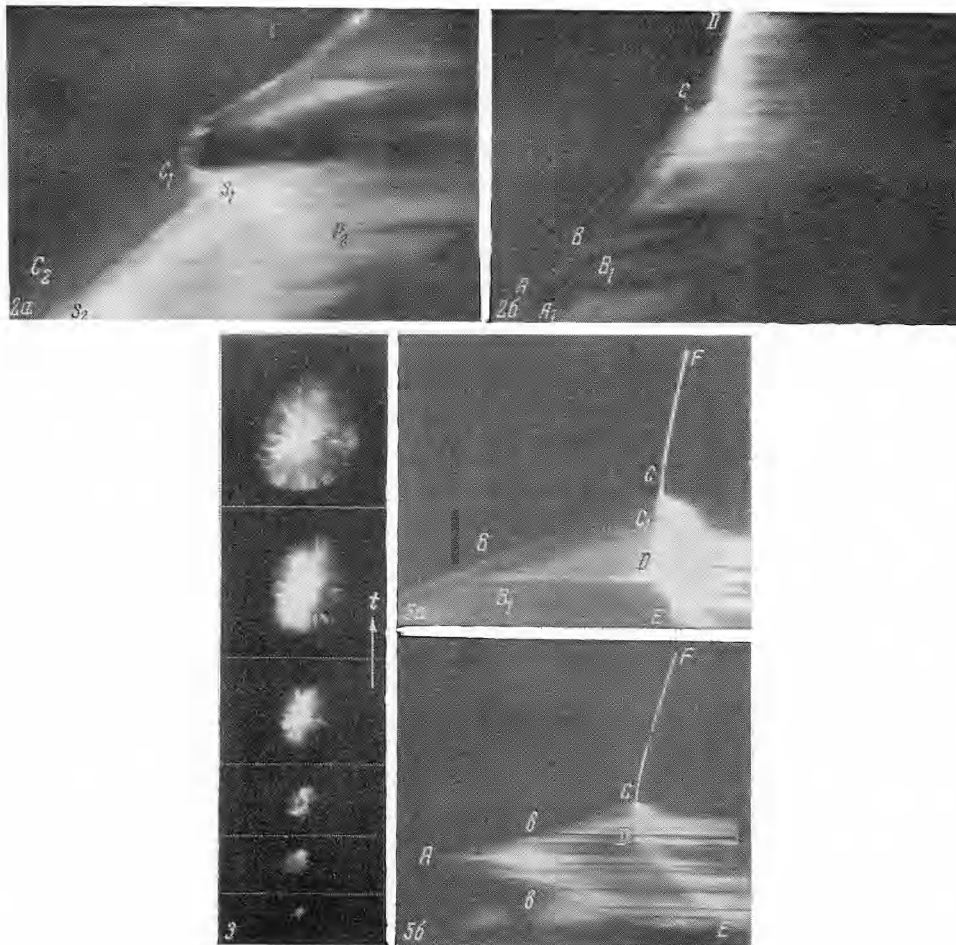


Фиг. 1

ВВ	$\rho, \text{ г/см}^3$	$D, \text{ м/сек}$
ТЭН	1.68	700—800
Гексоген	1.67	700
Дина	—	550
Тетрил	1.63	300

На фиг. 2а показана типичная фоторазвертка распространения взрыва в ТЭН'е, на которой видны характерные черты указанных режимов. Очень слабое свечение в зоне вещества C_2S_2 за волной сжатия C_1C_2 вызвано, по-видимому, рассеянием света от детонирующего заряда на многочисленных неоднородностях (нарушениях прочности, трещинах), образовавшихся в исходной сплошной таблетке ВВ при разрушении ее в предварительной волне C_1C_2 . Следующая за предварительной волной разрушения слабая низкоскоростная детонационная волна S_1S_2 легко возбуждается на указанных неоднородностях быструю химическую реакцию, которая далее протекает по механизму взрывного горения. Нередко в слабо светящейся зоне впереди фронта взрывного горения S_1S_2 можно наблюдать более яркие вспышки очагов распространяющейся реакции. В верхней части фигуры в точке C_1 виден вызванный предварительной волной сжатия взрыв небольшой таблетки азида свинца, которая была запрессована в исследуемое ВВ. Как видно из фотографии, за детонационной волной S_1S_2 , в ту же сторону (по траектории S_2P_2) следуют продукты взрыва (ПВ) исходного вещества со скоростями ~ 200 — 300 м/сек. Оценка давлений по формуле $p = \rho_0 D u$ дает величины порядка 3800 атм для ТЭН'а и 3000 атм — для гексогена. На фоторазвертке видно, что движение ПВ с течением времени замедляется, и, наконец, ПВ начинают двигаться в сторону, противоположную распространению взрыва.

Покадровая съемка на лупе времени распространения взрыва в таблетке ВВ представлена на фиг. 3, из которой видно, что искривленный фронт низкоскоростной детонации светится неоднородно, причем несколько вперед выброшены отдельные яркие языки. По-видимому, при взрывном горении искривленный фронт воспламенения, разбившийся на множество отдельных микроструй, полностью не охватывает имеющуюся



Фиг. 2а и 2б, 3, 5.

в наличии поверхность взрывчатого вещества, оставляя зерна ВВ догорающими далеко за фронтом, поэтому зона химической реакции сильно растягивается и может в десятки раз превышать зону реакции нормальной детонации. Наличие широкой зоны химического превращения ведет к значительным потерям энергии, выделяющейся при реакции разложения ВВ.

При разрушении плексигласового цилиндра волны разгрузки проникают в зону превращения, и интенсивное расширение ПВ начинается раньше, чем полностью завершается химическая реакция. Кроме того, потери тепла в стенку, приводящие к охлаждению ПВ и появлению волны разрежения за фронтом пламени, ослабляют детонационную волну.

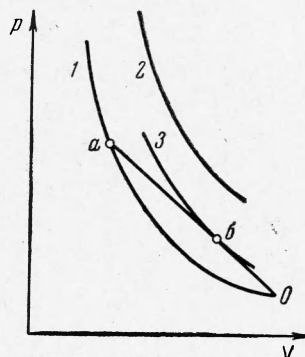
Если грубо оценить теплоту взрыва в указанном режиме по гидродинамической теории, исходя из зависимости $Q \sim D^2$, то приходим к выводу о ничтожном освобождении энергии в волне (порядка 1%). Это в какой-то мере подтверждает вывод о неполноте химического превращения и больших газодинамических и тепловых потерях. Отметим что часто после распространения взрыва со стационарной скоростью порядка 700 м/сек на поверхностях цилиндров, между которыми зажимается исследуемое ВВ, остаются оплавленные зерна непрореагировавшего вещества, которые при поджигании способны гореть. Но, как ни велики потери энергии, даже незначительного вклада тепла в волну достаточно для протекания стационарного низкоскоростного детонационного режима, распространение которого зависит от баланса между выделением энергии благодаря химической реакции и потерями, сопровождающими указанный процесс.

Представляется возможным дать следующее объяснение данному явлению. На фиг. 4 кривая 1 является адиабатой Гюгонио исходного ВВ, точкой *a* на которой помечено состояние, в которое переводится вещество, сжатое ударной волной. Данной стационарной скорости распространения соответствует точка касания *b* прямой *oa* не с адиабатой 2 полностью прореагировавших ПВ, а с некоторой кривой 3, являющейся адиабатой неполностью прореагировавшего вещества.

Однако указанное стационарное распространение процесса, по-видимому, носит псевдостабильный [2] характер, так как в результате возможного нарушения баланса и уменьшения энергетических потерь в слое вещества, охваченном волной сжатия и в котором инициировалась быстрая реакция, может произойти тепловое самускорение процесса, приводящее к взрыву рассматриваемого слоя и образованию вследствие этого сильной ударной волны, возбуждающей нормальную детонацию исходного вещества. Фоторазвертка соответствующего явления в ТЭН'е представлена на фиг. 5.

Инициирование произошло в точке *A*. После участка ускорения *AB* в точке *B* возникает низкоскоростной режим *BC*. В точке *C* возникла нормальная детонация *CF* исходного вещества; *DE* — ретонационная волна. Масштаб съемки на фиг. 5, *b*, увеличен в 1,5 раза по сравнению с фиг. 5, *a*. Можно отметить значительный размер *CD* взорвавшегося слоя вещества (линейный размер порядка 6 мм), причем длительное послесвечение *PB*, существующее при низкоскоростном процессе, совершенно отсутствует за нормальным детонационным режимом ВВ. Отметим, что подобные переходы в наших условиях наблюдались только для ТЭН'а.

Формирование нормального детонационного режима фиксировалось при постановке эксперимента, когда низкоскоростной режим выходил из зоны ВВ, зажатого между твердыми поверхностями, в зону насыщенного вещества, не нагруженного давлением (фиг. 1). Как правило, происходит переход на высокую скорость детонации (фиг. 2*b*), сопровождающийся постепенным увеличением скорости ударной волны вплоть до возникновения нормального режима. Линия *AB* — траектория низкоскоростной волны по сжатому ВВ. Точка *B* — край поджатой зоны, *BC* — ускорение ударной волны и *CD* — нормальная детонация вещества в неподжатой зоне. Для дини и тетрила описанное явление не наблюдается, что, по-видимому, связано с недостаточностью импульса вышедшей ударной волны, которая возбуждает химическую реакцию в исходном веществе. В этом случае детонация не возникает: вещество, затухая, медленно горит в неподжатой зоне.



Фиг. 4

Поступила 6 III 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Bowden F. P., Joffe A. D. Initiation and Growths of Explosion in Liquids and Solids, 1952 (перев.: под ред. А. И. Гольбиндера, Изд. иностр. лит., 1955).
2. Griffiths N., Laidler R. M., Spooner S. T. Some Aspects of the Shock Initiation of Condensed Explosives. Combustion and Flame, 1963, vol. 7, № 4.