

ВОЗБУЖДЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ В ТРОТИЛЕ МАЛОЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

Л. Г. Болховитинов, В. А. Васильев
(Москва)

Взрывчатые вещества малой плотности представляют большой интерес с точки зрения изучения процесса инициирования детонации ввиду их высокой чувствительности к ударной волне и большого различия между параметрами инициирующей ударной волны и стационарной детонационной волны. Большой интервал изменения параметров при установлении стационарной детонации позволяет более подробно изучить нестационарные переходные режимы, чем это удается сделать во взрывчатых веществах большой плотности, где скорость детонационной волны незначительно превышает скорость звука.

Нами проведена съемка с помощью СФР боковой поверхности пассивного заряда и регистрация массовой скорости электромагнитным методом при передаче детонации через воздушный промежуток от сферических активных зарядов из литого ТГ 50/50 к цилиндрическим пассивным зарядам из молотого тротила плотностью 1 г/см^3 . При расстояниях между зарядами, близких к предельному расстоянию передачи детонации, свечение, свидетельствующее об интенсивной реакции, возникало на довольно значительных расстояниях от переднего торца, достигающих по величине радиуса заряда. В этом смысле ВВ малой плотности более сходны с твердыми, а не с жидкими ВВ. Возникшая светящаяся зона далее распространялась вдоль боковой поверхности с переменной скоростью, постоянная скорость достигалась на расстоянии двух-трех радиусов заряда. При этом все наблюдавшиеся картины нестационарного распространения свечения можно разбить на три группы: 1) скорость распространения свечения изменяется плавно, оставаясь меньше скорости детонации (рис. 1, а); 2) скорость изменяется плавно, все время превышая скорость детонации (рис. 1, б); 3) стационарной детонации предшествует детонация с малой скоростью (рис. 1, в). Здесь исключаются картины ти-

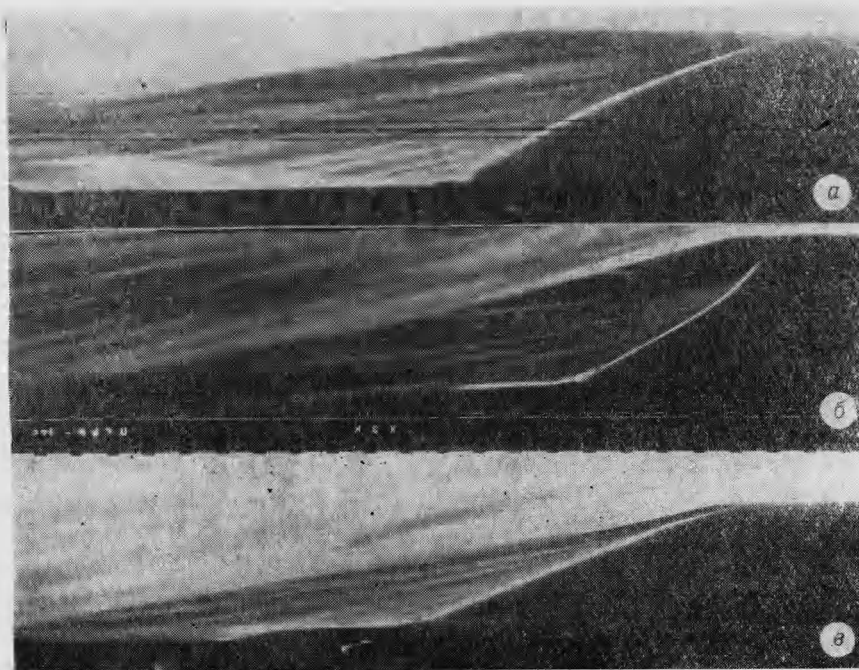


Рис. 1. Фоторегистрограмма распространения свечения.

а) плавное изменение скорости распространения свечения, скорость постоянно меньше скорости детонации; б) скорость изменяется плавно, оставаясь больше скорости детонации; в) возникновение детонации с учетом «малой скорости».

па «крючков», связанных с выходом детонации на поверхность заряда; во всех приведенных примерах время установления стационарного режима значительно больше времени выхода детонации изнутри заряда на боковую поверхность ($\tau_{\text{вых}}$ пропорционально отношению диаметра заряда к скорости детонации). Это свидетельствует о существовании нестационарных режимов распространения волны, включающих химическую реакцию со скоростью, меньшей скорости детонации.

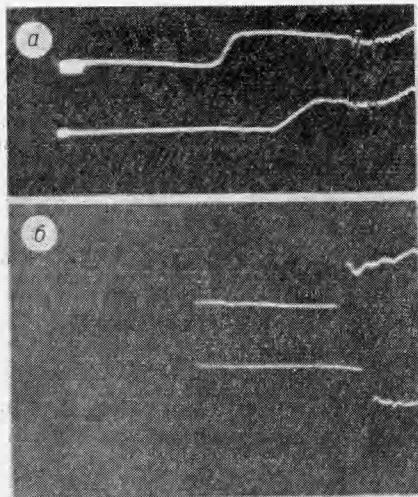


Рис. 2. Профили массовой скорости в затухающей волне (а) и на конечной стадии ускорения волны (б).

Регистрация профилей массовой скорости с одновременным определением скорости фронта позволила установить точные значения критических параметров волны в пассивном заряде, способной вызвать детонацию. В условиях настоящих опытов скорость фронта критической волны была равна 750 м/сек, массовая скорость 250 м/сек, давление 1800 атм, плотность была почти равна плотности кристалла. Профиль затухающей ударной волны с параметрами, несколько ниже критических, приведен на рис. 2, а. Заметно увеличивающееся размытие в начале записи, свидетельствующее об искривлении фронта волны под действием бокового разлета. Сильное влияние бокового разлета связано с тем, что скорость звука в сжатом веществе (~ 3 км/сек) значительно превышает скорость фронта волны (в данном примере около 380 м/сек). Помещая несколько датчиков на различной глубине в пассивный заряд, удалось получить записи, характеризующие изменение профиля массовой скорости на конечных стадиях разгона волны (рис. 2, б). Как видно из фотографии, профиль массовой скорости подобен детонационному с резким пиком в зоне

реакции. На рис. 3 приведена картина изменения профиля массовой скорости при ускорении волны. Второй датчик был помещен на глубине, где обычно не наблюдается коническая волна. Изменение скорости и давления на конечном этапе ускорения связано, возможно, с изменением кривизны фронта.

Наличие характерного пика в зоне химической реакции позволило определить длительность химического превращения в этой преддетонационной волне (рис. 4). Полученные данные были обработаны исходя из представления о химическом превращении в волне как о горении с поверхности зерен со скоростью, пропорциональной давлению. Соответствующая оценка приводит к соотношению $p \sim \tau^{-1}$, где p — среднее давление в зоне реакции; τ — длительность реакции. Ввиду приблизительной линейности профиля давления в зоне реакции вместо среднего давления было взято давление на фронте волны, что привело к небольшому изменению наклона прямой, около которой располагаются экспериментальные точки. Как видно из графика, модель горения зерен удовлетворительно описывает экспериментальные данные в интервале давлений 30—300 кбар. Если законна экстраполяция этой зависимости до давлений порядка 1 кбар, то ширина зоны реакции во входящей ударной волне критической амплитуды оказывается равной около 20 мм, т. е. ширина зоны почти равна радиусу заряда. Ясно, что в этом случае из-за указанного выше соотношения скорости звука за фронтом и скорости самой волны решающее влияние на исход опыта по передаче детонации может оказать боковой разлет.

В случае выполнения этих предположений в качестве критического условия возникновения детонации можно потребовать, чтобы характерное время разлета было меньше времени реакции во входящей волне. Соответствующая оценка приводит к следующей зависимости для критического приведенного расстояния передачи детонаций [2], которое является общепринятой характеристикой чувствительности к ударной волне:

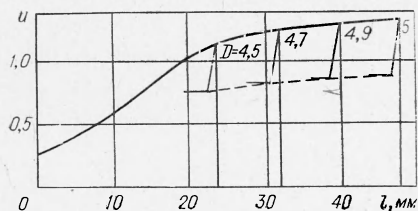


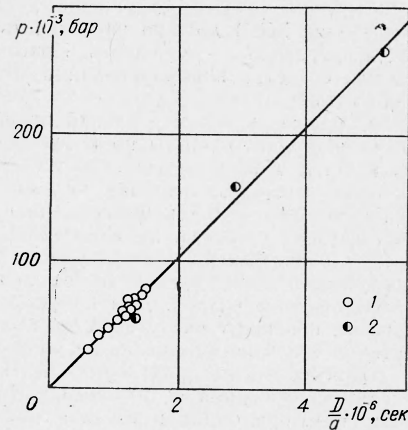
Рис. 3. Изменение профиля массовой скорости при ускорении волны.

$$R_{кр}^0 \sim \left(\frac{A d_{пасс}}{\delta \cdot c_0} \right)^{1/3}$$

где A — постоянный коэффициент в формуле скорости горения; $d_{пасс}$ — диаметр пассивного заряда; δ — средний размер гранул ВВ; c_0 — скорость звука в ВВ данной плотности. Видно, что приведенная качественная оценка правильно описывает зависимость чувствительности от этих геометрических и физико-химических параметров. Действительно, чувствительность к ударной волне возрастает с увеличением скорости горения (например, в случае гексогена, у которого скорость горения и чувствительность выше, чем у тротила [3, 4]), с диаметром пассивного заряда и уменьшается с увеличением диаметра гранул, начиная с некоторой величины [5]; чувствительность падает также с увеличением плотности ВВ, при этом скорость звука возрастает [5].

Рис. 4. Изменение ширины зоны реакции при детонации тротила (ширина зоны $a = D \tau$).

1 — данные проведенных авторами опытов; 2 — для реакции в стационарных детонационных волнах в тротиле разной плотности [1].



Для получения точных критериев для передачи детонации необходимо рассмотреть двумерное движение за ускоряющейся ударной волной, что представляет значительные математические трудности. На основании изложенного можно значительно упростить задачу, представив функцию тепловыделения, согласно схеме горения, с поверхности зерен, так как в подобном расчете одномерной задачи [6] были получены профили массовой скорости, сходные с нашими экспериментальными данными.

Поступила в редакцию
14/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Дремин и др. Сб. «Взрывное дело», № 52/9. М., Гостехиздат, 1963.
2. А. Ф. Беляев, М. А. Садовский, И. И. Тамм. ПМТФ, 1960, 3.
3. Л. Н. Стесик, Л. Н. Акимова. Сб. «Физика взрыва», 1956, 5.
4. G. E. Seay. IX-th Symposium (International) on Combustion, 1962.
5. А. Я. Апин и др. Докл. АН СССР, 1962, 147, 5.
6. S. G. Jacobs a. o. IX-th Symposium (International) on Combustion, 1962.

УДК 662.215.5

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕКОТОРЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ВОЗБУЖДЕНИЮ ВЗРЫВА КАВИТАЦИЕЙ

В. Е. Гордеев, Ю. С. Матвеев

(Москва)

Сравнительно небольшие изменения давления в некоторых жидких взрывчатых веществах (ЖВВ) могут вызвать кавитацию и взрыв [1, 2]. Возбуждение взрыва происходит при захлопывании кавитационных полостей (каверн). Во время захлопывания