

## О ФОРМЕ ФРОНТА УСКОРЯЮЩЕЙСЯ ПРЕДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

В. А. Васильев, Л. Г. Болховитинов

(Москва)

Возникновение детонации в заряде взрывчатого вещества под действием ударной волны рассматривается обычно в рамках одномерной теоретической модели [1, 2]. При проведении опытов обычно используются такие условия инициирования, чтобы результаты можно было интерпретировать на основе одномерного течения. В последнее время появились работы [3—5], в которых было показано, что по крайней мере в жидких ВВ одномерная схема не отвечает реальной, намного более сложной картине течения за фронтом инициирующей ударной волны. В этих работах подчеркивается, что боковая поверхность заряда и свойства оболочки играют существенную роль в процессе возникновения детонации. Ниже приводятся результаты наших опытов, из которых следует, что инициирование порошкообразных ВВ также имеет сложный многостадийный характер, причем течение за волной существенно двумерно.

Инициирование зарядов, приготовленных из порошкообразных ВВ, осуществлялось воздушной ударной волной от сферических активных зарядов. В работе [6] было показано, что в этом случае справедлив закон подобия: расстояние передачи детонации  $R_{50\%}$  (т. е. расстояние от центра активного заряда до торца пассивного заряда, при котором вероятность возбуждения детонации равна 1/2) связано с энергией активного заряда  $\epsilon$  простым соотношением  $R_{50\%} = k \sqrt[3]{\epsilon}$ , где  $k$  — константа, характеризующая вещество и геометрию пассивного заряда. При достаточно большой энергии активного заряда, когда  $R_{50\%}$  много больше диаметра пассивного заряда, можно пренебрегать кривизной фронта падающей ударной волны. Так как скорость ударной волны, вошедшей в заряд, намного меньше скорости падающей волны (эти скорости по порядку величины равны 500 и 5000 м/сек соответственно), что приводит к сглаживанию фронта, то кривизной вошедшей волны заведомо можно пренебречь. В наших опытах применялись пассивные заряды диаметром 50 мм из тротила и гексогена плотностью 1 г/см<sup>3</sup> и прессованного ТГ 50/50 плотностью 1,6 г/см<sup>3</sup>. Для предотвращения обтекания зарядов продуктами детонации активного заряда применялись экраны из дюраля.

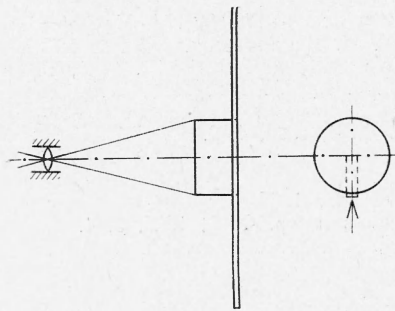


Рис. 1. Схема расположения зарядов.

Общая схема расположения зарядов показана на рис. 1.

При фотографировании процесса возникновения детонации с боковой поверхности заряда было установлено, что глубина возникновения детонации в тротиле плотностью 1 г/см<sup>3</sup> мало изменяется в зависимости от приведенного расстояния  $R^0 = R / \sqrt[3]{\epsilon}$  вплоть до  $R^0 = 15,3 \text{ мм} \cdot \text{г}^{-1/3}$ . При этом значении приведенного расстояния ампли-

туда давления ударной волны равна некоторому критическому значению.

Для более подробного исследования характера течения в той области заряда, в которой происходит формирование детонационной волны, были проведены опыты с зарядами длиной 1 см, в которых фотографировался выход волны на торец заряда. Глубина возникновения свечения на боковой поверхности заряда из-за случайных возмущений при критическом значении амплитуды падающей волны меняется в пределах 7—25 мм, поэтому при фотографировании выхода волны на торец короткого заряда, длина которого лежит внутри предельных значений глубины возникновения, регистрируются от опыта к опыту различные стадии процесса формирования детонационной волны.

Ударная волна докритической амплитуды имеет первоначально почти плоский фронт, который по мере продвижения и затухания волны искривляется вследствие бокового разлета, как показано на рис. 2, а.

Инициирование заряда волной с критической амплитудой дает качественно отличную картину течения. Наиболее примечательная особенность волны заключается в том, что интенсивная химическая реакция возбуждается не на оси заряда и не во всем его сечении, как можно было бы

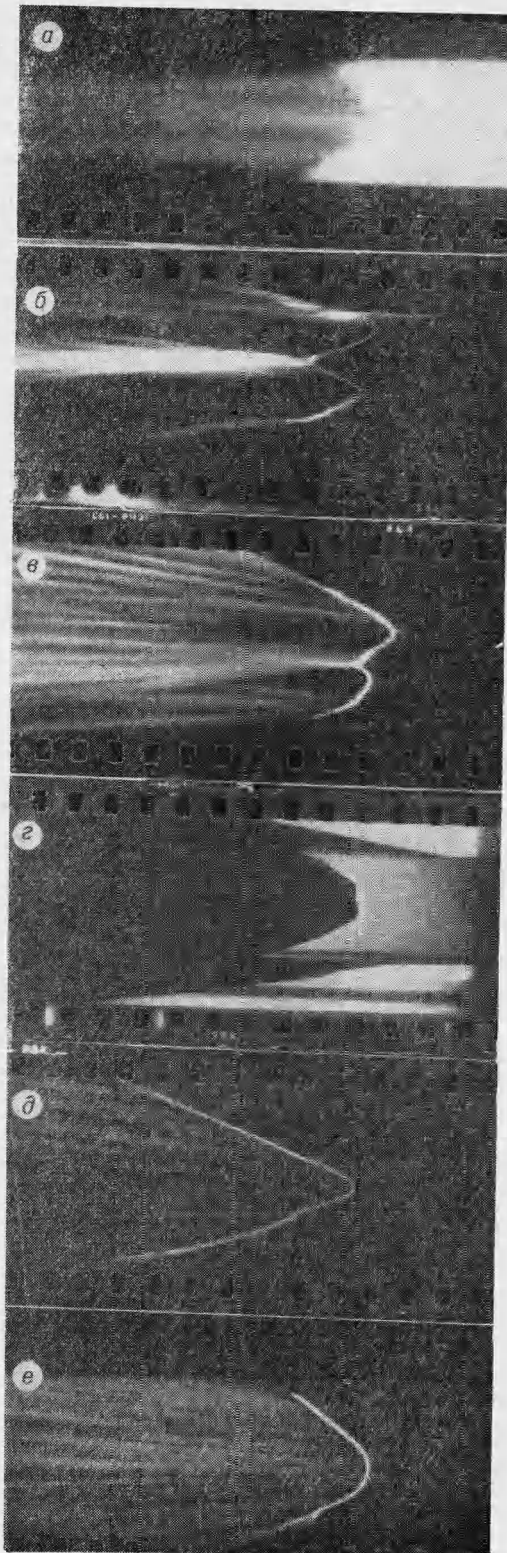


Рис. 2. Фронт затухающей ударной волны докритической амплитуды (а) (снято с подсветкой); воронкообразная волна со схлопыванием на оси заряда (б); нерегулярное схлопывание на оси заряда (в); образование вытянутой волны нормального вида (г, д); формирование профиля стационарной детонации (е).

предполагать ввиду того, что волна имеет плоский фронт, а в узкой кольцевой зоне между осью заряда и его боковой поверхностью форма фронта волны с конической воронкой вдоль оси заряда характерна, по-видимому, для всех порошкообразных взрывчатых веществ вплоть до больших плотностей (рис. 3).

Возникшая тороидальная область химической реакции распространяется затем на остальную часть заряда. Уже было сказано, что в наших опытах регистрируются различные стадии формирования волны, поэтому из полученных фотографий можно только предположительно построить общую картину течения в преддетонационный период. Наиболее вероятно, что эволюция фронта преддетонационной волны может быть описана следующим образом.

На некотором расстоянии от торца заряда образуется тороидальная область инициирования, площадь сечения которой начинает быстро расширяться, в результате чего фронт волны имеет вид воронки, вытянутой вдоль оси заряда (см. рис. 2, б). Схлопывание волны при некотором угле раствора перестает быть регулярным, появляется третья маховская волна (см. рис. 2, в). Интенсивность сжатия в маховской волне выше, чем в исходных волнах; скорость ее движения больше по двум причинам; из-за кумулятивного эффекта схлопывания и из-за того, что химическая реакция в более сильной волне идет быстрее. Совокупное действие указанных факторов приводит к тому, что центральная часть волны вырывается вперед, приводя к образованию сильно вытянутой

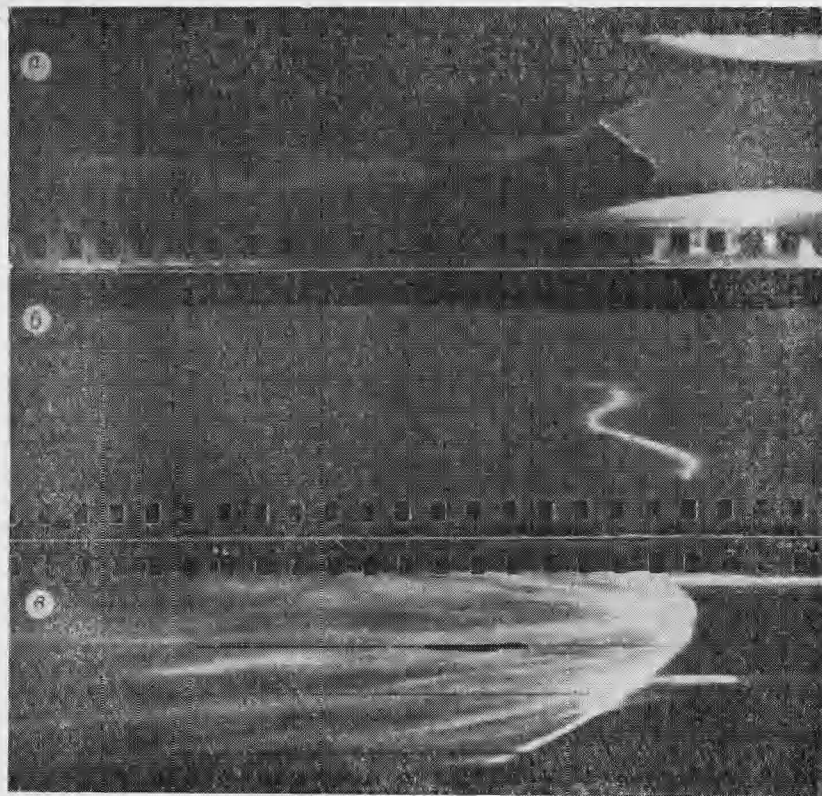


Рис. 3. Воронкообразные волны в тротиле (а) (снято с подсветкой), гексогене (б) плотностью  $1 \text{ г/см}^3$  и в ТГ 50/50 плотностью  $1,6 \text{ г/см}^3$  (в).

волны (см. рис. 2 *г, д*), которая затем постепенно переходит в стационарную детонационную волну нормальной кривизны (см. рис. 2, *г*).

При инициировании волной сверхкритической амплитуды форма фронта разгоняющейся преддетонационной волны не обнаруживает каких-либо особенностей: она слабо искривлена вследствие влияния бокового разлета.

Причина возникновения очага инициирования в виде кольца с радиусом, примерно равным половине радиуса заряда, пока неясна. Однако с уверенностью можно утверждать, что обнаруженное авторами явление не сводится к конкретным условиям проведения опытов. Специально поставленные опыты показали, что инициирование детонации ударной волной не от сферического, а от цилиндрического активного заряда происходит описанным выше образом. Изменение материала, толщины экрана, а также условий обтекания пассивного заряда не влияет на картину процесса формирования детонационной волны. Нельзя приписать, по-видимому, наблюдающиеся явления и свойства веществу пассивного заряда, так как и тротил и гексоген плотностью  $1 \text{ г/см}^3$  и прессованный ТГ 50/50 существенно большей плотности ( $1,6 \text{ г/см}^3$ ) ведут себя одинаково, хотя в последнем случае (ВВ большой плотности) неоднородный характер течения и выражен слабее.

Сравнение картины течения в области критических параметров инициирующей волны с результатами опытов по инициированию жидких ВВ [3—5] показывает, что в данном случае нельзя объяснить наблюдающиеся результаты неустойчивостью фронта волны.

В заключение нужно отметить, что полученные нами результаты заставляют с осторожностью относиться к данным, полученным электромагнитным методом без надлежащего контроля за характером течения. Сложная конфигурация волны, воздействующей на датчик электромагнитного метода, может не только привести к неточности измерения массовой скорости, но и повести к ложным заключениям.

*Поступила в редакцию  
14/III 1969*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. H. W. Hubbard, M. H. Johnson. *J. Appl. Phys.*, 1959, 30.
2. М. Бойер, Р. Гранди. Сб. «Детонация и двухфазное течение», М., «Мир», 1966.
3. А. Н. Дремин, Г. А. Адагуров, О. К. Розанов. Докл. АН СССР, 1960, 133, 1372.
4. Campbell a. o. *Appl. Phys.* 1956, 27.
5. L. V. Seeby. a. o. *AIAA J.*, 1967, 5.
6. А. Ф. Беляев, М. А. Садовский, И. И. Тамм. ПМТФ, 1960, 1.