

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ ТНТ И ТГ 50/50 НЕСТАЦИОНАРНЫМИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

А. П. Погорелов, С. А. Новиков

(Москва)

В экспериментальных исследованиях процесса возбуждения детонации в твердых взрывчатых веществах ударными волнами показана сильная зависимость критического давления на фронте ударной волны  $p_{\Phi}^*$ , при котором происходит инициирование, от длительности действия импульса  $t_0$  ( $t_0 \approx 2$  мкс) [1—4]. Так, при  $t_0 = 0,05$  мкс для состава ТГ 50/50  $p_{\Phi}^* = 10$  ГПа почти на порядок превышает  $p_{\Phi}^* = 1,3$  ГПа при  $t_0 = 1,5$  мкс [3].

В работе [4] показано, что при инициировании ВВ нестационарными ударными волнами (УВ) существует достаточно широкий диапазон давлений на фронте ударной волны  $p_{\Phi}$ , при котором по образцу от поверхности удара распространяется нестационарная система — УВ и следующая за ней область взрывчатого превращения. Интервал времени от момента удара до возникновения нормальной детонации может достигать нескольких микросекунд и зависит от параметров УВ: амплитуды давления  $p_{\Phi}$ , длительности действия  $t_0$  и крутизны спада давления за фронтом ударной волны. Результаты численного и экспериментального исследования инициирования ТНТ ударными волнами прямоугольного профиля изложены в [5].

В настоящей работе приведены результаты исследования диапазона давлений, в котором происходит переход взрывчатого превращения в нормальную детонацию в составе ТГ 50/50, и зависимость  $p_{\Phi}^*(t_0)$  в интервале  $t_0 = 0,01 \div 3,3$  мкс для ТГ 50/50 и ТНТ. Образцы из ТГ 50/50 литые, из ТНТ прессованные.

УВ в образцах ВВ создавали ударом металлических пластин толщиной 0,02—10 мм, разгон которых осуществлялся скользящей детонацией слоя ВВ. Скорость соударения рассчитывали по формуле Гарни. Давление на фронте УВ определяли по линейным  $D-u$ -соотношениям:  $D = 2,71 + 1,86u$  для состава ТГ 50/50 с  $\rho_0 = 1,67 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $D = 2,39 + 2,05u$  для ТНТ с  $\rho_0 = 1,57 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> [6].

Диапазон давлений  $p_{\Phi}$ , в котором по образцу распространяется нестационарная система — УВ и следующая за ней область взрывчатого превращения, оценивали в экспериментах на баллистическом маятнике. Образцы из состава ТГ 50/50 размером 75×75×6 мм прикрепляли через пенопластовую прокладку к маятнику гранью 75×75 мм. Взрывчатое превращение в образцах возбуждали ударом стальной (толщина 0,6 мм,  $t_0 = 0,2$  мкс) и медной (толщина 0,28 мм,  $t_0 = 0,14$  мкс) пласти. В экспериментах измеряли импульс, сообщаемый маятнику. Результаты приведены на рис. 1 в виде зависимостей относительного импульса  $\bar{I} = I/I_0$  от давления  $p_{\Phi}$ . Здесь  $I = I_1 - I_2$  — импульс, сообщаемый маятнику при взрывчатом превращении в образце;  $I_0$  — импульс, сообщаемый маятнику при нормальной детонации образца (инициирование от капсуля);  $I_1$  — суммарный импульс, сообщенный маятнику при торможении пластины-ударника ( $I_2$ ) и за счет химической реакции в образце из ВВ ( $I$ ). Зависимость  $I_2(p_{\Phi})$  получена в аналогичных экспериментах (но без образцов из ВВ).

Несмотря на некоторое отличие в значениях импульса, сообщаемого маятнику при нормальной и скользящей детонации образца из ВВ, а также возможность некоторого увеличения импульса за счет отброса ударника продуктами химической реакции образца, величина  $\bar{I} = I/I_0$  позволяет качественно характеризовать долю образца, претерпевшую разложение, относительно опыта при инициировании капсюлем. Это объяс-

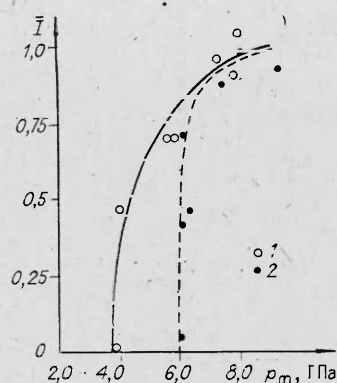


Рис. 1. Зависимость относительного импульса при взрывчатом превращении образца из ТГ 50/50 от давления на фронте ударной волны.  
1 —  $t_0 = 0,2$  мкс; 2 —  $t_0 = 0,14$  мкс.

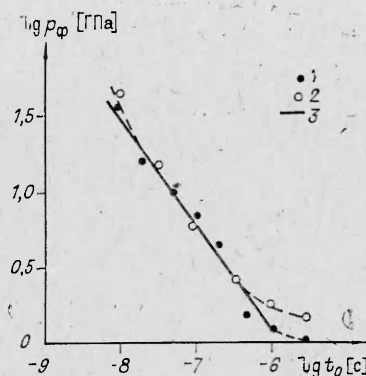


Рис. 2. Зависимость давления инициирования от времени действия импульса.  
1 — ТГ 50/50; 2 — ТНТ; 3 —  $p_{\phi}^{*1,4} = \text{const.}$

няется тем, что значение  $I$  также зависит от толщины образца — при росте толщины  $\bar{I}$  будет увеличиваться.

Из полученных зависимостей следует, что диапазон давлений на фронте ударной волны, в котором заметно ослабление величины импульса, сообщаемого маятнику, из-за процесса нестационарного взрывчатого превращения зависит от длительности импульса и составляет  $\sim 5$  и 3 ГПа для  $t_0 = 0,2$  и 0,14 мкс.

При  $p \geq 9$  ГПа переход в нормальную детонацию происходит настолько быстро, что величины импульса, передаваемого маятнику при возбуждении детонации в образце от капсуля и ударом металлической пластины, фактически не различаются. При исследовании зависимости  $p_{\phi}^*(t_0)$  для составов ТГ 50/50 и ТНТ опыты с тонкими ударниками (толщиной менее 0,5 мм) проводили в вакуумной камере. Чтобы охватить весь диапазон изменения величин  $p_{\phi}^*$  и  $t_0$ , результаты экспериментов представлены на рис. 2 в логарифмических координатах. Правее и выше прямой  $\lg p_{\phi}(t_0)$  лежат состояния, где происходит возбуждение взрывчатого превращения или детонации, а левее и ниже — состояния, где химической реакции в ВВ не наблюдается. Из приведенных зависимостей видно, что в диапазоне  $10^{-8} < t_0 < 10^{-6}$  с для ТГ 50/50 и  $2 \cdot 10^{-8} < t_0 < 5 \cdot 10^{-7}$  с для ТНТ зависимость  $p_{\phi}^*(t_0)$  достаточно хорошо описывается величиной  $p_{\phi}^{*1,4} t_0 = \text{const.}$  Ранее в [3] указывалось, что соотношения  $p_{\phi} u_{\phi} t_0 = a$  и  $p_{\phi}^* t_0 = b$  удовлетворительно описывают совокупность экспериментальных данных. При расширении диапазона  $t_0$  стало заметно, что  $p_{\phi}^{*1,4} t_0 = \text{const}$  описывает имеющиеся экспериментальные данные лучше, чем критерий  $p_{\phi}^* t_0 = \text{const.}$  Так, например, для ТГ 50/50 при  $t_0 = 10^{-8} - 10^{-6}$  с величина  $p_{\phi}^* t_0$  изменяется почти в 8 раз, а  $p_{\phi}^{*1,4} t_0$  — не более чем в 1,5 раза.

При  $t_0 = 0,01$  мкс получено  $p_{\phi}^* = 37$  и 45 ГПа для ТГ 50/50 и ТНТ. По существующей теории детонации на фронте детонационной волны происходит ударное сжатие ВВ с последующим выделением энергии в химической реакции. За зоной химической реакции с давлением  $p > p_{\text{ж}}$  идет область нестационарного течения продуктов реакции с давлением  $p < p_{\text{ж}}$ . Используя полученную зависимость  $p_{\phi}^*(t_0)$ , можно оценить время химической реакции в детонационной волне  $t_p$ . Если предположить, что действие на ВВ ударной волны с амплитудой  $p_{\phi} = p_{\text{ж}}$  аналогично действию детонационной волны на ВВ, тогда величина  $t_0$  на рис. 2 должна соответствовать длительности химической реакции:  $t_p \approx 0,04$  мкс для ТНТ и  $t_p \approx 0,02$  мкс для состава ТГ 50/50 ( $p_{\text{ж}} = 17,65$  и 24,8 ГПа

для ТНТ и ТГ 50/50 [7]). Найденные величины  $t_p$  согласуются с известными значениями в детонационной волне 0,039 мкс для ТНТ плотностью  $\rho_0 = 1,59 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и 0,024 мкс для состава ТГ 36/64 + 1% воска с  $\rho_0 = 1,67 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, полученными методом откола [8, 9], но примерно на порядок меньше значений  $t_p$ , полученных электромагнитным методом [7].

Поступила в редакцию 8/IX 1983,  
после доработки — 18/IX 1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Y. de Longueville, C. Fauquignon, H. Moulard. VI-th Symp. (Intern.) on Detonation, California, 1976.
2. А. П. Погорелов, Б. Л. Глушак, С. А. Новиков и др. ФГВ, 1977, 13, 2, 294.
3. Б. Л. Глушак, С. А. Новиков, А. П. Погорелов и др. ФГВ, 1981, 17, 6, 90.
4. Ю. В. Батьков, С. А. Новиков и др. ФГВ, 1979, 15, 5, 139.
5. В. Ф. Лобанов, С. М. Караханов, С. А. Бордзиловский. ФГВ, 1982, 18, 3, 90.
6. N. L. Coleburn, T. P. Liddiard. J. Chem. Phys., 1966, 44, 1929.
7. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
8. R. E. Duff, E. Houston. J. Chem. Phys., 1955, 23, 1268.
9. W. E. Deal. J. Chem. Phys., 1957, 27, 796.

### РАСЧЕТ СОСТАВА СМЕСИ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НЕ ПЕРЕМЕШАНЫМИ ФАЗАМИ

И. Н. Зверев, М. И. Рамоданов, Т. В. Рамоданова  
(Москва)

При эксплуатации кислородного оборудования и штолен в некоторых случаях возможно возникновение взрывов, когда все сечение трубы или штольни заполняет окислитель без примеси горючих газов (воздух, воздух, обогащенный кислородом, кислород), а топливо в виде тонкого слоя находится на стенках [1, 2].

Как показали теоретические исследования [3—6], возможен такой режим детонации, когда процессы, происходящие в пограничном слое, обеспечивают ее стационарное распространение. Исследование процесса смесеобразования внутри пограничного слоя, знание распределения параметров пограничного слоя позволит найти скорость детонации. В данной работе определяется параметр массообмена, напряжение трения на стенке, состав смеси внутри пограничного слоя, развивающегося за ударной волной на поверхности испаряющегося топлива.

Пусть ударная волна распространяется с постоянной скоростью по газообразному кислороду над слоем неподвижного жидкого топлива. В системе координат, связанной с ударной волной, процессы, происходящие за фронтом ударной волны, будут стационарными. Предполагаем, что скорость ударной волны большая, а за ней начинается интенсивное испарение топлива в пограничный слой и горение образующейся смеси.

Для исследования процесса смесеобразования рассмотрим тепло- и массообмен на испаряющейся поверхности топлива с учетом горения над ней. Для поверхности раздела газ — жидкость в общем виде можно записать уравнения неразрывности, импульса и энергии [7]

$$(\rho v)_w n = (\tilde{\rho} \tilde{v})_w n, \quad (1)$$

$$P n + (\rho v)(v_w n) = \tilde{P} n + (\tilde{\rho} \tilde{v})_w (\tilde{v}_w n), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_w \left[ \left( h_w + \frac{|v|^2}{2} \right) v_w + \sum (h_i c_i v_i)_w \right] - (\lambda \nabla T)_w n = \\ = \tilde{\rho}_w \left( \tilde{h}_w + \frac{|\tilde{v}|^2}{2} \right) \tilde{v}_w - (\tilde{\lambda} \nabla \tilde{T})_w n. \end{aligned} \quad (3)$$