

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Гончаров, А. Г. Фомичев. Авт. свид. № 586318; Бюл. изобретений, 1977, 48.
2. Б. Д. Христофоров, Е. Э. Голлер и др. ФГВ, 1971, 7, 4, 613.
3. К. И. Барышев, Л. Г. Болховитинов и др. Горный журнал, 1970, 3, 70.
4. А. И. Гончаров, А. Г. Фомичев.— В сб.: Взрывное дело, № 76/33. М., «Недра», 1976.

ЭВОЛЮЦИЯ ИНИЦИИРУЮЩЕЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ВВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ КИНЕТИКИ РАЗЛОЖЕНИЯ

*Т. Н. Фортова, К. Г. Шкадинский, А. Н. Дремин, Г. И. Канель
(Черноголовка)*

Имеющиеся методы регистрации газодинамических параметров ударного сжатия конденсированных сред дают в принципе возможность получать косвенную информацию о кинетике разложения ВВ в ударных волнах. Для оценки качественной корреляции между особенностями кинетики разложения и газодинамической картины инициирования детонации ударной волной в данной работе проведено численное моделирование процесса с использованием различных кинетических соотношений, описывающих скорость разложения как функцию глубины разложения, текущего давления и интенсивности прошедшей через частицу ударной волны.

Детали расчетной методики достаточно подробно описаны в [1]. Для расчета динамики ударной волны использовался метод Годунова [2], в качестве уравнения состояния ВВ использовалось полуэмпирическое уравнение состояния тринитротолуола [3], единым образом описывающее свойства вещества в преддетонационном и детонационном режимах. Закон разложения задавался по аналогии с [4] в виде

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(\alpha + \alpha_0)(1 - \alpha)^2 p p_1 (1 - V_1/V_2), \quad (1)$$

где α — глубина разложения (весовая концентрация продуктов взрыва в рассматриваемой частице); p — текущее давление, кбар; p_1 , V_1/V_2 — давление и степень сжатия за фронтом ударной волны. Величина α_0 варьировалась от 0,01 до 0,5, а величина k от $2,7 \cdot 10^3$ до $18 \cdot 10^3$ с⁻¹. Рассчитывался переход прямоугольной стационарной волны с амплитудой 66 кбар из полупространства, занятого инертной средой, в полупространство с ВВ с начальной плотностью $\rho = 1,61$ г/см³. Инертная среда характеризовалась тем же уравнением состояния, что и ВВ.

На рис. 1, 2 приведены результаты расчета в виде графиков зависимости давления p , массовой скорости u и концентрации продуктов разложения α от времени t для фиксированных лагранжевых координат в полупространстве с ВВ при $k = 2,7 \cdot 10^3$ с⁻¹ и $\alpha_0 = 0,01$ и 0,5 соответственно. Случай $\alpha_0 = 0,01$ качественно моделирует разгорание ВВ с поверхности. Качественное различие в газодинамической картине перехода ударной скорости разложения растет до момента слияния очагов, после чего наступает депрессивная стадия горения. При $\alpha_0 = 0,5$ максимум скорости разложения следует непосредственно за фронтом ударной волны, что качественно соответствует поджиганию частиц ВВ с поверхности. Качественное различие в газодинамической картине перехода ударной волны в детонационную для этих двух случаев наиболее наглядно демонстрируется на профилях массовой скорости. В случае $\alpha_0 = 0,01$ расчетные профили массовой скорости качественно подобны наблюдавшимся экспериментально [5] для литого и пресованного до высокой плотности тротила — образуется профиль $u(t)$ с «горбом», из которого постепенно формируется нормальный детонационный профиль массовой скорости с химвиком. Подробные расчеты позволяют детально проследить процесс выделения химпика. В случае $\alpha_0 = 0,5$ образуется треугольный профиль массовой скорости, амплитуда которого относительно плавно и равномерно растет до детонационной. Подобная эволюция экспериментально наблюдалась [6] для малоплотных ВВ (тротил с $\rho = 0,78$ — 1,0 г/см³ и тетрил с $\rho = 0,82$ г/см³). В малоплотном заряде условия для инициирования разложения отдельных зерен ВВ кондуктивным прогревом их с поверхности более благоприятны [6].

Увеличение коэффициента k в кинетическом соотношении (1) до $18 \cdot 10^3$ с⁻¹ приводит к приблизительно пропорциональному увеличению скорости выхода процесса на детонационный режим с сохранением качественного подобия в особенностях газодинамической картины.

На рис. 3 представлены рассчитанные профили $p(t)$ на контактной границе между инертным экраном и ВВ для $k = 18 \cdot 10^3$ с⁻¹ и $\alpha = 0,5$ (1), 0,05 (2); $k = 2,7 \cdot 10^3$ с⁻¹ и $\alpha_0 = 0,5$ (3), 0,1 (4), 0,01 (5). Точками на профилях отмечены моменты достижения вблизи границы глубины разложения $\alpha = 0,9$. Видно, что к моменту достижения макси-

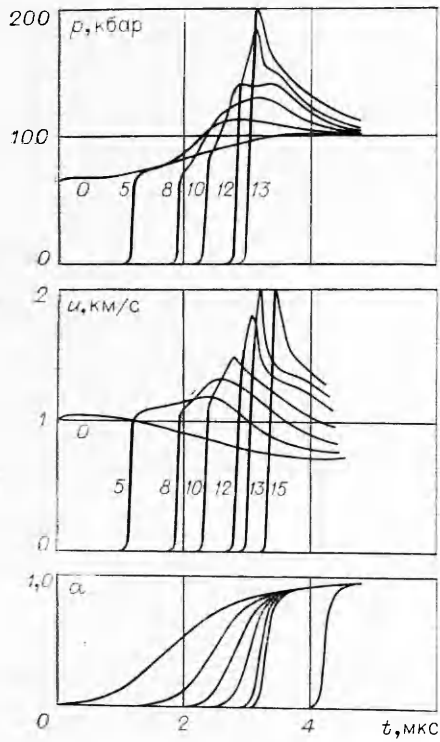


Рис. 1.

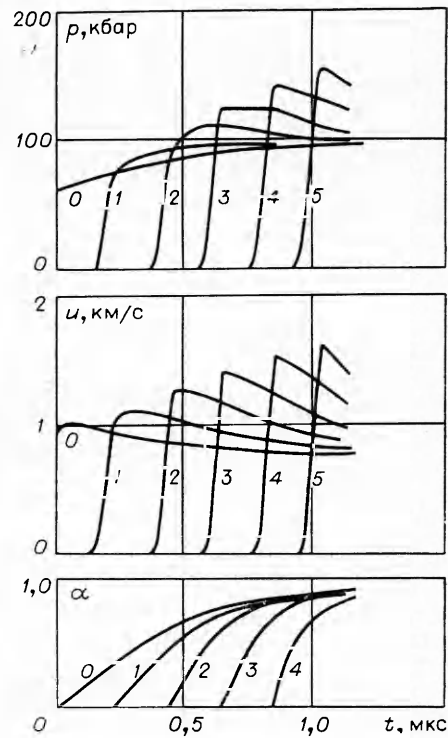


Рис. 2.

муна давления разложение в прилежащем к границе слое ВВ во всех рассмотренных случаях в основном заканчивается. Выход процесса на детонационный режим происходит не раньше, чем заканчивается разложение вблизи границы. Нужно отметить также следующие особенности профилей давления на контактной границе, коррелирующие с характером кинетики разложения ВВ.

В случае, когда скорость разложения максимальна непосредственно за фронтом ударной волны ($\alpha_0=0,5$), давление на контактной границе монотонно возрастает от начальной величины (66 кбар) до конечной, определяемой, как известно, пересечением в координатах p — u изэнтропы разгрузки продуктов взрыва из состояния Чепмена — Жуге и ударной адиабаты торможения материала инертного полупространства. В случае же, когда максимум скорости разложения запаздывает относительно фронта ударной волны, давление на контактной границе приходит к конечной величине через максимум, выраженный тем, четче, чем меньше величина α_0 . Этот качественный результат находит экспериментальное подтверждение. На рис. 4, а, б приведены осциллограммы опытов по регистрации профилей давления (с использованием манганиновых датчиков) на контактной границе между плексигласовым экра-

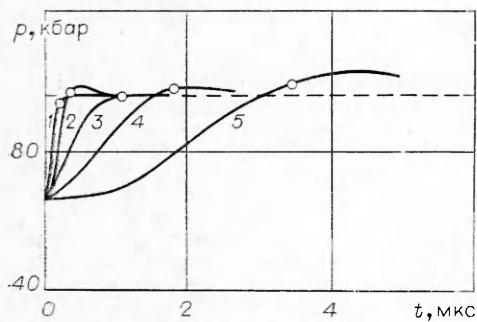


Рис. 3.

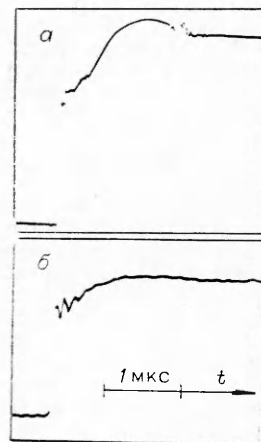


Рис. 4.

ном и прессованным (а) или насыпным (б) тротилом. Прессованные образцы ВВ имели плотность 1,56 г/см³ и готовились из молотого в шаровой мельнице в течение трех часов тротила. Насыпные образцы плотностью 1,0 г/см³ готовились также из молотого тротила. Через плексигласовый экран в образец вводилась ударная волна с приблизительно прямоугольным профилем давления. В сущности постановка этих опытов аналогична использованной в [7]. Начальное давление на границе с прессованным тротилом составляло 51 кбар, в случае насыпного тротила — 48 кбар. Выше уже отмечалась качественная аналогия между результатами расчетов при $\alpha_0=0,01$ и измерениями внутри образца для прессованного тротила и при $\alpha_0=0,5$ для тротила малой плотности. Сопоставление рис. 3 и 4 показывает, что особенности кинетики разложения проявляются уже на профилях давления (или массовой скорости) на контактной границе.

Таким образом, основываясь на полученных результатах моделирования процесса инициирования детонации при различных законах разложения, можно утверждать, что измерения давления или массовой скорости на контактной границе в условиях перехода прямоугольной ударной волны из инертного экрана в ВВ [7] дают достаточно информации для предварительной оценки зависимости скорости разложения от давления и глубины разложения. Достаточно точное количественное описание кинетики разложения ВВ может быть достигнуто сопоставлением набора подобных экспериментальных данных с результатами численного моделирования процесса.

Поступила в редакцию
30/VIII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Н. Фортова, К. Г. Шкадинский и др. ФГВ, 1977, 13, 1, 69.
2. С. К. Годунов. Матем. сб., 1959, 47, 271.
3. В. Е. Фортов, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1975, 222, 1, 16.
4. Г. И. Канель, А. Н. Дремин. ФГВ, 1977, 13, 1, 85.
5. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов.— В сб.: Взрывное дело. № 63/20, М., «Недра», 1967.
6. А. Н. Дремин, С. А. Колдунов, К. К. Шведов. ФГВ, 1971, 7, 1, 103.
7. К. К. Шведов.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1977.

ПОДОБИЕ ПРИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ НА ВЫБРОС

В. Ф. Еременов, А. Н. Ромашов, В. М. Чубаров

(Москва)

Изучение вопросов подобия при взрывах химических зарядов на выброс и на сброс показывает, что связь между объемом воронки и весом заряда может быть представлена в виде формулы

$$V=Aq+Bq^{0,75}, \quad (1)$$

где V — объем воронки; q — вес заряда; A и B — постоянные коэффициенты. Физический смысл двучленной формулы состоит в том, что образование воронки происходит за счет двух различных процессов: собственно выброса и вытеснения породы из центральной зоны с образованием котловой полости. Выброс породы происходит в поле силы тяжести, поэтому подобие должно учитывать влияние этого фактора. Вытеснение породы зависит от ее физико-механических свойств и в первом приближении должно подчиняться геометрическому закону подобия.

В формуле (1) первый член соответствует той части общего объема видимой воронки, которая связана с котловой полостью, а второй характеризует объем действительно выброшенной породы. При такой интерпретации коэффициент A приобретает определенный физический смысл: он равен так называемому показателю прострела породы K_p , представляющему отношение объема камуфлетной полости к весу заряда, взорванного в тех же породах, что и взрыв на выброс.

В данной работе рассматривается вопрос о подобии видимых воронок при ядерных взрывах на выброс. Чтобы определить значения коэффициентов A и B в формуле (1), необходимо иметь данные по крайней мере по двум взрывам разной мощности, взорванным в одних и тех же породах. Необходимо также отметить, что формула (1) характеризует объем воронки, которая получается при взрыве зарядов на оптимальной глубине (h), когда объем воронки близок к максимально возможному для данных пород. В таблице приведены данные по некоторым ядерным взрывам, которые могут быть использованы для определения указанных коэффициентов [1, 2].