

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН МАЛОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВАХ

И. М. Воскобойников, А. Ю. Долгобородов, А. Н. Афанасенков
(Москва)

Изучение затухания ударных волн малой длительности в конденсированных веществах — актуальная научная и техническая задача. В настоящей работе применена электронно-оптическая методика регистрации ударных волн в прозрачных средах.

Ударные волны малой длительности в веществе 1 (рис. 1) создавались детонацией короткого заряда гексогена плотностью $\rho_0 = 1,71 \text{ г/см}^3$ или ТГ 50/50 с $\rho_0 = 1,67 \text{ г/см}^3$ (2), которая инициировалась взрывом заряда тротила с $\rho_0 = 1,35 \text{ г/см}^3$ (3) генератором плоского фронта 4. Длительность создаваемой волны задана высотой заряда 2, равной в проведенных опытах 10 мм при диаметре заряда 40 мм. Спад параметров состояния за фронтом детонационной волны в заряде 2 вне зоны бокового разлета определяется центрированной волной разрежения от контактной границы между зарядами 2 и 3 пока не достигаются состояния, связанные с параметрами детонации заряда 3. Бременной профиль массовой скорости за фронтом волны близок к треугольному [1], причем характерные длины области центрированной волны разрежения на конце заряда 2 равны $0,7 \div 1,0 \text{ мм}$.

Ввиду малой длительности волн в исследуемых средах необходимо высокое временное разрешение записи процесса. Применение электронно-оптической методики для регистрации свечения ударного фронта через слой еще несжатого прозрачного вещества эффективно решает эту задачу, поскольку оптический метод безынерционен, а запись свечения процесса непрерывна. В работе использовались ФЭУ-119 и 92 и осциллографы С1-74 и ОК-33, что обеспечило временное разрешение записи 0,03 мкс. Еще одно достоинство методики связано с сильной зависимостью (в первом приближении экспоненциальной) яркости свечения ударного фронта от давления, что позволяет достигнуть высокой точности определения давления. При яркостной температуре 2000—3000 К, соответствующей давлению в CCl_4 13,5—20,0 ГПа, изменению давления на 0,5 ГПа отвечает изменение яркости свечения в 1,4 раза. Разброс по яркости в идентичных опытах не превышал 20%, т. е. реальная точность измерения давления в рассматриваемом примере — 0,2—0,3 ГПа. При обработке одной осциллограммы можно надежно определять относительное увеличение давления от 0,01 до 0,02 ГПа.

Если не принимать специальных мер, то из-за сильной зависимости яркости свечения от давления на фронте волны диапазон давлений, в котором можно наблюдать затухание волны в одном опыте, ограничен. В рассмотренном примере уменьшение давления в CCl_4 на 3 ГПа приведет к изменению яркости свечения на порядок, что сильно снизит точность определения уменьшенного давления (до 1 ГПа). Этого можно избежать подкрашиванием жидкости: слой жидкости перед фронтом становится светофильтром с переменной во времени оптической плотностью. Подкрашивание жидкости и соответствующий выбор ее слоя (оптическая плотность жидкости D_λ измеряется перед опытом или оценивается по яркости в начальный момент) позволяет уменьшить на заданную величину световой поток от ударного фронта на начальной стадии и иметь в интересующем временном диапазоне оптимальную величину тока ФЭУ.

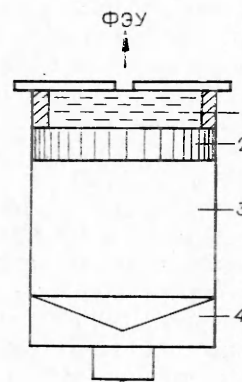


Рис. 1.

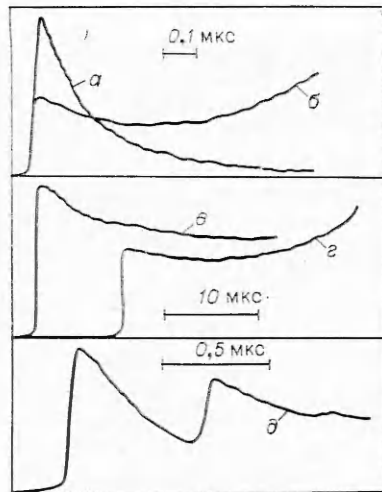


Рис. 2.

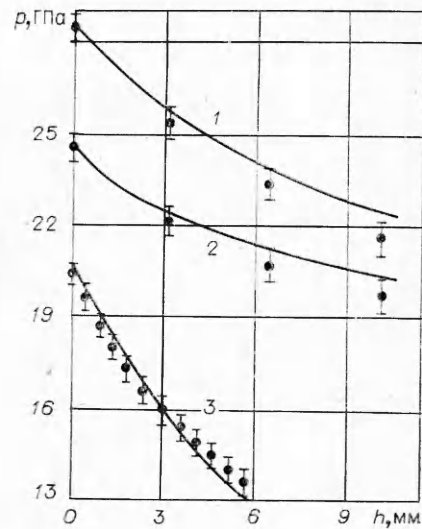


Рис. 3.

На рис. 2, а, б приведены соответственно осциллограммы свечения ударного фронта в CCl_4 при детонации заряда ТГ, когда CCl_4 имел малую оптическую плотность и когда $D_{\lambda} = 2,1$ ($\lambda = 420$ нм) при слое 5 мм. Для исключения просвечивания приближающегося к контактной границе детонационного фронта торец заряда 2 зачернялся лаком.

При обработке осциллограмм яркостям свечения ударного фронта, начиная с $t = 0$, с учетом пропускания несжатого слоя ставится в соответствие температура, а затем, с привлечением результатов [2], давление и скорость волны. Вносится поправка на изменение слоя несжатой жидкости ко времени следующего замера яркости и повторяется процедура. Результаты обсчета осциллограмм затухания ударной волны в CCl_4 , когда ударная волна создавалась детонацией заряда ТГ, представлена на рис. 3 (точки у кривой 3).

При заданном временном профиле параметров за фронтом детонационной волны в заряде 2 (см. рис. 1) изменение параметров в исследуемом веществе сильно зависит от его сжимаемости: при большей разнице между суммой скоростей звука c_2 , массовой u_2 и скоростью распространения волны D_2 затухание быстрее. Это особенно ярко проявляется при сравнении затухания волн в инертной жидкости и жидком ВВ с несколько меньшими параметрами детонации, чем у заряда (в инертной жидкости $D_2 \approx c_2$, а при детонации в точке Жуге $D_2 = c_2 + u_2$).

На рис. 2, в, г представлена запись свечения детонационного фронта в тетранитрометане (ТНМ), находящемся после заряда гексогена, на двух длинах волн (627 и 420 нм). В синей области спектра ТНМ имеет большую оптическую плотность, что находит отражение во временном изменении яркости фронта. На рис. 3 (точки около кривых 1 и 2) представлены результаты обсчета осциллограмм свечения в ТНМ для заряда из ТГ и гексогена. На рис. 4 приводятся результаты пересчета параметров в CCl_4 (кривая 2) и ТНМ (1) на соответствующие величины u за детонационным фронтом в заряде ТГ. Времена, за которые достигаются состояния, соответствующие одинаковым u , отличаются почти в 3 раза.

Возможность измерения параметров состояния ударной волны в жидкости за малые промежутки времени (в работе достигнуто временное разрешение 0,03 мкс) позволяет использовать методику изучения затухания ударных волн в непрозрачных образцах. В этом случае на заряд 2 помещают образец исследуемого вещества выбранной толщины, а затем индикаторную жидкость. Состояния в веществе находятся при совместном рассмотрении ударных адиабат вещества и жидкости при известных состояниях в жидкости. На рис. 2, д приведена запись свечения ударного

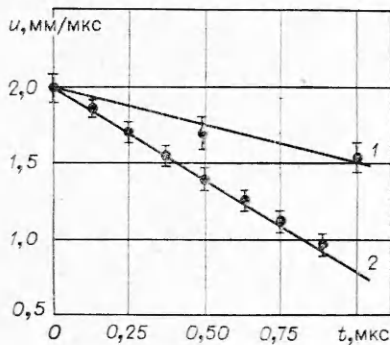


Рис. 4.

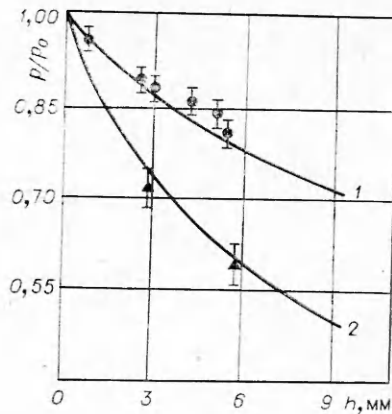


Рис. 5.

фронта в CCl_4 , расположенном на заряде гексогена за алюминием толщиной 1 мм. Точки на рис. 5 относятся соответственно к затуханию ударных волн в алюминии и йодистом калии ($\rho_0 = 3,07 \text{ г/см}^3$), помещенных на заряд гексогена. Давление дано в нормированных величинах для удобства сравнения. Затухание в йодистом калии, имеющем большую сжимаемость, происходит быстрее.

Полученные экспериментальные данные о затухании ударных волн сравнивались с рассчитанными. Вычисления выполнены в предположении, что в области взаимодействия центрированной волны разрежения от границы между зарядами 2 и 3 и волны от контактной границы заряда 2 с образцом характеристики линейны (предположение связано с близостью показателя политропы продуктов взрыва к 3) и что ударная адиабата начального и изэнтропа нагруженного состояний вещества зеркальны (это исключает из рассмотрения отраженную от ударного фронта волну разрежения).

На основе рассмотрения $p-u$ - и $x-t$ -диаграмм процесса можно составить следующие уравнения, связывающие состояния за фронтом детонационной волны заряда 2 (p, u) с состояниями на фронте ударной волны в веществе (p_2, u_2). Для продуктов взрыва предполагалась политропическая зависимость изэнтропы $p = A\rho^n$, а ударная адиабата среды записывалась в виде $D_2 = c_0 + bu_2$. Для затухания волны в ТНМ на основании [3] предполагалось, что состояния в пересжатой детонационной волне близки в $p-u$ -координатах к изэнтропе продуктов взрыва нормальной детонации. Изэнтропа продуктов взрыва заряда 2 в тыльной волне разрежения:

$$u/u_1 = 1 - 2n\{1 - (p/p_1) \uparrow [(n-1)/(2n)]\}/(n-1)$$

(u_1, p_1, D_1 — параметры детонации заряда 2, n — показатель политропы). Связь состояний в веществе и продуктах взрыва заряда 2:

$$2u/u_1 = 1 + u_2/u_1 - 2n\{1 - (p_2/p_1) \uparrow [(n-1)/(2n)]\}/(n-1),$$

$$p_2 = \rho_{02}u_2(c_0 + bu_2)$$

для инертного вещества и

$$\frac{u_2}{u_{20}} = 1 - \frac{2n_2}{(n_2-1)} \left[1 - (p_2/p_1) \uparrow \left(\frac{n_2-1}{n_2} \right) \right]$$

для ТНМ. Движение контактной границы заряд 2 — вещество (t_2 — время границы):

$$l + \int_0^{t_2} u_2 dt = (l/D_1 + t_2)(n+1)(u + u_1)/2$$

(l — высота заряда 2). Движение ударного фронта в веществе (t_3 — вре-

мя фронта):

$$\int_0^{t_2} u_2 dt + (u_2 + c_2)(t_3 - t_2) = \int_0^{t_3} (c_0 + bu_2) dt,$$
$$c_2 = \frac{(c_0 + 2bu_2)(c_0 + bu_2 - u_2)}{(c_0 + bu_2)}.$$

По этой схеме выполнены расчеты затухания ударных волн применительно к проведенным экспериментам. На рис. 3 и 5 результаты расчета показаны сплошными линиями, экспериментов — точками около них. В случае CCl_4 (см. рис. 3, 3), алюминия (см. рис. 5, 2) и йодистого калия (см. рис. 5, 1) наблюдается хорошее согласие, которое подтверждает справедливость принятых в расчете предположений и схемы обработки опытных данных. Несколько худшее согласие в случае ТНМ (см. рис. 3, 1, 2), по-видимому, связано с неточностью описания состояний продуктов взрыва пересжатой детонации ТНМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М.: Наука, 1975.
2. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов и др. Докл. АН СССР, 1968, 182, 4, 807.
3. И. М. Воскобойников, А. Н. Афанасенков. — В кн.: Взрывное дело. № 75/32. М.: Недра, 1975.

УДК 548.2.24 : 666.233

РОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЛМАЗА ИЗ УГЛЕРОДА ТВЕРДОГО РАСТВОРА

*В. В. Соболев, Р. П. Дидык, В. Я. Слободской,
Ю. И. Мережко, А. И. Скиданенко
(Днепропетровск)*

За последние годы результаты теоретических и экспериментальных исследований подтвердили принципиальную возможность синтеза алмаза в метастабильной области [1, 2]. Наибольший прогресс достигнут в области синтеза алмаза из различных углеродсодержащих газов. Одно из условий такого образования алмаза — наличие подложки или затравочного кристалла, имеющего структуру, сходную с алмазной, или структуру самого алмаза [1].

Возможность роста алмаза при атмосферном давлении была исследована нами в железных сплавах. С этой целью в образце чугуна были получены зародыши алмаза воздействием динамического давления 80—90 ГПа. При этом массовая доля синтезированных поликристаллов алмаза с максимальным размером 40—50 мкм не превышает 1%. Наибольшее содержание алмаза приходится на фракции 0,1—5 мкм и составляет около 80%.

После динамического нагружения в исходном образце содержатся включения поликристаллов алмаза и графита, химическое соединение углерода с металлом и твердый раствор углерода. В настоящей работе изучали превращения различных форм углерода в металлической матрице при термическом воздействии. Опыты проводили при атмосферном давлении и изотермической выдержке при температуре до 1100°C. Изотермическая выдержка сопровождается структурной перестройкой материала образца, выражающейся в аустенизации металлической матрицы. Аустенит зарождается и растет в первую очередь около включений графита, образуя сплошную аустенитную оболочку, и по границам ферритных зерен. Необходимое для α — γ -превращения пересыщение феррита углеродом достигается раньше на поверхности феррит — графит, где наличие