УДК 532 · 593+662 · 215 · 2

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДИАБАТЫ РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

С. Г. Андреев, М. М. Бойко, В. А. Летягин, В. С. Соловьев
(Москва)

Ударная сжимаемость твердых и жидких сред в настоящее время хорошо изучена [1, 2]; разработаны методы априорного определения вида ударной адиабаты для конденсированных систем [3, 4]. Наибольшее число ударных адиабат построено по результатам экспериментальных измерений скорости свободной поверхности, с использованием достаточно обоснованного приближения свободной поверхности $w=2u$, а некоторые путем непосредственных измерений электромагнитным методом [5] и методом манганинового датчика [6].

В статье изложен метод получения адиабаты расширения вещества, который основан на использовании зависимостей, описывающих процесс распада разрыва, возникающего при отражении ударных волн и волн разрежения от границы раздела двух сред. В качестве экспериментального метода используется метод емкостного датчика, при помощи которого регистрировалась скорость движения свободной поверхности слоистого образца. При определенных условиях указанный метод позволяет получить в одном эксперименте несколько точек на адиабате расширения исследуемого материала.

Рассмотрим плоскую одномерную картину перехода ударной волны с прямоугольным профилем из одной среды в другую, выход волны на свободную поверхность и переход волны расширения через границу раздела двух веществ.

Имеется два вещества А и В (рис. 1), по которым распространяется слева направо ударная волна прямоугольного профиля. Ударная адиабата вещества В известна, а у вещества А требуется ее определить. Материалы подбираются таким образом, чтобы акустическая жесткость вещества В была больше, чем у А, т. е. $(\rho C)_B > (\rho C)_A$. В таком случае метод может быть удобен для построения адиабат расширения пластмасс, жидкостей с использованием в качестве вещества В алюминия, для которого в широком диапазоне давлений изучена ударная сжимаемость. Ударную волну в системе можно получить либо ударом пластины, либо подрывом заряда достаточной длины с плоским фронтом. При переходе через контактную поверхность *аб* по исследуемому веществу А пойдет отраженная ударная волна и давление в веществе А повысится до значения, определяемого жесткостью вещества В. Когда ударная волна в веществе В выйдет на свободную поверхность, то последняя начнет двигаться со скоростью $w_1=2u$, а внутрь по алюминию пойдет волна разрежения. После выхода волны разрежения на границу раздела *аб* волна разрежения в веществе В отразится волной сжатия, а по веществу А пойдет волна разрежения. Волна сжатия отразится от свободной поверхности опять волной разрежения, а при переходе ее через границу *аб* по веществу В пойдет еще одна волна сжатия и т. д.

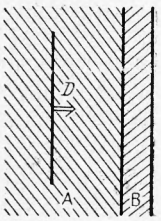


Рис. 1.

Проведенные рассуждения представлены в x—t-координатах на рис. 2. Указанный процесс будет продолжаться до тех пор, пока давления в А и В упадут до нуля. На рис. 3 этот же процесс изображен в p—u-ко-

ординатах. Точка *2* соответствует значению начальных параметров на границе раздела веществ *аб* при первом проходе через границу ударной волны. Точка *1* соответствует значению удвоенной массовой скорости в алюминии при разгрузке ее до нуля, которая измеряется экспериментально. Реверберация волны в алюминии приводит к повторному ускорению свободной поверхности, значение которой определяется точкой *3*.

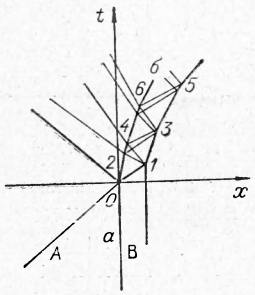


Рис. 2.

Используя метод емкостного датчика, удается определить значения скоростей свободной поверхности, соответствующие последовательным выходам ударных волн. Если знать ударную адиабату вещества В и использовать приближения свободной поверхности, то можно определить последовательно точки *4*, *6*... по экспериментально определенным *1*, 3, 5 ..., например, геометрическим построением. Таким образом, удается получить ряд точек на адиабате расширения вещества А. Нетрудно видеть, что зная скорость свободной поверхности в точках *1*, *3*, *5*... *k* и принимая совпадение изэнтропы и ударной адиабаты вещества В, можно построить адиабату расширения вещества А.

Адиабату разгрузки вещества А можно построить полностью (от $p_{аб}$ $u_{аб}$ до p_0 u_k) если известна скорость u_k, которая определяется достаточно точно при малых толщинах пластины из вещества В (меньших 1 *мм*). Основным условием получения данных о разгрузке вещества, при прочих допущениях (прямоугольность, или незначительный спад профиля, одномерность эксперимента) является большая жесткость вещества В по сравнению с А, причем, чем больше эта разница, тем надежнее результат. Очевидно, что использовать в качестве вещества В вещество с меньшей акустической жесткостью нельзя, так как это приведет к отколу слоя этого вещества, что позволит при данной схеме эксперимента получить лишь значение w_B (рис. 4). Для того, чтобы меньше сказывалось затухание, толщина вещества В должна выбираться по возможности меньшей. Брать В очень тонким нельзя ввиду ограниченного разрешения аппаратуры и определенного аппаратурного завала переднего фронта записи на осциллограмме.

На примере рассмотрена возможность получения адиабаты расширения текстолита марки ПТ. Измерение скорости свободной поверхности производилось при помощи емкостного датчика [7] по схеме, представленной на рис. 5, где *1*— пластина из вещества А, *2*— пластина из вещества В, *3*— корпус датчика, *4*— охранное кольцо, *5*— измерительный диск.

Ударная адиабата вещества В бралась в виде: $D=5{,}25+1{,}39\ u$ или $p=27\ (5{,}25+1{,}39\ u)$ *кбар*. Типичная осциллограмма представлена на

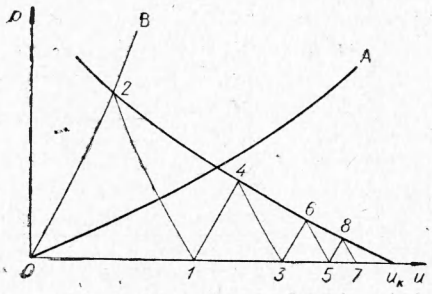


Рис. 3.

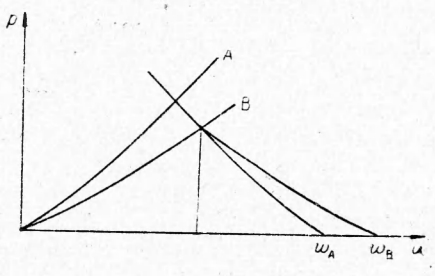


Рис. 4 .

рис. 6. Результаты обработки осциллограмм приведены в табл. 1 и 2, а построение приведено на рис. 7, где *1* — ударная адиабата, *2, 2'* — адиабаты расширения текстолита, нагруженного до различных состояний. В экспериментах для создания ударной волны прямоугольного профиля брались заряды достаточной длины. Для контроля формы профиля бы-

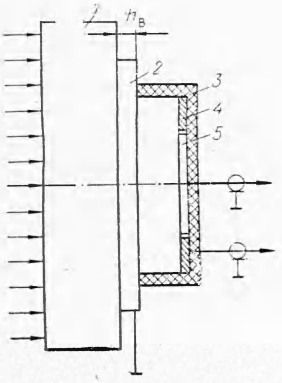


Рис. 5.

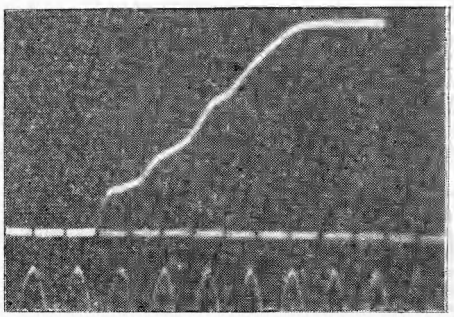


Рис. 6.

ли проведены специальные эксперименты, в которых в качестве пластины из вещества В бралась дюралевая фольга толщиной 0,1 *мм,* а пространство между обкладками конденсатора заполнялось бензолом. Получено, что в течение времени реверберацій 0,6 *мксек* для первого опыта и 1,5 *мксек* для второго спад скорости составил соответственно 4 и 8%.

Таблица 1

h_A, *мм*	h_B, *мм*	u_1, *м/сек*	u_3, *м/сек*	u_5, *м/сек*
10	1	1000	1520	1810
4,9	2,5	780	1170	1450

Таблица 2

p, кбар	80	39,4	21,3	61	27,6	20,6
u, м/сек	500	1260	1665	390	970	1310

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Методом емкостного датчика в схеме с веществами А и В, когда ударная адиабата вещества В известна, в одном эксперименте, в зависимости от выбранных условий, удается получить несколько точек на адиабате расширения исследуемого вещества (вещество А), что невозможно получить другими методами.

2. Экспериментально установлено, что в одном эксперименте удается получить не менее трех надежных точек на адиабате расширения исследуемого вещества.

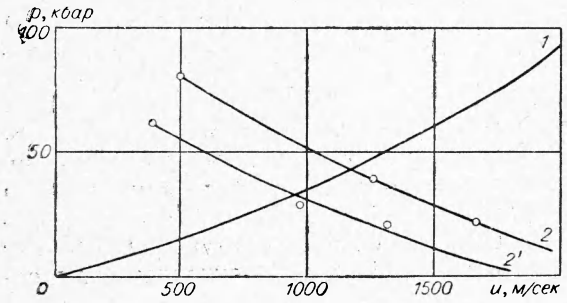


Рис. 7.

3. Изменением характеристики вещества В при одних и тех же параметрах нагружения можно получить различные значения крайней точки на адиабате расширения двойного сжатия исследуемого вещества.

4. Предложенный метод может быть использован, когда неизвестна ударная адиабата вещества В, а из-

вестна для А. Однако это окажется возможным тогда, когда достаточно точно из осциллограммы удается определить значение u_k.

5. Точность получения изэнтроп разгрузки вещества А другими методами сильно зависит от разброса системы, нагружающей образец. Предложенный метод исключает этот недостаток.

6. Данный метод представляется интересным для получения опытного уравнения состояния вещества, так как он несет в себе большую информацию о веществе (о вторичном сжатии вещества образца); он может быть использован в более широком диапазоне давлений, чем метод, предлагаемый в [8].

Поступила в редакцию
17/X 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Альтшулер. УФН, том 85, вып. 2. 1965.
2. Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях. «Мир». 1965.
3. И. М. Воскобойников, В. М. Богомолов, А. Н. Афанасенко. ПМТФ, № 4, 1969.
4. T. C. Skidmor, E. Moris. Symposium on Termodynamic of Nuclear Materiols. Vienna, mai 1962, p. 173.
5. А. Н. Дремин. Докторская диссертация. М., 1967.
6. A. S. Kusubov, M. van Thiel. J. Appl. Phys., v. 40, № 9, 1969.
7. А. Г. Иванов, С. А. Новиков. ПТЭ, № 1, 1963.
8. P. C. Lunc, R. R. Baade a. o. J. Appl. Phys., 1969, 40, 9, 3786.

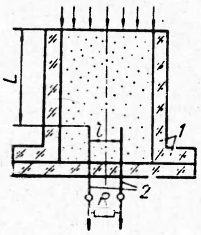
УДК 662.215.1

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ПРИ ДЕТОНАЦИИ ЛИТОГО СОСТАВА ТГ 40/60

А. Д. Зинченко, В. Н. Смирнов, А. А. Чвилева
(Челябинск)

Известно довольно большое количество экспериментальных работ по измерению электропроводности плазмы, образующейся при детонации твердых ВВ. В основном использовался электроконтактный метод измерений [1—3], когда на электроды, находящиеся в плазме, подается электрическое поле.

В данной работе измерения электропроводности плазмы проводились как электроконтактным, так и магнитогидродинамическим (МГД) методом. Последний метод получил широкое распространение для исследования детонации в газах, однако в случае детонации твердых ВВ он используется впервые.



Ниже обсуждаются результаты измерений электропроводимости плазмы, полученные обоими методами.

Схема экспериментального заряда приведена на рис. 1. Литой состав ТГ 40/60 с начальной плотностью 1,7 *г/см*³ был заключен в оргстекловую оболочку *2* с внутренним диаметром 40 *мм*. Электроды *1* выпол-

Рис. 1. Схема экспериментального заряда.