

Рис. 5.

изменяют характер взаимодействия структуры потока с поверхностью горения. Так, например, при значительно менее интенсивных вдувах газа с поверхности образца также наблюдается неподвижная волновая структура. Об этом свидетельствует фотография поверхности образца полиметилметакрилата на рис. 5 ($\lambda=0,2$, $p_0=4$ МПа). Этот факт усиливает сходство процесса образования волн на поверхности материала, подверженного эрозии в высокотемпературном газовом потоке с эрозией песчаного дна в потоке жидкости [8].

Дальнейшее направление экспериментальных исследований можно видеть в нахождении связей между параметрами структуры поверхности горения и параметрами турбулентного газового потока.

Поступила в редакцию
18/1 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Н. Уимпресс. Внутренняя баллистика пороховых ракет. М., ИЛ, 1952.
2. В. Н. Вилунов, А. А. Дворяшин и др. ФГВ, 1972, 8, 4.
3. J. E. Stump, E. W. Price. ARS J., 1960, 6.
4. В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
5. А. Г. Истратов, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. ФГВ, 1973, 9, 6.
6. П. Л. Капица. ЖЭТФ, 1948, 18.
7. П. Л. Капица, С. П. Капица. ЖЭТФ, 1949, 19, 105.
8. J. R. L. Allen. Geografiska Annaler, 1969, 51A, 1—2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕПЕНИ В ПОТЕНЦИАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ПО УДАРНОЙ СЖИМАЕМОСТИ

А. А. Долгов, М. Ю. Мессинев

(Москва)

Наиболее распространенной формой записи закона сжимаемости твердого тела является уравнение Тэта, которое в безразмерной форме имеет вид

$$\pi = 1/n [(x_0/x)^n - 1], \quad (1)$$

где $\pi = p/A$; $x = V/V_{00}$; $x_0 = V_0/V_{00}$; p — давление; V и V_0 — текущий и начальный (при $p=0$) объемы; V_{00} — объем вещества в том исходном состоянии, для которого имеются экспериментальные данные по сжимаемости (как правило, для 20°C); A и n — коэффициенты. В гидродинамических расчетах выражение (1) оказывается удобным для описания изэнтропических течений, поскольку инварианты Римана при этом принимают особенно простой вид [1, 2].

Для определения коэффициента n в (1) используются экспериментальные данные по статическому или динамическому сжатию при заданных структуре уравнения состояния и зависимости коэффициента Грюнайзена от объема [2, 3]. Обычно n считается константой. Значения n для ряда веществ приведены в [4]. В [5] для алюминия показано, что n есть функция давления на ударной адиабате.

В данной работе рассматривается случай, когда уравнение (1) описывает семейство изэнтроп. При этом можно получить соотношение, связывающее энергию E , давление и объем, исключив начальный объем x_0 , зависящий от энтропии из (1) и интеграла

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \int_x^{x_0} \pi dx,$$

где $\varepsilon = E/AV_{00}$. Принимая, что зависимость энергии от объема при $p=0$ линейна, т. е. $\varepsilon_0 = \varepsilon_{00} + 1/\Gamma_0(x_0 - 1)$, получим

$$\varepsilon = \varepsilon_{00} - 1/\Gamma_0 + x/(n-1) \{1 + \pi + [(n-1)/\Gamma_0 - 1](n\pi + 1)^{1/n}\}, \quad (2)$$

где Γ_0 — коэффициент Грюнайзена вещества в исходном состоянии. При постоянном n (2) представляет собой уравнение типа Райса — Уолша [6].

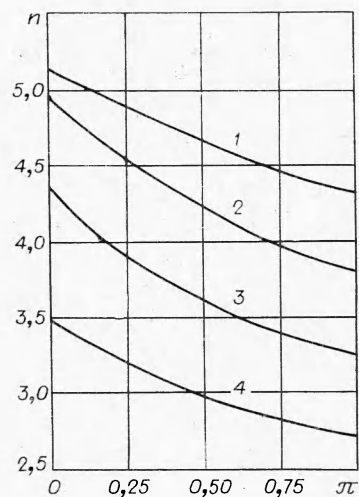
Соотношение Гюгонио $\varepsilon = \varepsilon_{00} + \pi/2(1-x)$ вместе с (2) определяет уравнение ударной адиабаты

$$x_H(\pi) = \frac{(n-1) \left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\Gamma_0} \right)}{1 + (n+1) \frac{\pi}{2} + \left(\frac{n-1}{\Gamma_0} - 1 \right) (n\pi + 1)^{1/n}}. \quad (3)$$

В том случае, когда известны экспериментальные значения $x_H(\pi)$, (3) становится уравнением для определения величины n . Например, для многих веществ волновая D и массовая u скорости связаны эмпирическим соотношением $D = C + Su$, которое определяет экспериментальную кривую Гюгонио (здесь C , S — коэффициенты). Принимая $A = C^2/V_{00}$, имеем

$$x_H(\pi) = (S-1)/S + (\sqrt{1+4\pi S} - 1)/2S^2\pi.$$

Зависимости $n(\pi)$ для ряда веществ представлены на рисунке (1 — плексиглас, 2 — медь, 3 — алюминий, 4 — бериллий), использованные в расчетах данные, заимствованные в [7], сведены в таблицу. Коэффициент Грюнайзена слабо влияет на величину n . Например, $\Delta\Gamma_0/\Gamma_0 \approx 20\%$ при $\pi=1$ соответствует $\Delta n/n \leq 2\%$. Как видно из графика, показатель



Вещество	C , км/с	S	V_0 , см ² /г	A , кбар	G_0
Плексиглас	2,572	1,536	0,8439	78	0,97
Медь	3,94	1,489	0,1120	1390	1,99
Алюминий	5,328	1,338	0,3591	791	2,00
Бериллий	7,998	1,124	0,5405	1180	1,16

n падает с давлением на ударной адиабате от значения $4S-1$ до $2S-1$ при $\pi \rightarrow \infty$.

Потенциалом (1), по-видимому, можно пользоваться для описания изэнтропических течений в широком диапазоне давлений. Так, по имеющимся экспериментальным данным для случая сжатия воды ударными волнами ($0 < \pi < 20$) вычислены показатель $n(\pi)$, который изменялся от 7,3 до 2,6 и скорость звука в ударно-сжатой воде, которая отличалась от данных [6] в диапазоне до 200 кбар не более чем на 5%. Изложенный подход может быть применен к исследованию отличных от (1) потенциалов.

Авторы признательны Г. А. Адаурову и Э. И. Андрианкину за обсуждение результатов и полезные замечания.

Поступила в редакцию
3/V 1977,
после доработки — 24/VI 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., «Наука», 1966.
2. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М., «Наука», 1975.
3. В. Н. Жарков, В. А. Калинин. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М., «Наука», 1968.
4. В. П. Челышев, Б. И. Шехтер, Л. А. Шушко. ФГВ, 1970, 6, 2.
5. P. C. Chou, F. E. Allison. J. Appl. Phys., 1970, 37, 853.
6. M. H. Rice, J. M. Walsh. J. Chem. Phys., 1957, 26, 824.
7. High-Velocity Impact Phenomena. New York — London, Academic Press, 1970.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ПЬЕЗОМОДУЛЬ КЕРАМИКИ ЦТС-19

Н. П. Хохлов, В. Н. Минеев, А. Г. Иванов,
В. И. Лучинин

(Москва)

Пьезокерамика на основе цирконата-титаната свинца (ЦТС) широко используется в экспериментах с ударными трубами в качестве чувствительного элемента датчиков давления [1—4]. В этих экспериментах реализуются давления до 10 МПа с характерными временами воздействия давления до 100 мкс. Единого метода тарировки таких датчиков давления нет. В работе [2] использовалась статическая тарировка, в [4] пьезодатчик тарировался по среднему уровню давления в продуктах детонации. В [1] пьезомодуль керамики d_{33} определялся путем сопоставления амплитуды электрического