

ЛИТЕРАТУРА

1. Ададуров Г. А., Алпеев З. Г., Атовмян Л. О., Бавина Т. В., Бородько Ю. Г., Бреусов О. Н., Дремин А. Н., Мураневич А. Х., Першин С. В. Образование вюртцитоподобной модификации нитрида бора при ударном сжатии. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 172, № 5.
2. Альтшулер Л. В., Павловский М. Н., Дракин В. П. Особенности фазовых превращений в ударных волнах сжатия и разгрузки. — ЖЭТФ, 1967, т. 52, № 2.
3. Coleburn N. L., Forbes J. W. Irreversible transformation of hexagonal boron nitride by shock compression. — «J. Chem. Phys.», 1968, vol. 48, N 2.
4. Gust W. H. Hugoniot parameters for hot-pressed boron nitride to 120 GPa. — «Bull. Amer. Phys. Soc.», 1976, vol. 21, N 3.
5. Alder B. J., Christian R. H. Behavior of strongly shocked carbon. — «Phys. Rev. Lett.», 1961, vol. 7, N 10.
6. Павловский М. Н., Дракин В. П. К вопросу о металлической фазе углерода. — «Письма в ЖЭТФ», 1966, т. 4, № 5.
7. Дремин А. Н., Першин С. В. К вопросу о динамической сжимаемости углерода. — ФГВ, 1968, № 1.
8. McQueen R. G., Marsh S. P. Hugoniots of graphites of various initial densities and equation of state of carbon. — In: Comportament des milieux denses sous hautes pressions dynamiques. Paris — New York, 1968.
9. Канель Г. И. Об экспериментальном определении кинетики релаксационных процессов при ударном сжатии конденсированных сред. — ПМТФ, 1977, № 5.
10. Канель Г. И. Применение манганиновых датчиков для измерения давления ударного сжатия конденсированных сред. ВИНТИ, № 477-74 деп., 1974.
11. Канель Г. И., Молодец А. М., Воробьев А. А. О металлизации пластин взрывом. — ФГВ, 1974, № 6.
12. Колдунов С. А., Шведов К. К., Дремин А. Н. Разложение пористых ВВ под действием ударных волн. — ФГВ, 1973, № 2.
13. Канель Г. И., Вахитова Г. Г., Дремин А. Н. Метрологические характеристики манганиновых датчиков давления в условиях ударного сжатия и разгрузки. — ФГВ, 1978, № 2.
14. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений — УФН, 1965, т. 38, вып. 3.
15. Hayes D. V. Polymorphic phase transformation rates in shock-loaded potassium chloride. — «J. Appl. Phys.», 1974, vol. 45, N 3.
16. Дремин А. П., Карпухин И. А. Метод определения ударных адиабат дисперсных веществ. — ПМТФ, 1960, № 3.

УДК 532.593 : 536.711

ОБОБЩЕННЫЕ УДАРНЫЕ АДИАБАТЫ ЭЛЕМЕНТОВ

В. Ф. Анисичкин

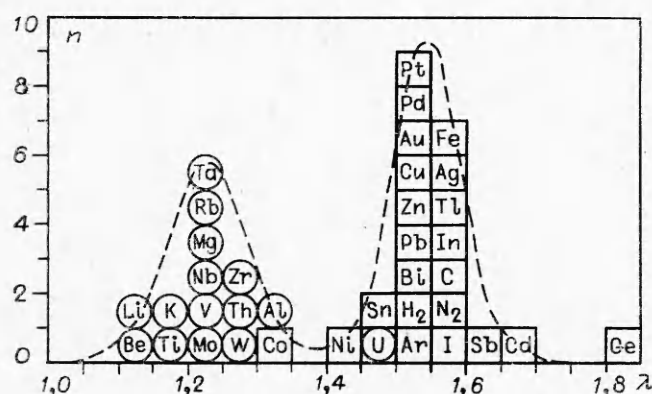
(Новосибирск)

Ударные адиабаты (УА) необходимы при анализе любых взрывных процессов. Они являются основным источником знаний об уравнениях состояния веществ при высоких давлениях и температурах. Этим объясняется и большой интерес к их экспериментальному определению. К настоящему времени известно около тысячи УА, в том числе разными авторами получено около двухсот УА многих элементов периодической системы Д. И. Менделеева. Такое большое число данных позволяет провести их статистическую обработку и обнаружить определенные закономерности.

Обобщенные формы УА веществ предлагались неоднократно, например, в [1—3]. При этом УА приближенно считались линейными в координатах массовая скорость — скорость ударной волны. Ниже рассматриваются обобщенные УА элементов, свободные от этого предположения.

1. В координатах скорость ударной волны — массовая скорость экспериментальные УА обычно приближают простыми аналитическими зависимостями, чаще отрезками прямых линий

$$(1.1) \quad D = a + \lambda u.$$



Ф и г. 2

Чтобы частично устранить эти причины отклонений λ от двух выделенных значений, распределение, показанное на фиг. 2, построено следующим образом: области очевидных фазовых переходов не рассматривались; если были известны несколько УА вида (1.1) для одного и того же вещества, то данные разных авторов усреднялись; отбирались значения λ только при одинаковых степенях сжатия вещества $V/V_0 = 0,675$ во фронте ударной волны.

Причиной остающихся отклонений λ от двух выделенных значений могут быть как ошибки эксперимента, так и несовпадение производных от УА как функций относительного объема V/V_0 , но важно отметить, что величина таких отклонений в среднем не превышает возможных экспериментальных ошибок при определении УА.

Распределения, аналогичные приведенному на фиг. 2, можно построить и при других относительных сжатиях веществ в ударной волне. По положениям максимумов таких распределений получены показанные на фиг. 3 графики изменения производных от УА для первой группы элементов (сплошная линия) и для второй группы (штриховая линия).

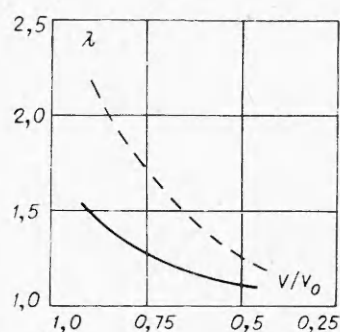
В пользу существования двух групп элементов, имеющих УА с одинаково меняющимися производными, говорит также место, которое они занимают в таблице Д. И. Менделеева. Элементы, составляющие первую группу, находятся в основном в начале каждого периода системы элементов (на фиг. 1, 2 они показаны кружочками), вторую группу составляют оставшиеся элементы периода (показаны квадратиками). Это согласуется с предположением о том, что характер сжимаемости вещества определяется главным образом степенью заполнения внешних электронных оболочек атомов.

2. Из сказанного выше следует, что в пределах ошибки эксперимента производные от УА можно считать одинаковыми функциями относительного объема для каждой из двух выделенных групп элементов. Для каждой из групп производные от УА оказываются равными при одинаковых значениях V/V_0 , т. е. на прямых, выходящих из начала координат в плоскости u, D . При параметрической записи УА

$$u = u(V/V_0), D = D(V/V_0),$$

это означает, что

$$(2.1) \quad \frac{dD_i(V/V_0)}{du_i(V/V_0)} = \frac{dD_j(V/V_0)}{du_j(V/V_0)}.$$



Ф и г. 3

Если УА — непрерывные зависимости скорости ударной волны от массовой скорости, то, интегрируя (2.1), получаем

$$(2.2) \quad k_i u_i(V/V_0) = k_j u_j(V/V_0), \quad k_i D_i(V/V_0) = k_j D_j(V/V_0),$$

где k_i, k_j — некоторые постоянные.

Соотношение (2.2) означает, что УА одной группы получаются друг из друга растяжением вдоль осей координат в плоскости u, D в одинаковое число раз, т. е. они геометрически подобны. В плоскости $p, V/V_0$ такие УА можно совместить, растягивая в соответствующее число раз вдоль оси давлений. Так как

$$p = \rho_0 D u,$$

то, согласно (2.2), получаем

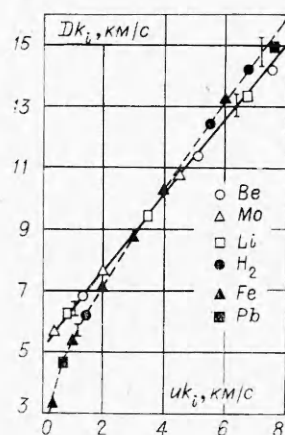
$$(2.3) \quad \frac{p_i(V/V_0)}{p_j(V/V_0)} = \frac{\rho_{0i}}{\rho_{0j}} \frac{k_j^2}{k_i^2}.$$

На фиг. 4 приведены оба типа обобщенных УА вместе с некоторыми экспериментальными УА, преобразованными по формулам (2.2). Здесь же показаны средние экспериментальные ошибки. Видно, что УА различных элементов совмещаются.

3. Геометрическое подобие УА одной группы позволяет, согласно (2.2), (2.3), восстанавливать УА по одной экспериментальной точке, исключая области двухфазных состояний. Изложенные выше статистические результаты позволяют также обоснованно отбирать из нескольких известных экспериментальных УА наиболее надежные, которые должны быть геометрически подобны другим УА той же группы.

Элементы каждой из двух выделенных выше групп имеют различную ударную сжимаемость. Наиболее легкожимаемые элементы — литий, натрий и калий в первой группе и водород и его изотопы — во второй. Калий был сжат в однократной ударной волне в 3,5 раза [4], дейтерий в 3 раза [6]. Геометрическое подобие, выполняющееся с хорошей точностью, позволяет строить УА трудножимаемых элементов до таких же больших относительных плотностей. В эксперименте, чтобы сжать, например, железо в 3 раза, понадобилось бы давление в ударной волне около 60 Мбар, а для сжатия молибдена в 3,5 раза — около 80 Мбар.

При ударном сжатии, как оказалось, подобным образом ведут себя только элементы одной группы. Из этого следует, что ударно-волновые процессы можно моделировать только с помощью веществ одной группы.



Ф и г. 4

В заключение следует отметить, что выше из-за отсутствия литературных данных рассмотрены не все элементы периодической системы. Кроме того, результаты имеют статистический характер. Поэтому отклонения от обнаруженных закономерностей, превышающие среднюю ошибку эксперимента, возможны.

Автор выражает благодарность В. М. Титову и Ю. И. Фадеенко за полезные обсуждения.

Поступила 19 V 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Корявов В. П. Приближенное уравнение состояния твердых тел.— ПМТФ, 1964, № 5, с. 123.
2. Воскобойников И. М., Афанасенков А. А., Богомолов В. М. Обобщенная ударная адиабата органических жидкостей.— ФГВ, 1967, т. 3, № 4, с. 585.
3. Prieto Fernando E., Renero Claude. The equation of state of solids.— «J. Phys. Chem. Solids», 1976, vol. 37, N 2, p. 151.
4. Van Thiel M., Kusubov A. S., Mitchell A. C., Davis V. W. Compendium of shock wave data. Lawrence Radiation Lab., University of California, Livermore, UCRL-50108, 1966.
5. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П., Челышев В. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. М., «Наука», 1975.
6. Van Thiel M., Hord B. L., Boutwell K. Shock waves in hydrogen isotopes and their high pressure equation of state.—In: Proceedings of the 4th International Conference on high pressure. Kyoto, 1974, p. 546.

УДК 539.374

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ УДАРНО-НАГРУЖАЕМЫХ ЖЕСТКО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СРЕД С УПРОЧНЕНИЕМ

Ю. И. Мещеряков, В. А. Морозов

(Ленинград)

В последние годы значительное число работ, касающихся изучения зависящих от скорости деформирования свойств материала, развивает микроскопический подход к описанию ударного поведения материалов (см., например, обзор [1]). Этот подход основан на использовании динамических свойств дислокаций в записи определяющего уравнения. Замкнутая система уравнений, используемая для описания упругопластических волн в случае одноосного нагружения, имеет вид

$$\begin{aligned} (1) \quad & \rho u_t + \sigma_x = 0; \\ (2) \quad & u_x + \varepsilon_t = 0; \\ (3) \quad & \sigma_t - \rho c^2 \varepsilon_t = -F, \end{aligned}$$

где u — скорость смещения частиц материала; ε — полная деформация в направлении распространения волны; σ — напряжение; ρ — плотность материала; c — скорость звука (адиабатическая); F — функция релаксации, вид которой определяет зависимость скорости пластической деформации материала от плотности подвижных дислокаций и их скорости.