

- [6] Yoshida A., Tamura H., Morohashi S., Hasuo S. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 9. P. 811-813.
- [7] Ikuma Y., Akijoshi S. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 8. P. 3915-3917.
- [8] Chung G., Barr L.W. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 2. P. 123-124.
- [9] Nakajima H., Yamaguchi S., Iwasaki K., Morita H., Fujimori H. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 15. P. 1437-1439.
- [10] Бакунин О.М., Выходец В.Б., Клоцман С.М., Левин А.Д., Матвеев С.А., Степанов К.А. // Тез. Всес. школы „Диффузия и дефекты“. Свердловск. 1989. С. 48.
- [11] Бессергенов В.Г., Диковский В.Я. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 37-40.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
17 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

01; 05.1

РАСЧЕТ УДАРНЫХ АДИАБАТ ПОРИСТЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ПСЕВДОПОТЕНЦИАЛА

В.Ф. Лемберг, С.Г. Псахье,
В.Е. Панин

При создании новых материалов высокоэнергетическим импульсным воздействием часто в качестве исходной среды используются металлы с исходной пористостью (порошки, тела с внутренними пустотами, волокнистые материалы и т.д.). В связи с этим особое значение приобретает изучение влияния исходной пористости материалов на их свойства при ударно-волновом нагружении. В то же время корректные методики расчета разработаны, в основном, лишь для идеальных материалов. В настоящей работе исследуется влияние исходной пористости на ударные адиабаты непереходных металлов. В качестве примера приведены результаты, полученные для натрия и алюминия, как для непереходных металлов с различной валентностью и типом кристаллической структуры.

Основные закономерности ударного сжатия пористых твердых тел были рассмотрены еще в [1], где теоретически было предска-

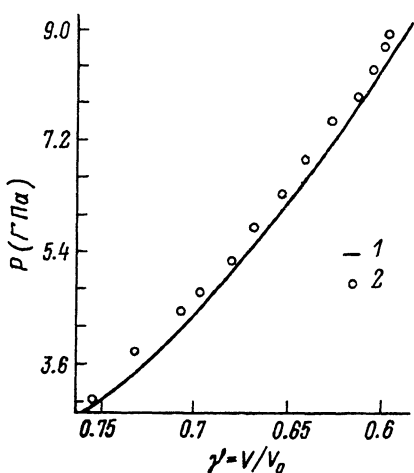


Рис. 1. 1 - изотерма ($T = 293$ К) натрия, 2 - эксперимент [8].

зано увеличение крутизны ударных адиабат при наличии исходной пористости. Этот эффект связан с тем, что при ударном сжатии пористых материалов приобретает дополнительную по сравнению со сплошными внутренняя энергия $\Delta E =$

$$= \frac{1}{2} P (V_{00} - V_0),$$

где P - давление в ударной волне, V_0 - равновесное значение объема сплошного вещества при нуле-

вом давлении, V_{00} - исходный объем пористого образца. Это приводит к тому, что при одних и тех же значениях объема V ударно-сжатые пористые материалы обладают гораздо более высокой температурой, следовательно, их ударные адиабаты проходят значительно выше. Для количественного описания данного эффекта в [1] была использована простейшая модель, в которой коэффициент Грюнайзена предполагается постоянным. Однако это приближение допустимо лишь в области небольших давлений, поскольку при более сильных сжатиях коэффициент Грюнайзена существенно зависит от температуры и объема. Для более корректных вычислений используемые термическое $P(V, T)$ и калорическое $E(V, T)$ уравнения состояния должны быть представлены гораздо точнее. В последнее время для этой цели при расчетах ударных адиабат широко используются методы теории псевдопотенциала [2-4]. В данной работе использован локальный модельный псевдопотенциал Краско-Гурского с параметрами, установленными в [5] (натрий) и [6] (алюминий). Учет колебаний решетки производился с использованием модели самосогласованных эйнштейновских осцилляторов [6]. Существенное для сильных сжатий остов-остовное взаимодействие учитывалось введением потенциала Борна-Майера [7]. Учитывался также вклад, связанный с тепловым возбуждением электронного газа.

Для натрия может быть произведена непосредственная проверка точности уравнения состояния $P(V, T)$ с помощью имеющихся экспериментальных данных [8] по статическому сжатию при комнатной температуре T_0 (рис. 1).

При расчете ударных адиабат, следуя [1], будем полагать, что в конечном состоянии за фронтом ударной волны вещество является сплошным и однородным. Решая уравнение Гюгонио

$$E(V, T) - E(V_0, T_0) = \frac{1}{2} P (V_{00} - V), \quad (1)$$

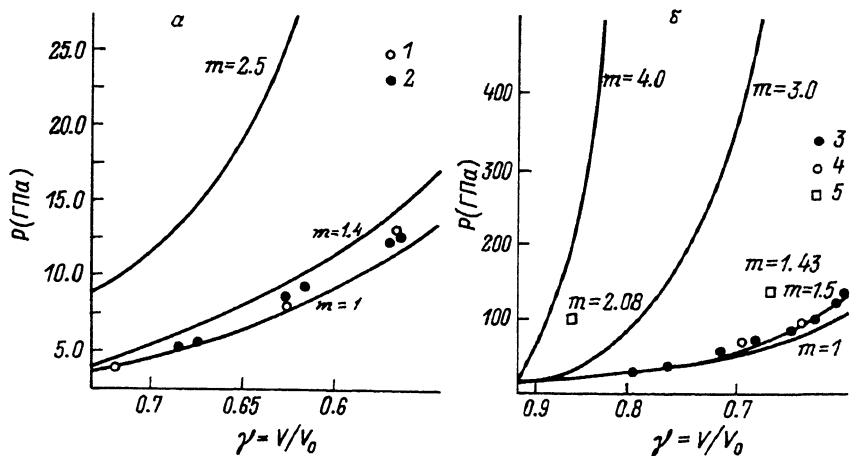


Рис. 2. Ударные адиабаты пористых образцов а - натрия: 1 - эксперимент [10] ($m=1$), 2 - эксперимент [11] ($m=1$), б - алюминия, 3 - эксперимент [13] ($m=1$), 4 - эксперимент [12] ($m=1$), 5 - эксперимент [9] ($m > 1$).

можно построить семейство ударных адиабат, характеризуемых различными значениями коэффициента исходной пористости (рис. 2). Для алюминия при не слишком высоких значениях может быть проведено количественное сравнение с существующими экспериментальными данными:

V / V_0	P (Па)	$m_{\text{эксп}}$ [9]	$m_{\text{теор.}}$
0.6676	139.1	1.43	2.24
0.8503	100.3	2.08	3.89

Расхождение с экспериментальными данными при высоких значениях m , по-видимому, связаны с ограниченностью квазигармонического приближения при высоких температурах. Другая причина может заключаться в том, что при больших m разогрев образца приводит к его плавлению.

Таким образом, предложенный подход позволяет анализировать поведение ударных адиабат пористых металлических материалов. Точность приведенных расчетов, вообще говоря, может быть улучшена при использовании, как и в [3, 4], нелокальных псевдопотенциалов и проведении полного расчета фоновых спектров. Однако подобные вычисления весьма трудоемки. В то же время при не слишком сильных сжатиях результаты отличаются незначительно.

Следует отметить, что данный подход может быть распространен и на сплавы переходных металлов, что дает возможность анализировать влияние легирования.

- [1] З е л ь д о в и ч Я.Б., Р а й з е р Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука. 1966. 688 с.
- [2] Y o u n g D.A., R o s s M. // Phys. Rev. B. 1984. V. 29. N 3. P. 682-691.
- [3] M o r i a r t y J.A., Y o u n g D.A., R o s s M. // Phys. Rev. B. 1985. V. 30. N 2. P. 578-587.
- [4] N e l l i s W.A. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 60. N 14. P. 1414-1417.
- [5] Б р а т к о в с к и й А.М., В а к с В.Г., Т р е ф и л о в А.В. // ЖЭТФ. 1984. Т. 86. № 6. С. 2141-2157.
- [6] П а н и н В.Е., Х о н Ю.А., П с а х ь е С.Г. и др. Теория фаз в сплавах. Новосибирск: Наука. 1984. 223 с.
- [7] B e n e d e k R. // Phys. Rev. 1977. V. 15. N 6. P. 2902-2913.
- [8] F r i t z J.N., O l i n g e r B.W. // J. Chem. Phys. 1984. V. 80. N 6. P. 2864-2871.
- [9] К о р м е р С.Б. и др. // ЖЭТФ. 1962. С. 42. № 3. С. 686-702.
- [10] Б а к а н о в а А.А., Д у д о л а д о в И.П., Т р у н и н Р.Ф. // ФТТ. 1965. Т. 7. № 6. С. 1615-1622.
- [11] R i c e M.H. // J. Phys. Chem. Sol. 1965. V. 26. N 3. P. 483-492.
- [12] А л ь т ш у л е р Л.В. и др. // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. № 3. С. 686-698.
- [13] M i t c h e l l A.C., N e l l i s W.J. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 5. P. 3363-3374.

Институт физики
прочности и материаловедения
АН СССР

Поступило в Редакцию
18 августа 1989 г.