

- [4] K a k i n o k i J., K a t a d a K., H a - n a w a T. et al. // Acta Crystallogr. 1960. V. 13. P. 171-176.
- [5] B e e m a n D., S i l v e r m a n J., L y n d s R. et al. // Phys. Rev. 1984. V. B30. P. 870-876.
- [6] Р е з н и к Б.И., С у р а н о в А.В., Р о т н е р Ю.М. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 1. С. 191-194.
- [7] P a t e B. // Surf. Sci. 1986. V. 165. P. 83-142.
- [8] Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской спектроскопии. / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха. М.: Мир. 1987. 600 с.

Поступило в Редакцию
6 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22

26 ноября 1989 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЛН РАЗГРУЗКИ В НЕПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛАХ

В.Ф. Л е м б е р г, С.Г. П с а х ь е,
В.Е. П а н и н

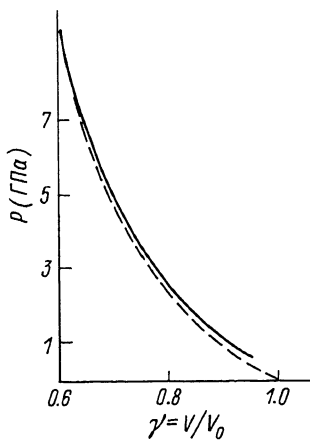
Псевдопотенциальные расчеты уравнения состояния в последнее время нередко применяются для построения ударных адиабат различных металлов [1-3]. Однако данный подход может быть использован и при решении ряда других традиционных задач физики ударных волн.

Целью настоящей работы является исследование поведения непереходных металлов при разгрузке после ударно-волнового нагружения. Используемая при расчетах методика ранее успешно применялась при изучении различных термодинамических свойств [4], фазовых равновесий [5] и ударных адиабат [6] рассматриваемых металлов и их сплавов. Вычисления проведены с использованием модельного локального псевдопотенциала Краско-Гурского [7] и самосогласованной модели эйнштейновских осцилляторов [4]. При расчетах учтены также вклады, связанные с остов-остовными взаимодействиями и с тепловым возбуждением электронного газа.

На рис. 1 в качестве примера изображены результаты расчета энтропии разгрузки натрия, предварительно деформированного ударно-волновым нагружением до степени сжатия $\gamma = \frac{V}{V_0} = 0.6$.

В работе [8] на основании полуэмпирического определения коэффициента Грюнайзена как функции γ были рассчитаны конечные значения (т.е. при нулевом давлении) термодинамических величин

Рис. 1. Пример изэнтропы разгрузки натрия, предварительно нагруженного до $\gamma_1 = 0.6$. Штриховая линия соответствует адиабате Гюгонио



натрия после разгрузки. В [9] аналогичные вычисления были проведены для алюминия. Однако при этом была использована гораздо менее точная модель с фиксированным коэффициентом Грюнайзена. Результаты наших вычислений несколько отличаются от данных расчетов. Здесь P_1 - исходное давление на адиабате Гюгонио, γ^{end} и T^{end} - соответственно, сжатие и температура после разгрузки до $P=0$.

и температура после разгрузки до $P=0$.

Натрий

$P_1, \text{ГПа}$	γ^{end}	$T^{end}, \text{К}$	γ^{end}	$T^{end}, \text{К}$
2.0	1.002	303	1.004	313
4.0	1.007	336	1.018	375
8.0	1.028	460	1.068	559
12.0	1.055	612	1.149	753
16.0	1.090	792	1.239	912

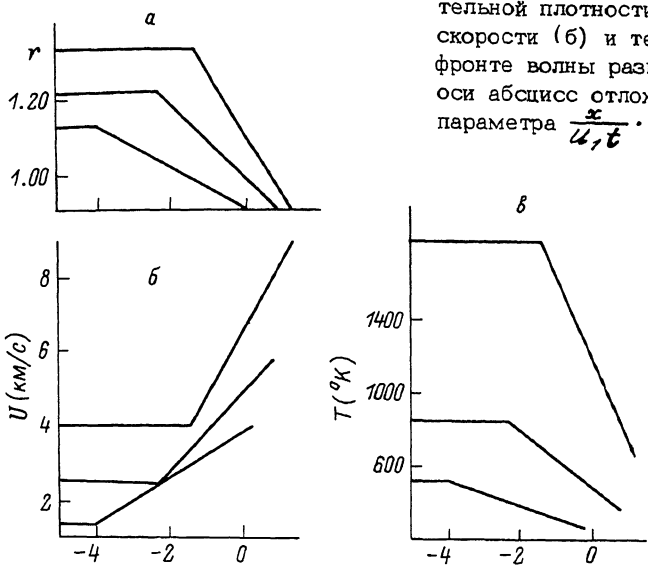
Алюминий

$P_1, \text{ГПа}$	γ^{end}	$T^{end}, \text{К}$	γ^{end}	$T^{end}, \text{К}$
20.0	1.003	365	1.006	362
40.0	1.007	450	1.022	568
60.0	1.014	572	1.041	848
80.0	1.021	722	1.062	1169
100.0	1.030	901	1.083	1516

Используя рассчитанные изэнтропы разгрузки, можно определить пространственное распределение и временную зависимость термодинамических величин во фронте волны разгрузки. Хорошо известно, что существующее в этом случае автомодельное решение уравнений сплошной среды имеет вид [10]

$$\frac{x}{t} = u_1 + \int_{\rho}^{\rho_1} \frac{d\rho}{\rho c} - C, \quad (1)$$

Рис. 2. Распределение относительной плотности (а), массовой скорости (б) и температуры во фронте волны разгрузки. Вдоль оси абсцисс отложены значения параметра $\frac{x}{u, t}$.



где $u_1 = \sqrt{P_1(V_1 - V_0)}$ соответствует массовой скорости при начальном давлении разгрузки P_1 , $c = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_s^{1/2}$ - адиабатическая скорость

звука. Вводя переменную $f(\gamma) = \frac{P(\gamma)}{P_1}$ и переходя к интегрированию по γ , уравнение (1) преобразуем к виду

$$\frac{x}{u, t} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1-\gamma_1}} \left(\int_{\gamma_1}^{\gamma} \sqrt{-\left(\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right)_s} d\gamma - \gamma \sqrt{-\left(\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right)_s} \right), \quad (2)$$

где $\gamma_1 = \frac{V_1}{V_0}$. Результаты расчетов распределения величины относительной плотности $r = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\gamma}$, температуры T и массовой скорости

$$u = u_1 + \int_{\rho}^{\rho_1} \frac{dP}{\rho c} \quad (3)$$

как функции параметра $\frac{x}{u, t}$, выполненных для алюминия при различных начальных сжатиях γ_1 , представлены на рис. 2. При этом следует иметь в виду, что сама величина u_1 существенным образом зависит от γ_1 . Ее расчетные значения равны, соответственно, 3.96 км/с для $\gamma_1 = 0.6$, 2.44 для $\gamma_1 = 0.7$ и 1.38 км/с для

$\eta = 0.8$. Временная эволюция распределений рассматриваемых величин заключается, согласно (1), в увеличении масштаба вдоль оси x с течением времени.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] M o r i a r t y J.A. In: Shock waves in condensed matter./Ed. by S.C. Schmidt, N.C. Holmes. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, 1988. P. 57-60.
- [2] G o d w a l l B.K., S i k k a S.K., C h i d a m b a r a m R. // Pramana-J. Phys. 1987. V. 29. N 1. P. 93-101.
- [3] Y o u n g D.A., R o s s M. // Phys. Rev. B. 1984. V. 29. N 3. P. 682-691.
- [4] 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.
- [5] Z o l n i k o v K.P., P s a k h i e S.G., P a n i n V.E. // J. Phys. F. 1986. V. 16. N 8. P. 1145-1152.
- [6] Л е м б е р г В.Ф., З о л ь н и к о в К.П., П с а х ь е С.Г. Препринт ИФПМ СО АН СССР № 6. Томск, 1989.
- [7] К р а с к о Г.Л., Г у р с к и й З.А // Письма в ЖЭТФ, 1969. Т. 9. В. 10. С. 596-601.
- [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] L i W e i x i n. In: Shock waves in condensed matter./Ed. by Y.M. Gupta. Plenum Press. New Yourk, 1986. P. 167-170.
- [10] 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.

Поступило в Редакцию
18 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22
02; 07

26 ноября 1989 г.

СКОРОСТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ФОТООТКЛОНЕННОГО АТОМНОГО ПУЧКА

Б о я р с к и й К.К., Х р я щ е в Л.Ю.

Резонансное световое давление широко исследуется в связи с применением для селективного детектирования атомов [1], охлаждения и пленения атомов [2] и т.д. При поперечном воздействии