

УДАРНАЯ СЖИМАЕМОСТЬ АЛЮМИНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ $p \gtrsim 1$ Гбар

А.С.Владимиров, Н.П.Волошин, В.Н.Ногин,

А.В.Петровцев, В.А.Симоненко

Методом отражения с использованием в качестве эталона железа получены экспериментальные данные по ударной сжимаемости алюминия при давлении 0,4 – 4 Гбар. Актуальность таких измерений обусловлена необходимостью проверки современных теоретических уравнений состояния веществ.

При исследовании ударной сжимаемости веществ в области высоких давлений широко используется теоретическая модель Томаса – Ферми ¹ и ее модификации, учитывающие регулярные вклады квантовых эффектов ТФП ^{2, 3}, неидеальность свойств ионных остовов ТФПК ⁴ и др. В ряде случаев значительное влияние на ход ударных адиабат плотных веществ оказывает проявление оболочечной электронной структуры атомов. Это влияние учитывается с помощью трудоемких квантовомеханических расчетов с внесением упрощений ⁵⁻⁷, влияние которых на результаты обычно трудно оценить.

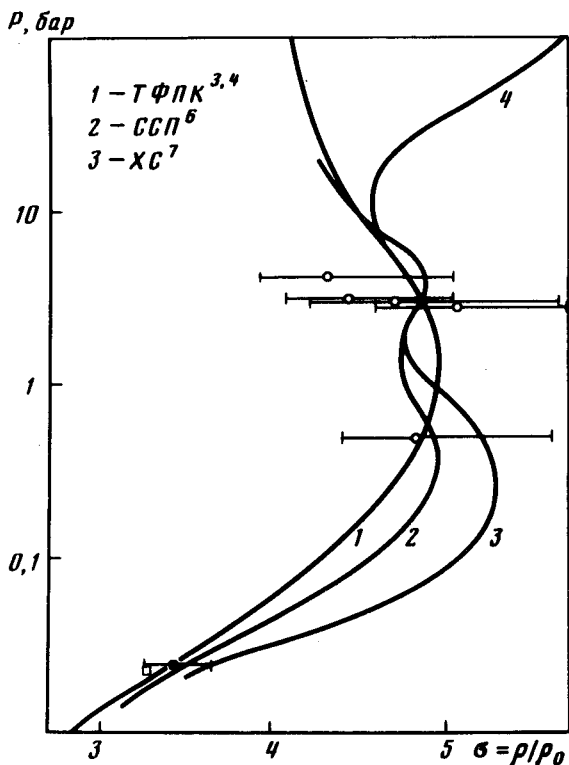


Рис. 1

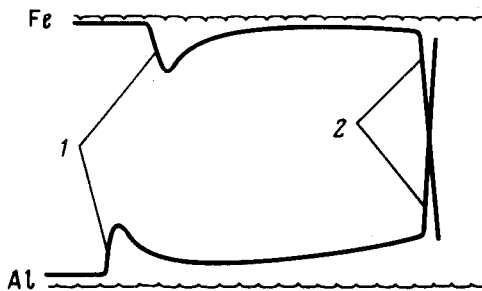


Рис. 2

Проявление оболочечных эффектов при ударной сжимаемости алюминия рассчитано в ⁶ по модели самосогласованного поля с приближенным учетом энергетических зон ⁵ и в ⁷ по модели Хартри – Фока с локальным учетом обменных эффектов в приближении Слэтера. Ударные адиабаты алюминия, полученные в этих работах, а также по модели ТФПК, показаны на рис.1 в переменных давление – сжимаемость $\sigma = \rho / \rho_0$. Начальная плотность $\rho_0 = 2,71 \text{ г/см}^3$. Зависимости из ^{6,7} осциллируют относительно более гладкой кривой ТФПК. Фазы осцилляции согласуются, но амплитуды отклонений от ТФПК для „нижней полуволны” значительно отличаются. Поэтому целесообразно выяснить возможности экспериментального изучения ударной адиабаты алюминия в области осцилляций.

К настоящему времени экспериментальные данные по ударной сжимаемости алюминия получены лишь для нижней части осциллирующего участка при давлениях $p = 0,01 - 0,02 \text{ Гбар}^{8-10}$ ($1 \text{ Гбар} = 10^{15} \text{ эрг/см}^3$), при которых еще нет отклонений от рекомендованных ранее „гладких” интерполяционных уравнений состояния (например, в ⁸). В работе ¹¹ экспериментально достигнутые давления повышены до $\sim 0,1 \text{ Гбар}$, однако большая суммарная погрешность не позволила уточнить положение ударной адиабаты. В настоящей работе исследуемые давления увеличены до 4 Гбар , и повышена точность результатов.

Используется традиционная схема метода отражений с расположением эталонного вещества первым по ходу движения волны ¹². Эталонном служила сталь-20, $\rho_0 = 7,85 \text{ г/см}^3$. Выбор этого материала связан с малостью отклонений ударных адиабат и изэнтроп железа от данных модели ТФПК в необходимой для обработки области термодинамических переменных. Повышение давлений по сравнению с ¹¹ получено за счет отказа от „плоской геометрии” эксперимента.

Регистрировались моменты выхода ударной волны на контрольные поверхности (5 – 6 штук) экспериментальной сборки. При этом использовалось оптическое свечение, возникающее в момент выхода в воздушном световом канале, направленном на каждую контрольную поверхность. Были приняты меры, с высокой точностью обеспечивающие параллельность фронта волны и контрольных поверхностей. Временные интервалы измерялись от единого реперного

сигнала. Характерные осциллограммы приведены на рис.2 (1 – репер, 2 – свет, между метками 0,1 мкс). Для повышения точности регистрации временных интервалов измерительные базы были увеличены до ~ 10 см. Затухание ударной волны учитывалось на основе газодинамических расчетов и контролировалось в опыте. Экспериментальные данные по затуханию оказались в хорошем согласии с расчетными.

Было проведено пять серий измерений при различных интенсивностях волны в эталоне. Результаты обработки измерений для волновых скоростей D (км/с), давлений (Гбар) и сжатий на фронте следующие:

№	железо			алюминий		
	D	p	σ	D	p	σ
1	120 ± 2	0,89	4,74	147 ± 2	0,46	4,85
2	286 ± 4	5,16	5,09	353 ± 4	8,71	5,06
3	291 ± 5	5,34	5,09	366 ± 6	2,84	4,71
4	298 ± 4	5,59	5,09	379 ± 5	3,00	4,44
5	344 ± 6	7,47	5,08	441 ± 6	4,04	4,32

Указанные погрешности в величине BD отвечают уровню вероятности 0,68. Они определяются в основном погрешностями измерений временных интервалов и возможными погрешностями расчетов затухания волны. При обработке для эталонного материала использовалось уравнение состояния ТФПК. Результаты (с указанием погрешности в величине сжатия) представлены на рис.1. Там же приведены данные, полученные при $p \geq 0,01$ Гбар в других работах. Экспериментальная точка (\square), взятая из ¹⁰, представлена также в обработке с использованием модели ТФПК (\blacksquare). Видно, что при $p = 0,01 - 0,02$ Гбар имеется удовлетворительное согласие экспериментальных и теоретических данных.

Результаты настоящей работы позволили расширить область исследуемых давлений вплоть до значений, при которых равновесное излучение за фронтом волны влияет на процесс ударного сжатия (рис.1, кривая 4). Таким образом, экспериментальными исследованиями охвачен весь диапазон проявления осцилляций на ударной адиабате алюминия, выходящей из состояния с нормальной начальной плотностью. Однако для проверки современных теоретических моделей точность измерений по методу отражений должна быть повышена в три – пять раз. Технические возможности такого повышения имеются. Они связаны с использованием более совершенных измерительных трактов и регистраторов. В заключение отметим, что полученные в настоящей работе давления являются наиболее высокими из достигнутых при ударноволновых исследованиях.

Литература

1. Latter R. Phys. Rev., 1955, 99, 1854.
2. Киржниц Д.А. ЖЭТФ, 1957, 32, 115.
3. Калиткин Н.Н. ЖЭТФ, 1960, 38, 1534.
4. Копышев В.П. ЧММСС, 1977, 8, № 6,54.
5. Rožsnyai V.F. Phys. Rev. A, 1972, 5, 1137.
6. Синько Г.В. ЧММСС, 1981, 12, 121.
7. Никифоров А.Ф., Новиков В.Г., Уваров В.Б., ДАН СССР, 1982, 267, 615.
8. Альтшулер Л.В., Калиткин Н.Н., Кузьмина Л.В., Чекин Б.С. ЖЭТФ, 1977, 72, 317.
9. Волков Л.П., Волошин Н.П., Владимиров А.С., Ногин В.Н., Симоненко В.А. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 623.

10. *Ragan III C.E.* Phys. Rev. A, 1982, 25, 3360.

11. *Аврорин Е.Н., Водолага Б.К., Волков Л.П., Владимиров А.С., Симоненко В.А., Черноволюк Б.Т.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 727.

12. *Альтшулер Л.В.* УФН, 1965, 85, 197.

Поступила в редакцию

17 февраля 1983 г.

После переработки

15 декабря 1983 г.
