

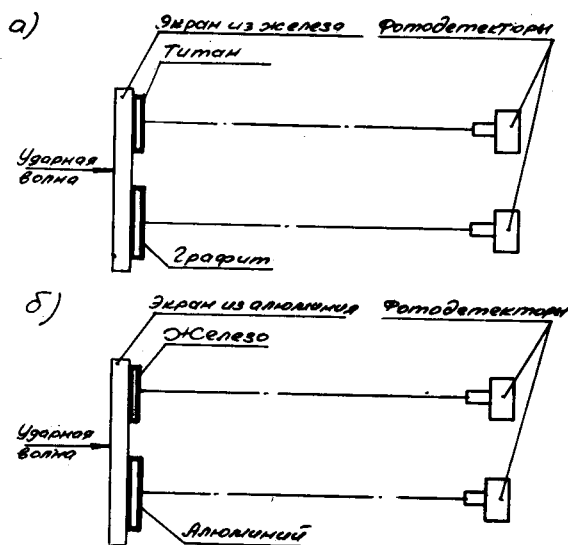
ОБ УРАВНЕНИЯХ СОСТОЯНИЯ ГРАФИТА, АЛЮМИНИЯ, ТИТАНА И ЖЕЛЕЗА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ > 13 Мбар

И.Ш.Модель, А.Т.Нарожный, А.И.Харченко, С.А.Холин, В.В.Хрусталеv

Для сильных ударных волн в терапаскальном диапазоне давлений, в котором ранее имелись противоречивые данные¹⁻⁷, получены новые экспериментальные результаты, не подтверждавшие выводы работы³ о заметном влиянии оболочечных эффектов на уравнения состояния.

В эксперименте 1976 года нами изучалось уравнение состояния алюминия при давлении более 100 Мбар. С этой целью при помощи фотодетекторов регистрировался момент выхода ударной волны на свободную поверхность двух преград из алюминия толщиной 14 см и 16 см. Отклонений от теоретического уравнения состояния не было обнаружено, поскольку измеренная разность времен распространения 245 ± 7 нс, соответствующая волновой скорости $81,6 \pm \pm 2,3$ км/с и давлению на фронте 138 Мбар (погрешности отвечают уровню вероятности 0,68), с хорошей точностью совпала с результатами газодинамических расчетов, выполненных с уравнением состояния алюминия по статистической модели Томаса – Ферми.

Неожиданные результаты по ударной сжимаемости веществ, приведенные в работе³, побудили нас провести в 1981 году экспериментальную проверку сравнительной динамики распространения ударных волн для двух пар материалов. Фотодетекторами измерены временные интервалы от реперного импульса, практически совпадающего с началом движения ударной волны по экрану (рис. 1), до момента выхода ударных волн на поверхность преград из исследуемых материалов.



Зарегистрированные временные интервалы для наборов "экран-титан" и "экран-графит" (рис. 1, а) с железным экраном составили соответственно 2120 ± 20 и 2220 ± 20 нс. Во второй паре (рис. 1, б) экраном служил алюминий, а относительные измерения проводились для железа и алюминия. Величины зарегистрированных временных интервалов равны соответственно 1620 ± 20 и 2010 ± 20 нс.

В последнем столбце табл. 1 приведены измеренные разности времен распространения ударных волн Δt_3 по образцам из титана и графита, железа и алюминия. Величина Δt_3 зависит от амплитуды ударной волны в экране и от уравнений состояния экрана и образцов и поэтому может быть использована для проверки адекватности уравнений состояния исследуемых образцов.

Газодинамические расчеты распространения ударных волн по пластинам проводились с уравнениями состояния веществ, полученными по статистической модели атома Томаса — Ферми. Как в ⁸, при построении холодной составляющей интерполяционного уравнения состояния учитывались экспериментальные данные для малых давлений ^{4,9} (холодные давление и энергия равны нулю при нормальной плотности вещества), а в области больших сжатий — результаты численных расчетов ^{10,11} по модели Томаса — Ферми с квантовыми и обменными поправками. В табл. 2 приведены коэффициенты из выражения $D = a + bU$, аппроксимирующего зависимость волновой скорости D от массовой скорости U в интересующем нас диапазоне давлений (согласно ⁸) для алюминия, железа, титана и графита. Зависимость $D(U)$ для железа близка к интерполяционной адиабате в ⁴ и согласуется с экспериментальной точкой из ¹. Ударная адиабата алюминия находится в согласии с экспериментальными данными из ⁷, но отличается от интерполяционной кривой из ⁴ на $\sim 4,4\%$ в сторону увеличения волновой скорости при заданной массовой скорости.

Амплитуда введенной в экран ударной волны находилась по полному времени распространения импульса давлений через экран и один из сравниваемых образцов. Расчеты показывают (см. табл. 1), что плоская ударная волна, возбуждаемая в железном экране с давлением на фронте $P_{\text{экр}} = 46$ Мбар, после распада разрыва распространяется по титановой пластине толщиной $h = 3$ см в течение $t_p = 967$ нс. Давление на фронте волны уменьшается с $P_0(0) = 33,4$ Мбар до $P_0(h) = 25$ Мбар. Данные для всех изучаемых образцов собраны в табл. 1.

Таблица 1

Экран	$P_{\text{экр}}$ Мбар	Образец	Плотн. г/см ³	h см	$P_0(0)$ Мбар	$P_0(h)$ Мбар	t_p нс	Δt_p нс	Δt_z нс
Железо	46	Титан	4,51	3	33,4	25	967	91	100±28
		Графит	1,82	4	19,6	13	1058		
Алюминий	35	Алюминий	2,71	4,5	35	21	1218	363	390±29
		Железо	7,85	2,5	55,6	33,5	855		

Таблица 2

Вещество	Плотность г/см ³	a	b	Диапазон давлений Мбар
Железо	7,85	5,82	1,23	30 ÷ 60
Титан	4,51	4,8	1,21	20 ÷ 40
Графит	1,82	7,13	1,21	13 ÷ 30
		6,06	1,2	20 ÷ 40
Алюминий	2,71	5,35	1,22	40 ÷ 150

Сравнение расчетных и экспериментальных значений показывает, что величины Δt_p и Δt_z совпадают между собой в пределах ошибки измерений. Согласие улучшится, если в расчете по алюминиевому образцу ударная волна будет распространяться с уменьшенной на 2,2% скоростью.

В отличие от работы ³, где измеренные временные интервалы отличаются от расчетных на $15 \div 20\%$, наши экспериментальные результаты хорошо согласуются с описанием газодинамических процессов в расчетах, в которых используются уравнения состояния веществ по статистической модели Томаса — Ферми без учета влияния оболочечной структуры атома.

Литература

1. Трунин Р.Ф., Подурец М.А., Симаков Г.В., Попов Л.В., Моисеев Б.Н. ЖЭТФ, 1972, 62, 1043.
2. Волков Л.П., Волошин Н.П., Владимиров А.С., Ногин В.А., Симоненко В.А. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 632.
3. Аврорин Е.Н., Водолага Б.К., Волков Л.П., Владимиров А.С., Симоненко В.А., Черноволук Б.Т. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 727.
4. Альтшулер Л.В., Калиткин Н.Н., Кузьмина Л.В., Чекин Б.С. ЖЭТФ, 1977, 72, 317.
5. Ragan III С.Е., Silbert M.G., Diven B.C. J. Appl. Phys., 1977, 48, 2860.
6. Ragan III С.Е. Phys. Rev., 1980, 21A, 458.
7. Ragan III С.Е. Phys. Rev., 1982, 25A, 3360.
8. Елисеев Г.М., Клинишов Г.Е. Препринт № 173, ИПМ АН СССР, 1982.
9. Альтшулер Л.В., Баканова А.А., Трунин Р.Ф. ЖЭТФ, 1962, 42, 91.
10. Киржниц Д.А. ЖЭТФ, 1957, 32, 115.
11. Калиткин Н.Н. ЖЭТФ, 1960, 38, 1534.

Поступила в редакцию

25 января 1985 г.

После переработки

21 февраля 1985 г.