

риментом необходимо вычисление коэффициента $c(\kappa)$ по одной из экспериментальных точек. На рисунке приведено сравнение формул (2) для цилиндрического случая с результатами экспериментов по детонации линейного заряда ВВ в неодородной по плотности атмосфере [4] ($\kappa = \text{const}$). Величина $c(\kappa)$ вычислена в точке А. Совпадение расчета с экспериментом для двух различных градиентов плотности показывает справедливость формул (2).

Автор благодарен С. Ф. Чекмареву за ряд полезных советов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Седов. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1981.
2. П. И. Чушкин, Л. В. Шуршалов. — В кн.: Итоги науки и техники. Сер. Механика жидкости и газа. Т. 16. ВИНТИ, 1981.
3. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных газодинамических явлений. М.: Физматгиз, 1963.
4. В. И. Мали, С. А. Новопашин, Г. А. Храмов и др. — В кн.: Механика быстропотекающих процессов. Новосибирск, 1984.

Поступила в редакцию 18/VI 1985

ИЗМЕРЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АМПУЛАХ СОХРАНЕНИЯ

Д. Л. Гурьев, С. С. Бацанов

(Менделеево)

Для сохранения веществ в физике динамических давлений используются цилиндрические ампулы сохранения [1, 2]. Измерение остаточных температур в стенках цилиндрических ампул — цель настоящей работы.

Первая серия экспериментов проводилась на установке, аналогичной [3]. Цилиндрические ампулы 2 специальной конструкции (рис. 1) прикреплялись к массивной стальной плите 5, что обеспечивало их неподвижное положение в момент и после импульсной нагрузки и позволяло вводить в них термодпары. Ампула с внешним диаметром 10 мм и высотой 50 мм готовилась цельной из стали 30ХГСА и термообработывалась до твердости 35—37 HRC. Она крепилась в капсуле 3, которая в свою очередь ввинчивалась в плиту.

Остаточная температура стенок ампул сохранения измерялась дифференциальными термодпарами константан — Ст. 30ХГСА, причем одним из электродов служил материал ампулы, другим — константановая фольга толщиной 100 мкм. В результате динамического сжатия термодпара не изменила своих термоэлектрических свойств, что проверялось снятием калибровочной кривой термодпары, обработанной импульсным давлением. Измеренное значение коэффициента термо-ЭДС термодпары составило 41 мкВ/град. Рабочий спай 6 размещался на глубине 2 мм от поверхности и на расстоянии 30 мм от верхнего торца ампулы. Спай сравнения 4 размещен таким образом, что температура его сохранялась постоянной во время опыта.

Сигнал регистрировался двумя запоминающими осциллографами С8-13, имеющими различные скорости развертки, равные 10 мс/дел и 10 с/дел, что позволяло регистрировать временной диапазон 10^{-3} — 10^2 с. Запуск разверток осуществлялся синхронно с подачей команды на подрыв. После каждого ударно-волнового нагружения проверялся отклик термодпары на пробный температурный сигнал с целью определения сохранности термодпары. Ошибка в измерении остаточной температуры составляла 10%.

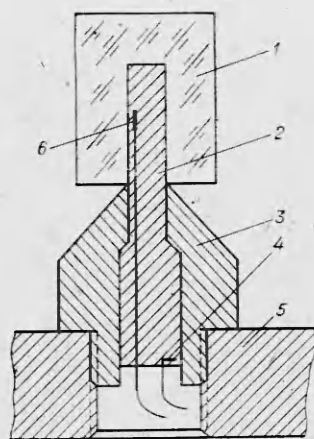


Рис. 1.

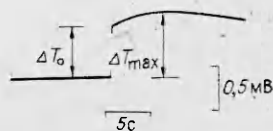


Рис. 2.

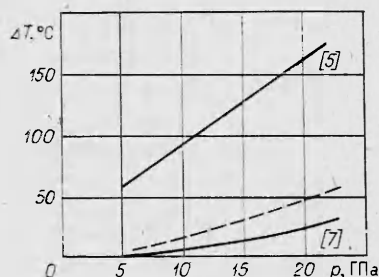


Рис. 3.

Для создания ударной волны в ампуле использовался цилиндрический энергоноситель 1 диаметром 40 мм: тротил плотностью 1,0 г/см³, гексоген плотностью 1,0 и 1,4 г/см³.

Типичная осциллограмма остаточной температуры представлена на рис. 2, где ΔT_0 — разность температур непосредственно после сжатия динамической нагрузкой и начальной стенки ампулы. Максимум изменения остаточной температуры, которому соответствует $\Delta T_{\max}$, объясняется наличием более сильного разогрева осевой части ампулы маховским конусом с последующим выравниванием температур.

Во второй серии опытов измерялись ΔT цилиндрических ампул сохранения, изготовленных из Ст. 3. Последние имели внешний диаметр 12 и высоту 50 мм. Испытывались цельные ампулы и с центральным отверстием (диаметр отверстия 5, глубина 40 мм). Поскольку сохранить термомпары в таких условиях достаточно сложно, остаточные температуры определялись калориметрически. Через 15 с после подрыва ампула помещалась в резервуар с маслом и по изменению его температуры измерялась ΔT . Предварительно калориметр градуировался по реперным точкам плавления и кипения воды. Стандартные ампулы сохранения, имеющие известную температуру, помещались в калориметр и измерялась температура масла после выравнивания температур в калориметре.

Результаты обеих серий представлены в таблице. Давление в точке Чепмена — Жуге для использовавшихся энергоносителей определялось по [4]. Динамические пределы текучести взяты из работы [6].

Результаты настоящей работы показывают зависимость остаточной температуры ампулы не только от давления, но и от жесткости конструкции, которая определяется геометрическим фактором и прочностью материала ампулы. Такое поведение величины ΔT объясняется пластическими течениями, интенсивность которых зависит от прочностных свойств кон-

Материал, конструкция ампулы	$p_{\text{Ч-Ж}}$	p_a	σ_T	ΔT_0	$\Delta T_{\max}$	$T_0^{\text{теф}}$	$T_0(+15^\circ)$ [7]
Ст. 3ОХГСА, цельная	6,6	5,9	2,99	0	6	1	—
То же	12,0	10,3	2,99	17	24	—	—
Ст. 3, цельная	12,0	10,3	1,36	—	47	4	90
Ст. 3, с центральным отверстием	12,0	10,3	1,36	—	81	—	—
Ст. 3ОХГСА	26,0	17,0	2,99	36	60	16	140

Примечание. $p_{\text{Ч-Ж}}$, p_a — давление в точке Чепмена — Жуге и в стенке ампулы, ГПа; σ_T — динамический предел текучести, ГПа; температуры в $^\circ\text{C}$.

струкции. Экспериментальные измерения в диапазоне давлений, сравнимых с σ_t , отличаются от расчетных значений, вычисленных по гидродинамической модели с изознтропийной разгрузкой [5, 7], не учитывающих прочностных свойств материала.

Интересно сравнить результаты настоящей работы с температурными измерениями другими методами (рис. 3). В [7] для определения ΔT применялись инфракрасные детекторы In Sb — Hg Cd Te, работающие при 77 К, и использовалась плоская схема ударно-волнового нагружения. Как отмечают авторы, значения ΔT при $p = 10$ ГПа имеют большую погрешность, что связано с работой детекторов на пороге чувствительности и с трудностями определения степени черноты тела, и являются, по-видимому, несколько завышенными.

В настоящих опытах использовалась цилиндрическая схема нагружения, при этом материал ампулы нагружался серией последовательных отраженных волн. Первая входящая в ампулу волна имеет наибольшую амплитуду и вносит наибольший вклад в температуру. Давление в первой ударной волне рассчитывалось методом ударных поляр с учетом эффекта радиального схождения и представлено в таблице. Следующие отраженные волны, количество которых определяется отношением диаметров энергоносителя и ампулы, выравнивают давление в стенке ампулы и в продуктах детонации. Как показывают расчеты, давление в первой входящей волне на 10–20% меньше, чем в продуктах детонации.

Сравнение результатов [7], настоящей работы и расчетов по гидродинамической модели показывает (см. рис. 3), что остаточная температура, измеренная термпарным методом, лежит между расчетной и измеренной оптическим методом и граничит с ними в крайних точках, что объясняется влиянием сил прочности на поведение материала при динамической нагрузке.

В ампулах сохранения остаточная температура динамического сжатия определяется как амплитудой нагрузки и термодинамическими свойствами материала, так и жесткостью конструкции. Использование контактных методов для измерения ΔT перспективно в применении к непрозрачным средам, и в случае использования тонких пленок позволяет приблизиться к тепловой инерционности (10^{-8} с) оптических методов [8, 9].

В заключение авторы выражают благодарность А. В. Гранкину и В. Ф. Сазонову за помощь в подготовке и проведении опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бацанов. ИФЖ, 1967, 12, 1, 104.
2. С. П. Першин, Г. И. Канель. Деп. ВИНТИ, № 1446—70.
3. С. С. Бацанов и др. ФГВ, 1968, 4, 1, 108.
4. А. Н. Дремин и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М.: Наука, 1970.
5. J. M. Walsh, R. H. Christian. Phys. Rev., 1955, 97, 6, 1544
6. А. Г. Иванов и др. ФТТ, 1963, 5, 1, 269.
7. S. A. Raikes, T. J. Ahrens. Geophys. J. R. Astr. Soc., 1979, 58, 717.
8. D. D. Bloomquist, S. A. Sheffield. J. Appl. Phys., 1980, 51, 5260.
9. K. Kondo, A. Sawaoka. J. Appl. Phys., 1981, 52, 1590.

Поступила в редакцию 3/1 1985,
после доработки — 31/V 1985