

вторым датчиком. Изменение сопротивления первого датчика при максимальном давлении составляет 0,216, второго датчика — 0,220. Разница показаний датчиков находится в пределах погрешности измерений и в 4—5 раз меньше остаточного изменения сопротивления. По-видимому, максимально возможное расхождение показаний датчиков при плавном, ступенчатом и ударном сжатии до одного и того же давления равно остаточному изменению сопротивления.

Поступила в редакцию  
27/XII 1976

#### ЛИТЕРАТУРА

1. P. J. A. Fuller, J. H. Price. Brit. J. Appl. Phys., 1964, 35, 5, 1471.
2. J. W. Lyle, R. L. Schriver, A. R. McMillan. J. Appl. Phys., 1969, 40, 11, 4663.
3. D. D. Keough, J. I. Wong. J. Appl. Phys., 1970, 41, 8, 3508.
4. E. Barsis, E. Williams, C. Skoog. J. Appl. Phys., 1970, 41, 13, 5155.
5. L. M. Lee. J. Appl. Phys., 1973, 44, 9, 4017.
6. Г. И. Канель. Применение манганиновых датчиков для измерения давлений ударного сжатия конденсированных сред. ВИНТИ, № 477—74 деп.
7. Г. И. Канель, А. М. Молодец, А. А. Воробьев. ФГВ, 1974, 10, 6, 884.
8. Л. В. Альтшулер. УФН. 1965, 85, 2, 197.

### ПАРАМЕТРЫ ДЕТОНАЦИИ МАЛОПЛОТНЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

Л. Н. Акимова, М. Ф. Гоголя, В. Н. Галкин

(Москва)

Измерения параметров детонации малоплотных ВВ сделаны в ряде работ [1—5], однако большей частью полученные результаты соответствуют неидеальным режимам детонации и поэтому не могут быть использованы для теоретических расчетов. Основные трудности эксперимента связаны с получением малоплотных зарядов ВВ без внесения каких-либо добавок (пеноносителей, мипоры) и со сложностью применения традиционных методов исследования интенсивностей исследуемых волн.

В данной работе определялись параметры детонации малоплотных зарядов тэна и тротила. В экспериментах использовались тонкоизмельченные порошки (до 1 мкм), которые позволяли получать заряды с относительной плотностью 0,25—0,3 без внесения пористых или пенообразующих добавок. Поскольку условия возбуждения и распространения детонации не были известны при выбранных плотностях и дисперсностях зарядов, определялись зависимости скоростей детонации от диаметра зарядов.

Эксперименты проводились с зарядами в целлофановых оболочках толщиной 0,05 мм с регистрацией процесса на СФР. Оказалось, что для тротила в интервале плотностей 0,5—

Т а б л и ц а 1

$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	D, м/с	d, мм	D, м/с
0,8	3580	8	3580
0,7	3200	20	4040
0,6	2900	30	4220
0,5	2600	40	4350
		50	4350

Таблица 2

d, мм	D, м/с	
	$\rho_0 = 0,4 \rho_0 = 0,6$	
3	3030	3450
5	3150	3700
10	3250	4000
15	—	4060
18	3400	—
20	—	4070
30	3500	4060
40	3470	4150

Примечание.  
 $\rho_0$  выражено в г/см<sup>3</sup>.

0,8 г/см<sup>3</sup> критический диаметр не зависит от плотности и равен  $7,5 \pm 0,5$  мм, т. е. детонация проходит при диаметре заряда 8 мм и затухает при  $d=7$  мм. Критические скорости детонации тротила ( $d=8$  мм) и зависимость скорости детонации от диаметра заряда ( $\rho=0,8$  г/см<sup>3</sup>) приведены в табл. 1.

Для тэна плотностью от 0,4 до 0,7 г/см<sup>3</sup> критический диаметр равен или меньше 3 мм. Детонация в зарядах с  $d=3$  мм распространяется устойчиво. Зависимость скорости детонации тэна от  $d$  представлена в табл. 2. Из таблиц видно, что  $d=40$  мм для тротила и  $d=15$  мм для тэна являются предельными. Увеличение диаметра зарядов выше указанных не приводит к росту скорости детонации в пределах возможной ошибки измерения (70 м/с).

В опытах с зарядами диаметром 40 мм получены зависимости скорости детонации и давления от начальной плотности для тротила и тэна. Схема экспериментальной сборки показана на рис. 1. Исследуемое вещество помещалось в плексигласовую оболочку и инициировалось с помощью плоскоструйного генератора через медную пластину толщиной 5 мм. На торце заряда располагался набор плексигласовых пластин с известными толщинами, разделенными воздушными промежутками. На фоторазвертке регистрировался процесс выхода фронта детонации на торец заряда и ударной волны в зазоры между пластинами, что позволило определить скорость ударной волны в плексиглазе. Скорость детонации ВВ регистрировалась с боковой поверхности заряда.

Для расчета давления детонации использовалось выражение, связывающее параметры падающей детонационной и проходящей в плексиглазе ударной волны

$$p_d = p_1/2 \cdot (1 + \rho_{ВВ} D_d / \rho_1 D_1).$$

Ударная адиабата плексигласа записывалась в виде [6]

$$D_1 = c_0 + 2u - 0,1 u^2 / C_0,$$

где  $\rho_1 = 1,18$  г/см<sup>3</sup>;  $C_0 = 2,0$  км/с (индекс 1 относится к плексигласу). При выбранной постановке опытов на базах  $d=1 \div 4$  мм не было обнаружено затухания ударной волны в плексиглазе. Полученные результаты представлены в табл. 3. Максимальная ошибка в определении давления детонации составляла 13%. Данные по скоростям детонации можно представить в виде следующих зависимостей (обработанных методом наименьших квадратов):  
 для тротила

$$D = 4340 + 2830(\rho_0 - 0,8) \text{ м/с},$$

для тэна

$$D = 4880 + 3560(\rho_0 - 0,8) \text{ м/с}.$$

В ряде опытов с тэном  $\rho_0 = 0,6$  г/см<sup>3</sup> вместо плексигласа на торец заряда помещался слой СС1<sub>4</sub>. Полученные по давлению данные не отличаются (в пределах экспериментальной ошибки) от опытов с плексигласовыми пластинами.

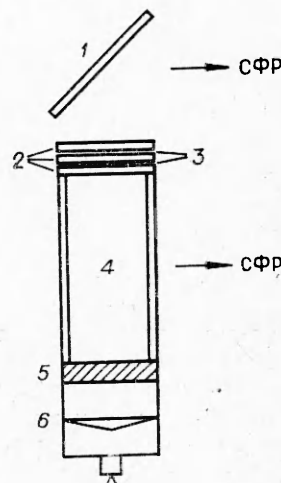


Рис. 1. Экспериментальная сборка для определения скорости и давления детонации.

1 — зеркало; 2 — набор плексигласовых пластин; 3 — воздушные зазоры; 4 — исследуемое ВВ в плексигласовой трубке; 5 — пластина из меди; 6 — плоскоструйный генератор.

В экспериментах с тэном после выхода детонации на торец заряда на фоторазвертке регистрируется (рис. 2) широкая сплошная полоса засветки, длительность которой пропорциональна времени прохождения ударной волны по плексигласовым пластинам. На фоне этой засветки четко видны узкие светлые полосы ослабления свечения. Положение светлых полос соответствует выходу ударной волны в воздушные зазоры между пластинами. При замене набора пластин конической поверхностью засветка на фоторазвертке повторила конус.

Сплошная засветка на пленке вызвана, по-видимому, свечением продуктов детонации через плексиглас. Действительно, если одну половину плексигласовой пластины заклеить черной бумагой, то на фоторазвертке, соответствующей этой половине, засветки не наблюдается. Свечение продуктов детонации тэна малой плотности через плексиглас можно объяснить тем, что интенсивность проходящей ударной волны недостаточна для нарушения прозрачности плексигласа. Засветка от продуктов детонации тротила в аналогичных опытах не наблюдалась, что объясняется недостаточной чувствительностью пленки и более низкой сравнительно с тэном температурой детонации. В опытах с высокоплотными зарядами ВВ свечение продуктов детонации через плексиглас не наблюдается из-за потери прозрачности плексигласа при прохождении более сильных ударных волн.

Прозрачность плексигласа при прохождении слабых ударных волн была использована для измерения температур продуктов детонации малоплотных ВВ. С применением электронно-оптического метода [7] измерены температуры в случае детонации зарядов тротила и тэна плотностью 0,6 г/см<sup>3</sup>. Регистрация свечения проводилась через плексигласовые пластины толщиной 5 мм. Осциллограмма яркости свечения, полученная на двух длинах волн, представлена на рис. 3. Первый быстрорелаксирующий пик вызван высветом воздушных включений в микроструктуре торца заряда. Дальнейшая регистрация связана со свечением продуктов детонации, причем наблюдается плавный спад, который можно объяснить частичным уменьшением прозрачности на кон-

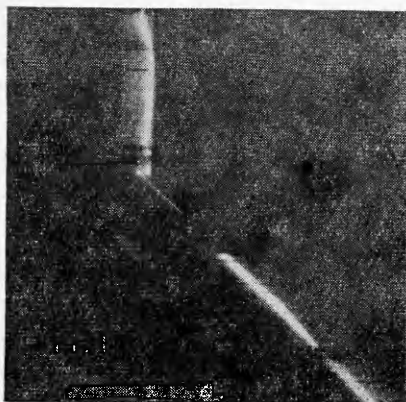


Рис. 2. Фоторазвертка с торца заряда.

тактной границе продукты детонации — плексиглас из-за высокой температуры продуктов детонации. Измеренные температуры для тэна равны  $4400 \pm \pm 300\text{K}$ , а для тротила —  $2350 \pm 150\text{K}$ .

Полученные температуры относятся не к состоянию продуктов детонации в точке Жуге, а к состоянию на ударной адиабате продуктов. Температуры на ударной адиабате и в точке Жуге можно связать следующим выражением:

$$T = T_{\text{ж}} (V_{\text{ж}}/V)^{c_{v_1} \Gamma / c_v},$$

где  $T_{\text{ж}}$  — температура в точке Жуге;  $V_{\text{ж}}$  и  $V$  — соответственно удельные объ-

Т а б л и ц а 3

	$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	$D_{\text{д}}$ , м/с	$D_{\text{пл}}$ , м/с	$P_{\text{д}}$ , кбар
Тротил	0,8	4350	3900	40
	0,71	4100	3750	33
	0,64	3850	3400	24
	0,48	3450	3100	16
Тэн	1,0	5520	4820	82
	0,8	4900	4200	49
	0,7	4520	3970	41
	0,6	4160	3650	29
	0,55	4000	3220	20
	0,5	3820	3100	16
	0,4	3470		

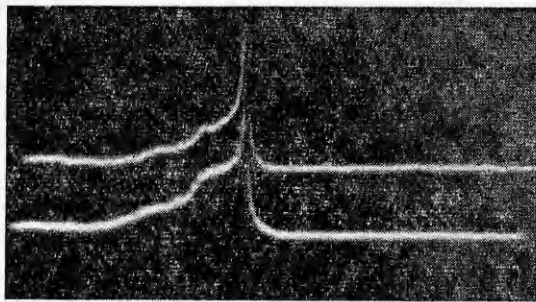


Рис. 3. Оциллограмма яркости свечения продуктов детонации.

ределении температур составляет  $5 \div 10\%$ , поэтому упомянутое различие не учитывалось.

В [7] имеются данные о температуре детонации тэна при плотности  $1,77 \text{ г/см}^3$ :  $T=4200 \text{ К}$ . Это значение с точностью до ошибки эксперимента совпадает с  $T$ , полученной для тэна при  $\rho=0,6 \text{ г/см}^3$ . Данные о температурах детонации тротила при больших плотностях отсутствуют. Проведено измерение  $T$  детонации расплава тротила, помещенного в водяную баню при  $T_0=90^\circ\text{С}$ , которая оказалась равной  $2350 \pm 150 \text{ К}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что с точностью до ошибки эксперимента температура детонации тэна и тротила не зависит от плотности.

Поступила в редакцию  
10/XII 1976,  
после доработки — 3/III 1977

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Стесик, Н. С. Шведова. ПМТФ, 1964, 4.
2. А. Н. Дремин, С. Д. Савров и др. Детонационные волны в конденсированных средах. М., «Наука», 1970.
3. J. L. Austing, A. S. Tulis. Fifth International Symposium on Detonation, 1972.
4. В. С. Соловьев, С. Г. Андреев и др.—В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
5. Н. С. Horing, E. L. Lee, M. Finger. Fifth International Symposium on Detonation 1972.
6. А. Н. Афанасенков, В. Н. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1969, 4.
7. И. М. Воскобойников, А. Я. Япин. Докл. АН СССР, 1960, 130, 4.
8. Физика взрыва. Под ред. К. П. Станюковича. М., 1975.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕТОНАЦИИ ВВ С ТВЕРДЫМИ ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ

Г. В. Димза

(Москва)

В развитие высказанных ранее соображений о стадийности протекания реакций в детонационной волне [1—4] продолжались экспериментальные исследования скоростей детонации зарядов взрывчатых ве-