

детальной модели сегмента, без которой невозможно рассчитать соответствующие величины \vec{l} и \vec{d} .

Предложенная модель объясняет механизм УП в низкомолекулярных жидкостях, если в условиях ударного нагружения молекулы можно считать жесткими. Величина УП в данном веществе зависит прежде всего от характеризующего молекулу произведения $(\vec{l}\vec{d})$, причем вектор \vec{l} можно с приемлемой точностью определить по геометрии молекулы. Теоретическая кривая УП чувствительна к величине времени вращательной релаксации и температуре вращательных степеней свободы внутри фронта УВ. Таким образом, теория может быть также использована для определения этих величин по экспериментальным кривым УП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eichelberger R. J., Hauver G. E. Les Ondes de Detonation.— Paris, 1962.
2. Hauver G. E. J. Appl. Phys., 1966, 37, 2527.
3. Якушев В. В., Дремин А. Н., Набатов С. С. и др. ФГВ, 1979, 15, 2, 132.
4. Курто А. П., Антипенко А. Г., Дремин А. Н. и др. ФГВ, 1983, 19, 5, 163.
5. Антипенко А. Г., Дремин А. Н., Набатов С. С. и др. ФГВ, 1975, 11, 3, 438.
6. Haggis P., Presles H.-N. J. Chem. Phys., 1982, 77, 10, 5157.
7. Еникеев Ф. У., Кубарев С. И., Пономарев О. А. ФГВ, 1987, 23, 4, 68.
8. Lippert E., Chatzidimitrou-Dreisman C. A., Nauman K.-H. // Advances in Chemical Physics. 1984.— Vol. 62.
9. Graham R. A. J. Phys. Chem., 1974, 60, 3500, 3508.
10. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики.— М.: Наука, 1972.
11. Гардинер К. В. Стохастические методы в естественных науках.— М.: Мир, 1986.
12. Физико-химические свойства элементов.— Киев: Наук. думка, 1965.

Поступила в редакцию 8/XII 1987,
после доработки — 10/III 1988

УДК 534.222.2

К РАСЧЕТУ СКОРОСТИ РАЗЛЕТА ОБОЛОЧКИ

М. Н. Махов, В. И. Архипов
(Москва)

Экспериментальные данные для скоростей цилиндрической медной оболочки, полученные по методике, известной под названием «цилиндр-тест» [1, 2], не только характеризуют мощность ВВ, но и служат основой для нахождения коэффициентов уравнений, описывающих изоэнтропы расширяющихся продуктов взрыва (ПВ) [3].

Процесс набора скорости оболочкой связан с передачей оболочке энергии, которой обладают продукты взрывчатого превращения ВВ. Потенциальные энергетические возможности ВВ совершать работу при расширении ПВ характеризует величина теплоты взрывчатого превращения. При разработке метода ее расчета преследовалась цель получить простые соотношения исходя из знания химического состава, энтальпии образования и плотности ВВ. Окончательный вид выражений получен после обработки экспериментальных данных, представленных в [4].

Для молекулы $C_aH_bO_cN_dF_e$ получено

$$Q/Q_{\max} = 1 - [0,75 \exp k_1 + 0,15 \exp k_2] A,$$

где Q_{\max} — максимальная теплота взрывчатого превращения, рассчитываемая с использованием следующей схемы записи уравнения взрывчатого превращения: HF, CF_4, H_2O, CO_2, C (или O_2), N_2 ; $k_1 = -(0,58\rho_0 + 2,2\alpha_1^{2,5})$; $k_2 = -[0,6\rho_0 + 150(\alpha_1 - 1)^2]$; $A = 1 - \beta^{k_3}$; $k_3 = 5 \exp(k_4)$; $k_4 = 3,2\alpha_1^2 - 0,95\rho_0$; ρ_0 — начальная плотность ВВ, г/см³; α_1 — аналог кислородного коэффи-

Сравнение расчетных и экспериментальных (в скобках) [1, 2] значений скоростей разлета оболочки

ВВ	ρ_0 , г/см ³	Q_{D_0} , кал/см ³	$n\rho_0 \cdot 10^3$, г-моль/см ³	W , км/с при $\Delta R=6$ мм	W , км/с при $\Delta R=20$ мм
Октоген	1,891	2557	70,15	1,69 (1,69)	1,87 (1,87)
Тротил	1,630	1728	51,75	1,25 (1,23)	1,44 (1,41)
»	1,450	1467	47,49	1,12 (1,10)	1,30 (1,28)
Тэн	1,765	2510	60,08	1,59 (1,60)	1,79 (1,79)
»	1,266	1758	44,09	1,19 (1,16)	1,40 (1,39)
Нитрометан	1,143	1297	50,05	1,07 (1,06)	1,24 (1,24)
ГНС	1,655	1804	50,31	1,26 (1,24)	1,46 (1,44)
Гексоген-64, тротил-36	1,717	2107	61,44	1,46 (1,44)	1,65 (1,64)
Тэн-50, тротил-50	1,700	2052	57,23	1,41 (1,39)	1,60 (1,59)
ПФ	1,833	2007	53,56	1,36 (1,39)	1,57 (1,59)
ТФЕТ	1,786	1838	54,37	1,31 (1,32)	1,50 (1,51)
ТФТНТ	1,800	1645	47,46	1,18 (1,21)	1,38 (1,41)
Октоген-70, ФЕФО-30	1,794	2379	64,95	1,59 (1,56)	1,77 (1,76)
ГНБ	1,965	3203	52,68	1,71 (1,72)	1,97 (1,97)
БТФ	1,852	2556	57,14	1,57 (1,62)	1,79 (1,84)
ТАТБ	1,854	1759	60,98	1,33 (1,32)	1,50 (1,47)
ТАТБ	1,800	1692	59,64	1,30 (1,29)	1,47 (1,45)
АДНТ	1,580	1612	59,45	1,27 (1,30)	1,43 (1,49)
ЕДДН	1,550	1380	66,39	1,22 (1,30)	1,36 (1,44)
ГН/Г 79/21	1,466	1608	68,88	1,33 (1,36)	1,48 (1,55)

Примечание. ГНС — гексанитростильбен, ПФ — пикрилфторид, ТФЕТ — трифторэтилтрифторфенилнитрамин, ТФТНТ — трифтортринитротолуол, ФЕФО — бис(фтординитроэтил)формаль, ГНБ — гексанитробензол, БТФ — бензтрифуроксан, ТАТБ — триаминотринитробензол, АДНТ — аммониевая соль динитротриазола, ЕДДН — динитрат этилендиамина, ГН/Г — смесь нитрата гидразина и гидразина.

циента, определяемый соотношением

$$\alpha_1 = \frac{1,4e}{c+e} + \frac{c^2}{(2a+b/2)(c+e)}$$

Вводится следующее условие: если $\alpha_1 \geq 1,4$ $Q/Q_{\max} = 1$. Фактор β учитывает соотношение горючих элементов молекулы ВВ a, b, c, e : $\beta = b/(a+b)$.

Энергия, приобретаемая оболочкой, пропорциональна объемному энергосодержанию ВВ. При построении метода расчета предполагалось, что коэффициент отбора энергии есть функция числа молей газообразных ПВ:

$$E_{об} = K(Q\rho_0).$$

Здесь $K = B \left(\rho_0 \sum_i n_i \right)^c$; n_i — число молей i -го компонента ПВ на единицу массы ВВ. В качестве газообразных ПВ рассматривались основные продукты: HF, CF₄, CO₂, CO, H₂O, H₂, O₂, N₂. Для определения концентраций ПВ использовался метод расчета, предложенный в [5]. При выборе эталонного ВВ выражение для определения скорости разлета оболочки можно записать в виде

$$\frac{W_{ВВ}}{W^*} = \left(\frac{Q_{ВВ} \rho_{ВВ}}{Q^* \rho^*} \right)^{0,5} \left(\frac{n_{ВВ} \rho_{ВВ}}{n^* \rho^*} \right)^{C_1},$$

где $C_1 = C/2 = f(R/R_0)$; R_0 — начальный радиус (15,3 мм); R — текущий радиус; $n_{ВВ} = \sum_i n_i$ — число молей газообразных ПВ на единицу массы ВВ; параметры со звездочкой соответствуют эталону. Выражение для расчета C_1 найдено обработкой массива экспериментальных данных по скоростям разлета оболочки [1, 2], рассчитанных значений Q и концентраций ПВ (см. таблицу):

$$C_1 = 0,74 \exp(-0,54R/R_0).$$

В таблице представлено сравнение теоретических W_p и экспериментальных W_e значений скорости разлета оболочки для двух стандартных значений приращения радиуса $\Delta R = R - R_0$. В качестве эталонного ВВ выбран октоген. Определенное по данным таблицы среднеквадратичное отклонение расчетных и экспериментальных значений скорости равно 0,03 км/с. В таблице имеется ряд фторсодержащих ВВ. Схема записи уравнения взрывчатого превращения при расчете Q_{\max} для этих ВВ предполагает преимущественное образование фтористого водорода по сравнению с другими возможными фторсодержащими ПВ. Используемый метод нахождения Q и состава ПВ предполагает также, что продукты, соответствующие реальному значению Q , содержат фтористый водород в той же концентрации. Анализируемые ВВ содержат сравнительно небольшие количества фтора в молекуле, и для них наблюдается хорошее согласие данных. Однако не исключена вероятность образования в условиях высоких давлений и других фторсодержащих продуктов, например CF_4 , COF_2 и др.

В работе [6] представлены результаты исследований композиций, в состав которых входят ВВ (октоген), перхлорат аммония или перхлорат калия и органическое связующее, проведенных на установках с зарядами разного диаметра (при условии геометрического подобия). В [6] обнаружено влияние масштабного фактора. Его роль ослабевает с уменьшением размера частиц перхлората, однако оно имеет место даже для композиций с мелкодисперсным перхлоратом (размер зерна менее 5 мкм) [6]. Эти особенности свидетельствуют о неполноте реагирования продуктов разложения компонентов за характерные времена процесса. В расчеты для подобных систем необходимо вводить дополнительные условия, учитывающие влияние на полноту реагирования продуктов разложения компонентов отмеченных выше факторов. Анализ экспериментальных данных для композиций, содержащих порошкообразный алюминий [6], приводит к аналогичным выводам.

Таким образом, методика «цилиндр-тест» позволяет получать универсальные характеристики только для систем, при взрывчатом разложении которых химические реакции заканчиваются на начальных стадиях расширения продуктов до момента начала регистрации процесса ускорения оболочки. Критерий универсальности — в отсутствии влияния масштабного фактора. Предлагаемый метод расчета скорости разлета оболочки применим для объектов, удовлетворяющих этому критерию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Short J. M., Helm F. H., Finger M. et al. Comb. Flame, 1981, 43, 1, 99.
2. Kamlet M. J., Short J. M., Finger M. et al. Comb. Flame, 1983, 51, 3, 325.
3. Фингер М., Ли Е., Хелм Ф. и др. Детонация и взрывчатые вещества.— М.: Мир, 1981.
4. Пепекин В. И., Махов М. И., Лебедев Ю. А. Докл. АН СССР, 1977, 232, 4, 852.
5. Makhov M. N., Pepekin V. I. Polish J. Chemistry, 1981, 55, 1381.
6. Finger M., Horning H. C., Lee E. L. et al. // Fifth Symp. (Intern.) on Detonation, ACR-184, 1970.

Поступила в редакцию 29/X 1987

УДК 532.546 : 534.222

ВЗРЫВ В СИЛЬНОПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Н. А. Кудряшов, В. В. Мурзенко
(Москва)

Широкое применение взрывов в народном хозяйстве стимулирует исследование факторов, влияющих на их механические действия. Лабораторные эксперименты [1, 2] по взрывам в сильнопористых средах показали, что количество энергии, передаваемое твердой фазе, уменьшается из-за истечения продуктов детонации на стадии динамического расширения полости. Теоретический расчет конечного размера полости, выпол-