

Объясним, почему спад плотности в зоне диссоциации приводит к потере устойчивости. Обратимся к рис. 2. Исследуем возможность существования самоподдерживающейся детонации в некоторой точке c , лежащей на спаде плотности внутри зоны релаксации. Процесс, переводящий газ из точки c в b , идет с расширением и поэтому является дефлаграцией. Изобразим на p, v -диаграмме (рис. 3) эту точку, взяв за начальное состояние газа в точке c . Тогда адиабата пройдет выше точки c и к ней можно построить касательную sc . Это означает, что если точка c лежит между a и b , то в ней термодинамически возможна детонационная волна. Адиабата FL с приближением точки c к b подходит все ближе к c . Когда c лежит правее b на рис. 2, то FL на p, v -диаграмме проходит ниже точки c , что означает невозможность детонационного режима. Таким образом, детонация в зоне диссоциации невозможна при монотонном изменении ρ_2 и p_2 . Отметим, что в детонационной волне, существующей в зоне ab , на поверхности Чепмена — Жуге степень диссоциации не является равновесной, а приблизительно соответствует степени диссоциации в точке b .

Расчет по (5) — (7) для CO_2 с $D_0=125,8$ ккал/моль [13] при $T_1=293$ К дает $M^*=16,5$, а экспериментально определенный нижний предел существования для поперечных возмущений $M^*=18-19$ [6]. Некоторое расхождение между M^* и M' объясняется тем, что в расчете не учтено время колебательной релаксации. Подобным же образом может быть оценен нижний предел неустойчивости в ионизирующих ударных волнах в одноатомном газе, однако в этом случае необходимо учитывать неравенство электронной и ионной температур.

Поступила в редакцию
5/II 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Войцеховский, В. В. Митрофанов, М. Е. Топчийн. Структура фронта детонации в газах. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963.
2. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М., Изд-во АН СССР, 1963.
3. J. J. Eggenbeck. Phys. of Fluids, 1964, 7, 5, 684.
4. В. И. Манжалея, В. А. Субботин. ФГВ, 1976, 12, 6, 935.
5. В. И. Манжалея. ФГВ, 1979, 15, 4, 107.
6. R. Griffiths, R. Sandeman, H. Hornung. Appl. Phys. D., 1976, 9, 1681.
7. В. Е. Гордеев. Докл. АН СССР, 1978, 239, 117.
8. А. С. Барышников, А. П. Бедни и др. Письма в ЖТФ, 1979, 5, 281.
9. I. Glass, W. Liu. J. Fluid. Mech., 1978, 84, 55.
10. С. П. Дьяков. ЖЭТФ, 1954, 27, 288.
11. А. С. Барышников, Г. Е. Скворцов. ЖТФ, 1979, 49, 11, 2483.
12. С. И. Анисимов. ЖТФ, 1964, 34, 4, 620.
13. Энергия разрыва химических связей. Под ред. В. Н. Кондратьева. М., Наука, 1974.

К РАСЧЕТУ УДАРНЫХ АДИАБАТ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В. Ф. Анисичкин
(Новосибирск)

К настоящему времени экспериментально получены ударные адиабаты многих химических элементов и соединений [1]. Методы их расчета для химических соединений предлагались, например, в [2] с использованием известной объемной скорости звука, в [3] — по статическим измерениям, давления, плотности и температуры. В настоящей работе предлагается обобщенная ударная адиабата химических соединений по известным начальным плотности и химической формуле.

В [4] предложена обобщенная форма записи ударной адиабаты ряда простых веществ и некоторых химических соединений

$$D = u + 3,4(\rho_0/\mu)^{1/3}u^{1/2} + 9,1(\rho_0/\mu)^{2/3}, \quad (1)$$

где D, u — скорость ударной волны и массовая скорость, км/с; ρ_0 — начальная плотность, г/см³; μ — молекулярная масса, г. Как показала проверка, соотношение (1) с «эффективным» молекулярным весом, найденным по приведенному ниже правилу, можно применять и для любых сложных веществ.

Рассмотрим причины, которые могут ограничивать применение соотношения (1) для химических соединений. Если при ударном сжатии молекула ведет себя как

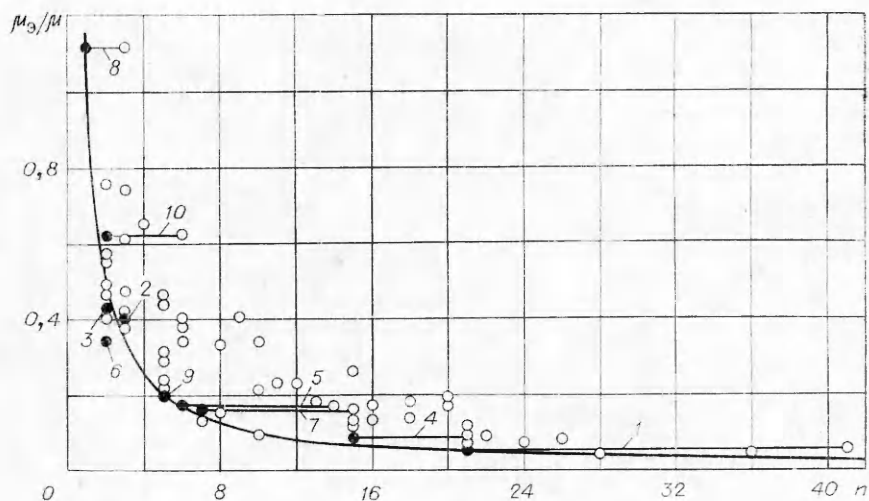


Рис. 1.

одно целое, то (1) справедливо и для сложных веществ, например для воды [4]. В конденсированном состоянии при сжатии атомы взаимодействуют с соседними атомами как входящими, так и не входящими в состав данной молекулы. Отличие в том, что при ударном сжатии и, следовательно, нагревании сложного вещества входящие в состав его молекул атомы с неодинаковыми атомными весами существенно по-разному участвуют в колебательных движениях. Тяжелые атомы в молекуле движутся относительно самостоятельно, легкие же успевают реагировать на перемещение тяжелого атома, с которым они химически связаны. Поэтому такую группу атомов можно приближенно рассматривать как одно целое. Если атомные массы таких групп и отдельных атомов, составляющих молекулу, близки, то молекулярную массу в (1) надо заменить на эффективную молекулярную массу μ_3 ,

$$\mu_3 \approx \mu/n, \quad (2)$$

где n — число относительно самостоятельных атомов и групп в молекуле. Следовательно, ударные адиабаты сложных веществ должны описываться соотношением (1) с μ_3 , определенным по (2).

Справедливость такого предположения иллюстрируется на приведенных рисунках. Кривая на рис. 1 — зависимость (2), показывающая как должно меняться отношение μ_3/μ с ростом числа n относительно самостоятельных групп атомов в молекуле. Светлые точки — результат подбора μ_3 для наилучшего описания экспериментальных данных зависимостью (1), если считать n , равным полному числу атомов в молекуле. Если же в число n не включать легкие атомы, то оно уменьшится, что приведет к перемещению точек (вдоль горизонтальных линий) ближе к расчетной кривой (темные точки). На рис. 1, 2 рассмотрено 10 примеров: 1 — $(C_{18}H_{20}O_3)N$, 2 — MnO_2 , 3 — WC , 4 — $C_3N_6H_6O_6$, 5 — $C_3H_8O_3$, 6 — $NaCl$, 7 — $(C_5H_8O_2)N$, 8 — H_2O , 9 — $FeTiO_3$, 10 — CH_4O . Во всех случаях в число n для лучшего описания экспериментальных данных не включены атомы водорода.

Аналогично, не учитывая атомы водорода, с такой же точностью можно найти эффективные молекулярные массы всех

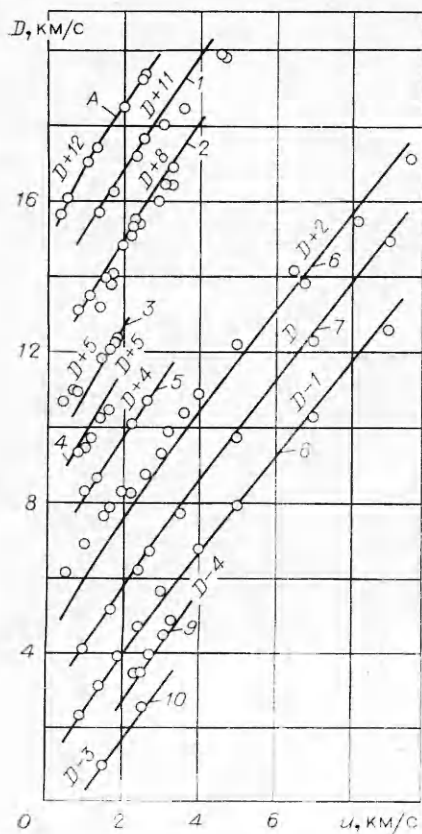


Рис. 2.

сложных веществ, для которых известны ударные адиабаты [1]. Это приведет к смещению оставшихся светлых точек на рис. 1 к расчетной кривой (2). В число n не включаются только атомы водорода и, например, для воды $n=1$, а для карбида вольфрама $n=2$, хотя по атомным весам W и C отличаются в такое же число раз, как O и H. Как показал анализ большого числа экспериментальных результатов [1], это правило выполняется во всех случаях.

Точка b на рис. 1 для NaCl находится левее расчетной кривой. Если следовать предложенному правилу нахождения числа n , то получаем, что каждый ион Na в кристалле достаточно прочно связан более чем с одним ионом противоположного знака и эффективное значение $n > 2$. Возможно, такое отклонение вызвано фазовыми превращениями в NaCl, которые видны из сравнения экспериментальных и расчетных данных на рис. 2.

На рис. 2 показаны результаты экспериментов и расчетов ударных адиабат по формулам (1), (2) для рассмотренных на рис. 1, 1, 2, 4, 5, 7—10, веществ. Поскольку ударные адиабаты различных веществ близки, то на рис. 2 они для наглядности смещены по вертикальной оси. Видно, что обобщенная адиабата (1) хорошо описывает экспериментальные данные. Как показала проверка, соотношения (1), (2) можно применять и для расчета ударных адиабат смесей, у которых размеры частиц компонентов меньше ширины фронта ударной волны. На рис. 2 приведен характерный пример: буквой A обозначены расчетные и экспериментальные [1] данные для сплава 55% W+45% Cu.

Автор признателен В. М. Титову за внимание к работе.

Поступила в редакцию
18/II 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. M. van Thiel, J. Shaner et al. UCRL — 50108, Compendium of shock wave data, Lawrence Livermore Lab., Univ. of California, Livermore, California, 1977.
2. А. Н. Афанасенков, В. М. Богомолов, И. М. Воскобойников. ПИМТФ, 1969, 4.
3. В. М. Шунин, В. В. Якушев, А. Н. Дремин.— В сб.: Детонация. Черноголовка, ОИХФ АН СССР, 1978.
4. В. Ф. Анисичкин. ФГВ, 1979, 15, 2.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ ПОРОШКОВЫХ ВВ ВЗРЫВОМ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

*В. В. Андреев, Л. А. Лукьянчиков,
В. В. Митрофанов, В. С. Тесленко
(Новосибирск)*

Известны работы [1, 2] по возбуждению детонации жидких ВВ (смесь тетрапирометана с бензолом, нитроглицерин) взрывом стехиометрических смесей водорода и метана с кислородом, где рассмотрено нормальное падение инициирующей волны на границу раздела газ — жидкое ВВ. Показано, что начиная с давления в газе 0,7 бар, в жидком ВВ возбуждается горение, переходящее в детонацию [2]. Увеличение начального давления в смеси приводило к уменьшению времени преддетонационного развития процесса в жидком ВВ, и для давления выше 12 бар задержка возникновения детонации была в пределах временного разрешения фоторегистратора (скорость развертки — 100 м/с). Оценкой термического разогрева авторы [2] показали, что волна газовой детонации прогревает слой жидкого ВВ вплоть до образования вспышки, приводящей к возбуждению детонации по классической схеме перехода [3].

Реализация подобного процесса во вторичных твердых конденсированных ВВ согласно [3] требует наличия оболочки заряда, которая выдерживала бы давление ≥ 40 кбар, гарантирующее инициирование детонации волной сжатия. Однако наряду с переходом горения конденсированных ВВ в детонацию в оболочках высокой прочности, в порошковых вторичных ВВ возможен режим ускоренного перехода горения в детонацию в зарядах с оболочкой значительно меньшей прочности, выдерживающей статическое давление порядка 0,1 кбар [4]. Механизм возникновения и развития ускоренного перехода в соответствии [4, 5] заключается в возбуждении в неуплотненном порошковом ВВ ($\rho_0 \sim 1$ г/см³) конвективного горения со скоростью