

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 662.41

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕКСОГЕНА,
ИНИЦИИРУЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИСКРОЙ**

М. А. Мельников, В. В. Никитин
(Томск)

Определение кинетических параметров реакций, протекающих в конденсированной фазе, является важным вопросом в тепловой теории зажигания, в которой известно несколько схем расчета кинетических параметров, предложенных А. Г. Мержановым с сотрудниками [1—3]. Сущность этих схем заключается в следующем:

1) если в эксперименте известны условия теплообмена и измеряется температура поверхности вещества в момент зажигания, то, построив зависимость $\lg \frac{g(\tau_3)}{T_3}$ от $\frac{1}{T_3}$, из наклона получающейся прямой можно рассчитать энергию активации E , а затем и произведение теплового эффекта реакции на частотный фактор Qk_0 ;

2) в этой схеме для расчета E и Qk_0 используется только время задержки зажигания τ_3 . Зная τ_3 и условия теплообмена, можно рассчитать T_3 , а затем E и Qk_0 .

Настоящая работа посвящена определению кинетических параметров гексогена, инициируемого электрической искрой, с позиций тепловой теории зажигания. Известно, что возбуждению детонации предшествуют сложные процессы зажигания и горения, развивающиеся в результате нестационарного теплообмена между каналом искрового разряда и веществом [4]. Изучались такие режимы зажигания в области времен порядка 10^{-6} сек, которые приводят впоследствии к детонации.

Иницирование гексогена осуществлялось импульсами электрического тока прямоугольной формы с регулируемой амплитудой и длительностью импульса. За время зажигания τ_3 принималось время действия импульса разряда, когда $I=f(\tau) \neq \text{const}$ (рис. 1). Для решения данной задачи использовалось условие зажигания, предложенное в [5]

$$g(\tau_3) = Qk_0 \int_0^{\infty} \left\{ \exp \left[-\frac{E}{RT(r, \tau_3)} \right] - \exp \left(-\frac{E}{RT_H} \right) \right\} dr. \quad (1)$$

Входящие в (1) функции $T(r, \tau_3)$ и $g(\tau_3)$ находятся из решения соответствующих решаемой задаче уравнений теплопроводности без химических источников тепла.

Предполагается, что искра представляет собой неограниченный цилиндр радиуса $R(\tau)$ и находится в контакте с окружающим его веществом; энергия, выделившаяся в канале искры, расходуется на нагревание вещества. Будем рассматривать канал с равномерным распределением плазмы по сечению и считать, что в процессе расширения канала и диффузии в него частиц равномерность распределения плазмы сохраняется [6]. Считаем, что развитие канала искры в веществе происходит по воздушным включениям. Тогда из работы [7], устанавливающей связь между радиусом канала искры $R(\tau)$ и энергией, выделившейся в канале разряда за промежуток времени от начала разряда до рассматриваемого момента времени, получим соотношение:

$$R(\tau) = 0,19W_1^{0,125} \left[\int_0^{\tau} W_1^{1/2} d\tau \right]^{0,376},$$

где $W_1 = \frac{W_0}{l}$ — энергия, выделившаяся в канале разряда на единицу длины.

Полагаем, что энергия, выделившаяся в канале искры, имеет линейную зависимость, тогда

$$W_0 = k \cdot \tau,$$

где τ — время импульса разряда; k — коэффициент линейности.

Распределение температуры в веществе, в котором отсутствуют внутренние источники тепла, является решением дифференциального уравнения с граничными условиями II рода:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad r \geq R, \quad \tau > 0 \quad (2)$$

при краевых условиях:

$$\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial r} = -g, \quad t(r, 0) = 0, \quad t(\infty, \tau) = 0, \quad t = T - T_n, \quad (3)$$

где a и λ — коэффициенты температуропроводности и теплопроводности гексогена; $t = T - T_n$ — избыточная температура; g — плотность теплового потока, которую можно выразить соотношением

$$g(\tau) = \frac{k}{0,38\pi l \left(\frac{k\tau}{l} \right)^{0,125} \left[\int_0^\tau \left(\frac{k\tau}{l} \right)^{1/2} d\tau \right]^{0,376}}.$$

Для решения уравнения (2) с краевыми условиями (3) воспользуемся преобразованием Лапласа [8]. Тогда получим уравнение для изображения:

$$T''(r, S) + T'(r, S) - \frac{S}{a} T(r, S) = 0,$$

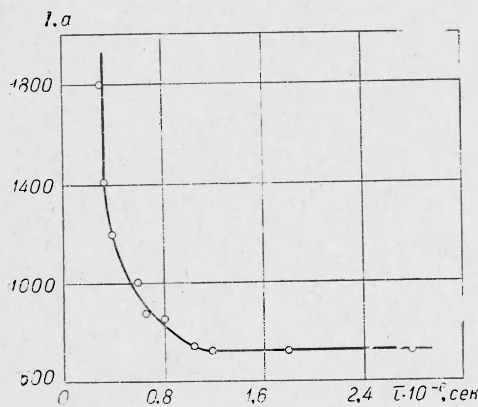


Рис. 1. Зависимость инициируемого тока от времени длительности импульса.

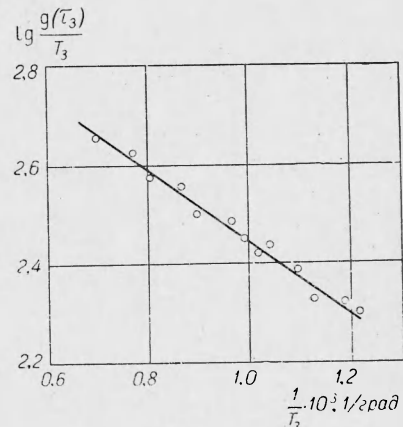


Рис. 2. Расчет кинетических параметров гексогена.

решение которого примет следующий вид:

$$T(r, S) = \frac{\bar{g} \sqrt{a}}{\lambda S^{3/2}} \frac{K_0(\sqrt{S/a} r)}{K_1(\sqrt{S/a} R)}.$$

Разлагая модифицированные функции Бесселя K_0 и K_1 в ряды и переходя к оригиналу, имеем:

$$t(r, \tau) = \frac{\bar{g} R(\tau)}{\lambda \sqrt{x}} \left\{ 2 \sqrt{Fo} i \operatorname{erfc} \frac{x-1}{2 \sqrt{Fo}} - \frac{3x-1}{2x} Fo i^2 \operatorname{erfc} \frac{x-1}{2 \sqrt{Fo}} + \frac{33x^2 + 6x + 9}{16x^2} (Fo)^{3/2} i^3 \operatorname{erfc} \frac{x-1}{2 \sqrt{Fo}} \right\}, \quad (4)$$

где $x = \frac{r}{R(r)}$; \bar{g} — усредненный тепловой поток во времени. Выражение (4) справедливо

для малых времен, порядка 10^{-6} сек. Вследствие того, что ряд быстро сходится, можно ограничиться первым членом (ошибка не превышает 0,1%), тогда

$$t(r, \tau) = \frac{2\bar{g}R(\tau)}{\lambda \sqrt{x}} \sqrt{Fo} \operatorname{erfc} \frac{x-1}{2\sqrt{Fo}}.$$

При $r=R$ получим

$$t(R, \tau) = \frac{\bar{g}R(\tau)}{\lambda} \left(\frac{2\sqrt{Fo}}{\sqrt{\pi}} - \frac{Fo}{2} + \frac{(Fo)^{3/2}}{2\sqrt{\pi}} \right).$$

Исходя из того, что имеется сильная экспоненциальная зависимость скорости химической реакции от температуры, можем для вычисления интеграла (1) применить метод Лапласа. В результате вычисления и несложных преобразований получим выражение

$$g_3^2 = \lambda Q k_0 e^{-\frac{E}{RT_3}} \left[\frac{\pi R T_3^2}{2E} \right],$$

прологарифмировав которое, получаем

$$2 \ln \frac{g(\tau_3)}{T_3} = \ln A - \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T_3},$$

где $A = \lambda Q k_0 \cdot \frac{\pi R}{2E}$ — величина, постоянная для данного вещества. Воспользовавшись схемой

расчета кинетических параметров, предложенной в [3], и построив зависимость $\lg \frac{g(\tau_3)}{T_3}$

от $\frac{1}{T_3}$ из наклона получающейся прямой, можно рассчитать E , а затем Qk_0 .

На рис. 2 приведен пример расчета кинетических параметров гексогена плотностью $\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$ с использованием экспериментальных данных. Значения полученных кинетических констант следующие: $E = 52\,400$ кал/моль; $Qk_0 = 3,6 \cdot 10^{18}$ кал/г·сек.

В работе [9] энергия активации гексогена составляет 199 Мдж/кмоль, а логарифм предэкспонента — 18,5, что дает удовлетворительное согласие с полученными данными.

Таким образом, на примере гексогена показана возможность расчета кинетических параметров химической реакции, приводящей к детонации конденсированного ВВ.

Поступила в редакцию
10/V 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Лисицкий, А. Г. Мержанов. НТПГВ, 1965, 1, 2, 62.
2. Ю. М. Григорьев, В. И. Лисицкий, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1967, 3, 4.
3. А. Э. Аверсон, В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1968, 4, 1.
4. М. А. Мельников, В. В. Никитин. Использование взрыва в народном хозяйстве. Ч. 1. «Наукова думка», 1970.
5. А. Э. Аверсон, В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1968, 178, 1.
6. В. В. Арсентьев. Пробой диэлектриков и полупроводников. «Энергия», 1962.
7. С. И. Драбкина. ЖЭТФ, 1953, 21, 4.
8. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. ГИТТЛ, 1962.
9. Г. А. Авакян, Л. А. Шушко. Взрывчатые вещества и средства инициирования. Ч. 1. М., 1966.

УДК 536.46

ГОРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В ЖИДКОМ КИСЛОРОДЕ

Б. А. Иванов, А. С. Мелихов, А. С. Розовский
(Балашиха)

Твердые неметаллические материалы (пластмассы, стеклопластики и т. д.) широко применяются в кислородной промышленности. Однако в контакте с жидким кислородом они образуют гетерогенные системы, способные к воспламенению от различных случайных источников и интенсивному горению.