

рические по отношению к сгоранию до CO и H₂O. При этом концентрации горючего φ_r и флегматизатора φ_ϕ связаны соотношением

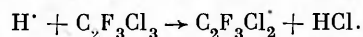
$$\varphi_r = \frac{100 - \varphi_\phi}{1 + 4,844\beta}, \quad (1)$$

где φ_r — стехиометрическая концентрация этанола при сгорании до CO и H₂O при концентрации флегматизатора в смеси φ_ϕ ; 4,844 — коэффициент, определяемый концентрацией кислорода в воздухе; $\beta = n_C/2 + n_H/4 - n_O/2$ — стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения до CO и H₂O; n_C , n_H , n_O — число атомов C, H, O в молекуле горючего.

По-видимому, взаимосвязь (1) между концентрациями горючего и флегматизатора в экстремальной точке области воспламенения обусловлена особенностями химической кинетики горения органических веществ в воздухе. Согласно [5], скорость горения и пределы распространения пламени в смесях органических соединений с воздухом определяются реакцией окисления окиси углерода и определяют взаимосвязь концентраций горючего и флегматизатора в экстремальной точке области воспламенения. В этом случае соотношение (1) должно выполняться для широкого круга флегматизаторов, в частности для галоидсодержащих.

В настоящей работе на примере кривой флегматизации этанола хладон-113 проверена взаимосвязь (1) концентраций горючего и флегматизатора в экстремальной точке области воспламенения. Согласно экстремальным данным, $\varphi_\phi = 11,8\%$, отсюда $\varphi_r = 8,2\%$. Экспериментальное значение концентрации горючего в точке флегматизации составляет 9%, т. е. принцип, сформулированный в работе [4], оказывается приблизительно верным не только для случая флегматизации азотом, но и для такого флегматизатора, как хладон-113.

Тот факт, что вычисленные с помощью соотношения (1) значения φ_r лежат ниже экспериментальных, обусловлен, по-видимому, частичным окислением водорода, входящего в молекулу горючего, до HCl в результате взаимодействия с хлором, входящим в молекулу флегматизатора. Одним из возможных актов образования HCl при горении органического вещества в воздухе в присутствии хладона-113 может быть реакция [6, 7]



Однако полный механизм такого дополнительного окисления, вероятно, достаточно сложен и в настоящей работе не рассматривался.

Поступила в редакцию
29/VIII 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. H. F. Coward, G. W. Jones. Limits of Flammability of Gases and Vapors. Bulletin 503. Bureau of Mines, Washington, 1952.
2. M. G. Zabetakis. Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors. Bulletin 627, Bureau of Mines. Washington, 1965.
3. В. Т. Моисахов. Методы исследования пожарной опасности веществ. М.: Химия, 1979.
4. А. Масек. Comb. Sci. Tech., 1979, 24, 1/2, 43.
5. А. И. Розловский, Б. Б. Брандт. Докл. АН СССР, 1962, 145, 6, 1331.
6. G. Dixon-Lewis, R. J. Simpson. 16-th Symp. (International) on Comb. Pittsburgh, 1976.
7. А. И. Розловский. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1980.

К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ДАВЛЕНИЕМ И ВРЕМЕНЕМ ГОРЕНИЯ ПОРОХА В ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ

М. С. Горохов
(Ижевск)

Зависимость между давлением и временем горения пороха в закрытом объеме представляет интерес не только с прикладной стороны, но и в теоретическом отношении, так как, будучи построена на совокупности основных допущений, она позволяет непосредственным сопоставлением с опытной кривой судить о степени достоверности упомянутой совокупности допущений.

Не меньшее значение имеет и зависимость dp/dt , которая характеризует влияние процесса воспламенения, неоднобразие горения и рассеивания сводов зерна, неоднобразие формы пороховых элементов, теплоотдачу к стенкам сосуда и др. По этой зависимости можно судить о степени прогрессивности горения.

Во внутренней баллистике всегда придавалось большое значение исследованию этих зависимостей [1—9]. Упомянутые основные допущения наиболее полно сформулированы еще в [2] и используются почти без изменения и до настоящего времени [9, 10].

В наиболее общем виде зависимость для скорости притока газа может быть представлена уравнением Шарбонье

$$d\psi/dt = S_1/\Lambda_1 \cdot \sigma(\psi) u(p), \quad (1)$$

где ψ — относительная масса сгоревшего заряда; t — время; S_1 , Λ_1 — начальная поверхность и объем зерна (заряда); σ — относительная горящая поверхность; u — линейная скорость горения. Для определения вида функции $\sigma(\psi)$ использовался геометрический закон газообразования, отражающий основные допущения. Для простых форм порохов

$$\sigma(\psi) = (1 - \psi)^\beta, \quad (2)$$

при этом для цилиндра $\beta = 1/2$, для шара $\beta = 2/3$, для длинной трубы $\beta = 0$. Таким образом, $0 \leq \beta \leq 2/3$.

Для того чтобы уравнение (2) отражало реальные условия горения, показатель степени β выбирается в качестве коэффициента согласования. Из (1) следует, что при возрастании давления ($u(p)$ возрастает) и убывании $\sigma(\psi)$ на кривой $\psi(t)$ должна быть точка перегиба; если $\sigma(\psi)$ растет, то $d\psi/dt$ будет возрастать, т. е. кривая $\psi(t)$ будет изображаться экспонентой. При сжигании порохов в бомбе на кривых $p(t)$ всегда получается точка перегиба. Она будет отражать реальные условия горения и влияние формы пороховых зерен. Исследования [4] показывают, что точка перегиба является главным образом следствием разброса зерен наименьших размеров. Если же своды зерен подобраны одинаковыми, то точка перегиба будет характерным свойством лишь некоторых форм порохов.

Для определения β в [3] использовались опытные кривые $p(t)$ в бомбах и упрощенная зависимость $p(t)$ в виде

$$p = p_{\max} \psi. \quad (3)$$

Полагая $u = u_1 p$ и $d^2 p/dt^2 = 0$, из уравнений (1) — (3) получим

$$\beta = (p_{\max} - p_i)/p_i,$$

где u_1 — единичная скорость горения; p_i — давление в точке перегиба. Если же $u = u_1 p^\nu$, то

$$p_i/p_{\max} = \nu(\nu + \beta).$$

В работе [10] использовались уравнения (1) — (3) при решении задачи для двух частных случаев (цилиндр, шар).

В наиболее общей форме задача о зависимости $p(t)$ решена в [8], при этом использовалась следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} p &= f_1(\psi_\Delta + \psi)/(\psi_\Delta - \psi), \\ \psi &= \kappa z + \kappa \lambda z^2, \\ \sigma &= (1 + 4\lambda/\kappa \cdot \psi)^{1/2}, \\ dz/dt &= p/I_\kappa, \\ f_1 &= f \cdot 1/(\alpha - 1/\delta), \\ \psi_\Delta &= f_\Delta \omega_\Delta / f \omega, \\ \psi_\Delta &= \frac{1/\Delta - 1/\delta - \alpha_\Delta \omega_\Delta / \omega}{\alpha - 1/\delta}, \end{aligned}$$

где f — сила пороха; z — относительная толщина сгоревшего слоя зерна; κ , $\kappa \lambda$ — характеристики формы зерна; I_κ — импульс давления; f_Δ , ω_Δ — сила газов и масса воспламенителя; ω — масса заряда; α — коволюм пороховых газов; δ — удельная плотность пороха; Δ — плотность заряжания. Используем эту систему уравнений для определения точки перегиба

$$dp/dt = f_1(\psi_\Delta + \psi) \cdot \kappa/I_\kappa \cdot p \sigma / (\psi_\Delta - \psi)^2.$$

Из условия

$$d/dt(dp/dt) = 0$$

следует

$$y_i^2 + 2 \left[\frac{3\lambda}{\kappa} (\psi_\Delta + \psi_\Delta) + 1 \right] y_i - \frac{2\lambda}{\kappa} (\psi_\Delta + \psi_\Delta) \left(1 + \frac{4\lambda}{\kappa} \psi_\Delta \right) = 0, \quad (4)$$

где $y_i = \frac{2\lambda}{\kappa} (\psi_B + \psi_i)$. Решение (4) запишем в виде

$$\psi_B + \psi_i = \frac{-(\psi_B + \psi_\Delta) \left(1 + \frac{4\lambda}{\kappa} \psi_B\right)}{\frac{3\lambda}{\kappa} (\psi_B + \psi_\Delta) + 1 + \sqrt{\left[\frac{3\lambda}{\kappa} (\psi_B + \psi_\Delta) + 1\right]^2 + \frac{2\lambda}{\kappa} (\psi_B + \psi_\Delta) \left(1 + \frac{4\lambda}{\kappa} \psi_B\right)}} \quad (5)$$

Из (5) следует, что $\psi_i > 0$ возможно лишь при $\lambda < 0$, т. е. только для зерен депрессивной формы (цилиндр, лента, шар). В частности, при $\lambda = 0$ (длинная трубка) $\psi_B + \psi_i < 0$, т. е. даже для не очень длинных трубок (λ мало) точки перегиба на кривой $p(t)$ не должно быть.

Для цилиндра при $l_1/c = 0$ $\kappa = 2$, $\lambda = -1/2$ (λ_1 — половина наименьшего размера зерна, c — половина длины зерна). Полагая $\alpha = 1/\delta$ и $\psi_B = 0$, получим [5]

$$\psi_i = 2/3 \approx p_i/p_{\max}$$

Уравнение (5) в каждом конкретном случае позволяет определить величину ψ_i , а следовательно, p_i и l_i . Однако практический интерес представляет использование (5) при решении обратной задачи, когда по известному опытному значению p_i (следовательно, ψ_i) необходимо определить величину λ (при условии $1 = \kappa + \kappa\lambda$), характеризующую среднюю прогрессивность зерен данного пороха.

Поступила в редакцию
14/1 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Граве. Опыт теоретического исследования закона развития давлений при горении пороха в неизменяемом пространстве (диссертация). Спб., 1904.
2. Н. Ф. Дроздов. Решение задач внутренней баллистики (диссертация). Спб., 1910.
3. P. Garbani. Balistique Interieure. Paris, 1908.
4. М. Е. Серебряков. Введение в изучение физического закона горения (диссертация). Л., 1929.
5. И. П. Граве. Пиростатика. М., 1938.
6. Сюго. Внутренняя баллистика. Л., 1929.
7. М. Е. Серебряков. Физический закон горения во внутренней баллистике (диссертация). М., 1940.
8. Г. В. Оппоков. Основные проблемы внутренней баллистики. М.: Оборонгиз, 1940.
9. М. Е. Серебряков. Внутренняя баллистика. М.: Оборонгиз, 1938; 1949; 1962.
10. К. В. Волков, В. А. Сибилев. ФГВ, 1980, 16, 4.

ИОНИЗАЦИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГРАФИТА С ДОБАВКАМИ ЛЕГКОИОНИЗИРУЕМЫХ ПРИМЕСЕЙ

Б. С. Фиалков, А. Г. Захаров, А. Ю. Мельничук, Л. А. Хван
(Караганда)

Впервые обнаруженное в работах [1, 2] явление специфической электризации твердого топлива объяснялось ионизационными процессами, протекающими при его окислении и горении. В то же время исследования проводимости продуктов сгорания метано-кислородных смесей [3] показали ее обусловленность термоионизацией легкоионизируемых компонентов пламени.

Для решения вопроса о механизме ионообразования при горении твердых топлив была проделана данная работа, методика которой базировалась на следующих соображениях. Если ионизация носит термический характер, то увеличение содержания в сжигаемой смеси легкоионизируемых солей или окислов щелочноземельных металлов (NaCl, MgO) должно привести к увеличению регистрируемого тока. В противном случае, т. е. если генерация заряженных частиц происходит в ходе химических реакций, протекающих при окислении и горении горючего, его