

нейной скорости для диспергирующих композиций при положительной полярности нижнего электрода, возможно, связано с процессом прилипания электронов к дисперсным частицам и образованием отрицательных ионов.

Представляет интерес закономерность изменения величины тока, протекающего через пламя, при постоянном значении приложенного напряжения. На рисунке (б, г) приведены осциллограммы (отметчик времени 0,1 с) свечения и величины тока для рассмотренного выше диспергирующего пульсирующего образца (а, в). Из сопоставлений записи видно, что всплески свечения в большинстве случаев совпадают с пиками величины тока при положительной полярности нижнего электрода, а в случае отрицательной полярности минимумы свечения совпадают с максимумами тока. Для недиспергирующего пульсирующего горения закономерности пульсации тока повторяют характер пульсации свечения непосредственно после включения электрического поля. В дальнейшем характер пульсации тока изменяется, что связано с изменением пульсирующего горения в электрическом поле.

Рассмотрение приведенных и других экспериментальных данных показывает, что во всех случаях воздействие электрического поля при несамостоятельном разряде связано с возникновением достаточно интенсивных потоков ионного ветра положительных и отрицательных ионов в межэлектродном пространстве. Влияние электрического поля в основном можно объяснить рециркуляционным действием потоков ионного ветра на процессы, происходящие на границе твердой и газовой фаз и на теплоотдачу между этими фазами. Эти данные могут позволить получить дополнительную информацию о механизме горения конденсированных систем.

*Поступила в редакцию
3/VI 1974*

ЛИТЕРАТУРА

1. P. I. Mayo, L. A. Wagermier, P. I. Weinberg. Proc. Roy., 1965, A, 284, 1399.
2. R. F. Bestgen, H. F. Wright. AIAA Paper, 1971, 174, 8.
3. Н. А. Исаев. В сб. «Физика горения и методы ее исследования». Чебоксары, Изд-во ЧГУ, 1973.
4. С. А. Абриков, Н. А. Исаев, Ю. Я. Максимов. В сб. «Горение и взрыв». М., «Наука», 1972.

УДК 536.46

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНОГО ГОРЕНИЯ БЕЗГАЗОВЫХ СИСТЕМ

*А. П. Алдушин, Б. И. Хайкин
(Москва)*

В работах [1—6] было показано, что при определенных условиях стационарное горение безгазовых систем становится неустойчивым. Во всех этих работах анализ устойчивости проводился в предположении равенства теплофизических характеристик исходного вещества и продуктов реакции. В результате оказалось, что положение границы, разделяющей области стационарного и нестационарного горения, опреде-

ляется только величиной энергии активации E и значениями начальной T_n и конечной T_r температур данного состава. Однако экспериментальные наблюдения [7] показывают, что в некоторых случаях переход от стационарного к нестационарному горению может быть вызван не только изменением T_n и T_r , но и увеличением плотности прессования образца. Можно предположить, что этот эффект связан с влиянием на устойчивость стационарного горения различия между значениями теплофизических характеристик исходного вещества и продуктов реакции, которое, в принципе, всегда имеет место, но в теоретических работах до сих пор не учитывалось.

В приближении бесконечно узкой зоны реакции исследование устойчивости стационарных уравнений горения приводит к однородной системе уравнений относительно малых возмущений, которая была получена в [3] при рассмотрении устойчивости беспламенного горения пороха. Анализ дисперсионного соотношения, вытекающего из этих уравнений, в этой работе проводился в предположении безынерционности продуктов горения.

Проанализируем устойчивость стационарного горения в безгазовых системах, для которых тепловая инерционность продуктов реакции является существенной. В используемых ниже обозначениях характеристическое уравнение для безразмерной комплексной частоты Ω , определяющей поведение малых возмущений во фронте горения, имеет вид [3]:

$$\Omega \Gamma_2 + \Gamma_1 (k + \Omega) - \Omega \left(2k + \frac{c_1 - c_2}{c_1} \right) - k = 0, \quad (1)$$

$$\Gamma_1 = \sqrt{1 + 4\Omega + s^2}, \quad \Gamma_2 = \sqrt{\left(\frac{c_2}{c_1} \right)^2 + 4\Omega \delta^2 + s^2 \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2}},$$

$$k = (T_r - T_n) \frac{d \ln u}{dT_r} = k_0 \frac{c_2}{c_1}, \quad \delta^2 = \frac{\lambda_2 \rho_2 c_2}{\lambda_1 \rho_1 c_1}, \quad k_0 = \frac{d \ln u}{dT_n} (T_r - T_n).$$

Здесь λ , ρ , c — теплопроводность, плотность и теплоемкость среды (индекс 1 соответствует исходному веществу, индекс 2 — продуктам реакции), δ — отношение тепловых активностей, u — скорость распространения фронта, k_0 — температурный коэффициент скорости. Величина s характеризует отношение ширины зоны прогрева к длине волны искривления фронта реакции.

Нарастание малых возмущений имеет место при $\text{Re} \Omega > 0$. Подставляя в (1) $\Omega = i\varphi$, найдем связь между параметрами на границе устойчивости стационарного распространения фронта горения

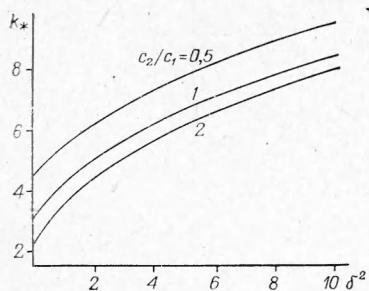
$$k_* = \varphi^2 \frac{2 \left(1 + \delta^2 \frac{A_1}{A_2} \right)}{A_1 (A_1 - 1)}, \quad (2)$$

$$\varphi^2 = \frac{A_1^2 \left(A_1 + A_2 + \frac{c_2 - c_1}{c_1} \right)}{4 \left(1 + \delta^2 \frac{A_1}{A_2} \right)}, \quad (3)$$

$$A_i = \sqrt{\frac{a_i}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{b_i^2}{a_i^2}} \right)} \quad (i=1, 2),$$

$$a_1 = (1 + s^2), \quad b_1 = 4\varphi, \quad a_2 = \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^2 + s^2 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^2, \quad b_2 = 4\delta^2 \varphi.$$

Частота φ на границе устойчивости определялась в результате численного решения уравнения (3) в диапазоне параметров $\delta^2 = 0 \div 10$;



$\frac{c_2}{c_1} = 0,5 \div 2; \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 0 \div 10; 0 \div 6$. По найденным значениям φ вычислялась величина k_* в соответствии с (2). Анализ полученных зависимостей $k_*(\delta, \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \frac{c_2}{c_1}, s^2)$ показал, что при фиксированных значениях остальных параметров функция $k(s)$ может иметь минимум в области значений s , близких к единице, однако глубина этого минимума незначительна.

Различие между $k_*(0)$ и $k_*(s_{\min})$ в исследованном диапазоне параметров не превышает $0,05 k_*(0)$ и находится в пределах погрешности модели бесконечно узкой зоны реакции, используемой при выводе (1). Последнее означает, что в рамках рассматриваемой модели границы устойчивости по отношению к одномерным и двумерным возмущениям совпадают [4]. Зависимости $k_*(\delta, \frac{c_2}{c_1}, s = 0)$ представлены

на рисунке. Для фиксированных $\delta, \frac{c_2}{c_1}$ значениям $k < k_*$ отвечает стационарное, значениям $k > k_*$ нестационарное распространение фронта горения (в [1, 6] показано, что для безгазовых систем в области неустойчивости стационарного горения реализуется автоколебательный режим распространения фронта реакции). Из рисунка видно, что при увеличении тепловой активности продуктов реакции потеря устойчивости наступает при более высоких значениях параметра k_* , т. е. при более низких температурах горения, что соответствует сделанному в [1] выводу о стабилизации горения тепловым потоком от продуктов реакции.

Полученные результаты могут объяснить наблюдающийся на эксперименте переход от стационарного к автоколебательному режиму распространения при увеличении плотности исходного состава. С возрастанием плотности образцов отношение тепловых активностей δ уменьшается (за счет роста $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ и $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$), что приводит к неустойчивости стационарного распространения и переходу в автоколебательный режим.

В автоколебательном режиме средняя скорость распространения фронта меньше стационарной (отличие тем существеннее, чем дальше от предела устойчивости). Поэтому переход в автоколебательный режим при увеличении начальной плотности приводит к падению скорости горения [7].

Поступила в редакцию
11/III 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Г. Шкадинский, Б. И. Хайкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1971, 7, 1.
2. Э. И. Максимов, К. Г. Шкадинский. ФГВ, 1971, 9, 3.
3. Г. М. Махвиладзе, Б. В. Новожилов. ПМТФ, 1971, 5.
4. Г. М. Махвиладзе, Б. В. Новожилов. Сб. «Тепло- и массоперенос», т. 2, Минск, 1972.
5. К. Г. Шкадинский, Б. И. Хайкин. Сб. «Горение и взрыв». М., «Наука», 1972.
6. А. П. Алдушин, Т. М. Мартемьянова и др. ФГВ, 1973, 9, 5.
7. И. П. Боровинская, А. Г. Мержанов и др. ФГВ, 1974, 10, 1.