

скорости на внешней границе волны горения в газовой фазе вдоль координаты x . Видно, что на участке стабилизации течения ($x/h \leq 1,5$) поперечная скорость на границе волны горения проходит через максимум, который в 1,4 раза превышает установившееся стабилизированное значение. Кривые 1, 3, описывающие изменение координат начала и конца зоны химических реакций в газовой фазе вдоль поверхности горения, наглядно отражают факт отхода зоны реакций от поверхности топлива на участке стабилизации течения. Характер кривых рис. 3 полностью соответствует зависимости $\epsilon(x/h)$ (см. рис. 1, 3).

В работе [2] обсуждаются результаты экспериментального исследования влияния начальной температуры топлива на величину отрицательной эрозии. Эксперимент показал, что со снижением T_0 отрицательный эрозионный эффект уменьшается, и наоборот — при росте T_0 абсолютная величина ϵ увеличивается. Для сопоставления экспериментально полученного характера зависимости с расчетной рассмотрим рис. 4. Уменьшение T_0 приводит к увеличению эффекта отрицательной эрозии, но сокращает расстояние, на котором она проявляется. На первый взгляд, можно прийти к выводу, что результаты расчетов находятся в противоречии с экспериментом. Однако надо учесть, что в эксперименте [2] ϵ определялся по всему образцу топлива, т. е. являлся интегральной характеристикой. Поэтому корректное сравнение результатов расчетов с экспериментом предполагает сравнение интегрального расчетного

$$\text{коэффициента эрозии } \epsilon_x = \int_x (1 - \epsilon) dx.$$

Зависимость ϵ_x , найденная по рис. 4, такова, что рост T_0 приводит к увеличению ϵ_x , т. е. соответствует характеру экспериментальной зависимости.

Таким образом, анализ численных расчетов закономерностей горения пороха Н на базе полных уравнений Навье — Стокса показывает, что отрицательная эрозия в канале имеет место на участке стабилизации течения и обусловлена увеличением конвекции в волне горения газовой фазы, которая, оттесняя зону реакций в газовой фазе от поверхности горения, уменьшает тепловой поток в конденсированную фазу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилюнов В. П., Дворяшин А. А. ФГВ, 1971, 7, 1, 45.
2. Вилюнов В. П., Дворяшин А. А. ФГВ, 1973, 9, 4, 602.
3. Булгаков В. К., Липанов А. М. ФГВ, 1983, 19, 3, 32.
4. Булгаков В. К., Липанов А. М., Камалетдинов А. Ш. Хим. физика, 1986, 5, 6, 831.
5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

Поступила в редакцию 17/XII 1987,
после доработки — 8/IV 1988

УДК 537.566

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЕНИЯ ПХА НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Ю. С. Иващенко, В. М. Зенченко, А. Л. Садырин

(Красноярск)

В [1] проведены исследования электропроводности поверхности горения ПХА низкочастотным (4 кГц) методом. Представляет интерес изучение активного сопротивления поверхности ПХА на высоких частотах, позволяющее получить дополнительную информацию о процессе горения.

3*

35

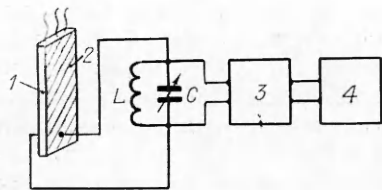
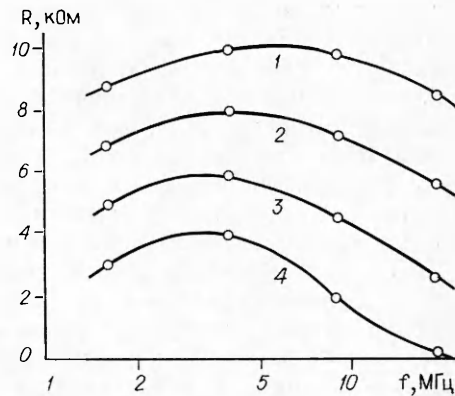


Рис. 1. Блок-схема измерений активного сопротивления поверхности ПХА.

Рис. 2. Частотные зависимости активного сопротивления поверхности ПХА.
 p , МПа: 1 — 4, 2 — 6, 3 — 8, 4 — 10.



Исследовались частотные зависимости активного сопротивления поверхности горения ПХА в диапазоне частот $f = 1 \div 20$ МГц. Использовались образцы ПХА со сгорающими пленочными электродами, подготовленные по методике [1]. Блок-схема измерений активного сопротивления дана на рис. 1. Образец ПХА 1 с пленочными электродами из олова 2 подключался параллельно LC -контуре измерителя добротности (Q -метра) Е4-4 3. Сигнал с выхода Q -метра подавался на светолучевой осциллограф Н-117 4. При горении образца регистрировался сигнал пропорциональной добротности измерительного контура. Величина активного сопротивления поверхности определялась с помощью выражения

$$R = Q_1 Q_2 / \omega C (Q_1 - Q_2),$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота измерений; C — емкость контура; Q_1, Q_2 — добротность контура начальная и во время горения.

На рис. 2 приведены зависимости $R(f)$ при разных давлениях, откуда видно, что сопротивление растет с частотой и, достигнув максимума, снижается в области высоких частот. При этом с повышением давления спад сопротивления становится более резким. Снижение активного сопротивления в области $f > 5$ МГц характерно для неоднородных (микронеоднородных) сред [2], когда на низких частотах выявляются свойства фазовые барьеры в проводимости, а при $f < 10^6$ Гц проявляются свойства сплошной проводимости. В последнем случае барьерные слои (прослойки) из-за большой емкостной проводимости закорачиваются и проявляются электрические свойства основного вещества, т. е. участков, обладающих наибольшей проводимостью и малой емкостью.

Спад активного сопротивления поверхности ПХА на частотах ниже 4 МГц можно объяснить увеличением подвижности носителей заряда (ионов) в поверхностном слое из-за снижения инерционности пространственных смещений зарядов. Подвижность ионов обычно снижается с увеличением частоты электрического поля, что приводит к росту активного сопротивления.

В таблице даны значения скорости горения u , максимального сопротивления R_{\max} , зависимости $R(f)$, величины активной удельной электрической проводимости поверхности σ_R , полученной по методике [1] из значений R_{\max} и f_{\max} .

p , МПа	u , мм/с	R_{\max} , кОм	σ_R , См/м	f_{\max} , МГц	$\sigma_f \cdot 10^4$, См/м
4	5,0	10,0	2,4	5,7	3,2
6	7,7	7,9	4,6	4,0	2,3
8	9,7	6,0	7,6	3,6	2,0
10	11,3	4,1	13,0	3,2	1,8

Из таблицы следует, что зависимость $\sigma_k(p)$ аналогична низкочастотной зависимости [1], однако численные значения несколько ниже низкочастотных вследствие снижения подвижности зарядов.

Максимум зависимостей $R(f)$ сдвигается с ростом давления в сторону низких частот (см. рис. 2). Можно объяснить это явление тем, что на высоких частотах за счет емкостных связей в измеряемое активное сопротивление к-фазы включается и сопротивление слоев газа, близко примыкающих к поверхности или заключенных в ее порах и неровностях.

В общем случае максимум $R(f)$ определяется таким соотношением величин сопротивления и емкости элементов поверхностного слоя, а также частоты электрического поля, при которых выражение для активного сопротивления [3] имеет максимум:

$$R = \frac{1}{S} \int_0^x \Phi(x) dx,$$

$$\Phi(x) = \frac{\rho(x)}{1 + \omega^2 \varepsilon_0^2 \varepsilon^2(x) \rho^2(x)},$$

ρ — удельное сопротивление; ε — диэлектрическая проницаемость; ε_0 — электрическая постоянная; x — расстояние вдоль поверхности между электродами; S — площадь поперечного сечения поверхностного слоя.

Условие максимума функции $\Phi(x)$ имеет вид

$$\rho_{\max} = \frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon},$$

а связь удельной проводимости σ_f с частотой определится из выражения

$$\sigma_f = 0,56 \cdot 10^{-10} \varepsilon f.$$

Принимая для газа $\varepsilon = 1$, определим по f_{\max} величину σ_f для газа (см. таблицу). Величины σ_f на 4 порядка меньше, чем σ_k , и характерны для пламен. Даже принимая $\varepsilon = 10$ (к-фаза), получим σ_f , по порядку величины соответствующую слабоионизованному газу. Как видно из таблицы, наблюдается снижение σ_f со скоростью горения. Если отнести σ_f к газовой фазе, это означает снижение уровня ионизации газа вблизи поверхности.

Таким образом, в результате измерений активного сопротивления поверхности горения ПХА на высоких частотах установлено, что частотные зависимости сопротивления имеют экстремальный характер. При этом зависимость высокочастотной электропроводности от давления аналогична низкочастотной.

Полученные частотные зависимости позволяют считать, что значения σ_k поверхности горения ПХА определяются наличием хорошо проводящих областей с ионной проводимостью (например, микрокапель расплава), разделенных плохо проводящими промежутками с барьерным характером проводимости.

Наблюдаемый в опытах сдвиг с ростом давления максимума частотных зависимостей можно объяснить ролью газовых включений и приповерхностных слоев ионизованного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко Ю. С., Садырин А. Л., Павленко В. Л. ФГВ, 1986, 22, 4, 30.
2. Бах Н. А., Ванников А. В., Гришина А. Д. и др. Успехи химии, 1965, 34, 10, 1733.
3. Иващенко Ю. С., Зенченко В. М. ФГВ, 1981, 17, 5, 127.

Поступила в редакцию 23/XI 1987,
после доработки — 29/II 1988