

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 662.311.1

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ВВ

А. В. Худяков, Г. В. Горвард, Э. В. Конев, В. Ф. Михеев
(Новосибирск)

Известны различные способы измерения линейной скорости горения конденсированных ВВ [1—4]. Метод измерения массовой скорости горения, описываемый ниже, основан на непрерывном взвешивании горящего образца пороха с помощью тензометрических весов.

Схема установки

Блок-схема установки приведена на рис. 1. Тензометрический преобразователь представляет собой консоль 3, свободный конец которой предназначен для установки текстолитовой подставки 5 с образцом пороха 6, а у закрепленного конца располагаются тензодатчики 2. Тензодатчики в преобразователе соединяются по обычной мостовой схеме с термокомпенсацией. Для дополнительной температурной стабилизации измерительный мост с консолью помещается в массивный металлический корпус 1, наполненный силиконовым маслом 4. Масляная ванна одновременно служит для демпфирования собственных колебаний консоли. Собственная частота консоли в масле при использовании проволочных тензодатчиков составляла около 70 гц, полупроводниковых — 120 гц. Для усиления сигнала с преобразователя использовался усилитель 7, отвечающий требованиям работы в стато-динамическом режиме. Сигнал с выхода усилителя фиксировался шлейфным осциллографом Н-700 8.

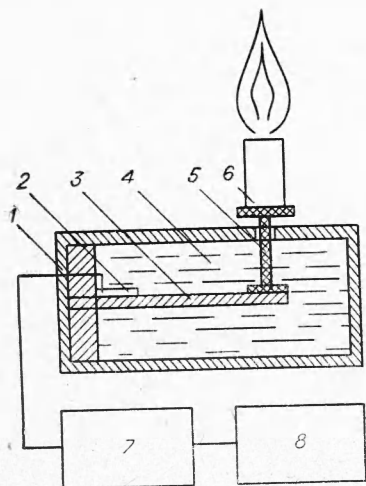


Рис. 1. Блок-схема измерительной установки.

$$\gamma_0 = \frac{h}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где h , l — толщина и длина консоли; E и ρ — модуль Юнга и плотность материала соответственно.

Относительное изменение сопротивления преобразователя связано с параметрами консоли и взвешиваемым образцом зависимостью:

$$\frac{\Delta R_T}{R_T} = F \frac{P \cdot a \cdot h}{2jE} F \frac{6P \cdot a}{b h^2 E}, \quad (2)$$

где F — коэффициент тензочувствительности преобразователя; P — вес образца; $j = \frac{bh^3}{12}$ — момент инерции консоли; b — ширина консоли; a — расстояние от точ-

ки приложения веса до середины тензодатчика; R_T — сопротивление тензодатчика. При использовании в качестве преобразователей одинарных тензометрических мостов постоянного тока с равными резисторными плечами при входном сопротивлении усилителя $R_{вх} \gg R_T$, при малом сопротивлении источника питания R_0 и при $\Delta R_T \ll R_T$ напряжение на выходе моста будет равно

$$U_{\text{вых}} = n U_6 \cdot \frac{\Delta R_T}{4R_T}, \quad (3)$$

где n — число активных тензодатчиков; U_6 — напряжение источника питания. Из уравнений (2), (3) следует:

$$U_{\text{вых}} = 1,5 n \cdot U_6 \cdot F \frac{P \cdot a}{bh^2 E}. \quad (4)$$

Чувствительность измерительной схемы выражается зависимостью:

$$S = \frac{H}{P} = \frac{1,5 S_{\text{ус}} \cdot S_{\text{шл}} \cdot n \cdot F \cdot U_6 \cdot a}{bh^2 E}, \quad (5)$$

где H — отклонение шлейфа; $S_{\text{шл}}$ — чувствительность шлейфа; $S_{\text{ус}}$ — крутизна преобразования усилителя.

Как следует из уравнений (1)–(5), расширение полосы регистрируемых частот при прочих равных условиях связано с потерей чувствительности. Поэтому применение полупроводниковых тензометров, обладающих большим коэффициентом тензочувствительности и меньшими размерами [5], позволяет без усложнения схемы получить более широкую полосу регистрируемых частот.

Калибровка и измерения

Калибровка измерительной схемы проводилась в статических условиях равновесия 2-го класса индивидуально для каждого шлейфа и при различных коэффициентах усиления¹.

На рис. 2 представлена тарировка измерительной установки с преобразователем на полупроводниковых тензометрах. Собственная частота консоли в масле около 120 гц. Кривые 1, 2, 3, 5 относятся к шлейфу первого класса осциллографа Н-700 при различных коэффициентах усиления.

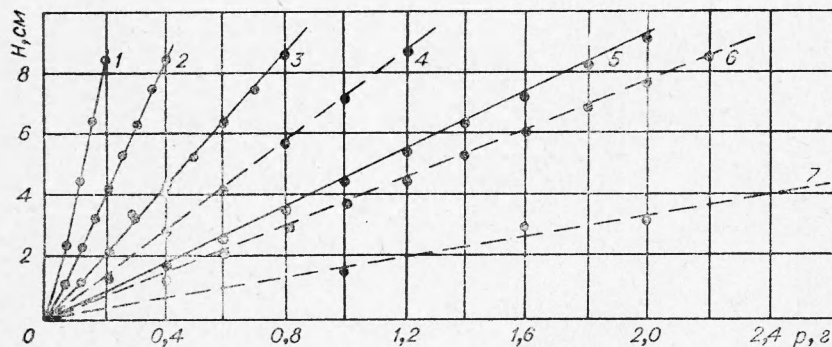


Рис. 2. Зависимость отклонения гальванометра от веса образца при различных коэффициентах усиления.

Кривые 4, 6, 7 относятся к шлейфу второго класса при тех же коэффициентах усиления, что и кривые 2, 3, 5.

Обработка тарировочных кривых показала, что средняя квадратичная ошибка

¹ Изменение веса горящего образца при низких давлениях (условия наших опытов) можно считать квазистатическим процессом.

метода при определении веса образца составляет около 1% (для максимального отклонения шлейфа при данном коэффициенте усиления).

На рис. 3 приведены типичные кривые, полученные при измерении массовой скорости горения модельного смесового топлива (ПХА+эпоксидная смола) при одной атмосфере и баллиститного — при давлении 5 атм. Первоначальное отклонение на рис. 3, а

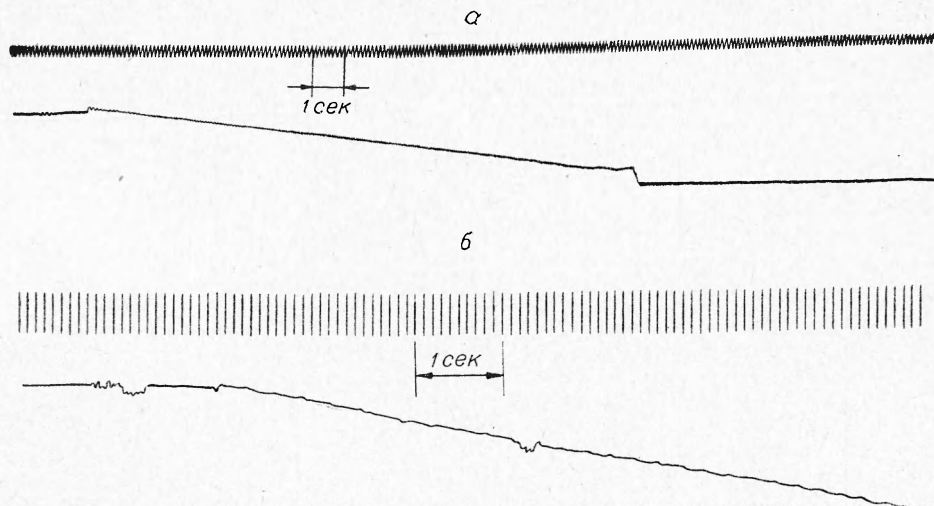


Рис. 3. Осциллограммы сигнала тензодатчиков.
а — смесовой порош; б — порошок *H*.

вызвано реактивной силой, обусловленной оттоком продуктов сгорания от поверхности горящего пороха. Горение пороха *H* при 5 атм нестационарно (рис. 3, б), причем отклонения от линейности носят периодический характер. По-видимому, их возникновение связано с процессами образования и выброса чешуек, обнаруженных в работе [6], и сопутствующими этому процессу колебаниями реактивной силы. При горизонтальном расположении образца амплитуда указанных колебаний значительно уменьшается, становясь сравнимой с погрешностью измерений.

Сравнение средней скорости горения пороха *H*, измеренной при одной атмосфере тензометрическим методом — $(0,74 \pm 0,04)$ мм/сек — на образцах диаметром 7 мм, со средней скоростью горения, измеренной при тех же условиях методом термометра на образцах диаметром 20 мм — $(0,71 \pm 0,02)$ мм/сек — показало, что они практически совпадают. Незначительную систематическую ошибку можно объяснить большей изогнутостью фронта горения при малых диаметрах образца, чем при больших.

Использование описанного метода удобно в тех случаях, когда плотность вещества по каким-либо причинам переменна (порошкообразные или пористые ВВ) или при изучении явлений, связанных с нестационарным горением (пульсации динамического давления). При известной скорости горения он может быть применен в некоторых случаях (например, при горении конусом) для оценки величины поверхности горения ВВ.

Поступила в редакцию
14/IV 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Коротков, О. И. Лейпунский. Сб. «Физика взрыва», № 2, 1953.
2. П. Ф. Похил, О. И. Нефедова, Д. А. Марголин. Докл. АН СССР, 1962, 145, 4.
3. М. Саммерфилд. Сб. «Исследование ракетных двигателей на твердом топливе», ИЛ, 1963.
4. А. Ф. Беляев, А. Е. Беляева. ЖФХ, 1946, XX, 11.
5. «Полупроводниковые тензодатчики». Сб. статей под ред. М. Дина, М.—Л., «Энергия», 1965.
6. Э. И. Максимов, ЖФХ, 37, 5, 1963, 1129.