

## УСТАНОВКА ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ, СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ТЕПЛОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*В. А. Коробов, В. И. Кондратенков, А. Г. Якушева, Ф. Ф. Труш  
(Москва)*

В настоящее время наиболее распространенным методом исследования чувствительности пиротехнических средств (ПС) к тепловому воздействию является поджиг ПС с помощью концентрированного светового излучения, получаемого при горении углеродной электрической дуги. Скорость горения оценивается с помощью ионизационных датчиков или фотоэлементов, нацеленных на две крайние точки образца, а тепловыделение ПС определяется сжиганием в калориметрических устройствах.

Эти методы позволяют проводить испытания на одном образце лишь одного из параметров, что затрудняет нахождение корреляционной связи между исследуемыми параметрами. Кроме того, указанные методики громоздки; исследования, проводимые с их помощью, продолжительны.

Авторами был опробован метод одновременного определения чувствительности к тепловому воздействию, времени горения и «относительного тепловыделения» безгазовых ПС типа указанных в [1]. Исследовалось влияние различных технологических факторов на параметры ПС и воспроизводимость этих параметров для ПС определенного назначения.

Установка состояла из оптической скамьи, на которой располагались держатель образца, источник монохроматического излучения для поджига образца, фотоэлемент и термодатчик. Сигналы с фотоэлемента и термодатчика поступали на шлейфовые осциллографы и электронные потенциометры.

Монохроматический импульс излучения лазера (фиксированной энергии) направлялся на исследуемый образец. В момент включения лазера срабатывал счетчик числа импульсов (или секундомер при непрерывном излучении лазера), а в момент воспламенения образца сигналом от фотоэлемента лазер и счетчик автоматически отключались. Излучение горящего образца, фиксируемое фотоэлементом и термодатчиком, преобразовывалось в соответствующие электрические сигналы, которые регистрировались с помощью самопишущих приборов.

О чувствительности к тепловому воздействию судили по энергии монохроматического излучения, необходимой для зажигания образца. В качестве источника монохроматического излучения был использован импульсный лазер с длиной волны излучения  $\lambda = 1,06$  мкм, частотой следования импульсов  $f = 2$  Гц, с энергией в импульсе 0,8 Дж и пятном площади  $S = 4$  мм<sup>2</sup> (средняя мощность в импульсе 5 кВт). Энергия излучения могла быть уменьшена с помощью светофильтров.

Энергия, затраченная на воспламенение образца, определяется из соотношения

$$E = A Q n - \epsilon \sigma_0 T_b^4 n \Delta \tau S - \alpha (T_b - T_0) n \Delta \tau S,$$

где  $A$  — коэффициент поглощения;  $n$  — число поданных на образец импульсов;  $\sigma_0$  — постоянная Стефана — Больцмана;  $T_0$  — начальная тем-

пература образца;  $T_v$  — температура воспламенения;  $\Delta t$  — временной интервал между импульсами;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $Q$  — тепловая энергия импульса. Два последних члена — потери с образца соответственно излучением и конвекцией до момента поджига. Оценка вклада этих потерь для условий исследований показала, что ими можно пренебречь. Действительно, при  $T_v = 500^\circ\text{C}$ , доля потерь излучением составила не более 3%, а доля потерь конвекцией не превышала 2% от поступающей на образец энергии.

Преимущество данного способа определения чувствительности к тепловому воздействию по сравнению с методом поджига ПС от концентрированного излучения электрической дуги становится очевидным, если учесть, что концентратор энергии весьма громоздок и дает световое пятно на образец площадью  $5\text{ см}^2$  с плотностью излучения (при диаметре концентратора 1,5 м), равной  $2\text{ Вт/мм}^2$ .

В описанном методе фиксировалось время горения всего образца. Эта величина часто более показательна для оценки качества ПС, чем измерение скорости горения на локальном его участке, поскольку скорость горения ПС в различных направлениях по ряду причин может отличаться.

Запись излучения образца проводилась кремниевым фотоэлементом с максимальной чувствительностью  $q_{\text{max}} = 480\text{ мА/Вт}$  на длине волны  $\lambda = 0,9\text{ мкм}$  в режиме короткого замыкания, при котором ток короткого замыкания  $I \sim k\Phi$  ( $\Phi$  — лучистый поток, падающий на фотоэлемент). Чувствительность используемой измерительной схемы позволила отметить горение образца площадью не более пятна поджига ( $4\text{ мм}^2$ ), что составляло не более 0,02 общей площади исследуемых образцов. Поэтому ошибка определения начала горения не превышала 2% от общего времени горения.

Погрешность в определении окончания горения ПС связана с возможностью различить два процесса: горение ПС и остывание шлаков. Приборная погрешность определения времени горения, связанная со скоростью протяжки ленты самописца, составляла 0,05 с. За это время происходит остывание шлаков на  $150\text{—}250^\circ\text{C}$ , что соответствует снижению сигнала фотоэлемента на 20—30%. Следовательно, при минимальном времени горения образца 0,6 с погрешность определения конца горения не превышала 8%.

Таким образом, время горения определялось от начала подъема кривой  $V(t)$  до момента ее резкого непрерывного падения (рис. 1) с погрешностью, не превышающей 10%.

При горении ПС в открытом объеме тепло, выделившееся в процессе горения  $Q$ , теряется излучением  $Q_{\text{и}}$ , уносится с газами  $Q_{\text{г}}$  и отводится теплопроводностью по держателям образца  $Q_{\lambda}$ .

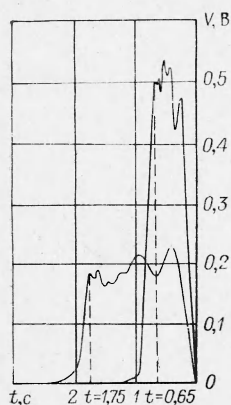


Рис. 1.

$$Q = Q_{\text{и}} + Q_{\text{г}} + Q_{\lambda}$$

Для одинаковых по геометрии и составу образцов при всех прочих равных условиях воспроизводимость их тепловыделения будет характеризоваться колебаниями составляющих. В качестве характеристики стабильности тепловыделения была взята  $Q_{\text{и}}$ . Ее величину можно оценить по части излучения, падающего на термодатчик, поскольку взаимное геометрическое расположение образца и приемников излучения в процессе опыта не изменяется.

В качестве приемника использовался термодатчик типа ИС-545, сопротивление которого есть линейная функция его температуры. Изменение сопротивления термодатчика, включенного в компен-

сационную схему, приводит к изменению напряжения  $U$ , которое регистрируется самопишущим потенциометром. Температура термодатчика пропорциональна  $Q_{\text{н}}$

$$Q_{\text{н}}'' = Q_{\text{н}}' - Q_{\text{п}}.$$

В общем случае вклад потерь термодатчика  $Q_{\text{п}}$  зависит от продолжительности измерения. Для оценки роли потерь сжигались идентичные образцы ПС различной длины и исследовалась зависимость между максимальной величиной напряжения  $U_{\text{max}}$ , временем горения и длиной образца. Как видно из рис. 2, эти зависимости носят линейный характер, т. е.  $Q \sim U_{\text{max}}$  и потерями тепла можно пренебречь. При указанных временах горения линейная зависимость  $U_{\text{max}}$  от веса наблюдалась при исследовании образцов, имеющих различную конфигурацию и толщину.

Примененная методика неконтактного определения сравнительных характеристик ПС позволила автоматизировать эти измерения. Время комплексного исследования одного образца практически не превышает времени его горения. Последнее обстоятельство весьма существенно в случае массового контроля качества ПС. Кроме того, установка была приспособлена для исследования указанных характеристик ПС в различных газовых средах.

Поступила в редакцию  
31/V 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Шидловский. Основы пиротехники. М., «Машиностроение», 1973.

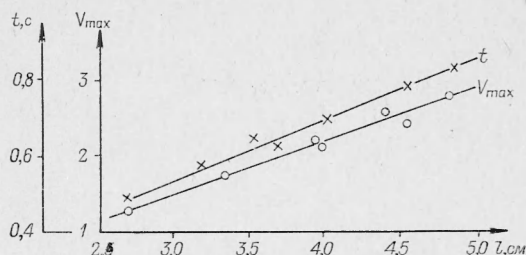


Рис. 2.