

$$K_{\lambda} = \frac{1,5}{\rho_k} \int_0^{\infty} Q(\lambda) f(D) D^2 dD \int_0^{\infty} f(D) D^3 dD = \psi(D_0).$$

На рисунке приведены рассчитанные по точным формулам теории Ми рабочие графики функций $\varphi(D_0)$, $\psi(D_0)$ для $\lambda_1=0,63$ мкм, $\lambda_2=1,15$ мкм. В расчетах учитывалась дисперсия комплексного показателя преломления [9]: $m=1,79-0,77i$ для $\lambda=0,63$ мкм, $m=1,97-1,11i$ для $\lambda=1,15$ мкм. Здесь же приведены графики для монодисперсных частиц (штриховые линии). Значительное расхождение кривых свидетельствует о том, что предположение о монодисперсности приводит к ошибкам в определении параметров частиц.

3. Экспериментальная установка для измерения концентрации и дисперсности конденсированных частиц в продуктах сгорания состоит из двух гелий-неоновых ОКГ типа ЛГ-126, дискового модулятора (1500 Гц), камеры сгорания с истечением, двух фотодиодных головок и оптической системы. Один ОКГ работает на длине волны 0,63 мкм, второй — 1,15 мкм. Приемниками излучения служат германиевые фотодиоды ФД-3. В комплект регистрирующей аппаратуры входят двухканальный логарифмический селективный усилитель, согласованный со светолучевым осциллографом. Рассмотренные методы и установка апробированы при измерениях в струе продуктов сгорания модельных металлизированных и неметаллизированных топлив. Результаты показали, что дисперсность сажевых частиц ($D_0 \sim 0,1$ мкм) и частиц окиси алюминия ($D_{32} \sim 2-5$ мкм в зависимости от условий сжигания) может быть измерена с погрешностью $\sim 10\%$ для пламен с оптической толщиной $\tau_{\lambda}=0,05-2$.

Поступила в редакцию
27/XII 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Иванов. Оптика рассеивающих сред. Минск, «Наука и техника», 1969.
2. R. A. Dobbins, G. S. Jizmaqian. J. Opt. Soc. Am., 1966, 56, 1345.
3. Д. Дейрменджан. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М., «Мир», 1971.
4. Е. К. Науменко, А. П. Пришивалко. ЖПС, 1971, 14, 3.
5. Л. П. Бахир, Г. И. Левашенко, В. В. Таманович. ЖПС, 1977, 26, 3.
6. J. M. Adams. JQSRT, 1967, 7, 273.
7. W. Dalzell, G. Williams. Comb. and Flame, 1970, 14, 161.
8. А. Г. Блох. Тепловое излучение в котельных установках. М.—Л., «Энергия», 1967.
9. V. R. Stull, G. N. Plass. J. Opt. Soc. Am., 1960, 50, 2.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ДЫМНОГО ПОРОХА

Е. П. Болтрукевич, Г. С. Ратанов

(Томск)

Характеристики частиц конденсированной фазы, образующихся при горении дымного пороха, являются определяющими в расчетах процессов воспламенения при использовании дымного пороха в качестве основного компонента пиротехнического воспламенителя. В статье приведены результаты измерений среднего размера частиц конденсированной фазы в продуктах сгорания дымного пороха, полученные с помощью лазерного зондирования.

Известно, что изменение интенсивности излучения, прошедшего через аэрозоли, подчиняется закону Бугера [1]

$$I = I_0 \cdot \exp(-\tau) \quad (1)$$

до значения $\tau \leq 18$ [2]. Здесь I , I_0 — интенсивности ослабленного и исходного потоков излучения;

$$\tau = K_m C_m l \quad (2)$$

величина оптической толщины (K_m — массовый коэффициент ослабления; C_m — массовая концентрация частиц аэрозоля; l — длина оптического пути).

Для длин волн зондирующего излучения можно записать [7]

$$\tau_{\lambda_1} = K_m(\lambda_1) C_m l, \quad \tau_{\lambda_2} = K_m(\lambda_2) C_m l, \quad (3)$$

причем отношение $\tau_{\lambda_1}/\tau_{\lambda_2}$ для однопараметрической функции распределения частиц по размерам является функцией только среднего объемно-поверхностного диаметра [6]

$$\tau_{\lambda_1}/\tau_{\lambda_2} = \Psi(D_{32}). \quad (4)$$

Обобщение результатов дисперсного анализа проб частиц, отобранных из различных дымов, позволяет записать функцию распределения в виде [3]

$$f(D) = 4/\sqrt{\pi} \cdot D/D_m \cdot \exp(-D/D_m)^2. \quad (5)$$

В этой однопараметрической зависимости величина D_m — модальный диаметр частиц, характеризующий наиболее вероятный размер частиц.

Связь между D_m и D_{32} — средним объемно-поверхностным диаметром — находится из следующих соотношений

$$D_{32} = \int_0^{\infty} f(D) D^3 dD / \int_0^{\infty} f(D) D^2 dD, \quad \int_0^{\infty} x^n e^{-r^2 x^2} dx = \Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) \cdot 2r^{n+1} [n+1, r > 0].$$

Тогда

$$D_{32} = \Gamma(3)/\Gamma(2,5) \cdot D_m, \quad (6)$$

где $\Gamma(n)$ — гамма-функция.

Таким образом, отношение $\tau_{\lambda_1}/\tau_{\lambda_2} = \Psi(D_m)$ — функция только D_m . Используя измеренные значения τ_{λ_1} и τ_{λ_2} , с помощью зависимости (4) можно непосредственно определить средний диаметр частиц (D_{32} или D_m). График зависимости $\tau_{\lambda_1}/\tau_{\lambda_2} = \Psi(D_m)$ получен расчетом на ЭВМ М-222 по методике [5]. Величина комплексного показателя преломления частиц конденсированной фазы (считая, что продукты сгорания представляют собой сажистый остаток) принималась равной: $m = 1,95 - 0,66i$ [4].

Измерения проводились в потоке продуктов сгорания дымного пороха, истекающих из сопла камеры постоянного давления (свободный объем камеры $0,5 \cdot 10^{-3}$ м³, диаметр критического сечения сопла $6,25 \cdot 10^{-3}$ м). При проведении измерений использовались два гелий-неоновых лазера типа ЛГ-126 ($\lambda_1 = 0,63$ мкм, $\lambda_2 = 1,15$ мкм). Зона измерений выбиралась по центру струи непосредственно на срезе сопла (диаметр выходного сечения сопла $1,25 \cdot 10^{-2}$ м). Исследовался дымный ружейный порох ДРП-2 (ГОСТ 10365-63). Для изучения влияния продуктов сгорания воспламеняемого заряда к дымному порошку добавлялся пироксилин.

Масса образцов составляла 1) $7 \cdot 10^{-3}$, 2) $10 \cdot 10^{-3}$ кг и 3) $7 \cdot 10^{-3}$ кг ДРП + $4 \cdot 10^{-3}$ кг пироксилина. Эксперименты проводились при давлениях 4, 7, 7 МПа соответственно. Проведено около 30 измерений для каждого значения давления. При обработке результатов определялись среднеарифметические значения среднего (модального) диаметра и среднеквадратическое отклонение. Получены следующие результаты:

$$1) D_m = (0,253 \pm 0,025) \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad 2) D_m = (0,986 \pm 0,512) \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

$$3) D_m = (0,152 \pm 0,08) \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Установлено, что средний (модальный) диаметр частиц конденсированной фазы в продуктах сгорания дымного пороха увеличивается с ростом давления от 0,25 до 0,98 мкм. Значительное влияние оказывает добавление пироксилина (D_m заметно уменьшается). Вероятно, конденсированный остаток интенсивно догорает в продуктах сгорания пироксилина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Ван де Хюлст. Рассеяние света мелкими частицами. М., ИЛ, 1953.
2. В. Е. Зуев, М. В. Кабанов, Б. Н. Савельев. Изв. вузов. Физика, 1967, 3, 7.
3. Д. Л. Модзалевская, А. П. Блох. Теплоэнергетика, 1971, 3.
4. Chester D. Lanzo. Opt. Soc. of Amer., 1968, 58, 12.
5. Д. Дейрменджан. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М., «Мир», 1971.
6. R. A. Dobbins, G. S. Jizmaqiane. Opt. Soc. of Amer., 1966, 56, 10.
7. В. А. Архипов, Е. П. Болтрукевич, Г. С. Ратанов. Тр. НИИ ПММ. Вып. 6. Томск, 1976.