



САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ, ГОРЕНИЕ И САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ПОГАСАНИЕ ПОРИСТОЙ САЖИСТОЙ ЧАСТИЦЫ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.

Херсонская государственная морская академия,

Калинчак В.В., Черненко А.С., Кузьмин А.А.

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

В работе проводится сравнительный анализ закономерностей временных зависимостей температуры, диаметра и плотности частицы сажи при её воспламенении в воздухе комнатной температуры в результате поглощения теплового излучения и при её воспламенении нагретым воздухом выше температуры воспламенения. Установлено явление самопроизвольного погасания, в результате уменьшения диаметра частицы в процессе горения и роста теплоотдачи. Доказано, что продуктами горения являются угарный газ и двуокись углерода. Определены критические мощности поглощённого теплового излучения при воспламенении, зажигании и погасании частицы сажи в воздухе комнатной температуры. Установлено, что с ростом диаметра частицы сажи происходит вырождение поглощённых мощностей воспламенения и погасания, в результате чего переход к горению осуществляется без скачка через точку перегиба. При различном поглощении теплового излучения определены диаметры частиц сажи, при которых происходит самовоспламенение, зажигание и самопроизвольное погасание. Изучено влияние теплового излучения и размера сажистой частицы на температуру её горения в воздухе комнатной температуры.

Ключевые слова: пористая сажистая частица, самовоспламенение, горение, погасание, тепловое излучение.

Введение. Данная работа является продолжением исследований, начатых в работе [1], и посвящена малоизученному вопросу о механизмах воспламенения, зажигания, горения и самопроизвольного погасания углеродной частицы с учетом стефановского течения и внутрипористого реагирования при различных мощностях поглощенного теплового излучения и размерах частицы.

Именно поглощённое тепловое излучение и определяет критические диаметры самовоспламенения и зажигания углеродных частиц, выше которых в воздухе комнатной температуры происходит их квазистационарное горение, а затем самопроизвольное погасание [2]. Следует отметить, что влияние пористости на критические условия воспламенения и характеристики горения сажистых частиц в воздухе в результате поглощения теплового излучения, в настоящее время практически не изучено.

Для учета реагирования внутри пор в работе [1] коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пористой частицы сажи и удельная поверхность пор были взяты постоянными и не зависящими от плотности частицы. На самом деле с уменьшением плотности частицы данные величины могут значительно изменяться.

Цель работы. С учетом зависимости коэффициента внутренней диффузии и удельной поверхности пор от плотности частицы изучить механизм влияния мощности поглощённого теплового излучения на температуру горения, диаметры воспламенения и погасания пористой частицы сажи. Провести сравнительный анализ закономерностей временных зависимостей температуры, диаметра и плотности частицы сажи при её воспламенении в воздухе комнатной температуры в результате поглощения теплового излучения и при её воспламенении нагретым воздухом выше температуры воспламенения. Исследовать явление самопроизвольного погасания, в результате уменьшения диаметра частицы сажи в процессе её горения и роста теплоотдачи.

Постановка задачи. Диаметр d и плотность ρ_c пористой углеродной частицы (сажи) уменьшаются с течением времени за счёт параллельных экзотермических реакций на внешней поверхности частицы и в результате реагирования внутри неё на поверхности пор [1]:



Также как в [1] дифференциальные уравнения для диаметра и плотности частицы сажи представим в виде:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = -\frac{2M_c}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{\rho_{gs}}{\rho_c}Z_{O_2s}, \quad d(t=0) = d_b \quad (1)$$

$$\rho_{gs} = \rho_{go} \frac{T_o}{T}.$$

$$\frac{1}{6}d \frac{\partial \rho_c}{\partial t} = -\frac{M_c}{M_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\frac{k_v}{k_1 + k_2}\rho_{gs}Z_{O_2s}, \quad \rho_c(t=0) = \rho_{cb}, \quad (2)$$

где M_c , M_{O_2} – молярные массы углерода и кислорода; k_1 , k_2 – константы химических реакций {1} и {2}, м/с; Z_{O_2s} – относительная массовая концентрация окислителя на поверхности частицы; d_b – начальный диаметр частицы, м; ρ_{gs} – плотность газа у поверхности частицы, кг/м³; ρ_{cb} – начальная плотность частицы, кг/м³.

Учет реагирования внутри пор осуществляется за счет введения константы внутреннего реагирования k_v , м/с:

$$k_v = \frac{2D_v}{d}(Se_v cth Se_v - 1),$$

где D_v – коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пор, м²/с; Se_v – число Семенова, определяющее относительную роль химического реагирования на поверхности пор к массопереносу кислорода внутри пор частицы.

$$Se_v = \sqrt{\frac{F_v d^2 (k_1 + k_2)}{4D_v}},$$

где F_v – удельная поверхность пор, м⁻¹.

$$k_1 = k_{o1} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad k_2 = k_{o2} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right).$$

Предэкспоненциальные множители и энергии активации реакций {1} – {2} связаны соотношениями [3]:

$$k_{oi} = k_* \exp(E_i/RT_*), \quad E_2 = 1,1E_1,$$

где $k_* = 100$ м/с и $T_* = 2600$ К.

В технической литературе пользуются понятием пористость и синонимом – порозность (англ. porosity).

В практической теории горения [2, 3] пористость вещества описывается удельной поверхностью пор F_v (отношение поверхности пор к объёму частицы), а порозностью m – отношение объёма пор к объёму частицы:

$$m = 1 - \frac{\rho_c}{\rho_{real}},$$



где ρ_{real} – плотность сплошного вещества частицы.

Текущее значение удельной поверхности пор F_v определяется через m и текущее значение плотности частицы

$$\frac{F_v}{F_{vo}} = \frac{m(1-m)}{m_b(1-m_b)} = \left(\frac{1-\rho_C/\rho_{real}}{1-\rho_{Cb}/\rho_{real}} \right) \cdot \frac{\rho_C}{\rho_{Cb}},$$

где F_{vo} и m_o – начальная удельная поверхность пор и порозность.

Учёт влияния плотности частицы на коэффициент внутренней диффузии проводится через порозность частицы.

$$D_v = m^2 \cdot D_g, \quad D_g = D_{go} \left(\frac{T}{T_o} \right)^{n+1} \frac{P_o}{P},$$

где D_g – коэффициент диффузии кислорода в газе, m^2/c .

Увеличение температуры пористой углеродной частицы за единицу времени определяется тепловыделением в результате протекания химических реакций q_{ch} и поглощённым тепловым излучением $q_{h,ads}$. При этом стационарный низкотемпературный или высокотемпературный режим осуществляется в результате теплообмена частицы молекулярно-конвективным путём с холодным газом q_g и излучением со стенками реакционной установки q_w :

$$\frac{c_c \rho_c d}{6} \frac{\partial T}{\partial t} = q_{eff}, \quad T(t=0) = T_b, \quad (3)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_g - q_w + q_{h,ads},$$

где c_c – удельная теплоёмкость частицы; T_b – начальная температура частицы.

Здесь, как в [1] плотность химического тепловыделения и плотности тепловых потоков определяются согласно выражениям:

$$q_{ch} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_g Z_{O_2s}, \quad q_{h,ads} = \frac{1}{4} K_\alpha I, \quad q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4),$$

$$q_g = \alpha (T - T_g) + U_s \rho_g c_g T^*, \quad U_s = \frac{M_c}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left(\frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) Z_{O_2s},$$

$$\alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d}, \quad \lambda_g = \lambda_{go} \left(\frac{T^*}{T_o} \right)^n, \quad T^* = \frac{T + T_g}{2}, \quad Nu = 2 + 0,16 Re^{2/3},$$

где Q_1, Q_2 – тепловые эффекты химических реакций {1} – {2}, рассчитанные на единицу массы кислорода, Дж/кгO², I – интенсивность поглощенного излучения, K_α – коэффициент поглощения поверхностью частицы; ε – коэффициент черноты частицы; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T_w – температура стенок, К; T_g – температура окружающего газа, К; α – коэффициент теплообмена частицы с газом, Вт/(м²·К); λ_g – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К); Nu – число Нуссельта; U_s – скорость стефановского течения вблизи поверхности частицы, м/с.



Для определения концентраций кислорода, углекислого и угарного газов на поверхности частицы используются законы сохранения массы отдельного газообразного компонента у поверхности частицы:

– кислорода

$$\beta \rho_g (Z_{O_2,o} - Z_{O_2,s}) - U_s \rho_g Z_{O_2,s} = (k_1 + k_2 + k_v) \rho_{gs} Z_{O_2,s},$$

– углекислого газа

$$\beta \rho_g (Z_{CO_2,s} - Z_{CO_2,\infty}) + U_s \rho_g Z_{CO_2,s} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} k_1 \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} Z_{O_2,s},$$

– угарного газа

$$\beta \rho_g (Z_{CO,s} - Z_{CO,\infty}) + U_s \rho_g Z_{CO,s} = \frac{2M_{CO}}{M_{O_2}} k_2 \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} Z_{O_2,s}.$$

Концентрация кислорода у поверхности частицы с учетом стефановского течения приближенно определяется согласно выражению:

$$Z_{O_2s} = Z_{O_2\infty} \frac{1}{1 + Se}, \quad (4)$$

$$Se = Se_1 + Se_2 + Se_{sv} + Se_{sf},$$

$$Se_{s1} = \frac{k_1}{\beta}, \quad Se_{s2} = \frac{k_2}{\beta}, \quad Se_{sv} = \frac{k_v}{\beta}, \quad Se_{sf} = \frac{U_{sk}}{\beta}$$

$$U_{sk} = \frac{M_c}{M_{O_2}} (k_1 + 2k_2) \left(\frac{k_v}{k_1 + k_2} + 1 \right) Z_{O_2\infty}, \quad \beta = \frac{D_g Nu}{d} = \frac{\alpha}{\rho_g c_g}, \quad D_g = a_g,$$

$$a_g = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g}, \quad c_g = c_{go} + \Omega(T_* - T_o).$$

Здесь U_{sk} – скорость стефановского течения на поверхности углеродной частицы при протекании химических реакций в кинетической области; $Z_{O_2\infty}$ – относительная массовая концентрация кислорода в газе на удалении от частицы; β – коэффициент массопереноса кислорода в газе, м/с; c_g – удельная теплоёмкость внутри приведенной пленки.

Концентрации углекислого и угарного газов у поверхности частицы $Z_{CO_2,s}$ и $Z_{CO,s}$, соответственно, определяются через концентрации кислорода, углекислого и угарного газов в окружающем газе:

$$Z_{CO_2,s} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} \frac{k_1}{(\beta + U_{sk})} \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) Z_{O_2,s} + \frac{\beta}{\beta + U_{sk}} Z_{CO_2,\infty}, \quad (5)$$

$$Z_{CO,s} = \frac{2M_{CO}}{M_{O_2}} \frac{k_2}{(\beta + U_{sk})} \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) Z_{O_2,s} + \frac{\beta}{\beta + U_{sk}} Z_{CO,\infty}. \quad (6)$$

Для случая горизонтального движения углеродной частицы в газовой смеси изменение ее скорости определяется:



$$\frac{dU}{dt} = -18 \frac{\rho_g v_g^2}{\rho d^3} \operatorname{Re} \left(1 + \frac{\operatorname{Re}^{2/3}}{6} \right), U(t=0) = U_b, \quad (7)$$

где v_g – кинематическая вязкость газа, $\operatorname{Re} = Ud/v_g$ – число Рейнольдса.

Результаты исследований. Рассмотрим одиночную пористую углеродную частицу, которая поглощает тепловое излучение. Расчеты проводились для частицы сажи: $Q_1 = 12,343$ МДж/кгO₂, $O_2 = 6,844$ МДж/кгO₂; $E_1 = 167000$ Дж/моль [3]; $F_{vo} = 2 \cdot 10^5$ м⁻¹, $\rho_{real} = 1600$ кг/м³. Постоянные: $\rho_{go} = 0,277$ кг/м³; $\lambda_{go} = 8,19 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); $c_{go} = 1110$ Дж/(кг·К); $T_o = 1273$ К; $c_c = 780$ Дж/(кг·К); $\rho_{cb} = 525$ кг/м³; $U_b = 0$ м/с, $\varepsilon = 0.78$; $n = 0,75$.

На рис. 1 (кривая 1) представлены результаты решения системы (1)–(7) в виде временных зависимостей температуры, диаметра и плотности пористой частицы для случая ее вынужденного воспламенения при поглощении теплового излучения. В воздухе комнатной температуры для самовоспламенения частицы необходимо направить на нее излучение с интенсивностью выше некоторого критического значения [1].

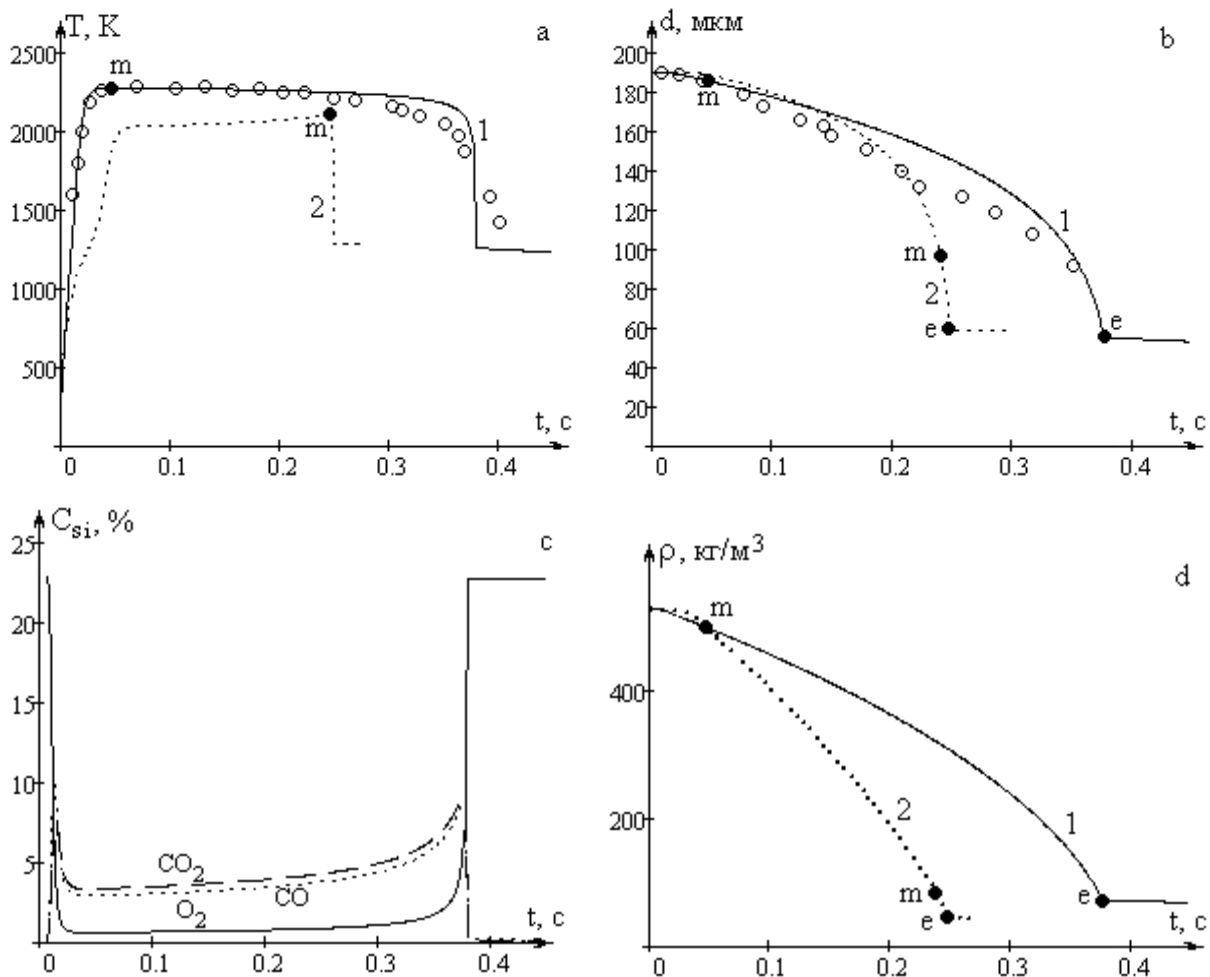


Рисунок 1 – Временные зависимости температуры, диаметра и плотности частицы сажи, концентраций газообразных компонент: а) $T(t)$; б) $d(t)$; в) $Z_{si}(t)$; д) $\rho(t)$.

Используемые параметры: $d_b = 190$ мкм, $Z_{O_2\infty} = 0,23$, $U_b = 0$ м/с, $T_b = 293$ К:

- 1) $q_{h,ads} = 1,52 \cdot 10^6$ Вт/м², $T_g = T_w = 293$ К, о – эксперимент Букатого и Суторихина [5];
- 2) $q_{h,ads} = 0$ Вт/м², $T_g = T_w = 1273$ К.



Время выхода на высокотемпературный режим окисления достаточно мал по сравнению со временем горения частицы. Для рассматриваемого случая поглощения теплового излучения этот момент совпадает с достижением максимальной температуры горения углеродной частицы (т. м). В дальнейшем в процессе горения с уменьшением диаметра и плотности частицы наблюдается медленное падение квазистационарной температуры горения. Это объясняется возрастанием молекулярно-конвективного теплообмена единицы поверхности за счет увеличения коэффициента теплообмена с уменьшением диаметра углеродной частицы. В тоже время химическое тепловыделение за счет увеличения коэффициента массопереноса кислорода к единице поверхности частицы возрастает в меньшей степени.

Качественно другой ход температурной зависимости наблюдается при воспламенении сажистой частицы (рис. 1, кривая 2) в предварительно нагретом газе [4]. После воспламенения частицы ее квазистационарная температура возрастает с уменьшением диаметра частицы. В этом случае с уменьшением диаметра частицы химическое тепловыделение на единице поверхности возрастает сильнее, чем теплоотдача к нагретому газу в связи с меньшей разностью температур частицы и газа. Поэтому максимальная температура частицы достигается значительно позже.

После достижения критических значений d_e и ρ_e в каждом рассматриваемом случае резко уменьшалась температура частицы, и пористая углеродная частица самопроизвольно погасала – горение частицы прекращалось и начиналось её окисление. Доля несгоревшего углерода, называемым недожогом, определяется как:

$$\varphi = m_{ce}/m_{cb}, \quad m_{ce} = \frac{\pi}{6} \rho_e d_e^3,$$

где ρ_e , d_e , m_{ce} – плотность, диаметр и масса погаснувшей частицы, m_{cb} – начальная масса частицы. Для рассматриваемого случая (рис. 1, кривая 1) она составляет 1,2 %, которая, несмотря на существенный диаметр погасания частицы, объясняется малой плотностью погасания частицы в результате реагирования внутри пор.

Горение и критические условия воспламенения, зажигания и погасания удобно анализировать с помощью зависимостей диаметра и мощности поглощённого теплового излучения от стационарной температуры частицы.

В процессе горения константу внутреннего реагирования k_v можно представить не зависящую от диаметра частицы (для $Se_v > 5$):

$$k_v \approx \sqrt{F_v D_v (k_1 + k_2)}, \quad (8)$$

где D_v и F_v рассчитаны для начальной плотности частицы.

Зависимость диаметра d углеродной частицы от стационарной температуры с учетом стефановского течения и внутрипористого реагирования представим в виде:

$$d = \frac{\lambda_g Nu \cdot q_{ch,k} (\sqrt{A^2 + A_g A_w} - A)}{c_g \rho_g (q_{h,ads} - \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4)) (k_1 + k_2 + k_v + U_{sk})}, \quad (9)$$

$$q_{ch,k} = (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} Z_{O_2\infty},$$

$$A = \frac{1}{2} (1 - A_g + A_w - A_{st}); \quad A_g = \frac{c_g \rho_{gs} (k_1 + k_2 + k_v + U_{sk}) (T - T_g)}{q_{ch,k}} \quad (9)$$



$$A_w = \frac{q_{h,ads} - \varepsilon\sigma(T^4 - T_w^4)}{q_{ch,k}}, \quad A_{st} = \frac{U_{sk}\rho_g c_g T^*}{q_{ch,k}}.$$

Из формулы (9) видно, что с увеличением диаметра частицы температура высокотемпературного окисления стремится к эффективной температуре:

$$T_{eff} = \sqrt[4]{\varepsilon\sigma T_w^4 + q_{h,ads}}.$$

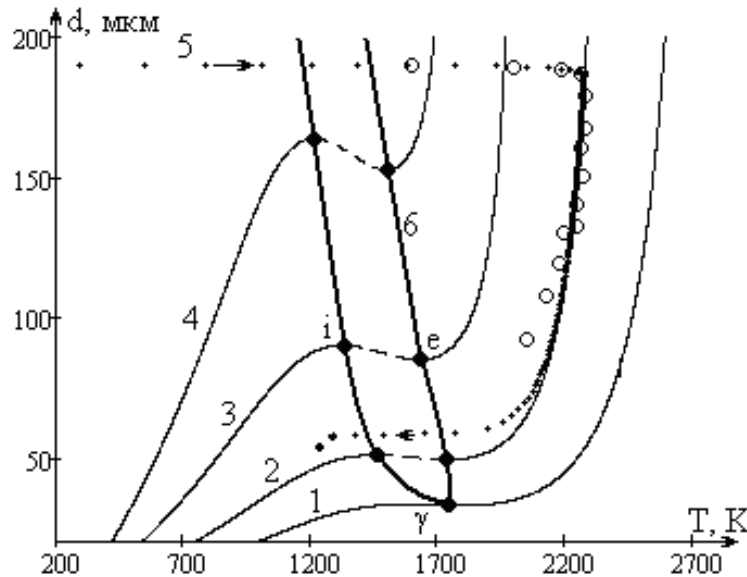


Рисунок 2 – Зависимости диаметра частицы от стационарной температуры

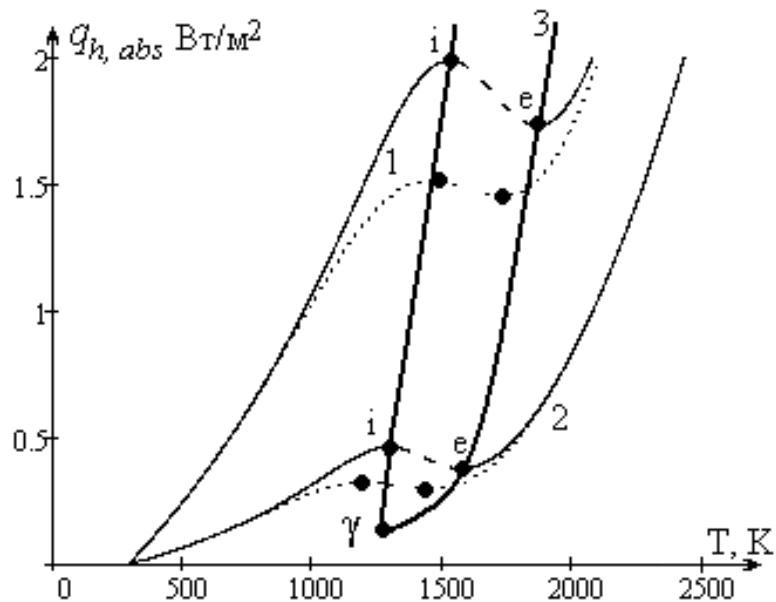


Рисунок 3 – Зависимость мощности поглощённого теплового излучения от стационарной температуры

Рассмотрим зависимость диаметра частицы от её стационарной температуры (рис. 2) в воздухе: $T_g = T_w = 293$ К, $Z_{O_{2\infty}} = 0,23$. Сплошная кривая 1 соответствует значениям: $q_{h,ads} = 2,58 \cdot 10^6$ Вт/м²: $d_\gamma = 33$ мкм, $T_\gamma = 1750$ К; сплошная кривая 2 – $q_{h,ads} = 1,52 \cdot 10^6$ Вт/м²: $d_i = 51$ мкм, $T_i = 1460$ К, $d_e = 49$ мкм, $T_e = 1740$ К; сплошная кривая 3 – $q_{h,ads} = 0,76 \cdot 10^6$ Вт/м²: $d_i = 90$ мкм, $T_i = 1325$ К; $d_e = 85$ мкм, $T_e = 1630$ К;



сплошная кривая 4 – $q_{h,ads} = 0,38 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$: $d_i = 164 \text{ мкм}$, $T_i = 1225 \text{ К}$; $d_e = 153 \text{ мкм}$, $T_e = 1500 \text{ К}$; пунктирная кривая 5 – фазовая зависимость, получена из решения системы нестационарных уравнений (1) и (2), при $q_{h,ads} = 1,52 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$, $d_b = 190 \text{ мкм}$. Точки – это эксперимент Букатого и Суторихина [5], при $I = 1,6 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$, $K_\alpha = 0,38$, $q_{h,ads} = K_\alpha I / 4$. Сплошная толстая кривая – геометрическое место точек воспламенения и погасания – спинодаль (спинодаль – кривая, проходящая через экстремумы (максимумы и минимумы) на зависимостях мощности поглощенного излучения и диаметра частицы от температуры).

Точка i характеризует диаметр и температуру самовоспламенения (d_i, T_i). Точка e характеризует диаметр и температуру погасания (d_e, T_e). Кривая, соединяющая точки i и e определяет зависимость диаметра зажигания от начальной температуры частицы. В интервале (T_i, T_e) с увеличением начальной температуры углеродной частицы уменьшается диаметр зажигания, потому что при большей начальной температуре можно уменьшить диаметр частицы, при котором произойдет ее зажигание. Сравнение нестационарных и стационарных зависимостей диаметра частицы от ее температуры даёт возможность для заданной интенсивности теплового излучения объяснить и определить критическое значение диаметра при самопроизвольном воспламенении и погасании частицы, которое соответствует максимуму и минимуму на зависимости (1). Самовоспламенение углеродной частицы при данных условиях возможно при диаметре частицы $d > d_i$. Точка e на стационарной зависимости служит для определения диаметра и температуры частицы при ее самопроизвольном погасании.

С увеличением мощности поглощенного теплового излучения происходит вырождение критических условий воспламенения и погасания (точка γ) (рис. 2).

Для определения мощностей воспламенения и погасания представим зависимость поглощённого теплового излучения от стационарной температуры частицы в виде:

$$q_{h,abs} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) + \frac{\lambda_g Nu}{d} (T - T_g) + U_s \rho_{gs} c_g T^* - (Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2} \right) \rho_{gs} Z_{O_2^\infty} \quad (10)$$

На рис. 3 представлена зависимость мощности поглощённого теплового излучения от температуры частицы в воздухе $T_g = T_w = 293 \text{ К}$, $Z_{O_2^\infty} = 0,23$. Сплошная кривая 1 соответствует $d = 51 \text{ мкм}$, сплошная кривая 2 – $d = 190 \text{ мкм}$, пунктирные кривые 1 и 2 – учет пористости по формуле (8), точка i – воспламенение, точка e – погасание, кривая 3 сплошная кривая – геометрическое место точек воспламенения и погасания – спинодаль.

Для выбранного диаметра частицы температура горения практически линейно возрастает с увеличением мощности поглощенного излучения. Чем меньше начальный размер частицы, тем, естественно, при большем значении $q_{h,ads}$ возможно воспламенить частицу по причине возрастания теплоотдачи к холодному газу.

Уменьшение мощности поглощённого излучения существенно отражается на температурах горения. Так ее уменьшение в два раза дает понижение температуры горения около 300 К. Понижается и температура низкотемпературного окисления (часть кривой, левее точки i). При этом происходит возрастание минимального размера частицы, при котором она может самопроизвольно воспламениться, а также диаметра погасания. Различие между ними с уменьшением поглощенного излучения уменьшается. В итоге при некотором значении поглощённого теплового излучения $q_{h,ads,\gamma}$ происходит вырождение критических условий (рис. 3, точка γ).

Как видно из сравнения кривых 1 и 2 (рис. 3), учет пористости согласно формуле (8) для оценки критических условий самовоспламенения частицы дает существенную



ошибку. В качестве примера представим значения диаметра и мощности теплового излучения, соответствующих вырождению критических условий воспламенения и погасания. При использовании зависимости (8) $d_{\gamma} = 33$ мкм и $q_{h,abs_{\gamma}} = 2,58 \cdot 10^6$ Вт/м², а по точной модели (рис. 3) эти значения соответственно равны 14 мкм и $9,3 \cdot 10^6$ Вт/м².

Выводы. Поглощение теплового излучения способно привести к устойчивому горению углеродной частицы в газовой смеси комнатной температуры, содержащей кислород. Использование зависимостей диаметра частицы и мощности поглощенного теплового излучения от стационарной температуры частицы удобно для прогнозирования устойчивых режимов горения, а также критических условий самопроизвольного воспламенения и погасания углеродных частиц. Учет пористости сажистой частицы необходим для оценки условий её самовоспламенения и зажигания.

Дальнейшие задачи исследования сводятся к определению мощностей воспламенения и погасания при различных температурах газа, диаметрах и относительных скоростях движения углеродных частиц различной пористости, сажи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинчак В. В. Влияние поглощенного теплового излучения углеродной частицы на пожарную опасность в рабочей зоне судна / В. В. Калинчак, С. Е. Селиванов, С. Н. Тригуб, А. С. Черненко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – № 2. – С. 102-110.
2. Высокотемпературное горение и газификация углерода / под ред. Е. С. Головиной. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.
3. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отд-ние, 1986. – 312 с.
4. Калинчак В. В. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры / В. В. Калинчак, А. С. Черненко // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 2. – С. 80-88.
5. Букатый В. И. Высокотемпературное горение углеродных частиц в поле интенсивного лазерного излучения / В. И. Букатый, И. А. Суторихин // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 3. – С. 9-11.

Селіванов С.С., Тригуб С.М., Калінчак В.В., Черненко О.С., Кузьмін О.А.
САМОЗАПАЛЮВАННЯ, ГОРІННЯ І МИМОВІЛЬНЕ ЗГАСАННЯ ПОРИСТОЇ САЖИСТОЇ ЧАСТИНКИ ПІД ЧАС ПОГЛИНАННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

У роботі проводиться порівняльний аналіз закономірностей тимчасових залежностей температури, діаметру і щільності частинки сажі під час її займання в повітрі кімнатної температури в результаті поглинання теплового випромінювання і під її займанні нагрітим повітрям вище температури займання. Встановлено явище самовільного згасання, в результаті зменшення діаметра частинки в процесі горіння і зростання тепловіддачі. Доведено, що продуктами горіння є чадний газ і двоокис вуглецю. Визначено критичні потужності поглиненого теплового випромінювання при займанні, запаленні і згасанні частинки сажі в повітрі кімнатної температури. Встановлено, що з ростом діаметра частинки сажі відбувається виродження поглинених потужностей займання і згасання, в результаті чого перехід до горіння здійснюється без стрибка через точку перегину. При різному поглинанні теплового випромінювання визначені діаметри частинок сажі, при яких відбувається самозаймання, запалювання і мимовільне згасання. Вивчено вплив теплового випромінювання та розміру сажистої частинки на температуру її горіння у повітрі кімнатної температури.

Ключові слова: пориста сажиста частинка, самозаймання, горіння, згасання, теплове випромінювання.



Selivanov S.E., Trigub S.N., Kalinchak V.V., Chernenko A.S., Kuzmin O.A. SPONTANEOUS IGNITION, COMBUSTION AND SUDDEN EXTINCTION OF POROUS SOOT PARTICLE DURING THE ABSORBING OF THERMAL RADIATION

The paper presents a comparative analysis of the laws of the time dependences of temperature, diameter and density of soot particles when it ignited in air at room temperature as a result of the absorption of thermal radiation and when it ignited heated air above the ignition temperature. It is established the phenomenon of spontaneous extinction as a result of reducing the diameter of the particles in the combustion process and increase transfer of heat. It is proved that the combustion products are carbon monoxide gas and carbon dioxide. The critical power of absorbed heat radiation in the ignition, combustion and extinction soot particles in air at room temperature is defined. It was found that with increasing of diameter of the soot particles there is a degeneration of the absorbed power of ignition and extinction, as result of transition to combustion is carried out without a jump through the point of inflection. During different absorption of thermal radiation it is determined soot particle diameter during which the self-ignition, spontaneous ignition and extinction occur. The effect of thermal radiation and the size of smoke particles on the temperature of its combustion in air ambient temperature are studied.

Keywords: porous soot particle, spontaneous ignition, combustion, extinction, thermal radiation.

Статтю прийнято
до редакції 16.05.14.