

- v
4. R. Friedman, A. Masek. Comb. and Flame, 1962, 6, 9.
 5. R. W. Bartlett, J. N. Ong. a.o. Combustion and Flame, 1963, 7, 3.
 6. P. E. Doherty, R. S. Davis. J. Appl. Phys. 1963, 34, 3.
 7. R. W. Bartlett. J. Electrochem. Soc., 1964, 111, 8.
 8. Т. И. Алексеева, М. А. Гуревич, Е. С. Озеров. Тр. ЛПИ им. М. И. Калинина, № 280, 1967.
 9. U. R. Evans. Trans. Faraday Soc., 1945, 41, 361.
 10. Э. Камке. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М., «Наука», 1965.
 11. В. С. Чиркин. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М., Атомиздат, 1968.
 12. Д. Кэй, Т. Лэби. Справочник физика-экспериментатора. М., ИЛ, 1949.

УДК 536.468

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ГАЗОВЗВЕСИ ЧАСТИЦ МАГНИЯ¹

М. А. Гуревич, В. М. Лыдкин, А. М. Степанов
(Ленинград)

Рассматривается задача о воспламенении и выгорании полифракционной газозвеси частиц магния. Температура и состав газовой среды, а также концентрация частиц одного и того же размера полагаются одинаковыми по всему объему газозвеси. Состав газа в каждый момент времени считается химически равновесным, а парциальное давление газообразного окисла равным давлению насыщенного пара. Температура конденсированного окисла принимается равной температуре газа. Не учитываются теплообмен излучением и тепло- и массообмен с внешней средой.

ТЕПЛО- И МАССОБМЕН ЧАСТИЦЫ В ГАЗОВЗВЕСИ

Попав в горячий окислитель, частица нагревается за счет теплообмена с окружающей средой и тепловыделения от реакции; одновременно идет процесс ее испарения. Расчетный анализ тепло- и массообмена одиночной частицы магния в кислородсодержащей среде с разными температурой и составом показал, что, пока металл не расплавится, изменением массы частицы и взаимодействием паров магния с кислородом вблизи частицы можно пренебречь. Уравнение нагрева твердой частицы [1]:

$$\frac{c_m \rho_m \delta_0^2}{6Nu \lambda_s} \frac{dT_s}{dt} = \frac{\ln \eta_1}{\eta_1 - 1} \left\{ \frac{q_s}{c_p} [1 - \eta_1 (1 - n_{ns})] + T_1 - T_s - \frac{l_{Mg}}{c_p} n_{ns} \eta_1 \right\}, \quad (1)$$

где T_s — температура частицы (считается, что внутри частицы нет градиента температуры); T_1 — температура газовой среды, c_m и ρ_m — соответственно удельная теплоемкость и плотность частицы; δ_0 — начальный диаметр частицы; λ_s — коэффициент теплопроводности газа у

¹ Статья является изложением доклада на Первом Всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву.

поверхности частицы; q_s — теплота реакции твердого металла с кислородом, рассчитанная на единицу массы кислорода; L_{Mg} — удельная теплота испарения металла; c_p — удельная теплоемкость газа; Nu — критерий Нуссельта; n_{ns} — содержание паров металла у поверхности частицы. Зависимость параметра η_1 и величины n_{ns} от температуры частицы и содержания кислорода в среде рассчитывается так же, как и в работе [1].

В какой-то момент времени $t_1(\delta_0)$ температура частицы с начальным размером δ_0 достигает температуры плавления магнезия $T_s^{пл}$. Далее эта частица в течение промежутка времени $t_{пл}(\delta_0)$ плавится; температура ее в это время остается постоянной, а все тепловыделение от реакции и тепло, подводимое из окружающей среды, расходуется на плавление и испарение металла:

$$\frac{\rho_m \delta_0^2 L_{Mg}}{6 Nu \lambda_s} = \int_{t_1}^{t_1+t_{пл}} \frac{\ln \eta_1}{\eta_1 - 1} \left\{ \frac{q_s}{c_p} [1 - \eta_1 (1 - n_{ns})] + T_1 - T_s^{пл} - \frac{L_{Mg}}{c_p} n_{ns} \eta_1 \right\} dt. \quad (2)$$

Здесь L_{Mg} — удельная теплота плавления магнезия.

Вскоре после полного расплавления нагревающаяся частица начинает испаряться более интенсивно; появляется возможность воспламенения паров магнезия у поверхности частицы. Необходимо, следовательно, учитывать гомогенное реагирование в «приведенной пленке». С другой стороны, при высоких температурах и малых содержаниях окислителя в газовой смеси частица может вся испариться, так и не воспламенившись. Поэтому нужно учитывать изменение размера не только горячей частицы, но и негорящей.

Температура жидкой негорящей частицы рассчитывается из условия ее теплового баланса [2]:

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \frac{6 Nu \lambda_s}{c_m \rho_m \delta_n^2} \left\{ \left(\frac{d\theta}{d\eta} \right)_{\eta=0} + \frac{L_{Mg}}{q n_{O_2}} - \kappa \left[1 - (1 + \beta) \frac{L_{Mg}}{q} \right] \right\} \ln(1 + \eta_1), \quad (3)$$

где $\theta = -\frac{c_p T}{q n_{O_2}}$; β — стехиометрический коэффициент.

Размер жидкой негорящей частицы δ_n рассчитывается по скорости ее испарения:

$$-\frac{d\delta_n^2}{dt} = \frac{4 Nu \lambda_s}{c_p \rho_m} (1 + \kappa n_{O_2}) \ln(1 + \eta_1). \quad (4)$$

Начальные условия для выражений (3), (4): при $t = t_1(\delta_0) + t_{пл}(\delta_0)$ $\theta_s = \theta_s^{пл}$ и $\delta_n = \delta_0$.

Зависимость параметров η_1 , κ и $\left(\frac{d\theta}{d\eta} \right)_{\eta=0}$ от величины θ_s и δ_n в уравнениях (3), (4) вычисляется так же, как и в работе [2].

В момент времени $t_2(\delta_0)$ частица с начальным размером δ_0 может воспламениться. Вопрос о моменте ее воспламенения рассмотрен в работе [2]. Частица считается воспламенившейся, если величина скорости ее испарения достигает своего значения в режиме диффузионного парофазного горения, т. е. если с достаточной точностью выполняется равенство $\eta_1 \approx \eta_1^*$, где (см. [2])

$$\eta_1^* = \beta n_{O_2} + \frac{1 + \beta n_{O_2}}{\frac{\mu_{N_2}}{\mu_{Mg}} \left[\frac{P}{P^*} \exp\left(\frac{L_{Mg}}{R T_s}\right) - 1 \right]}. \quad (5)$$

Здесь P — общее давление в газовой среде, μ_{N_2} и μ_{Mg} — молекулярные веса нейтральных газов и паров металла соответственно, p^* — предэкспоненциальный множитель.

Как показал расчет [2], диффузионный режим горения очень быстро становится стационарным. Поэтому можно полагать, что воспламенившаяся частица сразу «выходит» на стационарный режим диффузионного парофазного горения. Оказалось также, что температуру частицы в таком режиме с достаточной точностью можно считать равной температуре кипения металла T_s^k (однако только для вычисления скорости горения, но отнюдь не в балансе энтальпии). Кроме того, при высоких температурах в газозвеси окись магния и молекулярный кислород диссоциируют; образуется атомарный кислород, который, в свою очередь, может реагировать с частицами металла. Так как атомарный кислород присутствует только при высоких температурах газовой среды, а температура в зоне горения вблизи частицы тоже достаточно высока, можно полагать, что идущий к зоне горения атомарный кислород практически не ассоциирует. Иначе говоря, в диффузионной модели горения металлической частицы атомарный и молекулярный кислород можно рассматривать как два разных окислителя. Тогда размер горячей частицы δ_r можно рассчитывать по известной формуле диффузионной теории горения капли (однако с учетом одновременного реагирования паров металла с молекулярным и атомарным кислородом):

$$-\frac{d\delta_r^2}{dt} = \frac{4Nu\lambda_s}{c_p\rho_m} \ln \left[1 + \frac{q n_{O_2} + (q + D_{O_2}) n_0 + c_p (T_1 - T_s^k)}{l_{Mg}} \right], \quad (6)$$

где n_0 — содержание в газозвеси атомарного кислорода, D_{O_2} — удельная теплота диссоциации молекулярного кислорода. Начальное условие к уравнению (6): при $t = t_b(\delta_0)$ $\delta_r = \delta_0$.

Зная, как рассчитать температуру и размер каждой частицы в любой момент времени, можно перейти к составлению системы уравнений, описывающих процесс горения газозвеси как целого.

ГОРЕНИЕ ГАЗОВЗЕСИ ЧАСТИЦ МАГНИЯ (ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ)

Скорость испарения металла. Общая масса конденсированного металла в газозвеси, отнесенная к своему начальному значению, определяется следующим интегралом:

$$G_M = \int_{(\delta_0)_{\min}}^{(\delta_0)_{\max}} \frac{d(1 - R_0)}{d\delta_0} \left[\frac{\delta(\delta_0, t)}{\delta_0} \right]^3 d\delta_0,$$

где R_0 — начальная масса частиц с начальным размером больше δ_0 , отнесенная ко всей начальной массе металла M_M . Размер частицы в рассматриваемый момент времени t , т. е. функция $\delta(\delta_0, t)$, стоящая под знаком интеграла, определяется так:

для $0 \leq t < t_1(\delta_0)$ $\delta = \delta_0$ (твердые частицы);

для $t_1(\delta_0) \leq t < t_1(\delta_0) + t_{пл}(\delta_0)$ $\delta = \delta_0$ (плавящиеся частицы);

для $t_1(\delta_0) + t_{пл}(\delta_0) \leq t < t_b(\delta_0)$ $\delta = \delta_n(\delta_0, t)$ (жидкие негорящие частицы);

для $t_{\text{в}}(\delta_0) \leq t < t_{\text{г}}(\delta_0)$ $\delta = \delta_{\text{г}}(\delta_0, t)$ (жидкие горящие частицы);
 для $t_{\text{г}}(\delta_0) \leq t$ $\delta = 0$ (сгоревшие частицы).

Время начала плавления каждой частицы $t_1(\delta_0)$ определяется из уравнения ее нагрева (1) по признаку $T_{\text{с}}(t_1) = T_{\text{с}}^{\text{пл}}$; время плавления частиц $t_{\text{пл}}(\delta_0)$ рассчитывается по тепловому балансу плавящейся частицы (2); время задержки воспламенения каждой частицы $t_{\text{в}}(\delta_0)$ вычисляется из системы уравнений тепло- и массообмена (3), (4) по признаку $\eta_1(t_{\text{в}}) \approx \eta_1^*$ и в соответствии с формулой (5); время жизни частиц $t_{\text{г}}(\delta_0)$ находится или из уравнений (3), (4) по признаку $\delta_{\text{н}}(t_{\text{г}}) = 0$, или из уравнения выгорания частицы (6) по признаку $\delta_{\text{г}}(t_{\text{г}}) = 0$.

Таким образом, масса несгоревшего металла в частицах (отнесенная к $M_{\text{м}}^0$) равна

$$G_{\text{м}} = \int_{\delta_{04}}^{(\delta_0)_{\text{max}}} \frac{d(1-R_0)}{d\delta_0} d\delta_0 + \int_{\delta_{03}}^{\delta_{04}} \frac{d(1-R_0)}{d\delta_0} d\delta_0 + \int_{\delta_{02}}^{\delta_{03}} \frac{d(1-R_0)}{d\delta_0} \left(\frac{\delta_{\text{н}}}{\delta_0}\right)^3 d\delta_0 + \int_{\delta_{01}}^{\delta_{02}} \frac{d(1-R_0)}{d\delta_0} \left(\frac{\delta_{\text{г}}}{\delta_0}\right)^3 d\delta_0. \quad (7)$$

Здесь $\delta_{04}, \delta_{03}, \delta_{02}, \delta_{01}$ — начальный размер частицы, которая в рассматриваемый момент времени t соответственно начала плавиться, стала жидкой, воспламенилась, полностью сгорела.

Уравнения сохранения массы.

$$G_{\text{м}} + G_{\text{г}} + G_{\text{ок}} = 1 + \frac{\alpha}{\beta n_{\text{O}_2}^0}, \quad (8)$$

где $G_{\text{г}}$ и $G_{\text{ок}}$ — соответственно массы газа и конденсированного окисла (отнесенные к $M_{\text{м}}^0$); α — начальный коэффициент избытка кислорода.

Естественно, что масса нейтральных газов в газозвеси остается постоянной

$$(1 - n_{\text{O}_2} - n_{\text{Mg}} - n_{\text{MgO}} - n_{\text{O}}) G_{\text{г}} = \frac{\alpha}{\beta n_{\text{O}_2}^0} (1 - n_{\text{O}_2}^0). \quad (9)$$

Стехиометрическое соотношение. Весь сгоревший металл идет на образование конденсированного и газообразного окислов MgO

$$1 - G_{\text{м}} - n_{\text{Mg}} G_{\text{г}} = \frac{\beta}{1 + \beta} (G_{\text{ок}} + n_{\text{MgO}} G_{\text{г}}). \quad (10)$$

Уравнение фазового равновесия. В каждый момент времени парциальное давление газообразного окисла p_{MgO} считается равным давлению насыщенного пара при мгновенной температуре газа

$$p_{\text{MgO}} = p_{\text{MgO}}^* \exp\left(-\frac{l_{\text{MgO}}}{R T_1}\right).$$

Тогда содержание газообразного окисла в газозвеси равно

$$n_{\text{MgO}} = \frac{1 - \left(1 - \frac{\mu_{\text{N}_2}}{\mu_{\text{Mg}}}\right) n_{\text{Mg}} - \left(1 - \frac{\mu_{\text{N}_2}}{\mu_{\text{O}_2}}\right) n_{\text{O}_2} - \left(1 - \frac{\mu_{\text{N}_2}}{\mu_{\text{O}}}\right) n_{\text{O}}}{1 + \frac{\mu_{\text{N}_2}}{\mu_{\text{MgO}}} \left[\frac{P}{p_{\text{MgO}}^*} \exp\left(\frac{l_{\text{MgO}}}{R T_1}\right) - 1 \right]}. \quad (11)$$

Общее давление газа P считается постоянным во времени.

Уравнения химического равновесия. Парциальные давления всех компонентов (Mg , MgO , O_2 , O) в любой момент времени связаны уравнениями:

$$\frac{p_{Mg} p_O}{p_{MgO}} = k_1(T_1), \quad \frac{p_O^2}{p_{O_2}} = k_2(T_1),$$

где k_1 и k_2 — константы равновесия.

Выразив парциальные давления компонентов через их массовые доли, получим

$$\frac{n_O n_{Mg}}{n_{MgO}^2} = \frac{\beta}{(1 + \beta)^2} \frac{k_1(T_1)}{p_{MgO}^*} \exp\left(\frac{l_{MgO}}{R T_1}\right), \quad (12)$$

$$\frac{n_O^2}{n_{O_2} n_{MgO}} = \frac{1}{2(1 + \beta)} \frac{k_2(T_1)}{p_{MgO}^*} \exp\left(\frac{l_{MgO}}{R T_1}\right). \quad (13)$$

Условие теплового баланса. Поскольку газовзвесь в целом считается адиабатичной, ее полная энтальпия (включая и химическую) должна в процессе выгорания топлива оставаться постоянной

$$I_{O_2}^0 + I_{N_2}^0 + I_M^0 = I_{O_2} + I_0 + I_{N_2} + I_{Mg} + I_{MgO} + I_{ок}^{TB} + I_{ок}^ж + I_M. \quad (14)$$

Энтальпии газообразных компонентов определяются по формуле

$$I_i = M_M^0 i_i(T_1) n_i G_i \quad (i = O_2, O, N_2, Mg, MgO),$$

где $i_i(T_1)$ и n_i — соответственно удельная энтальпия и массовая доля i -го компонента.

Аналогично определяются энтальпии твердого и жидкого окислов:

$$I_{ок}^B = M_M^0 i_{MgO}^{TB}(T_1) G_{ок}^B, \quad I_{ок}^ж = M_M^0 i_{MgO}^ж(T_1) G_{ок}^ж.$$

Заметим, что твердый и жидкий окислы в газовзвеси могут присутствовать одновременно только в случае, если температура газа достигла температуры плавления окисла.

Энтальпия конденсированного металла I_M рассчитывается в соответствии с упомянутой выше классификацией частиц (по их начальному размеру):

$$I_M = M_M^0 \left[\int_{\delta_{03}}^{(\delta_0)_{max}} i_{Mg}^{TB}(T_s) \frac{d(1-R_0)}{d \delta_0} d \delta_0 + i_{Mg}^{TB}(T_s^{TL}) \int_{\delta_{03}}^{\delta_{04}} \frac{d(1-R_0)}{d \delta_0} d \delta_0 + \right. \\ \left. + \int_{\delta_{03}}^{\delta_{04}} \int_{t_1}^t \frac{6H(\delta_0, t)}{\rho_M \pi \delta_0^3} \frac{d(1-R_0)}{d \delta_0} dt d \delta_0 + \right. \\ \left. + \int_{\delta_{02}}^{\delta_{03}} i_{Mg}^ж(T_s) \frac{d(1-R)}{d \delta_0} \left(\frac{\delta_H}{\delta_0}\right)^3 d \delta_0 + \int_{\delta_{01}}^{\delta_{02}} i_{Mg}^ж(T_s^B) \frac{d(1-R_0)}{d \delta_0} \left(\frac{\delta_H}{\delta_0}\right)^3 d \delta_0 \right].$$

Здесь $H(\delta_0, t)$ — тепловой поток внутрь плавящейся частицы; температура горячей частицы T_s^B считается постоянной с момента ее воспламенения, а тепло, подведенное к частице в процессе ее горения, в балансе энтальпии не учитывается.

Удельные энтальпии вычисляются приближенно:

$$i_{O_2} = i_{N_2} = i_{MgO} = c_p T_1, \quad i_0 = c_p T_1 + D_{O_2}, \quad i_{Mg}^{TB} = c_p T_s + Q,$$

$$i_{\text{Mg}}^{\text{ж}} = c_p T_s + Q + L_{\text{Mg}}, \quad i_{\text{Mg}} = c_p T_1 + Q + L_{\text{Mg}} + l_{\text{Mg}},$$

$$i_{\text{MgO}}^{\text{ж}} = c_p T_1 - l_{\text{MgO}}, \quad i_{\text{MgO}}^{\text{тв}} = c_p T_1 - l_{\text{MgO}} - L_{\text{MgO}}.$$

Здесь Q — тепловой эффект реакции твердого металла с молекулярным кислородом при образовании газообразного окисла, рассчитанный на единицу массы металла; L_{MgO} и l_{MgO} — удельная теплота соответственно плавления и испарения окисла.

Таким образом, для определения восьми основных характеристик процесса выгорания газовой взвеси частиц магния (T_1 , i_{Mg} , $G_{\text{т}}$, $G_{\text{ок}}$, n_{O_2} , n_{O} , n_{Mg} , n_{MgO}) составлена система из восьми уравнений (7) — (14).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Рассчитано несколько вариантов горения взвеси магниевых частиц в воздухе. Во всех случаях начальное распределение массы частиц по их размерам принималось линейным

$$R_0(\delta_0) = \frac{(\delta_0)_{\text{max}} - \delta_0}{(\delta_0)_{\text{max}} - (\delta_0)_{\text{min}}}.$$

Разумеется, такой выбор функции $R_0(\delta_0)$ не обязателен и сделан только с целью облегчения численного счета. Начальная температура всех частиц считалась равной 300°K ; давление $\sim 1 \text{ атм}$.

Вариант 1. Начальные параметры: температура газа $T_1^0 = 1100^\circ \text{K}$, коэффициент избытка кислорода $\alpha = 1,2$, наименьший и наибольший размеры частиц соответственно $(\delta_0)_{\text{min}} = 5 \text{ мк}$ и $(\delta_0)_{\text{max}} = 56 \text{ мк}$.

Результаты расчета представлены графически. На рисунках показано изменение со временем основных характеристик процесса выгорания газовой взвеси: температуры газа T_1 и массы конденсированного металла, отнесенной к ее начальному значению, $G_{\text{т}}$ (рис. 1); состава газа, т. е. концентраций n_{O_2} , n_{O} , n_{Mg} и n_{MgO} (рис. 2). О том, что делается с каждой частицей металла в разные моменты времени, можно судить по кри-

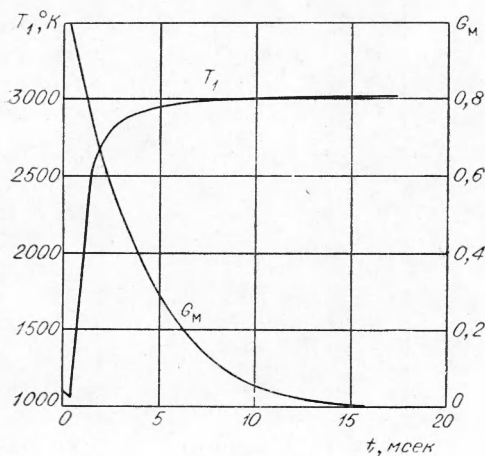


Рис. 1.

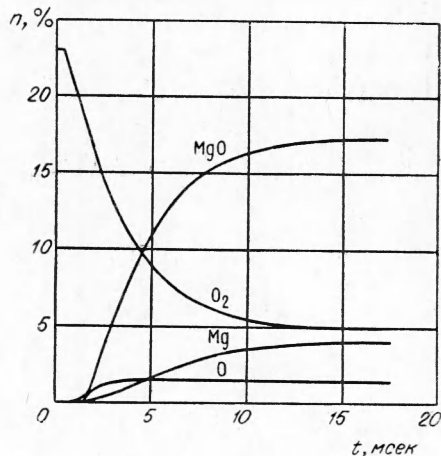


Рис. 2.

вым на рис. 3. На нем нанесены характерные времена для всех частиц: время начала плавления $t_1(\delta_0)$, время расплавления $t_1(\delta_0) + t_{\text{пл}}(\delta_0)$, время индукции $t_{\text{в}}(\delta_0)$ и время жизни $t_{\text{г}}(\delta_0)$. Можно сказать, напри-

мер, что в момент времени 3 мсек частицы с начальным размером δ_0 (мк) в диапазоне $48 < \delta_0 \leq 56$ — греются твердыми, $40 < \delta_0 \leq 48$ — плавятся, $38 < \delta_0 \leq 40$ — греются жидкими, $23 < \delta_0 \leq 38$ — горят, $5 \leq \delta_0 \leq 23$ мк — сгорели.

На рис. 4 и 5 представлены температурные кривые $T_s(t)$ нагрева частиц с начальными размерами соответственно 5 и 55 мк. Напомним, что нагревание частиц происходит в среде с переменной температурой

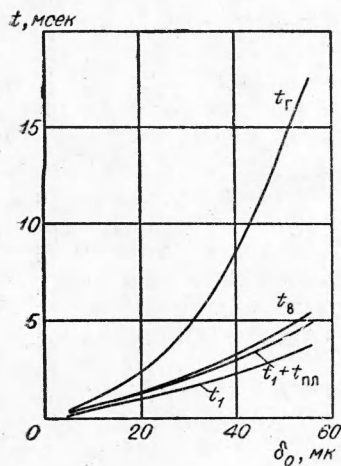


Рис. 3.

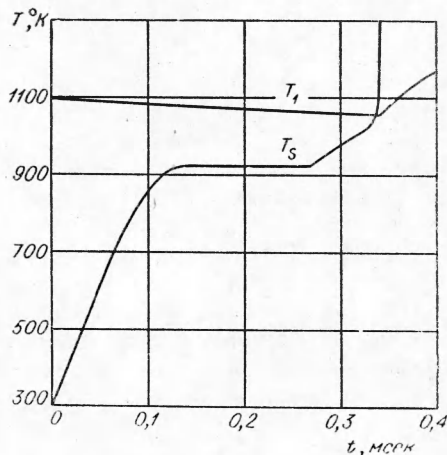


Рис. 4.

$T_1(t)$. Последняя для наглядности нанесена на оба рисунка. Интересно, что кривая $T_s = T_s(t)$ нагрева частицы с начальным размером 5 мк имеет точку перегиба (близкую по времени к моменту воспламенения); на кривой нагрева частицы с начальным размером 55 мк ее нет (кривая все время вогнутая). Следовательно, равенство нулю второй производной от температуры по времени (широко используемый признак воспламенения) никак не может быть признаком воспламенения частицы в окислительной среде с переменными температурой и составом.

Время выгорания газозвеси ($G_m = 0$) для этого варианта оказалось равным 17,3 мсек.

Вариант 2. Расчет первого варианта горения газозвеси показал, что через время, равное 5 мсек, температура газа почти достигает своего максимального значения 3015°K (см. рис. 1). За это же время выгорает только 71% массы конденсированного металла и полностью сгорают только частицы с начальным размером до 31 мк (см. рис. 3). Это обстоятельство заставило просчитать второй вариант газозвеси, в котором по сравнению с первым был изменен только один начальный параметр: $(\delta_0)_{\text{max}} = 30$ мк. Время выгорания металлических частиц, как и ожидалось, уменьшилось до 5,1 мсек. Кажется бы, что расчетным путем можно найти некоторое минимальное значение $(\delta_0)_{\text{max}}$, при кото-

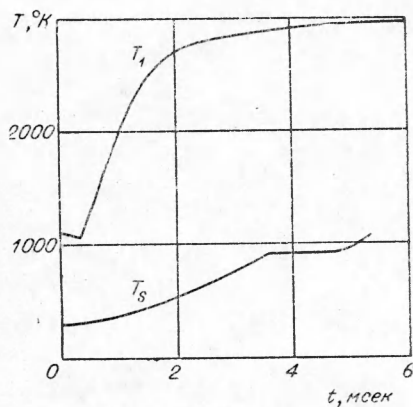


Рис. 5.

ром конечные характеристики газозвеси будут те же ($T_1=3015^\circ\text{K}$), а время полного выгорания будет наименьшим. Но расчеты показали, что для воспламенения газозвеси более мелкого порошка требуется довольно значительное повышение начальной температуры газа.

Вариант 3. В двух первых вариантах горения газозвеси начальная масса кислорода принималась в избытке по сравнению со стехиометрической ($\alpha=1,2$). При расчете третьего варианта была сделана попытка определить, как влияет уменьшение коэффициента избытка кислорода на основные характеристики процесса выгорания газозвеси. По сравнению с предыдущим вариантом был изменен один начальный параметр: $\alpha=1$.

Расчет показал, что уменьшившаяся начальная масса газа быстро охлаждается до такой температуры, при которой не может воспламениться ни одна из частиц в принятом диапазоне размеров ($5 \div 30 \text{ мк}$). Такое сравнение оказалось невозможным.

Варианты 4 и 5. Определение влияния α на характеристики процесса выгорания газозвеси было проведено для начальной температуры газа 1500°K . Варианты 4 и 5 больше ничем не отличались соответственно от вариантов 2 и 3. Оказалось, что изменение коэффициента избытка кислорода от $\alpha=1,2$ до $\alpha=1$ мало влияет на основные характеристики горения газозвеси (кроме уже упомянутой, необходимой для воспламенения газозвеси, начальной температуры газа).

Все вычисления были выполнены на ЭВМ БЭСМ-2М. Значения физических констант, принятые в расчетах, взяты из работ [1—5].

*Поступила в редакцию
12/II 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Гуревич, А. М. Степанов. ФГВ, 4, 2, 1968.
2. М. А. Гуревич, А. М. Степанов. ФГВ, 4, 3, 1968.
3. Д. Кэй и Т. Лэби. Справочник физика-экспериментатора. ИЛ, 1949.
4. В. С. Чиркин. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М., Атомиздат, 1968.
5. Термодинамические константы индивидуальных веществ. Под ред. В. П. Глушко. М., Изд-во АН СССР, 1962.

УДК 534.222.2

УПРУГАЯ ВОЛНА В ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКЕ И ЕЕ РОЛЬ ПРИ ПРОТЕКАНИИ НИЗКОСКОРОСТНОГО РЕЖИМА ДЕТОНАЦИИ

*О. К. Розанов, А. Н. Дремин
(Москва)*

Успешное исследование механизма низкоскоростных режимов детонации в жидких ВВ во многом зависит от понимания роли оболочки, в которой содержится исследуемое вещество. Существование возмуще-