

*В. А. Дуреев, канд. техн. наук, ст. преподаватель УГЗУ,
А. Н. Литвяк, канд. техн. наук, доцент, УГЗУ*

**ВЫБОР ПАРАМЕТРА ПОРИСТОСТИ
КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ С УЧЕТОМ
МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО РАЗРУШЕНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук В.И. Кривцовой)

Проведена оценка влияния пористости на прогрев ТЗП. Предложен способ выбора параметров пористости материала с учетом геометрического размера пор.

Постановка проблемы. Наряду с условиями теплового воздействия, прогрев теплозащитного покрытия (ТЗП) зависит от структуры материала. Выбор параметров пористости, при известной величине тепловых потоков (ТП), позволяет уменьшить негативный вклад передачи тепла излучением в порах или обеспечить приоритетный механизм разрушения ТЗП. Следовательно, разработка модели теплового разрушения связана с проблемой учета влияния пористости покрытия.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1] представлена модель пористого тела, в которой плоские слои твердого и газообразного веществ чередуются между собой и расположены параллельно передаче ТП. Пористая ячейка имеет форму параллелепипеда высотой h . При высоких температурах, стенки пор воспринимают энергию излучения и одновременно испускают её, внося необходимость учета радиационной составляющей теплопроводности. Формула теплопроводности имеет вид

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_S(1 - \Pi) + \lambda_g\Pi + \lambda_R, \quad (1)$$

где: λ_{Σ} – эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/мК; λ_S – коэффициенты теплопроводности твердой фазы, Вт/мК; λ_g – коэффициенты теплопроводности газообразной фазы, Вт/мК; Π – пористость материала. В [2] указывается, что при одинаковом Π , λ_R зависит от размера и формы пор. При однократном отражении с поверхности пор, коэффициент радиационной теплопроводности имеет вид

$$\lambda_R = (4\varepsilon^2\sigma T^3h), \quad (2)$$

где: ε – степень черноты; σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²К⁴; T – температура стенки поры, К; h – высота поры, м.

Постановка задачи и ее решение. Для снижения негативного вклада радиационной составляющей коэффициента теплопроводности, необходимо при известной величине тепловых потоков, характерных конкретному случаю теплового воздействия, выбрать показатель пористости и подобрать размеры пористых ячеек, что обеспечит снижение прогрева покрытия.

Используем модель [3] теплового разрушения композиционного ТЗП на стационарном участке разрушения и учтем влияние пор (1), (2). Уравнение сохранения энергии внутри ТЗП имеет вид:

$$\lambda_{\Sigma} \frac{d^2 T(\xi)}{d\xi^2} + (\rho c) V_s \frac{dT(\xi)}{d\xi} - c_g G_g \frac{dT(\xi)}{d\xi} - Q^* = 0, \quad (3)$$

$$(\rho c)_{\Sigma} = (1 - \Pi_M)(\rho c)_s + \Pi_M(\rho c)_g, \quad \Pi_M = \varphi_{CM} h_g,$$

где: T – текущая температура, К; ξ – координата в подвижной системе координат, м; V_s – линейная скорость уноса поверхности ТЗП, м/с; G_g – расход газообразных продуктов разрушения, кг/м²с; Q^* – объемный сток тепла, обусловленный тепловым эффектом физико-химических превращений, Вт/м³; Π_M – массовая пористость; $(\rho c)_g$ – плотность кг/м³ и теплоемкость Дж/кгК газообразной фазы; $(\rho c)_s$ – плотность кг/м³ и теплоемкость Дж/кгК твердой фазы; φ_{CM} – массовая доля смолы; h_g – массовая доля газообразных продуктов реакции.

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{cases} -\lambda_{\Sigma} \frac{dT(\xi)}{d\xi} \Big|_{\xi=0} = A I_0 \kappa_{\Sigma} - (V_s \rho + G_g) \Gamma H - \varepsilon \sigma T_s^4 - q_{ВД}; \\ T(\xi) \Big|_{\xi=\infty} = T_0; \end{cases} \quad (4)$$

где: A – поглощательная способность поверхности; I_0 – плотность ТП, Вт/м²; κ_{Σ} – коэффициент поглощения ТП в парах; Γ – параметр газификации; H – скрытая теплота разрушения ТЗП, Дж/кг; $q_{ВД}$ – тепловой эффект вдува образовавшихся газов, Вт/м²; T_0 – начальная температура ТЗП, К.

Отметим, что задача (3,) (4) записана для стационарного участка разрушения. Для нестационарного процесса такая формулировка теплового баланса будет приводить к занижению тепловых потоков, идущих вглубь покрытия.

На рис. 1 показано графическое решение задачи (3,) (4), при заданных значениях величины ТП и высоты пор. Материал ТЗП – реф-

разил [3], величина ТП: $I_0 = 10^8$, Вт/м² [1, 3]. Размеры пор: $h_1 = 2 \cdot 10^{-4}$, м; $h_2 = 4 \cdot 10^{-4}$, м; $h_3 = 6 \cdot 10^{-4}$, м [2].

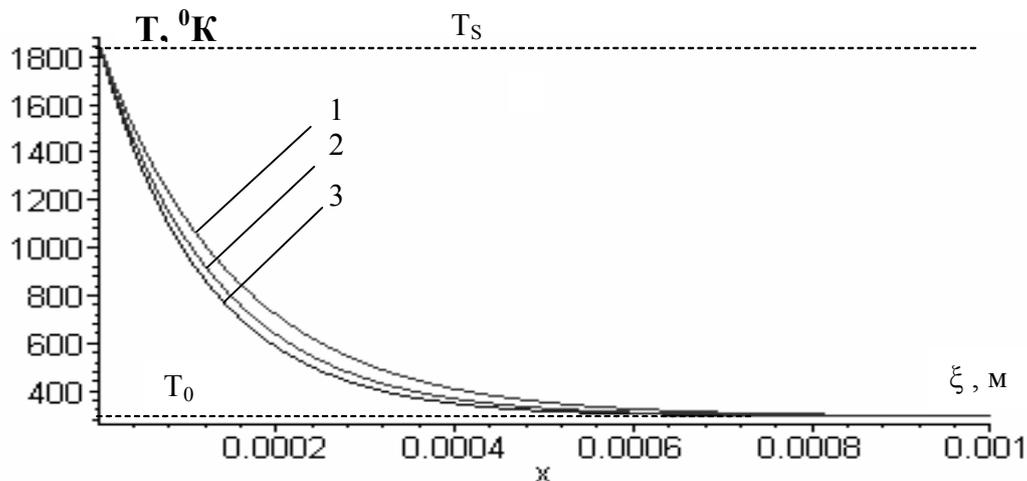


Рисунок 1— Температурное поле в ТЗП: 1 – $h_1 = 6 \cdot 10^{-4}$, м; 2 – $h_2 = 4 \cdot 10^{-4}$, м; 3 – $h_1 = 2 \cdot 10^{-4}$, м

Анализ температурных полей на рис.1 показывает, что при заданном значении ТП, изменение теплопроводности и как следствие увеличение прогрева, соответствует повышению пористости. Причиной этого есть увеличение доли тепла, перенесенного излучением. Стенки пор можно представить в виде экранов, воспринимающих энергию излучения и одновременно испускающих ее. Чем больше таких экранов, тем меньше вклад излучения в общий перенос тепла.

Выводы. Предложена модель теплового разрушения ТЗП с учетом параметров пористости. Проведена оценка влияния пористости на прогрев ТЗП, показан выбор геометрических размеров пор для снижения прогрева ТЗП при заданных величинах тепловых потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита/ Под ред. А. В. Лыкова. – М. : Энергия. – 1976. – 392 с.

2. Алифанов О. М., Тренин А. П. Определение коэффициента внутреннего теплообмена и эффективной теплопроводности пористого тела по данным нестационарного эксперимента// Инженерно-физический журнал. – 1985. – Т. 48. – № 3. – С. 472 – 483.

3. Дуреев В.А., Литвяк А.Н. Оценка скорости уноса и прогрева теплозащитного покрытия с учетом принятой модели теплового разрушения // Проблеми пожежної безпеки. Зб. наук пр. УЦЗ України. Вип. 23. – Харків: УЦЗУ. – 2008. – С. 69-73.
nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.