

Оценка условий нагрева композиционной частицы с системы Al-Al₂O₃ в процессе плазменного напыления

Рафальский И.В., Лущик П.Е., Руленков А.Д.
Белорусский национальный технический университет

В работе выполнено численное моделирование процесса нагрева композиционных частиц системы Al-Al₂O₃ при плазменном напылении с учетом размерных параметров частиц. На основе результатов численного моделирования установлены зависимости температуры напыляемой частицы при ее движении в потоке плазмы с учетом различного состава композиций системы Al-Al₂O₃.

Оценку условий нагрева композиционной частицы системы Al-Al₂O₃ в процессе плазменного напыления и ее взаимодействия с подложкой проводили с учетом особенностей состава и структуры напыляемой частицы, влияния фазовых превращений при плавлении и испарении материалов в системе «алюминий- оксид алюминия» на основе математической модели

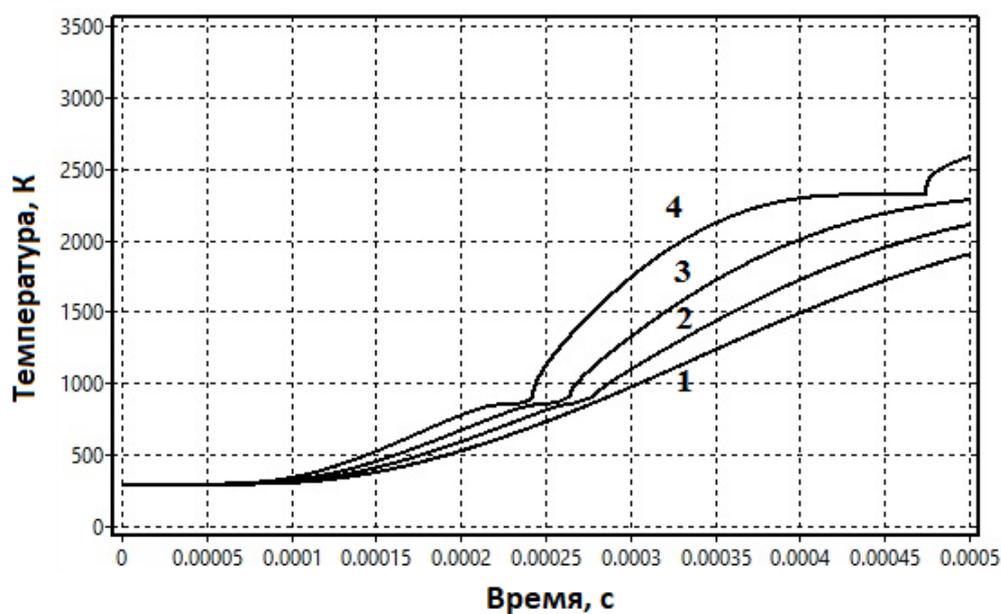
$$\left\{ \begin{array}{l} c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \sum_{k=1}^m \rho_k L_{sk} \frac{\partial f_{sk}}{\partial t} + \sum_{k=1}^m \rho_k L_{pk} \frac{\partial f_{pk}}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right), 0 < r < x(t), \quad t > 0; \\ t = 0: T(r) = T_0, \quad 0 \leq r \leq R; \\ r = 0: \frac{\partial T}{\partial r} = 0; \quad t > 0; \\ r = R: T = T_{PL}(x); \quad t > 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

где T – температура, К; t – время, с; λ – теплопроводность частицы, Вт/(м·К); C – удельная теплоемкость частицы, Дж/(кг·К); ρ – плотность частицы, кг/м³; ρ_k – плотность k -го компонента (химического соединения) композиционной частицы, кг/м³; L_{sk} – удельная теплота плавления k -го компонента композиционной частицы, Дж/кг; f_{sk} – функция объемной доли плавящейся фазы k -го компонента композиционной частицы, о.е.; L_{pk} – удельная теплота испарения k -го компонента композиционной частицы, Дж/кг; f_{pk} – функция объемной доли испаряющейся фазы k -го компонента композиционной частицы, о.е.; T_0 – начальная температура частицы, К; T_{PL} – температура плазмы, К; r – расстояние от расчетной точки до центра композиционной частицы, м; R – радиус композиционной частицы, м.

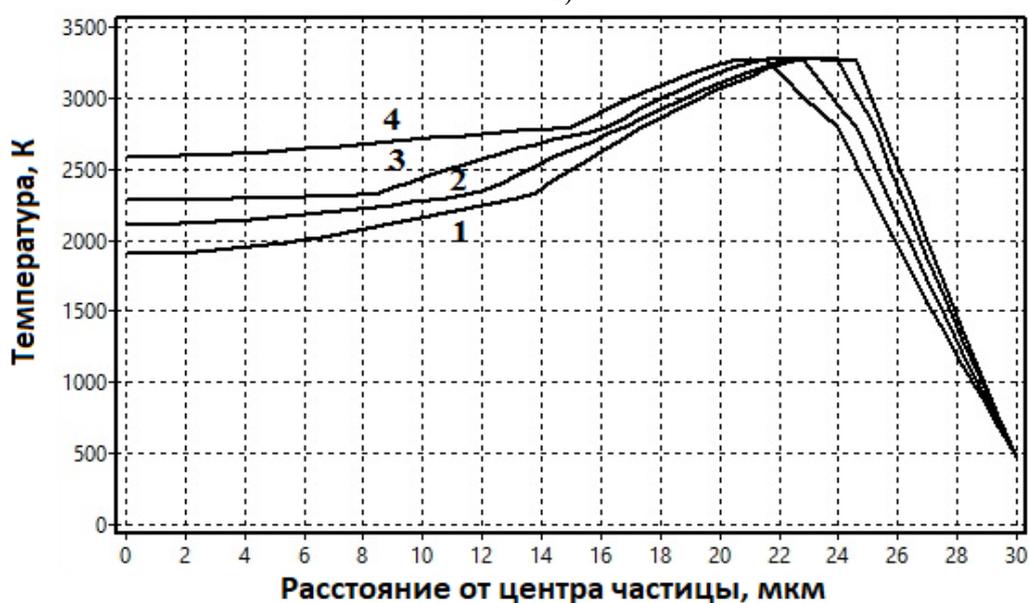
Представленная модель численно решалась методом конечных разностей с использованием явной разностной схемы на равномерной расчетной сетке. Расчет температуры проводили на основе численного решения дифференциального уравнения (1) после аппроксимации частных производных конечными разностями с учетом влияния температуры на удельную теплоемкость, теплопроводность и плотность химических соединений, входящих в состав композиционной частицы (для алюминия и оксида алюминия по данным [1, 2]). Функцию температуры плазмы $T_{PL}(x)$ определяли по данным работы [3] при условии начальной температуры плазмы 12000 К на расстоянии 0,1 м от плазмотрона (T_{max}) и скорости потока 1000 м/с из соотношения

$$T_{PL}(x) = 0,01 \cdot T_{max} \cdot x^{-2} \quad (2)$$

На рисунке 1 представлены результаты численного анализа условий нагрева композиционной частицы диаметром 60 мкм системы Al-Al₂O₃ при плазменном напылении на подложку с учетом различного содержания алюминия и оксида алюминия.



а)



б)

Рисунок 1 – Температура в центре (а) и по сечению (б, для времени $5 \cdot 10^{-4}$ с) сферической композиционной частицы системы Al-Al₂O₃ диаметром 60 мкм при плазменном напылении с учетом различного содержания алюминия и оксида алюминия: 1 – 0% Al; 2 – 25% Al; 3 – 50% Al; 4 – 75% Al

Как видно из результатов моделирования, с повышением содержания металлической составляющей (алюминия) в структуре напыляемых частиц закономерно наблюдается улучшение условий их нагрева и охлаждения при плазменном нанесении на стальную подложку.

Литература

1. Leitner, M. Thermophysical Properties of Liquid Aluminum / M. Leitner, T. Leitner, A. Schmon [et al.] // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2017, Vol. 48A. – pp. 3036–3045.
2. Интернет-ресурс: MatWeb. Material Property Data. <https://www.matweb.com>
3. Bobzin, K. Simulation of the Particle Melting Degree in Air Plasma Spraying / K. Bobzin, M. Öte, M. A. Knoch [et al.] // Journal of Physics: Conf. Series 825. – 2017 (012002). – 12 p.