

Технічні науки

УДК 536.24:621.1.016.4:621.791.4

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Шеренковський Юлій Владиславович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sherenkovskiy Julii

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Меранова Наталія Олегівна

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Meranova Nataliia

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Місюра Тимофій Олексійович

доктор філософії, науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Misiura Tymofii

PhD, Scientific Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Хміль Дмитро Петрович

доктор філософії, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Khmil Dmitro

PhD, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Юрчук Володимир Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Yurchuk Volodymyr

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-5-12062>

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕПЛОВИЙ
СТАН СИСТЕМИ НАПИЛЮВАНА «ЧАСТИНКА-ОСНОВА»
PATTERNS OF INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE
THERMAL STATE OF THE SPRAYED PARTICLE-BASE SYSTEM**

***Анотація.** В роботі на основі методів математичного моделювання досліджуються процеси теплопереносу в системі «напилювана частинка-основа». Показано, що в даному процесі можна виділити три стадії за характером розподілу температури в частинці.*

***Ключові слова:** «напилювана частинка-основа», математичне моделювання, теплоперенос.*

***Summary.** Using mathematical modeling methods, this paper examines heat transfer processes in a «sprayed particle-base» system. It has been shown that this process can be divided into three stages, depending on the nature of the temperature change within the particle.*

***Key words:** sprayed particle-base, mathematical modeling, heat transfer.*

Відновлення зношених деталей різних механізмів машин є однією із важливих науково-технічних проблем. Аналізуючи умови роботи деталей характер та вид їх зношування, необхідно визначити доцільні технології їх відновлення. Використовуються, зокрема, різні способи нанесення газотермічного напилення [1-6]. При цьому важливим є аналіз процесів теплопереносу при нанесенні покриттів.

В роботі аналізуються питання, які стосуються вивчення залежностей теплового стану системи «частинка-основа» від різних факторів. Увага приділяється впливу на температурний режим даної системи таких параметрів, як теплофізичні властивості матеріалу основи та рівні нагріву розплавлених частинок. Розглядалась ситуація напилення, яка

відповідає умовам отримання аморфних металевих покриттів. Вибір як об'єкта дослідження покриттів із сплавів схильних до аморфізації зумовлений характерними для них перспективними технологічними властивостями, які визначають їх широке промислове застосування. Математична модель досліджуваного процесу теплопереносу в системі «частинка-основа» представлена у вигляді:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Lambda_i \frac{\partial \theta_i}{\partial x} \right) = C_{V_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial Fo} \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

$$(0 < x < \delta; 0 < Fo \leq Fo_{\kappa})$$

$$\left[\frac{\partial \theta_i}{\partial x} + (-1)^i \cdot Bi \cdot \theta_i \right]_{x=x_r} = (-1)^i \cdot Bi \cdot \theta_c \quad (2)$$

$$x_r = \begin{cases} 0 & \text{при } i = 1, \\ \delta & \text{при } i = 2 \end{cases}$$

$$\Lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \Big|_{x=\delta_1} = \Lambda_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x} \Big|_{x=\delta_1}, \quad \theta_1 \Big|_{x=\delta_1} = \theta_2 \Big|_{x=\delta_1} \quad (3)$$

$$\theta_i \Big|_{Fo=0} = \theta_{i_0},$$

де $\theta = t/t_{1_0}$; $Fo = a_0 \cdot \tau / \delta_{p_1}^2$; $Bi = a \cdot \delta_{p_1} / \lambda_0$; $x = x_p / \delta_{p_1}$; $\delta = \delta / \delta_{p_1}$;

$\Lambda = \lambda / \lambda_0$; $C_V = c_V / c_{V_0}$; θ_c – безрозмірна температура навколишнього

середовища; δ_p – товщина системи; δ_{p_1} – товщина частинка, що розтілася;

індекс i відносить величини відповідно до частинки (при $i = 1$) та основи (при $i = 2$)

Рішення поставленої задачі 1-3 проводилось з використанням комбінованого ітераційного методу. Нижче наведено результати виконаних обчислювальних експериментів, що відповідають наступним значенням вихідних даних $\theta_{2_0} = \theta_c = 0,016$; $Bi = 0,66 \cdot 10^{-6}$; $\delta_2 = \delta$ -

$\delta_1 = 1000$; матеріал покриття – сплав $Fe_{83}B_{17}$ інші вихідні дані наведено в таблиці. Характерні варіанти розрахунків теплового стану двошарової системи «частинка- основа» наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

№ варіанту	Матеріал основи	δ_1	θ_{1_0}
1	Сталь 45	10	1,28
2	Сталь 45	40	1,28
3	Мідь	10	1,28
4	Сталь 45	1	1,28
5	Сталь 45	10	1,0
6	Сталь 45	10	1,52

Характеризуючи досліджуваний процес теплопереносу в цілому, необхідно відмітити, що при аналізі температурного режиму досліджуваного об'єкту доцільно виділити три стадії. Перша стадія охоплює інтервал часу від початку процесу $Fo = 0$ (коли температура частинки згідно постановці задачі постійна $\theta_1 = \theta_{1_0}$) до деякого моменту часу, який відповідає $Fo = Fo_1$. Цей часовий інтервал характеризується наявністю в частинці так званої незбуреної зони, тобто підобласті в межах якої температура з заданою точністю співпадає із початковою температурою. Розміри вказаної підобласті в межах першої стадії з часом зменшуються наближаючись до нуля при $Fo \rightarrow Fo_1$. Початок другої стадії відповідає часу завершення першої стадії, а завершення часу по закінченню якого температурним перепадам по товщині частинки, що розтіклася можна знехтувати. На третій стадії температура по товщині частинки є практично постійною. Час завершення цієї стадії визначається моментом досягнення в напиленій частинці деякої заданої температури θ^* . Для розглянутих ситуацій приймалась температура θ^* приблизно рівна 0,24. Дана величина відповідає температурі нижче якої певні фазові

перетворення у матеріалі покриття не спостерігаються. Показано, що температура нагріву напиленої частинки значною мірою визначає якість отриманого газотермічного покриття деталей.

Проведені дослідження показують, що тепловий стан системи «частинка-основа» суттєво залежить від рівня нагріву розплавленої частинки та теплофізичних характеристик матеріалу основи.

Література

1. Прокопов В.Г., Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Половинкина Л.Б. Закономерности влияния предварительного нанесения подслоев на тепловое состояние деталей с аморфными и нанокристаллическими газотермическими покрытиями. *Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: XIV Межд. Конф. стран СНГ*. Киев: Ин-т пром. экологии, «ИПЦ АЛКОН» НАНУ, 2005. С. 148-152.

2. Прокопов В.Г., Фиалко Н.М., Теплофизика энергосберегающих технологий для энергетики. Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2000. 224 с. ISBN 966-02-1415-4.

3. Шпак. А.П., Прокопов В.Г., Фиалко Н.М., Меранова Н.О., Шеренковский Ю.В., Коржик В.Н. Теплофизика формирования аморфных и нанокристаллических газотермических покрытий. Математические модели. Киев: Академперіодика, 2005. 120 с.

4. Dinzhos R., Fialko N., Prokopov V., Sherenkovskiy Ju., Meranova N., Koseva N., Korzhik V., Parkhomenko O., Zhuravskaya N. Identifying the influence of the polymer matrix type on the structure formation of microcomposites when they are filled with copper particles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 5/6 (107). P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214810>

5. Shchepetov V.V., Fialko N.M., Bys S.S. Abrasive-resistant self-lubricating forsterite-based coatings. *Materials Science*. 2025. 61. P. 566–571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-026-01026-w>

6. Fialko N., Meranova N., Korzhik V., BabakV., Sherenkovskiy J., Lazarenko M., Koseva N., Navrodska R., Polozenko N., Dinzhos R. Regularities of influence on thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites of their production methods. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2025. 82(1). P. 145-155. DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2025.11>