

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

*Canidate 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

*Canidate 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

Canidate of Technical Sciences, 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

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

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-5-12070>

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ОСНОВИ НА ТЕПЛОВИЙ СТАН
СИСТЕМИ «НАПИЛЮВАНА ЧАСТИНКА-ОСНОВА»
PATTERNS OF INFLUENCE OF THE THERMOPHYSICAL
PROPERTIES OF THE BASE MATERIAL ON THE THERMAL STATE
OF THE “SPRAYED PARTICLE-BASE” SYSTEM**

Анотація. В роботі розглянуто ефекти впливу теплофізичних властивостей матеріалу основи на температурний режим досліджуваної системи «частинка-основа» при нанесенні газотермічних покриттів.

Ключові слова: система «напилювана частинка-основа», температура, теплофізичні властивості.

Summary. The work examines the influence of the thermophysical properties of the base material on the temperature regime of the “base-particle” system under study when applying gas-thermal coatings.

Key words: system «sprayed particle-base», temperature, thermophysical properties.

Сучасний рівень технологій напилювання різними порошковими композиційними матеріалами дозволяє здійснювати зміцнення різних деталей машин та їх відновлення, а також отримувати спеціальні покриття з унікальними властивостями. До одного із сучасних способів поверхневої обробки матеріалів відноситься газотермічне напилення. Тобто створення на поверхні деталей функціональних покриттів – зносостійких, корозійностійких, антифрикційних, теплостійких, термобар’єрних тощо [1-7].

В даній роботі розглядається вплив теплофізичних властивостей матеріалу основи на температурний режим системи «частинка-основа».

Аналізуються дві фізичні ситуації. Перша з них стосується випадку, коли матеріали покриття та основи мають відносно близькі теплофізичні властивості. Друга відповідає напиленню матеріалу на високотеплопровідну основу. Зіставлялись дані, що відповідають різним матеріалам основи - сталь 45 та мідь, варіанти розрахунків представлені в таблиці 1. Характерні результати розрахунків представлені на рисунках 1 та 2.

Слід відмітити, що оскільки теплопровідність міді значно вище чим сталі, то час протікання процесу, який відповідає досягненню на поверхні покриття температури θ_n приблизно 0,24, у випадку мідної основи значно менше. Якщо при наявності сталеві основи $Fo_{III} = 7,126 \cdot 10^2$, то для мідної основи $Fo_{III} = 10^2 = 2,086 \cdot 10^2$. Тобто зіставлені значення часу відрізняються більш чим в 3,4 рази.

Таблиця 1

**Варіанти розрахунків теплового стану двошарової системи
«напилювана частинка-основа»**

№ варіанту	Матеріал основи	Товщина частинки δ_1	Початкова температура частинки θ_{1_0}
1	Сталь 45	10	1,28
2	Мідь	10	1,28

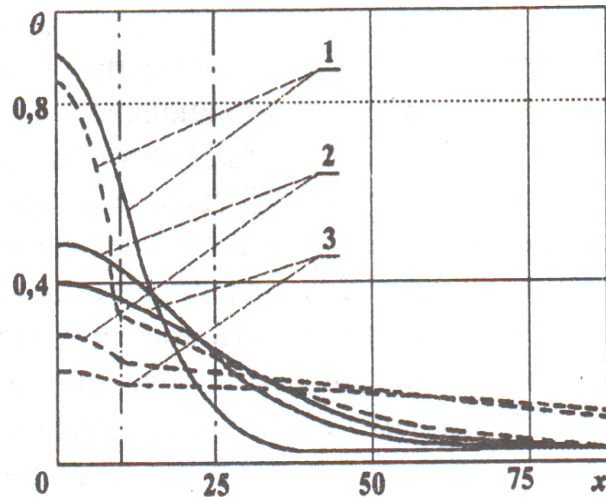


Рис. 1. Розподіл безрозмірної температури θ по товщині двошарової системи для сталльної (суцільні лінії варіант розрахунку 1 в таблиці 1) та мідної (пунктирні лінії, варіант розрахунку 2) основи при безрозмірних значеннях товщини частинки $\delta_1 = 10,0$ та початкової температури $\theta_{1_0} = 1,28$ у фіксовані проміжки часу: $Fo = 4,345 \cdot 10^{-11}$; 2 – $1,738 \cdot 10^{-10}$; 3 – $2,607 \cdot 10^{-10}$.

Наступна відмінність, яка звертає на себе увагу, це особливість процесу в випадку мідної основи. Вона полягає у відсутності третьої стадії. Тобто в межах зміни температури від $\theta_{1_0} = 1,28$ до $\theta_n \approx 0,24$ в частинці зберігаються значні температурні перепади. Так при $\theta_n \approx 0,24$ перепади температури частинки, що розтілася для мідної і сталльної основи рівні відповідно $\Delta\theta_n = 0,0422$ та $0,0079$, що відповідає 17,6 і 3,3 % від θ_n .

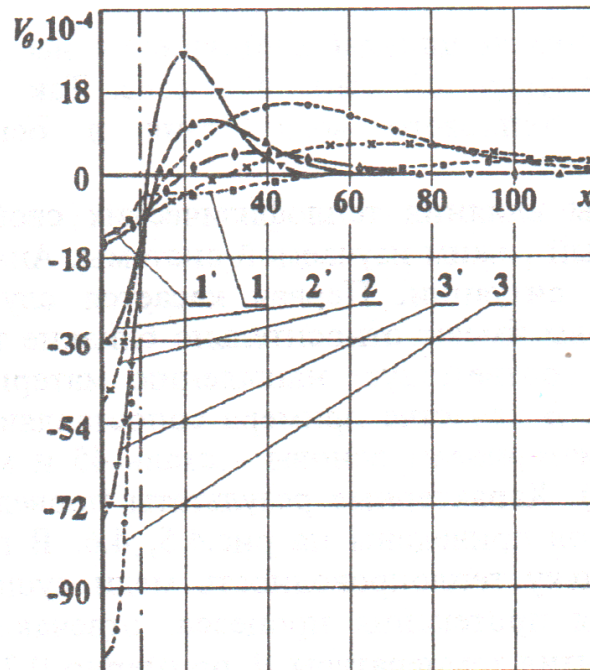


Рис. 2. Розподіл швидкості зміни температури V_θ по товщині двохшарової системи для сталюї (лінії 1', 2', 3' варіанти розрахунку 1 в таблиці 1) та мідної (лінії 1, 2, 3 варіант розрахунку 2) основи при $\delta_1 = 10,0$; $\theta_{10} = 1,28$ у фіксовані проміжки часу:

$$1, 1' - Fo = 1,738 \cdot 10^{-10}; 2, 2' - 8,69 \cdot 10^{-11}; 3, 3' - 4,345 \cdot 10^{-11}$$

Характеризуючи розглянутий процес теплопереносу, можна відмітити також, що у фіксовані моменти часу за межами незбуреної зони у відповідних точках частинки температура в випадку мідної основи θ^m є нижчою ніж температура θ^c для сталюї основи (див. рис. 1). Відношення порівнюваних температур θ^m і θ^c різне. А саме в зоні прилеглий до поверхні контакту $\theta^m < \theta^c$, з віддаленням від неї це відношення змінюється так, що θ^m стає більше θ^c . На достатньому віддалені від поверхні контакту частинки з основою $\theta^m \approx \theta^c \approx \theta_{20}$, що відповідає незбуреній зоні.

Як видно з отриманих даних, теплофізичні властивості матеріалу основи суттєво впливають на положення меж незбуреної зони в основі. Так при $Fo = 173,8$ для мідної основи $\Delta x_m = 329$, а у випадку сталюї основи $\Delta x_c = 88,8$.

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*: тр. 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 технологий¹ 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. *Mater. Sci.* 2025. Vol. 61. P. 566–571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-026-01026-w>
6. Fialko N., Meranova N., Korzhik V., Babak V., 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. Vol. 82(1). P. 145-155. DOI:
<https://doi.org/10.33070/etars.1.2025.11>

7. Shchepetov V.V., Fialko N.M., Bys S.S. Solid lubricant nanocoating's based on magnesium compounds. *Problems of Tribology*. 2026. Vol. 31, № 2/120. P. 86-92. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2026-120-2-86-92>