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

Кутняк Ольга Миколаївна
науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України
Kutnyak Olha
Scientific Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

DOI: https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-6-12078

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВУ РОЗПЛАВЛЕНИХ ЧАСТИНОК НА ТЕПЛОВИЙ СТАН СИСТЕМИ «НАПИЛЮВАНА ЧАСТИНКА-ОСНОВА»

FEATURES OF THE INFLUENCE OF THE HEATING TEMPERATURE OF MOLTEN PARTICLES ON THE THERMAL STATE OF THE "SPRAYED PARTICLE-BASE" SYSTEM

Анотація. *В роботі розлянуто закономірності впливу температури нагріву розплавлених частинок на тепловий стан досліджуваної системи «напилювана частинка-основа» при нанесенні газотермічних покриттів.*

Ключові слова: *система «напилювана частинка-основа», температура нагріву, товщина частинки.*

Summary. *This paper examines the features of influence of the heating temperature of molten particles on the thermal state of the sprayed particle-base system during the application of gas-thermal coatings.*

Key words: *system «sprayed particle-base», heating temperature, particle thickness.*

Проблеми захисту великогабаритних матеріалів, які працюють в умовах зношування та агресивних середовищ, зберігає свою актуальність на різних етапах розвитку техніки. З огляду на широке використання в техніці газотермічних покриттів різного функціонального призначення набувають проблеми створення нових та вдосконалення вже існуючих технологій їх напилення. Це зумовлює необхідність вивчення теплових явищ, які спостерігаються при реалізації технологічних процесів нанесення покриттів [1-7]. При вивченні теплофізичних аспектів технології газотермічного напилення виділяють два напрями досліджень. Перше з них стосується процесу теплопереносу в двофазних потоках на

стадії нагріву та плавлення частинки. Друге направлення стосується вивчення теплових процесів власне на основі. В даній роботі розглядаються питання, що стосуються другого із вказаних напрямів. При цьому основна увага приділяється вивченню теплових явищ.

В статті розглянуто результати проведених досліджень із вивчення особливостей впливу температури нагріву розплавлених частинок на тепловий стан досліджуваної системи «напилювана частинка-основа». Актуальність даних досліджень зумовлена тим, що вказана температура, як відомо, в значній мірі визначає, якість отриманих газотермічних покриттів, а також міцність їх зчеплення з основою. На рисунку 1 а), б) наведено результати виконаних розрахункових експериментів, які відповідають трьом різним значенням безрозмірної початкової температури частинки θ_{1_0} - 1,52; 1,28 і 1,0 (варіанти розрахунків 1, 2, 3 див. таблицю 1). Згідно з отриманими даними рівень початкової температури частинки θ_{1_0} суттєво позначається на тривалості інтервалу часу, який відповідає протяжності третьої стадії процесу Fo_{III} [8]. Так для θ_{1_0}=1,52, в розглянутих умовах величини Fo_{III} відрізняються більше чим в 2,3 рази. Необхідно також відмітити, що температура θ_{1_0} значно впливає на протяжність другої та третьої стадії процесу. А саме, зі зростанням θ_{1_0} відносна протяжність третьої стадії збільшується, а другої – падає. Наприклад, якщо при θ_{1_0} = 1,52 і 1,28 відносна протяжність третьої стадії становить відповідно 51,5 та 32,9 %, то в випадку θ_{1_0} = 1,0 третя стадія відсутня.

Таблиця 1

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

№ варіанту	Матеріал основи	Безрозмірна товщина частинки δ_1	Початкова температура частинки θ_{1_0}
1	Сталь 45	10	1,28
2	Сталь 45	10	1,0
3	Сталь 45	10	1,52

Рисунок 1а) ілюструє розподіл безрозмірної температури у системі в фіксовані проміжки часу для різних значень θ_{1_0}. Як видно з рисунку в усіх точках області, що розглядається, виключаючи незбурену зону в основі, менші значення θ_{1_0} відповідають нижчій температурі.

Рис. 1. Розподіл безрозмірної температури (а) та швидкості зміни температури (б) по товщині двошарової системи «частинка із сплаву $Fe_{83}B_{17}$ – стальна основа » при товщині частинки $\delta_1 = 10,0$ для різних значень початкової температури частинки θ_{1_0} ; пряма лінія $\theta_{1_0} = 1,52$; штрих пунктирна лінія $\theta_{1_0} = 1,28$; пряма лінія з кружечком $\theta_{1_0} = 1,0$ (варіанти розрахунків 1, 2, 3 див. табл. 1); а) – 1– $Fo = 8,69 \cdot 10^{-13}$; 2 – $Fo = 4,345 \cdot 10^{-12}$; б) – 1– $Fo = 4,345 \cdot 10^{-11}$; 2 – $Fo = 8,69 \cdot 10^{-11}$; 3 – $Fo = 1,738 \cdot 10^{-10}$

На рисунку 1б) наведено розподіл швидкості зміни температури V_θ ($V_\theta = \partial\theta/\partial Fo$) по товщині двошарової системи для різних значень θ_{1_0}. Згідно з отриманими даними зі зростанням початкової температури частинки збільшуються абсолютні значення швидкості V_θ в частинці. При цьому на загальний характер залежності $V_\theta = V_\theta$ (x) рівні початкової температури покриття не впливають.

Величина θ_{1_0} впливає також і розташування границь незбуреної зони в основі. Наприклад, для $Fo = Fo_{III}$ при $\theta_{1_0} = 1{,}52$ значення $\Delta x_н = 160{,}8$ при $\theta_{1_0} = 1{,}0$ воно становить 293,0.

Проведені дослідження показують, що тепловий стан системи «напилювана частинка-основа» суттєво залежить від рівня температури нагріву розпиленої частинки.

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. Киев: Ин-т пром. екологии, «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: Академпериодика, 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. Vol. 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. 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

8. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Полозенко Н. П., Місюра Т. О., Хміль Д. П., Юрчук В. Л. Закономірності впливу різних факторів на тепловий стан системи напилювана «частинка-основа». *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука".* 2026. № 5. DOI: https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-5-12062