

Технічні науки

УДК 536.24:621.1.016.4:621.791.4

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Natalia

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

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*

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/10.25313/2520-2057-2026-8-12114>

**ВПЛИВ РОЗМІРУ НАПИЛЕНОЇ ЧАСТКИ НА ТЕПЛОВИЙ СТАН
СИСТЕМИ «ЧАСТКА-ОСНОВА»**

**INFLUENCE OF THE SIZE OF A SPRAYED PARTICLE ON THE
THERMAL STATE OF THE PARTICLE-BASE SYSTEM**

***Анотація.** В роботі наведено результати досліджень теплових процесів під час реалізації енергозберігаючої технології газотермічного напилення.*

***Ключові слова:** двошарова система «частка-основа», товщина розпиленої частки, температурний режим.*

***Summary.** This paper presents the results of a study of thermal processes during the implementation of energy-saving thermal spraying technology.*

***Key words:** two-layer "particle-base" system, sprayed particle thickness, temperature regime.*

Однією з найбільш актуальних проблем для розвитку енергетики є проблема підвищення ефективності та довговічності енергетичного обладнання. Важливу роль у підвищенні економічності та ресурсу роботи відповідальних вузлів обладнання відіграють технології їх захисту від

зношування та корозії, зокрема, такі як газотермічне напилення [1-5]. Відтак актуальними є дослідження, спрямовані на удосконалення цих прогресивних енергозберігаючих технологій.

Ця робота присвячена аналізу питань, пов'язаних із тепловим станом систем «частка-основа» при газотермічному нанесенні покриттів. Дослідження проведено з метою визначення залежності теплового стану системи від товщини напиленої частки.

Математична модель досліджуваного нелінійного процесу теплопереносу в системі «частка-основа» може бути представлена у вигляді

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Lambda_i \frac{\partial \theta_i}{\partial x} \right) = C_{Vi} \frac{\partial \theta_i}{\partial Fo} \quad i = 1, 2 \quad (1)$$
$$(0 < x < \delta, \quad 0 < Fo \leq Fo_k)$$

$$\left[\frac{\partial \theta_i}{\partial x} + (-1)^i \cdot Bi \cdot \theta_i \right] \Big|_{x=x_r} = (-1)^i \cdot Bi \cdot \theta_c \quad (2)$$
$$x = \begin{cases} 0 & \text{при } i = 1 \\ \delta & \text{при } i = 2 \end{cases}$$

$$\Lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \Big|_{x=\delta_1} = \Lambda_2 \frac{\partial \theta_{21}}{\partial x} \Big|_{x=\delta_1}, \quad \theta_1 \Big|_{x=\delta_1} = \theta_2 \Big|_{x=\delta_1}, \quad (3)$$

$$\theta_i \Big|_{Fo=0} = \theta_{i0}, \quad (4)$$

де $\theta = t/t_{10}$; $Fo = \alpha_0 \cdot \tau / \delta_{p1}^2$; $Bi = \alpha \cdot \delta_{p1} / \lambda_0$; $x = x_p / \delta_{p1}$; $\delta = \delta / \delta_{p1}$;

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\lambda_0}; \quad C_v = c_v / c_{v0};$$

θ_c – безрозмірна температура довкілля;

δ_p – товщина системи;

δ_{p1} – товщина частки, що розтеклася;

i - величини з індексом i відносяться відповідно до частки при $i = 1$ та до основи при $i = 2$.

Розв'язання поставленої задачі (1) - (4) проводилося з використанням комбінованого ітераційного методу [1]. Нижче наведено результати виконаних обчислювальних експериментів, що відповідають наступним значенням вихідних даних: $\theta_{20} = \theta_c = 0,016$; $Bi = 0,66 \cdot 10^{-6}$; $\delta_2 = \delta - \delta_1 = 1000$; матеріал покриття – сплав Fe83B17. Характерні результати виконаних чисельних досліджень наведено на рис.1.

Подані результати відповідають трьом ситуаціям, коли величина δ_1 має різні значення ($\delta_1 = 40$; 10 і 1) при інших незмінних параметрах. Проведений аналіз показав, що загальні закономірності зміни теплового стану досліджуваного об'єкта при різних товщинах напилюваної частки δ_1 виявилися аналогічними.

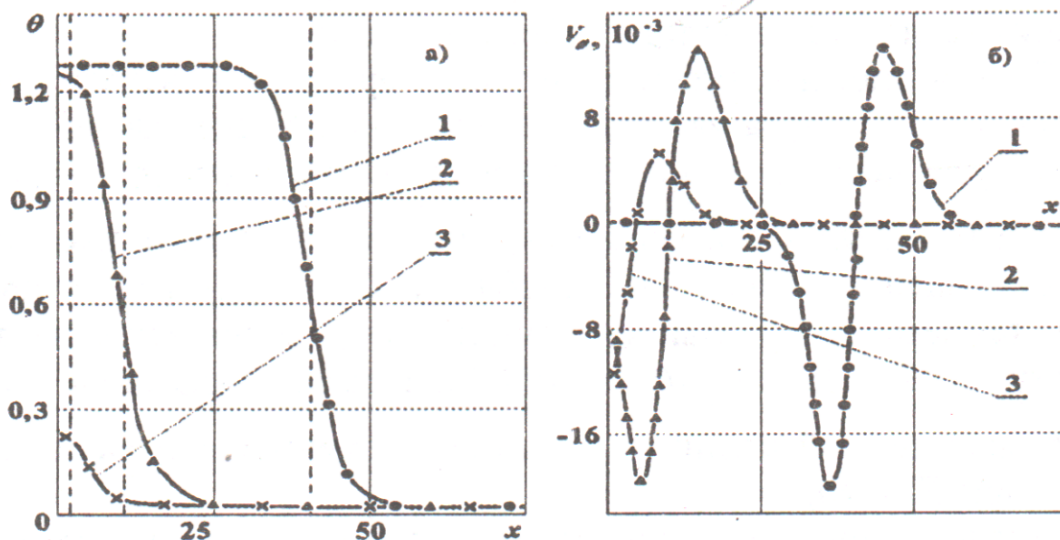


Рис. 1. Розподіл температури (а) та швидкості зміни температури (б) за товщиною двохшарової системи «частка зі сплаву Fe₈₃B₁₇ – сталева основа» при $Fo = 8,69 \cdot 10^{-12}$, $\theta_{10} = 1,28$ для різних значень δ_1 : 1- $\delta_1=40,0$; 2 – $10,0$; 3 – $1,0$

Подані результати відповідають трьом ситуаціям, коли величина δ_1

має різні значення ($\delta_1 = 40; 10$ і 1) при інших незмінних параметрах. Проведений аналіз показав, що загальні закономірності зміни теплового стану досліджуваного об'єкта при різних товщинах напилюваної частки δ_1 виявилися аналогічними.

Однак встановлено, що в кількісному відношенні характеристики процесу теплопереносу можуть істотно залежати від величини δ_1 . Так, тривалість процесу в цілому Fo становить $1,086 \cdot 10^4$; $7,126 \cdot 10^2$ та $7,99$ відповідно для $\delta_1=40; 10$ і 1 . Тобто число Фур'є Fo для порівняних варіантів товщини відрізняється приблизно в 1360 разів.

Наступна особливість, що заслуговує на увагу, - суттєва відмінність тривалості стадій процесу. Наприклад, більшим значенням δ_1 відповідають помітно менші відносні тривалості третьої стадії та більші – другої стадії.

Крім того, отримані дані свідчать про те, що товщина частки, що розтеклася, може істотно позначатися на значенні температури об'єкта в цілому. А саме, у початковий період у межах дуже малого часового інтервалу процес теплопереносу протікає практично однаково для різних товщин δ_1 і локалізується у порівняно малій підобласті, що прилягає до поверхні контакту. Однак з часом різниця температур при різних товщинах δ_1 стає дуже суттєвим. При цьому чим тонше розтеклася частка, тим нижче температура як в частці, так і в основі. Наприклад, для $Fo=8,69$, безрозмірні температури зовнішньої поверхні покриття θ_n дорівнюють $1,28$ і $0,23$ при $\delta_1=40$ і 1 відповідно (див. рис.1а).

Аналіз процесу теплопереносу, свідчить також, що більшим товщинам частки, що розтеклася, відповідають менші розміри незбуреної зони в основі. Так, при $Fo = Fo_1$ глибина проникнення теплової дії в основу Δx_n становить $58,6$; $15,1$ і $1,48$ для $\delta_1=40; 10$ і 1 відповідно.

Висновки. Результати виконаних досліджень показали, що геометричні характеристики напилюваної частки можуть істотно впливати на особливості теплообміну в процесі газотермічного нанесення покриття.

Зокрема, від товщини частки, що розтеклася, залежить як тривалість окремих стадій процесу, так і температура розглянутого об'єкта в цілому.

Література

1. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г. К разработке комбинированных итерационных методов для решения нестационарных нелинейных задач переноса. Киевск. политехн. ин-т. Киев, 1988. 43 с. Деп. в УкрНИИНТИ 23.08.88 № 2093.
2. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г. Закономерности формирования защитных металлополимерных покрытий при газотермическом напылении на детали энергетического оборудования. *Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики* : тр. XIII Межд. конф. стран СНГ. Киев: Ин-т пром. экологии, «ИПЦ АЛКОН» НАНУ, 2003. С. 115-120.
3. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шпак. А.П., Меранова Н.О., Шеренковский Ю.В., Коржик В.Н. Теплофизика формирования аморфных и нанокристаллических газотермических покрытий. *Математические модели*. Киев : Академперіодика, 2005. С. 120.
4. Астахов Є. А., Артемчук В. В. Особливості застосування газотермічного нанесення відновлювальних покриттів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 3/5 (57). С. 4-10.
5. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Половинкина Л.Б. Процессы теплопереноса при нанесении защитных газотермических аморфизированных и нанокристаллических покрытий на ответственные детали энергетического оборудования. *Проблемы промышленной теплотехники* : тез. IV межд. конф. (26-30 сентября 2005), Киев. С. 145-146.