

**Савуляк В.І., Березюк О.В.,**

**Дяченко В.В**

Вінницький державний технічний університет, м.Вінниця, Україна

## **ТЕРМІЧНІ ПОЛЯ У ПАРАХ ТЕРТЯ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Композиційні матеріали мають широку перспективу використання в вузлах тертя внаслідок значних переваг як за зносостійкістю, так і за іншими фізико-механічними властивостями. Є можливість синтезу таких матеріалів з широким спектром структур, які можуть відрізнятися як типом зміцнюючої фази та матриці, так і їх складом [1,2,3]. В даній роботі ми розглянемо деякі проблеми роботи деталей машин, в яких на однорідну металеву заготовку нанесене покриття, яке дисперсно зміцнене твердими включеннями карбідів, боридів та ін. Проблеми використання таких композитів пов'язана з тим, що внаслідок різних значень таких фізико-механічних характеристик як теплоємність, теплопровідність, коефіцієнтів теплового розширення, поверхневого натягу та адгезії під впливом потоків енергії, викликаних фрикційною взаємодією та іншими технологічними факторами, на границі між матрицею та включеннями, а також у перехідній зоні між покриттям та заготовкою виникають великі напруги, які є результатом одночасної дії перепадів температур, сил, електромагнітних полів та масопереносу.

Методами математичного моделювання в даній роботі вивчається вплив структурних параметрів композиту на конфігурацію температурних полів на робочій поверхні тіла тертя, в пошарових зрізах та в перехідній зоні.

З метою дослідження стабільності роботи композиційних матеріалів автомобіля під впливом теплових потоків використано методику проведення чисельного експерименту, для чого були розроблені математичні моделі композиційних матеріалів.

В даній роботі досліджуються деталі, які виготовлені з використанням композиційних матеріалів, що нанесені на підкладку з традиційних конструкційних матеріалів. Найчастіше для підкладки використовується сталь, що дає можливість використовувати технологічні процеси обробки різанням та пластичного деформування при формуванні розмірів виробу. Конструкція таких деталей складається з підкладки, на яку нанесено композиційний матеріал в один або декілька шарів. Структура композиційного матеріалу може бути з волокнистими (або у вигляді сітки) зміцнюючими складовими, чи з окремо розташованими твердими включеннями у металевій (пластмасовій) матриці. У даній роботі розглядаються композиційні дисперсно-зміцнені матеріали з металевою матрицею. Прикладом використання таких конструкцій у автомобілях є підшипники ковзання (вкладиші).

Для досліджень варто брати до уваги, що між підкладкою та нанесеним композиційним матеріалом найчастіше утворюється перехідна зона з певними властивостями. Властивості перехідної зони відіграють важливу роль в роботі композиції тому, що крім силових навантажень передають на підкладку також і теплові потоки. Різниця між коефіцієнтами теплопровідності, теплового розширення, дифузії композиту і підкладки спричиняють значні внутрішні напруження у цій зоні. Аналогічна ситуація виникає в перехідній зоні між матрицею композиту та зміцнюючими твердими включеннями.

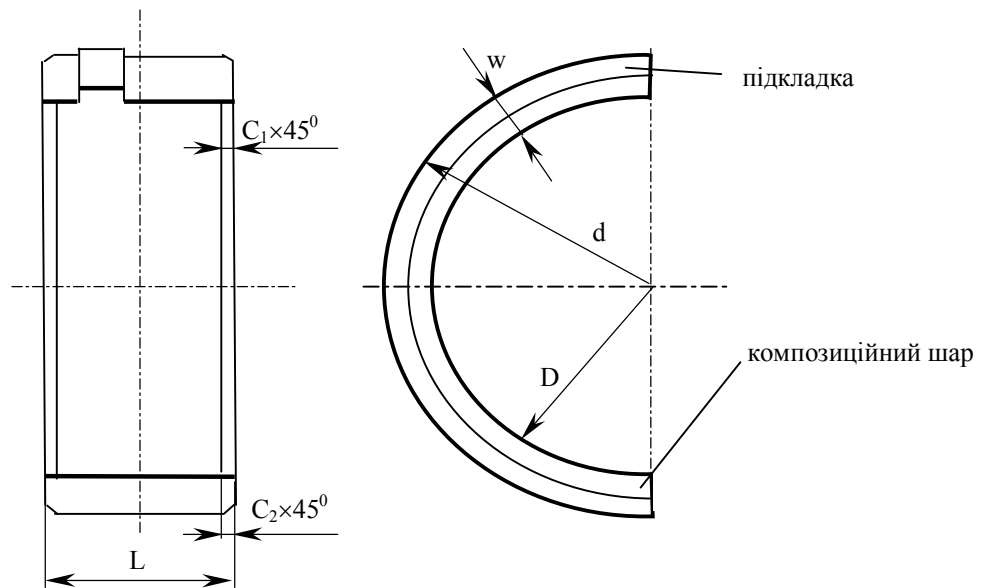


Рис.1. Типова конструкція композиційних підшипників ковзання

Попередній розгляд виявляє ще одну важливу проблему: внаслідок суттєвої різниці в коефіцієнтах теплопровідності та питомої теплоємності матеріалів матриці та включень (карбіди, бориди, силіциди та інші) миттєві температури в різних точках композиту можуть значно відрізнятись. Ці перепади температур можуть викликати руйнування композиту, структурні та фазові перетворення, накопичення значних пошкоджень. Але вдалий підбір співвідношення складових може сприяти релаксації цих напружень, підвищити працездатність деталей та конструкції в цілому. Важлива також детермінація точок з максимальними перепадами температур, екстремальні значення цих перепадів та вплив на них внутрішніх та зовнішніх факторів.

До зовнішніх факторів віднесемо кількість та потужність джерел тепловиділення у парі тертя.

До внутрішніх факторів віднесемо структуру композиційного матеріалу, хімічний склад та властивості компонентів, геометричні розміри та форму підкладки, матриці та дисперсних включень.

На рис. 2 представлено схематичне зображення композиційної системи. Основою (підкладкою) матеріалу виступає конструкційна сталь, яка представлена одним гомогенним шаром. Композитний шар умовно ділимо на дві частини: робочу та перехідну зону. Робоча зона поділена на  $n$  підшарів таким чином, щоб товщина кожного шару була не менша за максимальний розмір твердих включень. Перехідна зона розміщена між прокладкою та робочою зоною. В залежності від технології нанесення композиту перехідна зона може мати дуже широкий діапазон властивостей.

Для моделювання складного композиційного матеріалу використовуємо метод скінченних елементів, який дозволяє врахувати велику кількість факторів, які впливають на його властивості.

Розіб'ємо шарувату плоску область на квадратні скінченні елементи. Кожний елемент має всі фізичні властивості матеріалу, з якого виготовлена конструкція. Елементи вважаються з'єднаними між собою в окремих точках (вузлах). Тільки в цих точках виникають сили взаємодії між елементами, тільки в них прикладається температурне навантаження, тільки в них накладаються зовнішні в'язі, що обмежують переміщення, і тільки тут наперед забезпечене виконання умов сумісності та рівноваги.

Розглядаємо температуру  $t$  довільного елемента  $x_{i,j,k}$ , вирізаного з просторової області. Просторова схема даного елемента представлена на рис.3. Як видно з рисунка кожна зміна температури у будь-якому напрямку відображається зміною відповідної координати. Задаємо таким чином температуру кожної

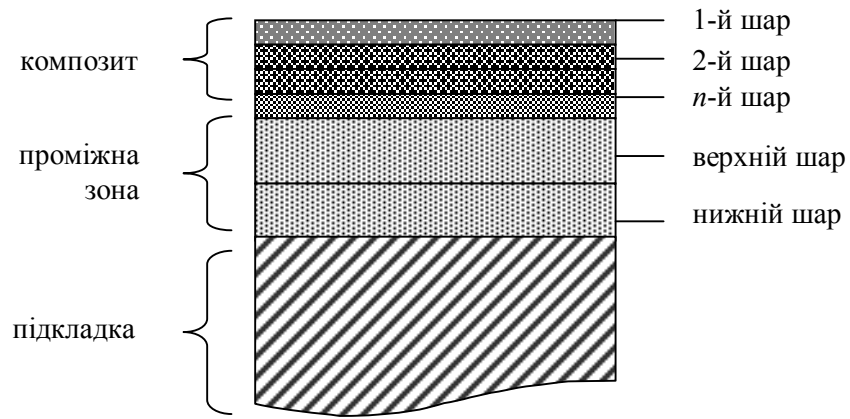


Рис. 2. Шарувата модель композиційного матеріалу

точки просторового елементарного паралелепіеду. Використавши припущення, що точки зв'язані між собою температурними стержнями, запишемо рівняння Фур'є в диференціальній формі [4]:

$$\frac{\partial t}{\partial \nu} = \frac{a \partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де -  $a$  – коефіцієнт теплопровідності;

$t$  – поточний час.

Шляхом використання інтегральних перетворень перейдемо від диференціальних рівнянь до дискретних величин. В результаті отримуємо різницеві відношення, які описують зміну температури точки в залежності від її координати (рис.4):

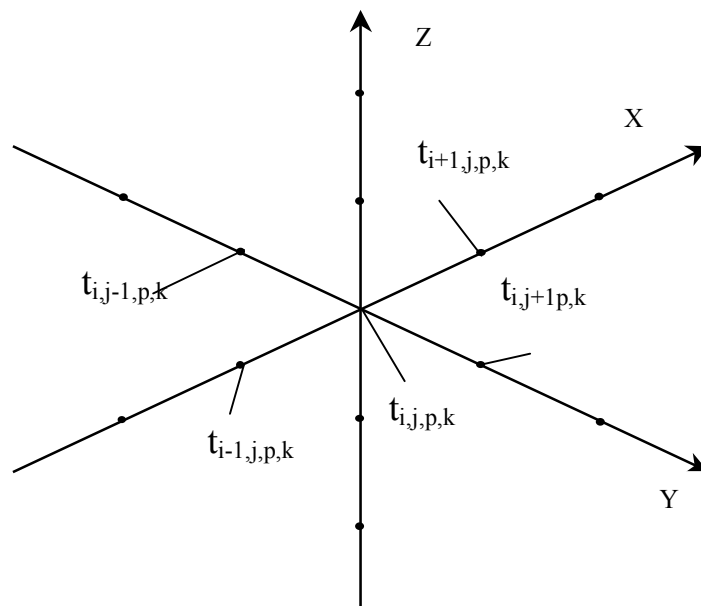


Рис. 3. Просторова схема  $x_{i,j,k}$  елемента

$$\frac{\partial t}{\partial x} \approx \left( \frac{\Delta t}{h_x} \right)_- = \frac{t_{i,k} - t_{i-1,k}}{h_x}; \quad \frac{\partial t}{\partial x} \approx \left( \frac{\Delta t}{h_x} \right)_+ = \frac{t_{i+1,k} - t_{i,k}}{h_x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \approx \frac{1}{h_x} \left[ \left( \frac{\Delta t}{h_x} \right)_+ - \left( \frac{\Delta t}{h_x} \right)_- \right] = \frac{t_{i+1,k} + t_{i-1,k} - 2t_{i,k}}{h_x^2}, \quad (3)$$

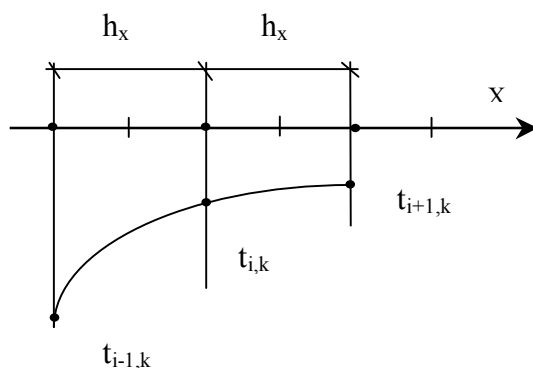


Рис.4. Зміна температури точки від її координати

Після проведення перетворень отримуємо рівняння (4), яке характеризує зміну температури точки в залежності від часу дії  $\tau$  джерела теплового потоку (процес тертя)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \approx \frac{t_{i,k+1} - t_{i,k}}{\Delta \tau}. \quad (4)$$

Прирівнявши вирази (3) і (4), отримуємо залежність зміни температури точки від коефіцієнта, що враховує теплопровідність  $a$

$$\frac{t_{i,k+1} - t_{i,k}}{\Delta \tau} = \frac{a(t_{i+1,k} - t_{i-1,k})}{h_x^2} - \frac{2a}{h_x^2} t_{i,k}; \quad a = \frac{\lambda}{c_p \rho}, \quad (5)$$

де -  $c_p$  - питома теплоємність матеріалу;

$\rho$  - густина матеріалу.

Для одновимірної задачі температури точки

$$t_{i,k+1} = \frac{a\Delta\tau}{h_x^2} (t_{i+1,k} + t_{i-1,k}) - \frac{2a\Delta\tau}{h_x^2} t_{i,k} + t_{i,k}, \quad (6)$$

$$F_{ox} = \frac{a\Delta\tau}{h_x^2}. \quad (7)$$

При умові, що  $F_{ox} \leq 0,5$

$$t_{i,k+1} = F_{ox} (t_{i+1,k} + t_{i-1,k}) + (1 - 2F_{ox}) t_{i,k}. \quad (8)$$

При умові, що  $F_{ox} \geq 0,5$

$$t_{i,k+1} = 0,5(t_{i+1,k} + t_{i-1,k}). \quad (9)$$

Для тривимірного вирізаного елемента-представника умови (8) і (9) теж справедливі, але узагальнена умова рівноваги матиме вигляд

$$(F_{ox} + F_{oy} + F_{oz}) \leq 0.5. \quad (10)$$

Математична модель тривимірного тіла складається з циклічно повторюваних виразів (8) і (9). Послідовно досліджуючи кожну точку, отримуємо загальну картину температурного розподілу в просторовій системі композиційного матеріалу (температурне поле).

Модель реалізована на ЕОМ з використанням пакету Excel у вбудованому середовищі Visual Basic. Зразки температурних полів деталей з композиційних матеріалів показано на рис. 6.

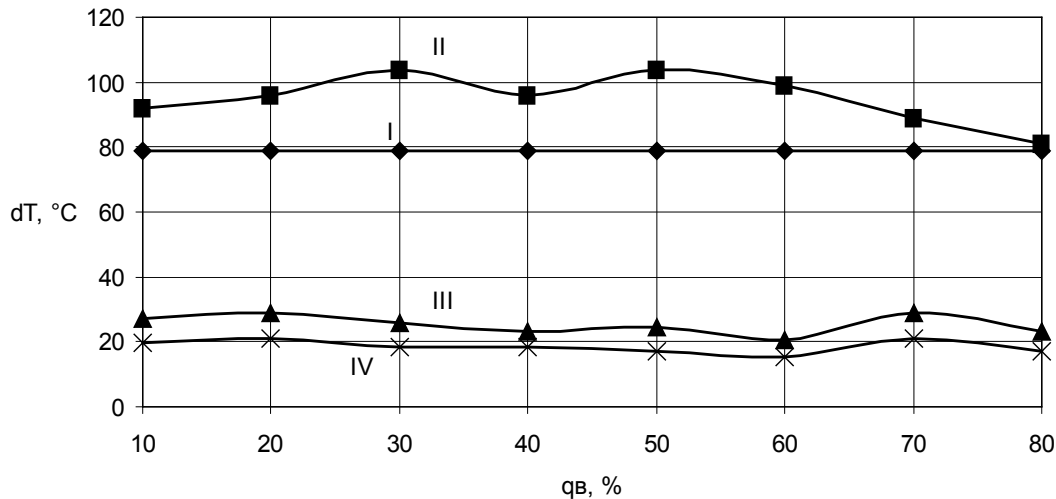


Рис.5. Розподіл максимальних перепадів температур по шарах композиційного матеріалу в залежності від вмісту зміцнюючих включень: I) 1-й шар зони композиту; II) 1-й шар перехідної зони; III) шар перехідної зони, що межує з підкладкою; IV) підкладка

### Висновки.

1. Температурне поле композиційного матеріалу відзначається значною неоднорідністю, яка обумовлена наявністю включень (карбідів, боридів та ін.) у матриці. Причому їх теплофізичні властивості значно відрізняються.
2. Найбільш суттєвий вплив на конфігурацію температурних полів має концентрація та розміри включень.
3. Найбільші перепади температур та високі термонапруження виникають у перехідній зоні між композитом та підкладкою, що вимагає використання таких технологічних процесів, які забезпечують сприятливі умови роботи цієї області.
4. Значні спалахи температур на включеннях вимагають виконання розрахунків композиційного матеріалу як на величини термонапружень, так і на термодинамічну стійкість хімічних з'єднань (наприклад, карбідів).

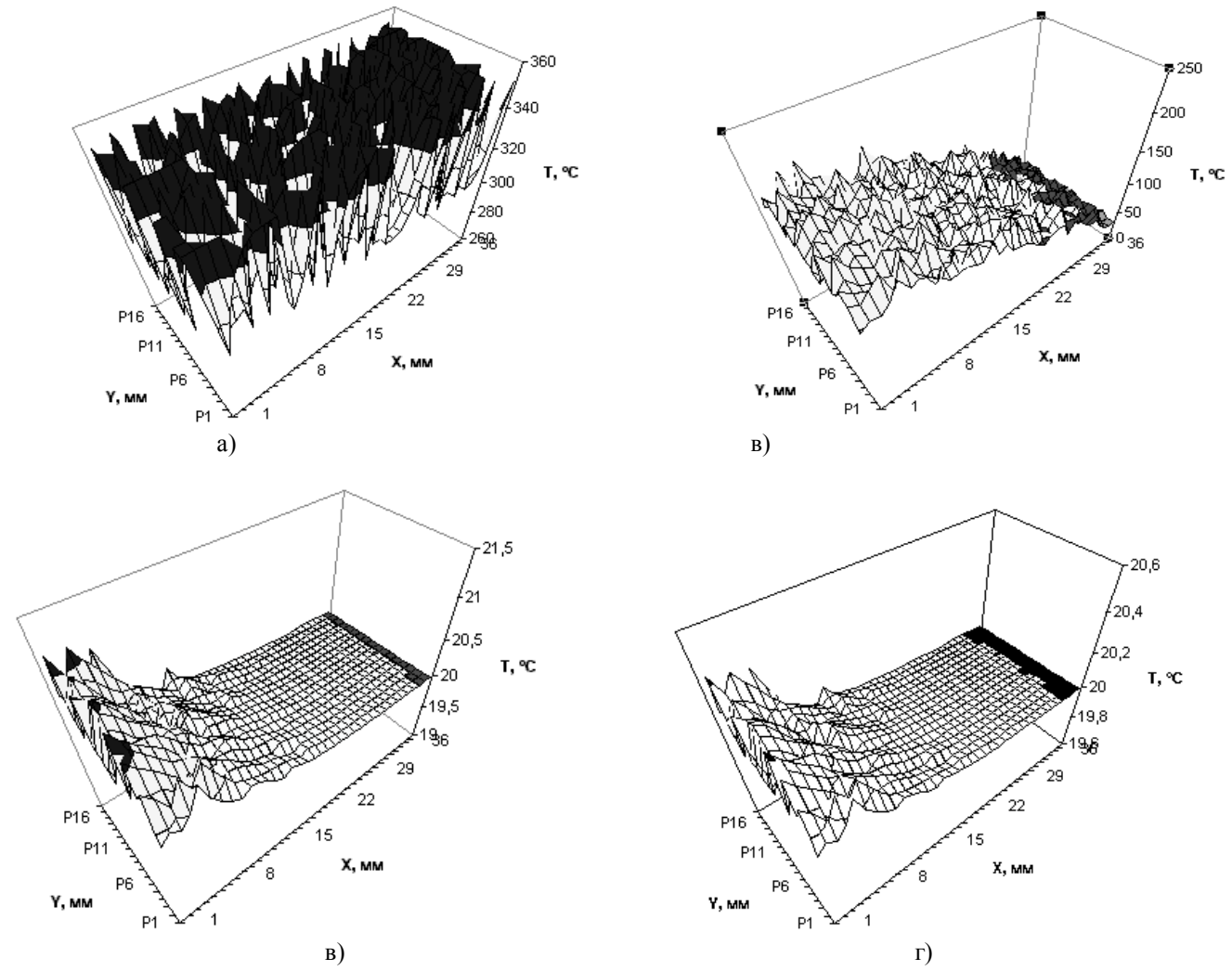


Рис.6. Розподіл температур в композиційному матеріалі від джерела тепла (гертя ковзання): нормальна сила  $F = 100 \text{ Н}$ , швидкість ковзання  $V = 2 \text{ м/с}$ , розмір включення  $r_B = 0,05 \text{ мм}$ ; а) 1-й шар зони композиту; б) 1-й шар перехідної зони; в) шар перехідної зони, що межує з підкладкою; г) підкладка

#### Література

1. Савуляк В.І. Синтез зносостійких композиційних матеріалів та поверхневих шарів з екзотермічних компонентів. Вінниця, 2002. –160 с.
2. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. М.: Машиностроение,– 1980,– №2, – С. 93-99.
3. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. Киев, Наукова думка, 1975.
4. Теплопередача./ В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С. Сукомел. –М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.