

Інформаційне моделювання процесів перенесення в гетерогенних середовищах

Прокопович І. В.
д.т.н., доцент
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Духаніна М. О.
ст. викладач
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Добровольська В. В.
аспірант
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Дадерко О.І.
аспірант
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Олех Г.С.
аспірант
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Кошулян С.В.
аспірант
Одеський національний
політехнічний університет
Україна, Одеса

Здійснено дослідження провідності у зернистому середовищі для процесу переносу теплоти. Запропоновано інформаційні моделі перенесення в гетерогенних середовищах у вигляді двох взаємопроникних полімерних сіток. Теплопровідність середовища визначали за інтегральною характеристикою структур першого та другого порядку його моделі.

Ключові слова: гетерогенні матеріали, провідність, інтегральна характеристика.

Значна частина сучасних машинобудівних деталей виробляється з гетерогенних матеріалів (системи, які складаються з малих однорідних областей (компонентів), розграничених поверхнями розподілу), деякі властивості яких (наприклад, характеристики проникнення) не можуть бути із відповідною точністю обчислені як інтегральна характеристика матеріалів, які входять до композиту в цілому [1 – 2]. Тому проблема пошуку більш точних моделей такого обчислення є вельми актуальною задачею.

Характерною особливістю зернистих систем є безперервний контакт між зернами, або, іншими словами, існування при будь-яких значеннях пористості нескінченного кластера. Зернисті матеріали можна розділити на два класи: монодисперсні, зернисті матеріали з близькими за розміром (ізомерними) частками і полідисперсні зернисті системи, розміри зерен яких відрізняються більш, ніж на порядок.

Дослідження процесу перенесення в зернистих матеріалах проводиться давно і запропоновано різні моделі і методи розрахунку коефіцієнта провідності. Найбільш повний опис структури таких матеріалів наведено в [3 – 4], де запропоновано дві схеми розрахунку теплопровідності зернистої системи.

У цих схемах зернисті структури розглядаються у вигляді двох взаємопроникних полімерних сіток: каркасу, утвореного хаотичною, але відносно щільною системою, зерна якої постійно контактують (структура першого порядку) і просторової мережі більш великих порожнин, що пронизують каркас (структура другого порядку).

Коефіцієнти переноса для гетерогенних систем визначають в два етапи: на першому вивчають розподілення поля в компонентах системи з урахуванням граничних умов, на другому – знаходять на основі суперпозицій полей компонентів середні поля по об'єму всієї системи. Для

i -ї області (компонента i) потік $j_i(r)$ пов'язаний з потенціалом $\varphi_i(r)$ рівнянням.

$$j_i(r) = -\Lambda_i \nabla \varphi_i(r), \quad (1)$$

де $r = xi + yi + zk$ – радіус-вектор точки в об'ємі V .

Середні по об'єму системи V фізичні поля визначаються залежностями

$$\langle j \rangle = \frac{1}{V} \int_V j_i dV; \quad \langle \nabla \varphi \rangle = \frac{1}{V} \int_V \nabla \varphi_i dV; \quad \langle j \rangle = -\Lambda \langle j \rangle. \quad (2)$$

Таким чином, ефективний коефіцієнт узагальненої провідності Λ є функцією провідності компонентів Λ_i і їх концентрацій m_i , тобто

$$\Lambda = f(\Lambda_i, m_i). \quad (3)$$

Визначення вигляду цієї функціональної залежності і являється задачею узагальненої теорії провідності.

Рішення системи рівнянь (1) – (3) для гетерогенної системи пов'язано з великими математичними труднощами і можливе для найпростіших структур. Тому звертаються до моделювання структури гетерогенної системи, а також до різноманітних математичних наближень. Більш ніж на століття вивчення фізичних властивостей гетерогенних систем було запропоновано велику різноманітність моделей і рівнянь для визначення Λ . При цьому для отримання нового результату використовувались різні методи рішення, які повторюють попередні або отриманий результат не має переваг в порівнянні з попередніми роботами.

В роботі здійснено дослідження провідності у зернистому середовищі для процесу переносу теплоти. Для цього процес перенесення розділяли на два етапи: спочатку встановлювали ефективну теплопровідність каркасу λ_k , а потім – теплопровідність всієї системи λ . Відношення теплопровідності системи до теплопровідності каркасу для взаємопроникних полімерних компонентів визначали за формулою:

$$\lambda/\lambda_K = c_K^2 + (1 - c_K)^2 v_K + 2v_K c_K (1 - c_K)/(v_K c_K + 1 - c_K), \quad (4)$$

де $v_K = \lambda_{22}/\lambda_K$; $c_K = \Delta/L = c(m_{22})$ та визначається з графіку.

Тут λ_{22} – провідність крупних пор, пронизують каркас, а пористість структури другого порядку:

$$m_2 = \frac{m_2 - m_{2K}}{1 - m_{2K}}, \quad (5)$$

де m_2 – об'ємна концентрація пор в зернистій системі; m_{2K} – пористість каркаса.

При розрахунках теплопровідності всієї системи був використаний метод елементарної комірки; невідомою величиною в (4) є теплопровідність каркаса λ_K . Для її розрахунку зручно використовувати метод усередненого елемента.

Як відомо, в порах існує молекулярне і променисте перенесення тепла. Тому провідність крупних пор є їх сумою

$$\lambda_{22} = \lambda_{22M} + \lambda_{22L}, \quad (6)$$

величина якої залежить не тільки від фізичних властивостей газу, але і від геометричних і фізичних параметрів самої пори.

Молекулярна складова може бути обчислена за формулою, в якій невизначеним є розмір великих пустот δ_2 . У першому наближенні його можна прийняти рівним відстані між брусами у каркасі. Наближена оцінка δ_2 визначається як:

$$\delta_2 = 3d(c_K^{-1} - 1), \quad (7)$$

де d – середній діаметр зерна.

На основі формули (7) отримуємо молекулярну складову теплопровідності?

$$\lambda_{22M} = \lambda_r \left[1 + \frac{Bc_K}{3Hd(1 - c_K)} \right]^{-1}. \quad (8)$$

Для оцінки променистої складової теплопровідності λ_{22L} у великих наскрізних порах весь шар зернистого матеріалу розглядали як напівпрозоре ізотропне середовище. Невизначеним параметром тут є коефіцієнт ослаблення випромінювання β .

Для зернистих матеріалів $d > 0,1$ мм за рахунок поглинання і розсіювання випромінювання на поверхнях коефіцієнт ослаблення випромінювання β становить:

$$\beta = \frac{4}{3d} c_K^2 (1 - c_K)(2 - \epsilon) = \beta(m_2).$$

Приймаючи $(16/3)n_{i0}^2 \sigma \approx 0,3$, отримуємо значення [1]:

$$\lambda_{22L} \approx 0,3 \left(\frac{T}{100} \right)^3 \frac{Yd}{c_K^2 (1 - c_K)(2 - \epsilon)}, \quad (9)$$

де $Y = f(\tau, \epsilon)$; $\tau = \beta l_{cpl} = \tau(m_2)$.

В цій формулі l_{cpl} – товщина шару засипки.

Зокрема, для зернистих систем з пористістю $m_2 < 0,95$ $Y \approx 1$.

Друга схема розрахунку провідності зернистої системи запропонована М. А. Єремєєвим і цілком базується на формулах, отриманих з моделі усередненого елемента.

Розрахунки за обома схемами призводять до приблизно однакових чисельних результатів.

В ряді випадків формули можуть бути істотно спрощені. Так, наприклад, для вільної засипки з розміром зерен $d > 0,1$ мм при тиску газу-наповнювача понад $1,33 \cdot 10^4$ Па можна знехтувати впливом мікрошорсткостей і вважати зерна гладкими ($h_0 = 0$) і жорсткими ($y_1 = y_2 = 0$). Тоді вираз для провідності Λ приймає вигляд

$$\frac{\Lambda}{\Lambda_1} y_4^2 \approx \left[\frac{D}{y_3^2} + \frac{2v_r}{1 - v_r} \left(D - 1 - W \ln \frac{W - D}{W - 1} \right)^{-1} \right]^{-1} + v_{2cn} E. \quad (10)$$

При розрахунках може виявитися корисною емпірична залежність між середнім діаметром частинок і пористістю зернистої системи у стані вільної засипки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Bhatia, Sangeeta; John V Frangioni; Robert M Hoffman; A John Iafrate; Kornelia Polyak (10 July 2012). "The challenges posed by cancer heterogeneity". *Nature Biotechnology*. 30: 604–610. doi:10.1038/nbt.2294.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: в 2 кн./ В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др.; Под ред. В. Г. Айнштейна. — М.: Логос; Высшая школа, 2003. — Кн. 2. — 872 с.
3. Дульнев Г.Н, Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1991.
4. Олейник О.А., Иосифьян Г.А., Шамаев А.С. Математические задачи теории сильно неоднородных упругих сред МГУ, 1990 312 p. Russian djvu, 3155 KB 10.1 KB/p. 300dpi OCR