

ДИНАМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНИХ СТРУКТУР В КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Загинайло І. В., к.ф.-м.н., доц., **Писаренко О. М.,** к.ф.-м.н., доц.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Актуальність досліджень. Дисперсно-наповнені композити знаходять широке застосування як конструкційні матеріали. Значна увага приділяється останнім часом тепловим властивостям таких композитів, зокрема, коефіцієнту теплового розширення, термопружності та ефективної теплопровідності [1]. Отримання композитних матеріалів (КМ) з необхідними експлуатаційними характеристиками може бути досягнуто цілеспрямованим регулюванням структури та пов'язаних із нею властивостей різних рівнях структурної організації.

Стан проблеми. Для вивчення впливу параметрів наповнювача на властивості КМ широко використовують чисельне моделювання. Зокрема, чисельні дослідження ефективної теплопровідності двовимірних та двокомпонентних композитів для випадку теплопровідних та теплоізолюючих наповнювачів виконані у роботах [2, 3]. Ефективна теплопровідність λ_e двовимірного КМ очікувано виявилася залежною від ефективної теплопровідності матеріалу матриці λ_m , теплопровідності матеріалу наповнювача λ_f , відносної об'ємної концентрації наповнювача c , розмірів частинок наповнювача b і параметрів їх розподілу в матриці КМ.

Раніше нами було встановлено [4], що у матриці КМ з теплоізолюючим наповнювачем можуть виникати індуковані теплопровідні канали (ІТК). При цьому два зразки з однаковими λ_m , λ_f і c будуть в залежності від числа та протяжності таких каналів мати різні λ_e , чого не враховують численні відомі моделі теплопровідності КМ. Також нами було виявлено [5], що у КМ з теплоізолюючим наповнювачем може виникати ефективна анізотропія теплопровідності (різниця теплопровідностей у двох взаємно-перпендикулярних напрямках), та вивчено вплив на неї параметрів розміщення частинок наповнювача у матриці КМ, зокрема концентрації, розподілу розмірів частинок наповнювача, мінімальної дистанції d між частинками наповнювача. Також було показано, що зміна напрямку доданого градієнта температури еквівалентно переходу до іншого зразка КМ зі статистично незалежною реалізацією розміщення частинок наповнювача. Наявність анізотропії теплопровідності не передбачено

прийнятими моделями опису ефективної теплопровідності двовимірних КМ.

Мета роботи. Виходячи з аналітичного огляду та з попередніх досліджень визначити основні фактори та механізми управління для цілеспрямованого “наведення” або запобігання виникненню теплопровідних структур в будівельних композитах.

Отримані результати. Як об’єкти дослідження використовувалися квазідвовимірні моделі КМ з матрицею, що має теплопровідні характеристики цементно-пісочного каменю: теплопровідність матриці $\lambda_m = 0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; теплопровідність теплоізолюючого наповнювача λ_{fi} обрана рівною теплопровідністю пінополістиролу: $0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; теплопровідність теплопровідного наповнювача λ_{fi} обрана рівною теплопровідністю арматурної сталі 07X16H6 за $T = 300 \text{ К} - 42 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Таким чином, $\lambda_{fi} / \lambda_m \approx 0,048$, а $\lambda_{fi} / \lambda_m \approx 45$. Як віртуальні зразки моделювалися квадратні області з розміром сторони a . Відношення характерних розмірів частинок наповнювача до розміру зразка b/a змінювалося в межах від $0,0078$ до $0,125$. У зразках моделювався нормальний розподіл розмірів частинок наповнювача з коефіцієнтом варіації v_b (для монорозмірних моделей $v_b = 0$). Просторово розміщення частинок наповнювача було випадковим і рівномірним, але з обмеженням мінімальної дистанції, де можуть розміщуватися сусідні частки наповнювача. Відношення мінімальної дистанції між частинками наповнювача до характерного розміру частинок наповнювача d/b варіювалося в межах від 0 (допускався безпосередній контакт частинок наповнювача) до $2,0$. Діапазон концентрацій частинок наповнювача складав від $0,08$ до $0,6$. Аналізувалися статистичні характеристики розподілу ефективної теплопровідності КМ у т.ч. її анізотропії за сукупністю реалізацій (при цьому число реалізацій з фіксованими параметрами λ_f / λ_m , b/a , v_b , d/b і c сукупно становило від 2000 до 8000), а також топологічні карти розрахованих локальних теплових потоків.

Аналіз наших попередніх досліджень [3 – 5] показує, що виникнення ІТК реєструється на картах локальних теплових потоків при концентраціях наповнювача з $c > 0,22$. У цьому максимальні значення анізотропії теплопровідності реалізуються при концентрації порядку $c = 0,33$. При цьому характерні розміри ІТК L_{ch} виявляються різними для випадків теплопровідних та теплоізолюючих наповнювачів: відношення L_{cht} / b виявляється близько $10 - 12$, а відношення L_{chi} / b виявляється близько $6 - 9$ відповідно. При цьому

оптимальними з точки зору анізотропії теплопровідності виявлялися моделі зразків з $2,0 > L_{ch} / a > 1,0$.

Висновки. У КМ при прикладенні градієнта температури виникають ІТК, причому напрямок і довжина цих каналів динамічно змінюються за зміни напрямку та величини градієнта температури. Локальні градієнти температур, що виникають на межах ІТК, можуть служити джерелами деформаційних хвиль за типом тих, що спостерігалися авторами [6]. У зразках з $a \gg L_{ch}$ анізотропія теплопровідності не проявляється, проте ІТК та неоднорідне поле локальних градієнтів температур, здатні викликати хвилі деформацій, присутні.

Література.

1. Kume S., Yamada I. and Watari K. (2009), “High-Thermal-Conductivity AlN Filler for Polymer/Ceramics Composites”, *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 92, pp. S153–S156.
2. Jiang M., Jasiuk I. and Ostoj-Starzewski M. (2002), “Apparent thermal conductivity of periodic two-dimensional composites”, *Computational Materials Science*, vol. 25, pp. 329–338.
3. Pysarenko A. and Zaginaylo I. (2019), “Numerical Simulation of the Heat Conductivity of Randomly Inhomogeneous Two-Dimensional Composite Materials”. New York: Nova Science Publishers, 2019. 197 p.
4. Pysarenko A. and Zaginaylo I. (2021), “Influence of matrix-filler thermal conductivity on micro heat transfer in two-component composites”. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, v.1162, 012013.
5. Загинайло И. В., Писаренко А. Н., Спиридонов Д. А. Статистический анализ эффективной анизотропии теплопроводности композиционных материалов. *Вісник КрНУ*. Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 3(104). С. 39–45.
6. Жуковский В.К., Гохман А.Р., Выровой В.Н., Заволока М.В., Заволока Ю.М. (2016). Механизм формирования деформационных волн в условиях тепловых градиентов. *Вісник ОДАБА*, 2016. – Вип. № 62, С. 61–68.