

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БИНАРНЫХ КОМПОЗИТОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ФАЗЫ

Ст. *Левцкий Д.В.*, гр. ПСК-265

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент *Загинайло И.В.*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В данной работе анализируются результаты численного моделирования двумерного теплопереноса в бинарном композитном материале со случайно размещенными теплоизолирующими включениями квадратной формы. В моделях материала задавалось отношение теплопроводности включений λ_B и вязущей матрицы λ_M 1:20; размеры включений b варьировались в пределах от 0,03 до 0,125 размера матрицы a ; минимальная дистанция между включениями d изменялась от 0 до 0,6 b ; концентрация включений c изменялась в пределах от 0,25 до 0,65. Для каждого набора параметров b , d , c была выполнена серия из 800 испытаний случайного размещения, в каждом испытании численно решалось уравнение Фурье, и определялась эффективная теплопроводность материала $\lambda_{эфф}$. Предметом анализа является зависимость среднего значения эффективной относительной теплопроводности материала $\lambda_r = \lambda_{эфф}/\lambda_M$ в каждой серии испытаний от параметров модели.

Зависимость $\lambda_r(c)$ является слабо нелинейной, различные авторы [1..3] обычно описывают ее дробно-рациональными функциями. В данном исследовании для описания результатов моделирования трестировались различные функции: $\lambda_r = 1 + \frac{\alpha_1 c}{1 + \beta_1 c}$ (1),

$$\lambda_r = 1 + \frac{\alpha_2 c}{\sqrt{(1 + \beta_2 c)^3}} \quad (2), \quad \lambda_r = 1 + \frac{\alpha_3 c}{(1 + \beta_3 c)^2} \quad (3) \quad \text{и} \quad \lambda_r = 1 + \frac{\alpha_4 c}{(1 + \beta_4 c)^3} \quad (4),$$

где α_i и β_i ($i \in [1;4]$) – подгоночные параметры аппроксимации. Критерием отбора лучшей аппроксимирующей функции выбрано максимальное значение коэффициента корреляции Пирсона r^2 . Исследование показало, что лучшей аппроксимацией зависимости $\lambda_r(c)$ является функция (2). При выбранной аппроксимации параметр α_2 мало зависит от относительной минимальной дистанции между включениями d/b , однако демонстрирует существенную зависимость от относительного размера включений b/a , впрочем, испытывающую насыщение при $b/a > 0,1$ (рис. 1). Величина подгоночного параметра β_2 , напротив, практически не зависит от b/a , но оказывается зависимой от d/b (рис. 2).

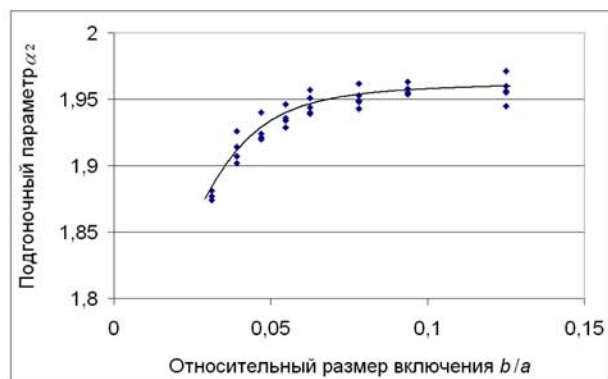


Рис.1. Зависимость $\alpha_2(b/a)$ для всех d/b

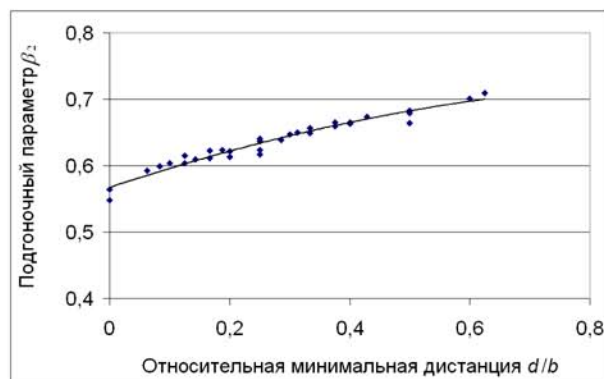


Рис.2. Зависимость $\beta_2(d/b)$ для всех b/a

Зависимость эффективной теплопроводности от минимальной дистанции между случайно расположенными включениями была отмечена в работах [2,3], но детально не

исследовалась. Пример зависимостей $\lambda_r(d/b)$ для моделей с $b/a=0,125$ и различными концентрациями c показан на рис. 3. Для аппроксимации таких зависимостей трестирировались две функции: $\lambda_r = \delta_5 + \gamma_5 \ln\left(\frac{d}{b} + \chi_5\right)$ (5) и $\lambda_r = \delta_6 \left(1 - \gamma_6 \exp\left(-\frac{d}{b} \chi_6\right)\right)$ (6), где δ_i , γ_i и χ_i ($i \in [5;6]$) – подгоночные параметры аппроксимации.

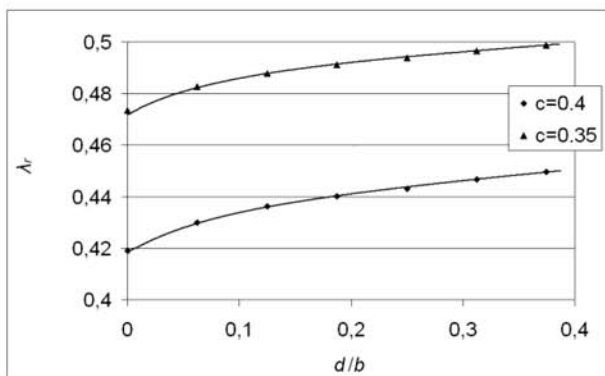


Рис.3. Зависимости $\lambda_r(d/b)$ для двух значений c

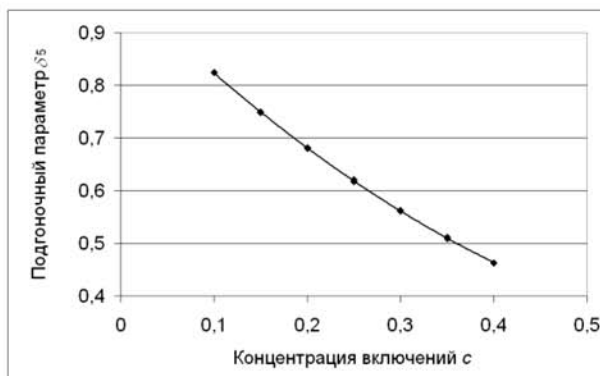


Рис.4. Зависимость $\delta_5(c)$ для всех b/a

Исследование показало, что лучшей аппроксимацией зависимости $\lambda_r(d/b)$ является функция (5). При выбранной аппроксимации величина подгоночного параметра δ_5 оказывается зависимой только от концентрации включений c и не зависит от размера включений (рис. 4). То же самое, хотя и с меньшей точностью, справедливо и для γ_5 (рис. 5).

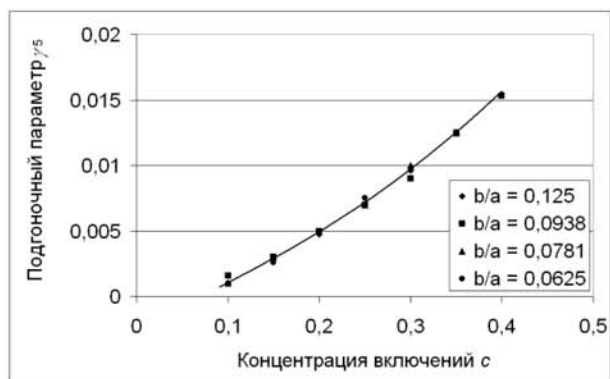


Рис.5. Зависимость $\gamma_5(c)$ для всех b/a

Зависимость от размеров включений демонстрирует параметр χ_5 , он же зависит и от концентрации включений.

Для окончательной интерпретации полученных данных необходимо дополнить данное исследование анализом зависимости эффективной теплопроводности от соотношения λ_B/λ_M . Однако, на сегодняшний момент еще не накоплено достаточного количества расчетных данных для проведения такого анализа.

В результате проведенной работы подобраны аппроксимирующие функции для концентрационной и дистанционной зависимостей эффективной теплопроводности бинарного композита. При этом отдельным параметрам модели материала удалось сопоставить определенные подгоночные параметры аппроксимирующих функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н. Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов/ Л.: "Энергия", 1974. - 264 с.
2. Загинайло И.В., Максименюк Я.А., Писаренко А.Н. Роль индуцированных теплопроводящих каналов в формировании теплоизолирующих свойств двухкомпонентных композиционных материалов // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов ПГАСА. Вып. 92, Днепр, 2016, с. 56-61.
3. Igor Zaginaylo, Yakov Maksimieniuk, Alexander Pysarenko. Two-dimensional numerical simulation study of the effective thermal conductivity statistics for binary composite materials. // IJNT, Vol. 35, No. 2, June 2017, pp. 364-370.