

НАХОЖДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

Громыко Г. Ф.¹⁾, Мацука Н. П.¹⁾, Ильющенко А. Ф.²⁾, Лешок А. В.²⁾

*¹⁾ Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: grom@im.bas-net.by*

*²⁾ Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа, Минск,
Беларусь. e-mail: sdilav@tut.by*

Для моделирования тепловых полей в композиционных материалах, в частности, в деталях с покрытием, необходимо знать теплофизические свойства материалов. У композиционных материалов часто проявляется анизотропия в свойствах, что связано со структурой материалов. Моделирование композиционных материалов (КМ) содержит фундаментальную проблему, так как в макромасштабе они считаются однородными континуумами, а в микромасштабе – существенно неоднородными, т.е. компоненты или фазы композита различаются по свойствам, и между ними существуют явная граница раздела (интерфейс или межфазной слой). В связи с этим эффективные свойства КМ в целом зависят от характеристик фаз композитов (их свойств, объемного содержания, формы, размера, распределения и ориентации), состояния интерфейса или межфазного слоя, и внутренних взаимодействий (когезионных и адгезионных эффектов). Поэтому нахождение коэффициента теплопроводности для КМ является актуальной задачей.

Целью работы является исследование теплофизических свойств и тепловых полей в композиционном покрытии фрикционного диска в условиях торможения с контртелом при изменении влияния входящих в покрытие компонентов для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств. Полагаем, что химические реакции между компонентами отсутствуют.

Металлографическое изображение реальной структуры (двумерный случай) вводится в компьютер в виде графического файла, который затем редактируется с помощью стандартных графических редакторов с тем, чтобы выделить значимые элементы структуры и убрать мелкие оттенки. Полученная карта образца дискретизируется с заданной степенью подробности и каждому элементу структуры, состоящему из элементов одного цвета, ставятся в соответствие определенные физико-механические свойства.

В работе использован ранее предложенный метод нахождения коэффициента теплопроводности композиционного материала на основе представительного объема (ПО) [1]. ПО композиционной системы отражает структурные компоненты включений по форме и с заданной степенью точности соответствует процентному объемному их содержанию в покрытии. Полагаем, что все включения распределены равномерно во всем объеме композиционного покрытия. Выбираем представительный объем системы так, чтобы он отражал все основные особенности покрытия и регулярно повторялся в покрытии. Причем, размеры ПО должны быть больше характерных размеров включений, но меньше характерного размера покрытия диска [2]. Тогда эффективный коэффициент теплопроводности такого элемента можем принимать, как

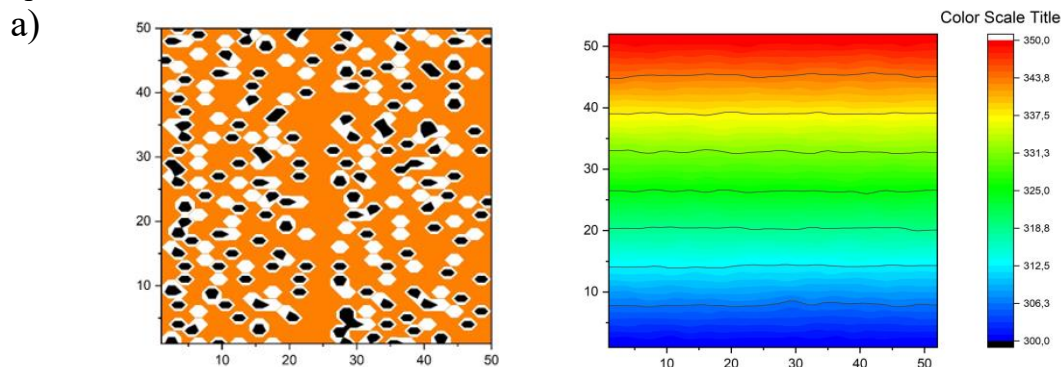
коэффициент теплопроводности композиционной системы покрытия фрикционного диска.

Необходимость поиска эффективного коэффициента теплопроводности композиционного слоя фрикционного диска обусловлена тем, что он сам имеет малую толщину и моделируется на решетке с очень мелким шагом, чтобы учесть физические размеры даже самых мелких включений (~10 мкм). В полной постановке решение задачи теплопроводности на такой сетке очень громоздкое.

Эффективность предлагаемого численного метода проверена на материале, состоящем из 2 компонентов: 40 % графита и 60 % бронзы. По правилу смеси коэффициент теплопроводности этого материала равен 145,2 Вт/(м·К), по формуле Оделевского – 106,15; расчетные результаты: для крупнодисперсного графита (100 мкм) – 82,88, для мелкодисперсного (10 мкм) – 69,08 Вт/(м·К). Экспериментальным путем установлено, что коэффициент теплопроводности для материала с крупнодисперсным графитом составил 75,4, тогда как с мелкодисперсным 64,1 Вт/(м·К). Таким образом, предлагаемый метод показывает не только наиболее близкие результаты к эксперименту, но и отражает существенное влияние размера частиц композиционного материала на коэффициент теплопроводности.

Также сравним результаты численного исследования для 5-компонентного композиционного порошкового материала на основе 12 % оловянистой бронзы, с пористостью 20 %, содержащего: 40 об.% графита марки ГЭ-1 со средним размером частиц 100 мкм; 5 об.% порошка свинца ПС-1 и 4 об.% порошка железа ПЖРВ 3.200.26. Расчетные данные показали, что значение коэффициента теплопроводности составило 44,7 Вт/(м·К). Экспериментальное значение коэффициента теплопроводности образцов, полученных из вышеприведенного состава, составило 42,3 Вт/(м·К). Стоит отметить, что отличие значений составляет всего 5,67 %.

Рассмотрим более детально влияние размеров частиц графита и их процентного содержания на распределения тепловых полей для материалов на основе 12 % оловянистой бронзы и графита карандашного марки ГК-1 и ГЭ-1. На рисунке 1 представлены ПО и распределения температурного поля внутри них при $t = 10^{-2}$ с. Оранжевым цветом обозначена матрица из бронзы, черным цветом частицы графита, белым – поры. Видно, что нагрев материала сверху (тепловой эффект при торможении) внутрь области идет неравномерно, и отчетливо видны зоны с повышенной температурой, что объясняется учетом реальной структуры композиционного материала.



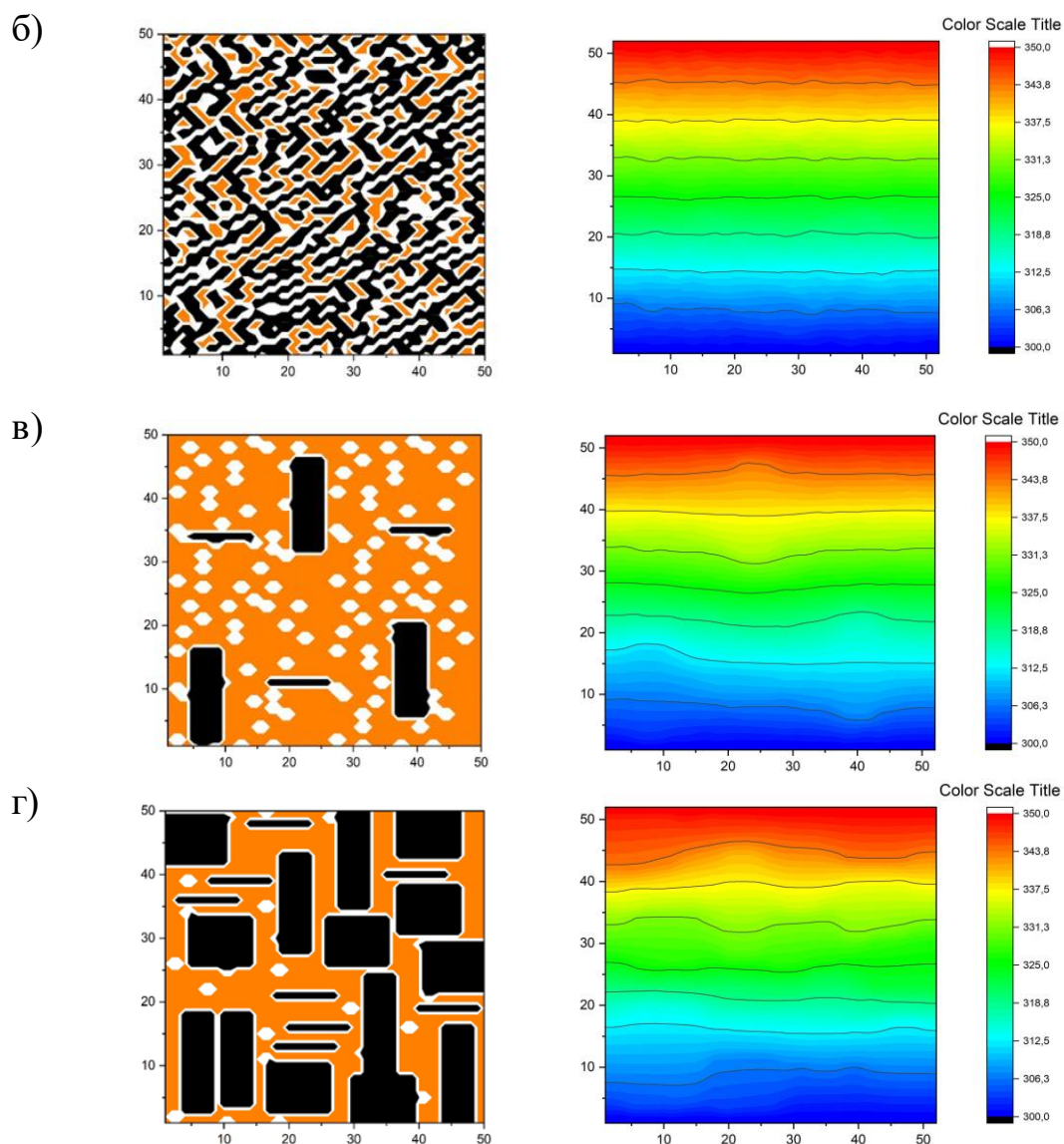


Рис. 1. Распределение компонентов и тепловых полей в ПО при $t = 10^{-2}$ с для материалов, содержащих 10 и 30% графита марки ГК-1 (а,б) и ГЭ-1 (в,г).

Коэффициенты теплопроводности для представленных материалов составили соответственно: а – 134, б – 328,2, в – 104,8, г – 173,5 Вт/(м·К). Т.е. использование мелкодисперсного графита обеспечивает более равномерное распределение тепла внутри КМ и существенно увеличивает его коэффициент теплопроводности, а, следовательно обеспечивает более быстрый и равномерный отток тепла от поверхности торможения.

Литература

1. Громыко Г.Ф., Мацука Н.П., Ильющенко А.Ф., Лешок А.В. Численное исследование теплофизических свойств композиционного порошкового материала // Порошковая металлургия. – Минск, 2020. – С. 12–18.
2. Барздокас Д.И., Зобнин А.И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры // М.: Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.