

Моделирование геометрии представительных объёмов металломатричных КОМПОЗИТОВ

Авторы: Ю.В. Халевицкий, Н.В. Бурмашева,
А.В. Коновалов, А.С. Партин

Требования к геометрическим моделям представительных объёмов

- Возможность получения моделей композитов с высокой объёмной долей элементов внутренней структуры, то есть таких моделей, в которых элементы структуры достаточно плотно упакованы и располагаются в непосредственной близости друг от друга, не пересекаясь.
- Возможность использования произвольных форм элементов внутренней структуры, полученных из стереологических соображений, то есть анализом изображений поверхностей шлифов образцов композиционного материала, полученных с помощью электронных и оптических микроскопов или трёхмерных моделей рентгеновской томографии.
- Возможность автоматического воспроизведения множества сходных моделей представительных объёмов со случайным распределением элементов внутренней структуры, что позволяет без непосредственного участия исследователя проводить множество вычислительных экспериментов и статистически обрабатывать их результаты.
- Возможность использования полученных моделей с современными конечно-элементными комплексами.

Алгоритм

- Шаг 1: выбираются пять полуплоскостей, ограничивающих представительный объём. Полученная область пространства представляет собой подобие "колодца". Ограничивающие пространство плоскости полагаются абсолютно жёсткими и находящимися в покое относительно принятой системы координат.
- Шаг 2: составляющие композиционного материала разделяются на фазы в стереологическом смысле. Как правило, каждая фаза содержит один материал, однако можно выделить фазу, которая будет описывать смесь нескольких компонентов среды. Фазы разделяются на две категории. Фазы первой категории выбираются таким образом, чтобы представительный объём можно было получить размещением отдельных элементов внутренней структуры внутри сплошного заполнения этой фазой представительного объёма. Как правило, таким фазам соответствует матрица композиционного материала. Фазы элементов структуры относятся ко второй категории.
- Шаг 3: выбирается идеализация, описывающая форму элементов структуры. Такая идеализация должна одновременно обеспечивать подобие моделируемым объектам, и быть достаточно простой для применения численных методов. Идеализация формулируется исходя из стереологических соображений в виде процедуры, которая позволяет получить геометрическую модель элемента структуры. При этом свойства геометрических моделей (например, их размеры, пропорции, форма) подчиняются тем же статистическим моделям, что и свойства реальных элементов структуры.
- Шаг 4: производится моделирование заполнения представительного объёма элементами структуры, созданными по процедуре, полученной на предыдущем шаге. При этом считается, что новый объект появляется над областью, ограничивающей представительный объём и перемещается в направлении представительного объёма под действием силы тяжести. Когда объект достигает ограничивающих плоскостей или других элементов структуры, он взаимодействует с ними, как абсолютно твёрдое тело. Моделирование продолжается до окончательного прекращения движения каждой из частиц. Результатом данного шага являются данные о расположении элементов структуры: координаты их геометрических центров и углы поворота. Существует много эквивалентных способов представления таких данных, однако наиболее удобным способом представления являются матрицы преобразований в однородных координатах, которые позволяют легко рассчитать положения точек внутри представительного объёма. Процесс моделирования в рамках данного этапа изображён на следующем слайде (Рисунок 1)

Моделирование передвижения частиц в поле сил тяжести

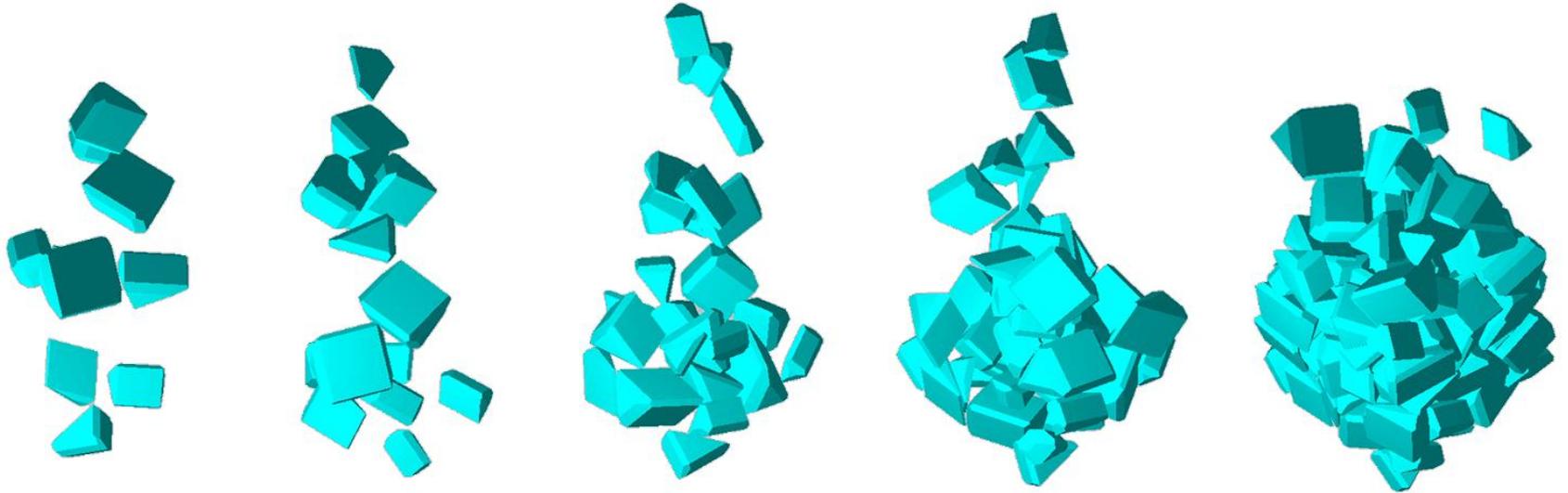


Рисунок 1

Практическое применение

- Предложенный метод был разработан для создания моделей композитов с частицами упрочнителя в виде призматических частиц и высокой объёмной долей таких частиц (Рисунок 2)
- Метод успешно применяется для моделирования представительных объёмов с гранулами, полученными спеканием (Рисунок 3).

Композит с уплотнителем в виде призматических частиц

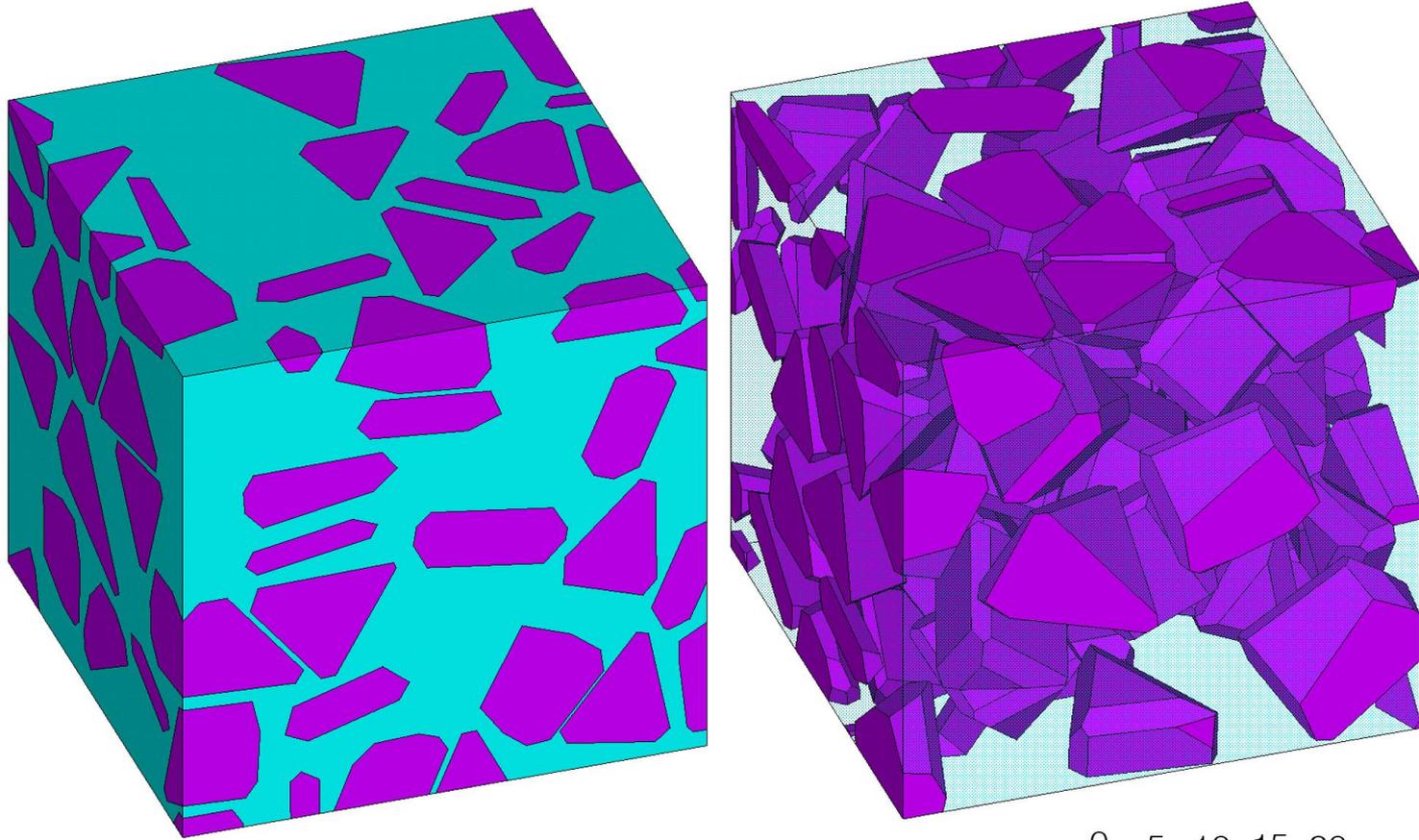
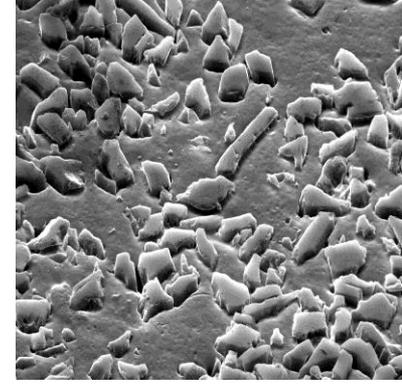


Рисунок 2



Композит с гранулированным металлом матрицы

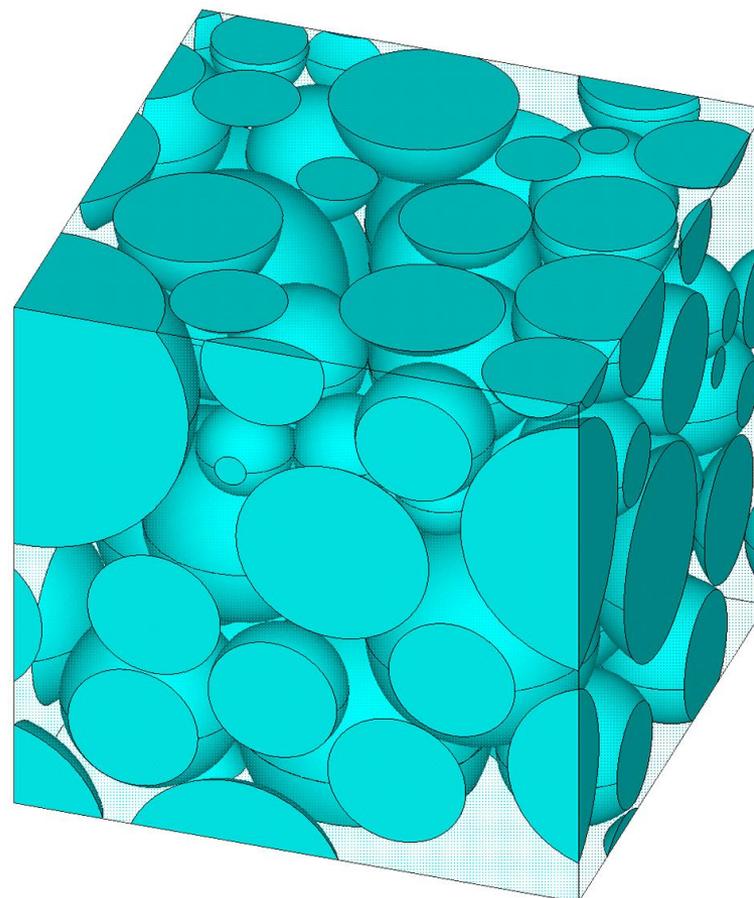
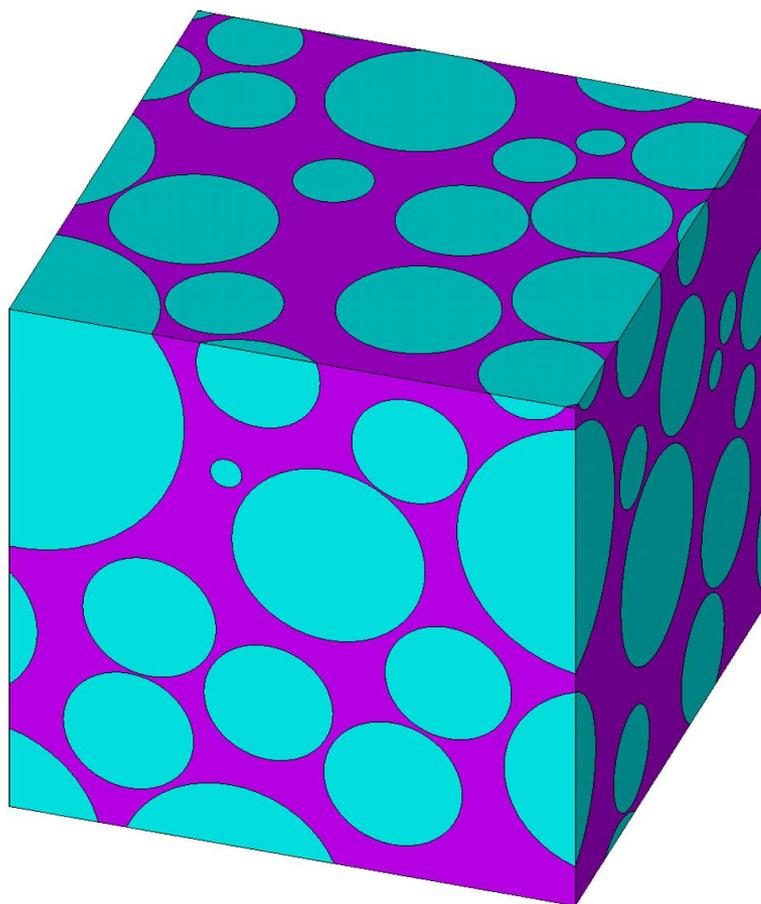
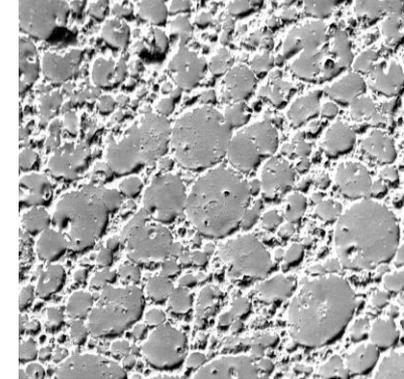


Рисунок 3

0 15 30 45 60
 10^{-6} m

Выводы

- Предложен новый метод создания геометрических моделей представительных объёмов композитных материалов. Метод основан на моделировании передвижения твёрдых тел в поле сил тяжести и позволяет получать представительные объёмы с большой объёмной долей элементов структуры. Возможно применение метода к представительным объёмам с различными элементами структуры сложной формы полученной из стереологических соображений. Метод позволяет получать модели автоматически, давая возможность производить значительное количество экспериментов с минимальным участием пользователя.
- В работе описано применение метода к моделированию геометрии представительных объёмов двух материалов: композита с упрочняющими частицами в виде призм неправильной формы и композита с гранулами металла.