

С.А. ЛУРЬЕ, П.А. БЕЛОВ, Ю.О. СОЛЯЕВ

*Институт прикладной механики РАН (Москва)*

## **ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ В МЕХАНИКЕ МАТЕРИАЛОВ**

Развивается градиентная модель межфазных взаимодействий в механике материалов. Исследуется вариант модели когезивно-адгезионных взаимодействий, которая наряду с когезией описывает и эффекты адгезии, как масштабные эффекты. Показано, что учет адгезии на границах включения-матрица дает существенные поправки при численном моделировании эффективных свойств композитов, армированных микро/нано-включениями. Приводятся примеры моделирования поверхностных эффектов (капиллярность, мениск).

В работе развивается континуальная модель сплошной среды, учитывающая масштабные эффекты когезионных и адгезионных взаимодействий [1-4]. Для построения математической модели привлекается кинематический вариационный принцип. Предполагается, что спектр внутренних взаимодействий полностью задаётся кинематическими связями, характерными для рассматриваемой среды, – кинематической моделью среды. Для сред с сохраняющимися дислокациями построена кинематическая модель и установлена система взаимодействий в объёме и на поверхности тела. Получена система определяющих соотношений, дана формулировка соответствующей краевой задачи. Модель описывает спектр масштабных эффектов, определяемых когезионными и адгезионными взаимодействиями. Отметим, что с точки зрения квантово-механического представления, когезионные взаимодействия определяются однотипными атомарными взаимодействиями, реализующимися внутри представительного объема. Напротив, адгезионные свойства поверхности следует связывать с взаимодействием существенно отличающихся друг от друга атомарных структур через поверхность контакта. Для адгезионных взаимодействий характерно существование переменного в направлении нормали к поверхности контакта равновесного межатомного расстояния в каждой из контактирующих сред.

Как частный случай, предложен вариант прикладной градиентной модели среды, который использовался для моделирования аномальных механических свойств дисперсно-армированных композитов с микро- и нановключениями. Показано, что модель даёт хорошее описание свойств

таких композитов фактически во всём диапазоне массовых содержаний и размеров включения (неклассических эффектов).

Специальное внимание уделяется моделированию адгезионных эффектов. Предложены варианты прикладных моделей адгезионных взаимодействий. Дается трактовка физических модулей, отвечающих за адгезию. Показано, что поверхностное натяжение, капиллярное давление моделируются в рамках предложенной континуальной модели адгезии. Исследуется влияние адгезионных параметров на свойства материалов, в частности на свойства композитов (матрица - волокно). Предполагается, что, адгезионные характеристики связаны с параметрами технологических процессов и позволяют оптимизировать условия получения композиционных материалов с заданными свойствами.

Для решения конкретных задач использовались модели различной сложности. Так, для анализа адгезионных свойств использовалась чисто адгезионная модель, когда в объёме тела потенциальная энергия соответствует классической теории упругости, а адгезионные параметры входят в выражение плотности энергии деформации на поверхности. При этом новые физические параметры, определяющие адгезионные свойства, отличаются по размерности от модулей упругости и описывают, таким образом, масштабные эффекты.

Дается численное решение задачи деформирования слоя в жестком канале, с учётом явлений поверхностного натяжения, смачиваемости. Моделируется дополнительное капиллярное давление (закон Паскаля), образование угла мениска. Дается численное моделирование влияния адгезии на распределение напряжений в окрестностях включений различной формы.

#### *Список литературы*

1. *Лурье С.А., Белов П.А.* Вариационная формулировка математических моделей сред с микроструктурами //Математическое моделирование систем и процессов, 2006, №14, Пермь, с. 114-132.
2. *Лурье С.А. Белов П.А.* Теория сред с сохраняющимися дислокациями. Частные случаи: среды Коссера и Аэро-Кувшинского, пористые среды, среды с "двойникованием" //Сборник трудов конференции "Современные проблемы механики гетерогенных сред", 2005, с. 235-268
3. *Lurie S., Belov P., Volkov-Bogorodsky D., Tuchkova N.,* Nanomechanical Modeling of the Nanostructures and Dispersed //Composites, Int. J. Comp Mater Sci, 28(3-4), (2003) 529-539.
4. *Lurie S., Belov P., Tuchkova N.* The Application of the multiscale models for description of the dispersed composites// Int. J. Comp Mater Sci, A., 36(2), (2005) 145-152.