

4. Проблемы компьютерного конструирования материалов с иерархической структурой

сплошных сред, дополненный алгоритмом восстановления узловой согласованности и обеспечения гарантированной точности аппроксимации.

Переход к вариационной постановке задачи позволил убрать трудности, связанные с реализацией граничных условий и необходимостью вычисления пространственных производных от напряжений на свободных поверхностях и границах контакта.

Проверка точности метода осуществлялась на решении тестовых задач и по выполнению законов сохранения и показала его высокую точность.

Предлагаемый метод был использован для расчета удара и пробития тонких стеклянных пластин мелкими метеоритными частицами. Поведение стекла описывалось двумя моделями: моделью идеального хрупкого материала и моделью Холмквиста-Джонсона-II. Использование модели Джонсона-Холмквиста-II обусловлено тем, что в рассматриваемом процессе происходит не только откольное разрушение хрупкого материала при выходе ударных волн на поверхность, но и разрушение сжатого материала на фронте ударной волны, при этом эффекты фрагментации выражены крайне слабо, хотя имеют место большие деформации.

В работе приводятся результаты численных расчетов, сравнение использованных моделей и их отличия, а также сравнение с некоторыми результатами других авторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-08-00092.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С НЕСКОЛЬКИМИ МАСШТАБНЫМИ УРОВНЯМИ

Черепанов Р.О.¹, Кректулева Р.А.², Черепанов О.И.³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия,

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия,

³Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия
rcherepanov82@gmail.com, rakrekt@mail.ru, oi_cherepanov@mail.ru

Многоуровневый подход рассматривает развитие пластической деформации во всей иерархии уровней: нано-, микро-, мезо- и макро. Характерные размеры объектов при этом могут изменяться на несколько порядков, что может вызвать существенные трудности при прямом численном моделировании многоуровневых иерархических структур.

В данной работе предлагается вычислительный подход, позволяющий в явном виде учесть несколько структурных уровней, характерные размеры которых могут отличаться на несколько порядков.

Основой метода являются вариационное уравнение теории пластичности, которое имеют вид:

$$\iiint_V (\sigma_{ij}^E + \Delta^* \sigma_{ij}) \delta(\Delta^* e_{ij}) dV^{(n)} - \iiint_V (\bar{P}_i + \Delta \bar{P}_i) \delta(\Delta u^i) dV^{(n)} - \iint_{S_\sigma} (\bar{R}_i + \Delta \bar{R}_i) \delta(\Delta u^i) dS^{(n)} = 0.$$

где $\bar{P}_i, \Delta \bar{P}_i, \bar{R}_i, \Delta \bar{R}_i$ - объемные и поверхностные силы; $\Delta u^i, \delta(\Delta u^i)$ - приращения перемещений и их вариации; $\Delta \sigma_{ij}^E + \Delta^* \sigma_{ij}, \Delta^* e_{ij}$ тензоры напряжений и деформаций.

Вариационное уравнение дополняется переходом от рассмотрения единого поля деформации к многоуровневой иерархической системе деформаций различных масштабов, накладывающихся друг на друга. Для построения такой системы используется вейвлет-преобразование Хаара, что позволяет в явном виде выделить несколько (на практике более 10) масштабных уровней деформации, при переходе между которыми характерные пространственные размеры изменяются в два раза. На основе такого подхода построен численный метод расчета упруго-пластических деформаций, позволяющий в явном виде моделировать структуры, у которых характерные размеры самых мелких и самых крупных элементов отличаются на 2-3 порядка.

Верификации модели проводилась на решении ряда тестовых задач.

Проведенные расчеты напряженно-деформированного состояния композитных материалов с многомасштабной структурой позволили рассмотреть взаимосвязи между вейвлет-спектрами пространственных распределений напряжений, деформаций и параметров материалов, а так же их связь с фрактальной размерностью. Проведены расчеты деформирования пеноматериалов и поликристаллов путем прямого моделирования пористой/зеренной структуры, определено влияние формы и распределения структурных элементов по размерам на максимальные касательные напряжения и особенности пластического течения в таких материалах. Во всех случаях неоднородность структуры учитывается явно. Так же в работе приводятся некоторые соображения к количественному определению понятия «структура» и «структурная неоднородность». Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-08-00092.

ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОМ УПРУГОМ ТЕЛЕ

Чертова Н.В.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
chertova@ispms.tsc.ru*

Свободные поверхности, определяющие границы тела при некоторых схемах внешнего нагружения и являющиеся характерной особенностью пористых материалов и сред при наличии трещин, оказывают существенное влияние на процессы деформации и разрушения [1]. В последние десятилетия актуальность изучения роли свободных поверхностей определяется интенсивными исследованиями и