МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД И НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ (27–29 ноября 2013 г.)

III Всероссийская молодёжная научная конференция

Под редакцией М.Ю. Орлова

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2014

СЕКЦИЯ 3

ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРИЛОЖЕНИЯХ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ИЗУЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЗОН НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ЕДИНИЧНОЙ ПОРЫ

Ю.А. Рикун

Работа посвящена исследованию проблемы прочности новых материалов. Исследуется влияние накопления повреждений на мезоуровне на макроскопическую прочность. Решение задачи получено для модельного пористого материала.

STUDY OF DAMAGE ACCUMULATION ZONES DEVELOPMENT IN THE SINGLE PORE VICINITY

Y.A. Rikun

This work is devoted to the problem of new material strength. The influence of damage accumulation on the macroscopic strength at the meso-level is investigated. The solution is obtained for the porous material model.

На протяжении многих веков стояла проблема о разрушении материала. В настоящее время при разработке новых материалов этот вопрос сохраняет актуальность. В частности эта проблема важна для пористых материалов, которые находят применение в медицине при изготовлении имплантатов. Пористые материалы можно рассматривать как частный случай композиционных или структурно-неоднородных материалов [1, 2]. На сегодняшний день возрастает интерес применения численного моделирования к таким материалам [3, 4].

В последние годы при изучении процессов разрушения сруктурно-неоднородных материалов активно развиваются многоуровневые подходы. При таких подходах рассматриваются разные уровни, одним из таких является мезоуровень моделирования свойств материала. Мезоуровень – это некоторый промежуточный масштаб, который значительно больше молекулярных размеров, но значительно меньше макроскопического масштаба соизмеримого с размером тела [5]. В работе исследовался процесс накопления повреждений на примере простейшей модели пористого материала на мезоуровне. Целью данной работы является изучение разрушения композита на этом уровне.

Задача решается в предположении существования плоского деформированного состояния в материале.

Рассматривается статическое нагружение и упругое поведение компонентов. Система уравнений, описывающих состояние материала, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad , \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0, \tag{1}$$

где *x, y* – координаты; σ_x, σ_y – нормальные напряжения; τ_{xy} – касательные напряжения.

Уравнения Коши: компоненты деформации:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \tag{2}$$

где u, v – перемещения по осям x и y соответственно; γ_{xy} – сдвиговая деформация; $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – деформации по осям x и y соответственно, будут функциями только x и y. Уравнения состояния:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1+\nu}{\mathrm{E}}\left[(1-\nu)\sigma_x - \nu\sigma_y\right] \\ \varepsilon_y &= \frac{1+\nu}{\mathrm{E}}\left[(1-\nu)\sigma_y - \nu\sigma_x\right] \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1+\nu)}{\mathrm{E}}\tau_{xy} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

где E – модуль Юнга; ν – характеристика материала [6].

Значения модуля упругости и коэффициента Пуассона для зон расчетной области, которые соответствовали матрице и поре были разными. При этом модули упругости и матрицы, и материала, заполняющего пору, уменьшались по мере накопления повреждений.

$$\mathrm{E}_k = \mathrm{E}_k^0(1 - \Pi_k), \tag{4}$$

где E^0 – модуль упругости в неповрежденном состоянии; E – величина модуля упругости поврежденного материала; Π – параметр повреждаемости, а k относится либо к матрице, либо к материалу, заполняющему пору. В качестве параметра повреждаемости для каждой компоненты используется отношение поврежденного объема компоненты к полному объему.

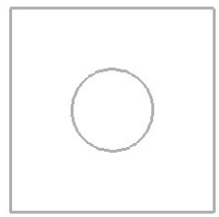

Рис. 1. Трансляционная ячейка

Модель материала представлена на рис. 1:

Отношение модулей упругости материалов матрицы и материала, заполняющего пору, было принято равным 25.

На рис. 2 (*а–в*) представлены результаты расчета полей повреждений в структурно-неоднородном материале:

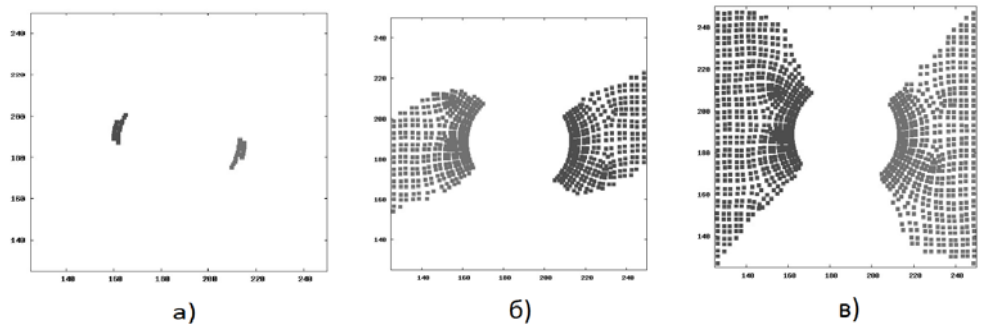

Рис. 2. Развитие кластеров повреждений

На рис. 2 (*а–в*) показано развитие кластеров повреждений в процессе возрастания продольной деформации объема. Зарождение кластера повреждений наблюдается в зонах концентрации напряжений, расположение которых соответствует решению задачи Кирша о распределении напряжений в окрестности единичного выреза в пластине при одноосном растяжении [7]. Распространение повреждений происходит от зон концентрации напряжений в направлении боковых поверхностей материала, а затем после достижения боковых границ кластеры повреждения растут вдоль этих границ по направлению верхней и нижней границам, кластер, который касается противоположных границ называется соединительным. Образование соединительного кластера можно считать признаком разрушения моделируемого объема [8].

В ходе проделанной работы были получены результаты, описывающие развитие зон накопления повреждений в окрестности единичной поры, а также определена конфигурация соединительного кластера повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сверхэластичные* имплантаты и конструкции из сплавов с памятью формы в стоматологии / М.З. Миргазизив [и др.]. М.: Quintessenz bibliothek, 1993. 231 с.

2. *Пористые* проницаемые сверхэластичные имплантанты в хирургии / Г.Ц. Дамбаев [и др.]. Томск: Изд-во ТПУ, 1996. 174 с.

3. *Колмакова Т.В.* Исследование влияния плотности губчатой составляющей модельного образца кости на его напряженно-деформированное состояние // Физ. мезомех. 2013. Т. 16. № 5. С. 67–72.

4. *Голотина Л.А., Кожевникова Л.Л.* Структурное моделирование механических свойств крупнозернистых композитов на полимерной основе // Механика композиционных материалов и конструкций. 2010. Т. 16. № 1. С. 55–63.

5. *Кондауров В.И.* Механика и термодинамика насыщенной пористой среды. М.: МФТИ, 2007. 309 с.

6. *Ван Цзи-Де*. Прикладная теория упругости: пер. с англ. И.Н. Землянских / под ред. А.С. Вольмира. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1959. 400 с.

7. *Партон В.З.* Механика разрушения: от теории к практике. М.: Наука, 1990. 240 с.

8. *Советова Ю.В., Сидоренко Ю.Н., Скрипняк В.А.* Многоуровневый подход к определению эффективных свойств композита с учетом повреждаемости // Физ. мезомех. 2013. Т. 16. № 5. С. 59В.А. 65.