

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Международная конференция  
по физической мезомеханике,  
компьютерному конструированию  
и разработке новых материалов**

5–9 сентября 2011 г.

Томск, Россия

Учреждение Российской академии наук  
Институт физики прочности и материаловедения  
Сибирского отделения РАН

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
по физической мезомеханике,  
компьютерному конструированию  
и разработке новых материалов  
5–9 сентября 2011 г.  
Томск, Россия

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Предложен механизм образования таких паполос и указанных выше дипольных и мультипольных субструктур наномасштабного уровня — движение нанодиполей частичных дисклинаций или дислокаций некристаллографического сдвига, контролируемое направленными потоками неравновесных (возникающих при пластической деформации) точечных дефектов в полях генерируемых нанодиполями высоких локальных градиентов нормальных компонент тензора напряжений. Проведен анализ основных физических факторов и условий реализации этого механизма.

При значениях истинной логарифмической деформации  $e > 6$  обнаружено образование мезополос деформации, представляющих собой пачки нанополос шириной от нескольких до нескольких десятков нанометров с дипольным характером разориентировок, которые распространяются в некристаллографических направлениях, формируя ярко выраженные вихревые структуры и многочисленные нанопоры. Сделано предположение, что эти особенности связаны с развитием коллективных эффектов в дисклинационной субструктуре, приводящих к групповому движению нанодиполей и квадрупольных частичных дисклинаций

Реализация указанных выше механизмов обеспечивает дополнительные возможности наноструктурирования дефектной субструктуры при пластической деформации металлических материалов с образованием структурных состояний с размерами нанокристаллов несколько нанометров и высокими локальными градиентами ориентации кристаллической решетки

## **Структура резонансов и локализация неупругих деформаций и повреждений в нагружаемых твердых телах и средах**

*Макаров П.В.*

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия  
Томский государственный университет, Томск, 634050, Россия,  
pvm@ispms.tsc.ru

Процессы локализации неупругих, в том числе и пластических деформаций, а также повреждений разных масштабов являются фундаментальными особенностями любых деформационных процессов. В результате во всех твердых телах и средах образуются иерархии масштабов локализованных деформаций и/или повреждений, что приводит, например в геосредах, к формированию в них блочных структур. Ранее нами было установлено общее правило — универсальный принцип фрактальной делимости твердых тел и сред. Согласно этому принципу, мини-

мальным масштабом является параметр решетки нагружаемой среды, а сами масштабы нарастают по правилу: каждый последующий масштаб есть сумма двух предшествующих. Этот процесс продолжается вплоть до гигантских размеров тектопических плит в тысячи километров в геосредах, формируя структуры блоков в земной коре [1, 2]. Все надежно установленные множеством экспериментов масштабы разрушения и локализованной деформации укладываются в это правило. Однако оставался неясным конкретный физический механизм сложения масштабов. В настоящей работе показано, что таким механизмом является структура резонансов, которая формируется в нагружаемых телах. Анализ структуры резонансов выполнен в рамках подходов Гамильтона и теории Колмогорова–Арнольда–Мозера (КАМ-теории). Оказалось, что в нагружаемом твердом теле, которое рассматривается как нелинейная динамическая система (в том числе описываемая системой нелинейных уравнений в частных производных механики деформируемых твердых тел), торы, отвечающие как за периодические движения (отношения последовательных частот  $\omega_{n+1}/\omega_n = m/s$ , где  $m$  и  $s$  — целые числа), так и за квазипериодические, когда отношения этих частот равно иррациональному числу, становятся неустойчивыми и разрушаются. Последним разрушается тор с отношением частот

$$\frac{\omega_{n+1}}{\omega_n} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = \frac{1}{\Phi}, \quad (1)$$

где  $\Phi = \lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1}/a_n)$  и  $a_{n+1} = a_{n-1} + a_n$ .

Согласно выводам КАМ-теории, процесс разрушения торов сопровождается рождением более мелких торов, и этот процесс продолжается, порождая самоподобное распределение эллиптических и гиперболических неподвижных точек в сечении Пуанкаре, которому соответствует набор наиболее устойчивых резонансов с частотами, распределенными по правилу (1). Другими словами, процессы накопления деформации и повреждения локализуются в областях сформировавшейся пространственной сетки наиболее устойчивых резонансов, отвечающих этому правилу. Отобранные нагружаемой средой из непрерывного спектра внешних воздействий устойчивые резонансные частоты формируют в среде иерархию масштабов  $L_n = C/\omega_n$  ( $C$  — скорость распространения в среде возмущений), которые согласно (1) будут подчиняться правилу

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{\omega_n}{\omega_{n+1}} = \Phi. \quad (2)$$

Этот результат полностью соответствует установленному универсальному принципу фрактальной делимости нагружаемых твердых тел [1, 2].

Таким образом, в любой нелинейной среде, возбужденной внешними воздействиями, протекающие в ней процессы будут локализованы в областях, отвечающих сформированной в среде устойчивой структуре резонансов (1), (2). Минимальный масштаб есть характерное межатомное расстояние — параметр решетки.

### Литература

1. Макаров П.В. Эволюционная природа блочной организации геоматериалов и геосред. Универсальный критерий фрактальной делимости // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 7. – С. 724–746.
2. Макаров П.В. Математическая теория эволюции нагружаемых твердых тел и сред // Физ мезомех. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 19–35.

## Моделирование нелинейной диффузии (теплопроводности) в сплошных и фрактальных средах

*Мержиевский Л.А., Корчагина А.Н.*

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,  
Новосибирск, 630090, Россия, mcrzh@hydro.nsc.ru

Процессы деформирования и разрушения материалов, как и целый ряд других физических явлений, протекающих на различных структурных уровнях, имеют явно выраженный нелинейный характер. Протекание таких явлений связано с образованием диссипативных структур, эффектами самоорганизации, что требует для их описания построения и использования нелинейных моделей деформирования. Основными модельными уравнениями для описания нелинейных и синергетических процессов являются нелинейное уравнение диффузии (теплопроводности), уравнение Гинзбурга-Ландау и некоторые другие. Решение конкретных задач для этих уравнений, а тем более уравнений и систем уравнений, описывающих более сложные процессы деформирования и разрушения, возможно, в основном, только с использованием численных методов.

Анализ структуры материалов и процессов необратимого деформирования на мезоуровне показывает, что топологически рассматриваемое пространство имеет нецелочисленную размерность, т.е. является фрактальным. Это обстоятельство требует привлечения для адекватного описания математического аппарата дробного дифференцирования и интегрирования.

В данной работе численно решается ряд модельных задач, в которых проявляются нелинейные эффекты. Рассмотрены задачи для нелинейного параболического уравнения с обостряющими граничными условиями, в том числе с ранее не рассматривавшимися. В частности, явление локализации пластической деформации можно рассматривать как классический режим с обострением. Впервые выписаны нелинейные параболическое и ги-