

01;05

Моделирование кинетики пластической деформации поликристаллов марковскими цепями

© В.В. Осташев, О.Д. Шевченко

Псковский политехнический институт

Поступило в Редакцию 23 января 1998 г.

С помощью дискретных цепей Маркова кинетика микропластических деформаций в поликристаллической меди представлена как многоуровневый иерархический процесс. Определен количественный вклад каждого структурного уровня в среднюю деформацию.

Данная работа развивает представления о процессах деформации поликристаллов в статистической многоуровневой интерпретации. Исследуемый деформируемый материал (медь МО) рассматривается как многоуровневая иерархическая система [1]. Задача исследования заключается в следующем:

— определение границ интервалов работы материала на анализируемом структурном уровне;

— определение количественного вклада каждого структурного уровня в среднюю деформацию;

— корреляция между статистической и физической моделью.

В соответствии с методикой работы [2] микропластические деформации на длине X (трансляционные ε_{xx} , γ_{xy} и поворотные ω_z) могут быть описаны в зависимости от средней макроскопической деформации образца e_j некоторыми случайными функциями $f_{i,j}(x/e_j)$; $i = 1, 2, 3$ и рассмотрены на трех структурных уровнях:

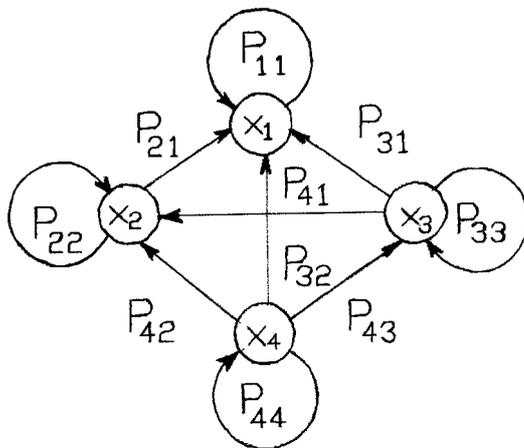
$i = 2$ — кооперативные процессы на уровне ансамбля зерен;

$i = 3$ — межзеренные пластические деформации;

$i = 4$ — внутризеренные пластические деформации.

Индексом 1 обозначен структурный уровень, связанный с развитием средней макроскопической деформации образца в целом.

Идея описания кинетики пластических деформаций в терминах марковских процессов основана на представлении о статистической



Сигнальный граф состояний деформируемого поликристаллического материала.

независимости приращений микропластических деформаций на каждом структурном уровне. Исследование автокорреляционных функций для ε_{xx} , γ_{xy} , ω_z подтверждает в разной степени условие марковости процесса [2].

В соответствии с классификацией марковских цепей состояние материала на уровне 1 может быть определено как поглощающее, на уровнях 2, 3, 4 — невозвратное [3]. Работа материала в процессе деформации может быть описана марковской цепью с четырьмя состояниями и представлена сигнальным графом состояний (см. рисунок).

Переходная матрица для модели из четырех состояний:

$$\mathbf{P} = \left(\begin{array}{c|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline - & - & - & - \\ P_{21} & P_{22} & 0 & 0 \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & 0 \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{array} \right)$$

$P_{11} = 1$, $P_{12} = P_{13} = P_{14} = 0$, $P_{23} = P_{24} = P_{34} = 0$ по определению невозвратного и поглощающего состояния [3].

Значение деформации	Матрица N			Σ_i
0.073	1.154	0	0	1.154
	0.588	1.063	0	1.651
	0.425	0.049	1.01	1.475
0.054	1.266	0	0	1.266
	0.202	1.016	0	1.218
	0.466	0.113	1.016	1.595

Переходную матрицу представим в канонической форме

$$P = \begin{pmatrix} I & 0 \\ R & Q \end{pmatrix}$$

Подматрица Q описывает поведение материала в множестве невозвратных состояний. Подматрица R включает в себя только элементы, характеризующие переход из невозвратных состояний в поглощающее. Характер изменения элементов подматрицы Q в зависимости от условий факторного эксперимента непосредственно позволяет определить характеристики поглощающей цепи через фундаментальную матрицу [3].

$$N = (I - Q)^{-1}.$$

Каждый элемент фундаментальной матрицы означает среднее число попадания процесса в данное невозвратное состояние, а сумма значений по строкам характеризует весовой вклад каждого из уровней в среднюю деформацию материала. В таблице представлен пример расчета фундаментальных матриц для образца с максимальной пластичностью по ротационной и сдвиговой составляющей.

Для всех образцов, особенно на стадии больших деформаций, характерно появление отдельных аномалий при расчете вклада масштабных уровней в макроскопическую деформацию. Коэффициент, обозначаемый знаком Σ_i , можно рассматривать как интенсивность включения физических механизмов пластической деформации по соответствующим модам на разных масштабных уровнях. Сравнивая, например, коэффициенты $1.266 > 1.218$ для поворотных мод, можно сказать, что в работу включается ротационный механизм на уровне группы зерен, что хорошо

согласуется с исследованиями по сверхпластичности [4], где показано, что одним из механизмов сверхпластичности является схема перемещения несмежных зерен. Неравенство коэффициентов $1.651 > 1.475$ для сдвиговых деформаций говорит о преимущественном развитии некристаллографического скольжения, охватывающего несколько зерен.

Список литературы

- [1] Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск: Наука, 1990. 255 с.
- [2] Осташев В.В., Шевченко О.Д. // XXXII семинар "Актуальные проблемы прочности". Тез. докл. С.-Петербург, 1996. С. 35–36.
- [3] Коменг Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 346 с.
- [4] Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М.: Металлургия, 1975. 279 с.