

## РЕЗОНАНСНО-ПОИСКОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ

В.В.Осташев,  
А.И.Самаркин,  
О.Д.Шевченко  
Псковский политехнический  
институт

Традиционное описание пластической деформации поликристаллов проводится в рамках теории дислокаций и механики сплошной среды. В основе рассмотрения лежит схема Тейлора, которая позволяет действием пяти систем скольжения в материале обеспечить любое его формоизменение без нарушения сплошности. Как правило, реальное число действующих систем меньше пяти, а во многих случаях скольжение идет по одной системе, т.е. по схеме Закса, а условие сохранения сплошности при этом выполняется за счет появления поворотных мод деформации.

Данная работа выполнена в терминах синергетического подхода и развивает представление о процессе пластической деформации в многоуровневой волновой интерпретации [1].

Синергетический, или релаксационный, подход рассматривает деформируемое тело как открытую сильноравновесную систему, а пластическое течение как диссипативный процесс, снижающий уровень упругих напряжений в кристалле. Релаксация напряжений может происходить на различных структурных уровнях, начиная с атомного и кончая макроскопическим, охватывающим весь объект. В простейшем случае иерархия уровней может быть представлена в следующем виде: образец-машина, зерна, фрагменты зерен, включения второй фазы, блоки, ячейки, двойники, дислокации, точечные дефекты.

Идея систематизации такова: каждый структурный уровень испытывает макродеформацию по отношению к нижестоящему уровню и микродеформацию - к вышестоящему. Исчерпание какого-либо из этих каналов приводит к исключению соответствующего структурного уровня и кардинальному изменению характера процесса пластической деформации.

Пластическая деформация и разрушение являются по своей физической природе локальными процессами, и эта локализация пластической деформации и разрушения имеет свои специфические особенности на каждом структурном уровне. На микроуровне - уровне дефектов структуры (вакансий, дислокаций и т.д.) - развиваются свои процессы накопления повреждений, обусловленные перераспределением дефектов и увеличением их плотности. Поля внутренних напряжений и концентраторы напряжений на разных структурных уровнях также существенно различны и имеют разную физическую природу. На микроуров-

не это могут быть внедренные атомы, атомы замещения, дислокационные петли. На мезоуровне это стыки зерен, сегрегации на границе фрагментов, включения.

Микроскопический механизм волнового характера пластического течения связан с эстафетным вовлечением в деформацию аккомодационного множественного скольжения и осуществляется на границах структурного элемента деформации за счет взаимодействия упругого поля по трем схемам:

а) отраженное от встречной границы множественное скольжение, осуществляемое потоками дефектов того же знака, что и для первичного скольжения;

б) индуцированное по исходной границе множественное скольжение, осуществляемое потоками дефектов противоположного знака;

в) отраженное от встречной границе раздела перичное скольжение (без изменения плоскостей скольжения), осуществляемое потоками дефектов того же знака.

Иерархия структурных уровней деформации имеет место при всех условиях нагружения, но характер аккомодационных механизмов закономерно меняется от процессов кристаллографической природы при малых деформациях до процессов некристаллографического характера при больших. Последующая эволюция всей иерархической системы структурных уровней деформации формирует последовательное развитие повреждений вплоть до макротрещины.

В данной работе поликристаллический материал рассматривается как многоуровневая иерархическая система, а явление деформации и разрушения анализируется на нескольких структурных уровнях: внутрзеренная пластическая деформация, межзеренная пластическая деформация, деформация в объемах, превышающих размер зерна.

Целью работы являлось экспериментальное обнаружение волн пластических сдвигов и поворотов, распространяющихся вдоль образца и представляющих волновой релаксационный процесс. На плоских поликристаллических образцах из меди МО, алюминия АВО, технически чистого титана ВТ 1-0, стали ферритной 1211 с рабочей длиной 20, 40, 60, 80 мм, величиной зерна от 40 до 300 мкм методом делительных сеток с ячейкой 20 мкм определялись составляющие тензора деформации

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du}{dx}; \varepsilon_{yy} = \frac{dv}{dy}; \varepsilon_{zz} = \frac{dw}{dz}; \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right) \text{ и поворот } \omega_z = \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dy} - \frac{dv}{dx} \right); \text{ при}$$

растяжении со скоростями  $1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-3} \text{ сек}^{-1}$ . Составляющая  $\varepsilon_{zz}$  определялась с помощью интерферометра Линника.

Проведенный, по существу, многофакторный эксперимент позволил исследовать кинетику развития пластических деформаций в различных по кристаллографической природе материалах и определить влияние и связь внешних и внутренних параметров: величины зерна, скорости нагружения, размера исследуемого структурного элемента деформации,

масштабного фактора, жесткости испытательной машины.

При анализе экспериментальных данных применялись резонансно-поисковые методы. Задача заключается в том, чтобы при исследовании каждой составляющей тензора деформаций и дисторсии выделить такую скрытую гармонику, которая была бы инвариантна по отношению ко всем изменениям при деформировании, но параметры ее (амплитуда, частота, фаза) были бы характеристикой волнового процесса.

Процессы пластической деформации мы относим к классу относительно-периодических, удовлетворяющих общему определению [2].

$$\left| f_j[x + T(x)] - f_i(x) \right| \leq \varepsilon (\varepsilon > 0) \quad (1)$$

в целом, содержат ряд колебательных составляющих  $Y_i(x)$  вида (1), завуалированных нерегулярными возмущениями с разнообразными законами распределения, и могут быть представлены как

$$H(x) = \sum_{i=1}^n Y_i(x) + R(x). \quad (2)$$

Задача, таким образом, заключается в обнаружении скрытых относительно-периодических составляющих в процессах вида (2), количественном определении их параметров (периодов  $T$ , амплитуд  $C$ , фаз  $\Phi$ ) и слежении за ними в процессе эксперимента.

Резонансные методы основаны на формировании такой функции  $\Phi(p, x)$  и такого оператора

$$I = \int_0^L H(P_x, x) \Phi(P, x) dx = \int_0^L \sum_{i=1}^n Y_i(P_x, x) \Phi(P, x) dx + \int_0^L \Phi(P, x) R(x) dx,$$

в котором один из членов суммы при приближении  $P \rightarrow P_x$  и с увеличением  $x$  от 0 до  $L$  возрастает намного быстрее остальных. В этом случае функции  $Y(P_x, x)$  и  $\Phi(P, x)$  являются взаимодетектирующими.

По своей функциональной структуре резонансно-поисковые вычислительные методы состоят из трех основных этапов:

1) организация такой резонансной процедуры, которая позволяет при совпадении пробного параметра с искомым параметром скрытой колебательной составляющей определить этот параметр на основании взаимодетектирующих свойств функции;

2) организация поиска основной гармоники процесса;

3) многофакторный анализ для выявления связей между скрытыми колебательными процессами.

Для обнаружения скрытого колебания используются детектирующие свойства гармонических функций, основанные на резонансных свойствах интегралов Стокса

$$M(\omega) = \int_0^L Y(x) \sin \omega x \, dx; N(\omega) = \int_0^L Y(x) \cos \omega x \, dx. \quad (3)$$

Определенные интегралы  $M$  и  $N$  используются для формирования такой функции

$$V(\omega) = f[M(\omega) \cdot N(\omega)],$$

которая при изменении пробных частот или периодов резко изменяет свое поведение при приближении пробного периода к искомому. Периодограмма строится в виде функции

$$V^2(\omega) = M^2(\omega) + N^2(\omega). \quad (4)$$

В частности, для гармонического колебания вида

$$Y_i(x) = A_x \cos \omega_x x + B \sin \omega_x x = C_x \sin(\omega_x x + \phi)$$

периодограмма имеет вид

$$V^2[\omega_x - \omega] = \frac{2[1 - \cos(\omega_x - \omega)L]}{[(\omega_x - \omega)L]^2} \cdot \frac{C_x^2 L^2}{4}. \quad (5)$$

График функции  $V^2(\omega)$  (5) имеет максимум, равный единице при  $\omega \rightarrow \omega_x$ , и быстро затухает при  $\omega \neq \omega_x$ , что является основой анализа. В общем случае резонансную процедуру обнаружения скрытого колебательного процесса и определения ее параметров необходимо построить следующим образом:

1. Для заданного диапазона - "окна" пробных частот (периодов) от  $\omega_{\min}$  до  $\omega_{\max}$  с некоторым шагом  $h$  вычисляется и строится периодограмма (4).

2. Определяется положение главных максимумов периодограммы.

3. В узких диапазонах внутри "окна" около главных максимумов проводятся проверочная и уточняющая процедуры.

Результаты исследования показывают, что изменения коротковолновых составляющих  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{xy}$ ,  $\omega_z$  в диапазоне длин волн  $0,1 \div 0,35$  мм отражает кинематические условия испытания, так как наиболее чувствительны к скорости деформации и жесткости испытательной машины при всех размерах зерна для материалов с ГЦК решеткой.

Волновая природа пластической деформации определяется амплитудно-фазовой зависимостью между  $\varepsilon_{xy}$  и  $\omega_z$ , которая существенно различается при вовлечении аккомодационного скольжения для трех рассмотренных выше схем. Для меди, например, определено:

Схема а. Аккомодационное скольжение меняет знак  $\varepsilon_{xy}$  синфазно изменению знака  $\omega_z$  для образцов с величиной  $310$  мкм с незначимым, по

условиям факторного эксперимента, влиянием масштабного фактора и скорости нагружения.

Схема б. При развитии множественного скольжения частота  $\omega_z$  в 1,6-2,1 раза больше, чем самые длинноволновые смещения  $\varepsilon_{xy}$ . Характерна для скоростей деформации  $5 \cdot 10^{-3} \text{ сек}^{-1}$  и более и размера зерна  $80 \div 150 \text{ мкм}$ .

Схема в. Отражает осцилляцию в пределах одной системы скольжения. Характерна для мелкокристаллических образцов с размером зерна 30 мкм.

В общем случае осуществляется сложная зависимость между волной сдвига  $\varepsilon_{xy}$  и поворотной модой деформации, так как возникает суперпозиция схем вовлечения множественного скольжения. При больших степенях деформация всегда приближалась к величине  $4,8 \div 5,2 \text{ мм}$ , что сравнимо с поперечным размером образца.

В заключение отмечаем, что результаты анализа кинетики развития пластических деформаций резонансным методом в большой степени совпадают с экспериментальным исследованием методом двухэкспозиционной спекл-интерферометрии [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. - Новосибирск: Наука, 1985. - 229 с.
2. Бор Г. Почти периодические функции. - ГТТИ, 1934.
3. Фролов К.В., Панин В.Е., Зеув А.Б. и др. Релаксационные волны при пластической деформации // Изв. вузов. Физика. - 1990. - №2-№19.

### ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛОТЕН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ

С.В.Семеновко,  
А.А.Ляшко  
Белгородская коммерческая  
академия потребительский  
кооперации

Процесс пропитки волокнистых полотен является одним из основных в ряде производств, в том числе и в технологии синтетических кож. Проведение этого процесса определяет весь комплекс физико-механических свойств получаемых материалов, их надежность в последующей эксплуатации. Исследованию процесса пропитки посвящено значительное число работ [1 - 5], в которых изучены некоторые его закономерности, например, влияние вязкости пропиточной композиции, по-