

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГЦК МОНОКРИСТАЛЛОВ

Л.Б.Зуев, В.И.Данилов, Н.В.Карташова

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634048 Томск, Россия*

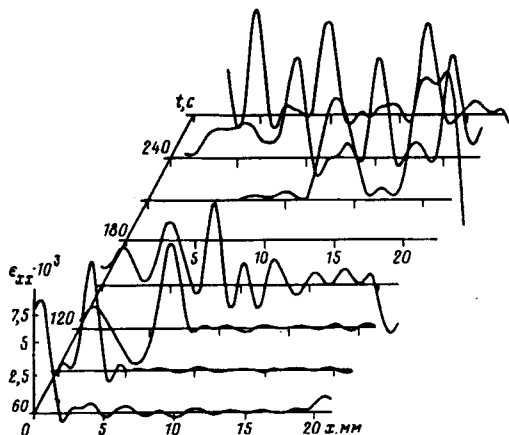
Поступила в редакцию 24 августа 1994 г.

С помощью метода спекл-интерферометрии получены принципиально новые сведения о характере пластической деформации гранецентрированных кубических (ГЦК) монокристаллов. Показано, что стадийность кривой пластического течения связана с различным характером распространения фронтов пластичности вдоль оси растяжения на каждой стадии течения. Прослежена эволюция локальных удлинений при деформировании монокристаллов.

Описание процессов пластической деформации в кристаллических твердых телах базируется на сведениях, получаемых из анализа формы кривой течения и исследования дефектной структуры методами оптической и электронной микроскопии [1]. Известны затруднения, которые обычно возникают при попытке построения достаточно строгого описания процесса пластического течения даже для простейших ситуаций и не позволяют убедительно согласовать данные, получаемые с помощью традиционных методов исследования. Такие сложности проявились уже в первых работах с использованием теории дислокаций, например при объяснении динамики пластического течения ГЦК монокристаллов [2], имеющих трехстадийную кривую течения с резко различающимися на каждой стадии значениями коэффициента деформационного упрочнения $\Theta = d\sigma/d\epsilon$.

В настоящей работе излагаются новые результаты, полученные при исследовании пластической деформации ГЦК монокристаллов с помощью метода спекл-интерферометрии [3] и указывающие на существование особенностей процесса, ранее не принимаемых во внимание. Применение этого метода к исследованию процессов пластической деформации описано и проанализировано в [1]. Здесь укажем только, что с его помощью могут быть измерены векторы смещений в любой точке плоской поверхности при нагружении и с ошибкой $\leq 10^{-4}$ вычислены компоненты тензора деформации и поворота; анализ этих данных позволяет существенно расширить представления о кинетике процесса пластического деформирования [4,5]. В качестве объекта исследования использовались выращенные по методу Бриджмена монокристаллы сплава $\text{Cu}+10\%\text{Ni}+6\%\text{Sn}$, которые имеют трехстадийную кривую течения, полностью аналогичную кривой для монокристаллов [2], но с более высоким пределом текучести, что облегчает манипуляции с образцами и улучшает воспроизводимость результатов. Образцы с размером рабочей части $25 \times 5 \times 1$ мм, вырезанные электроискровым способом, имели ось растяжения с ориентацией [111] и действующую систему скольжения (111) [101]. Растяжение производилось со скоростью $6,7 \cdot 10^{-5} \text{с}^{-1}$.

Данные, полученные в описанных экспериментальных условиях, приведены на рисунке, на котором показано распределение компоненты продольной деформации ϵ_{xx} вдоль оси образца при его растяжении на стадиях легкого



Эволюция ϵ_{xx} при деформации монокристалла

скольжения и линейного упрочнения. Поведение других компонент тензора дисторсии имеет аналогичный вид. Главное состоит в том, что картины для этих двух стадий значительно различаются. На стадии легкого скольжения (нижняя часть рисунка) вдоль оси распространяется уединенный очаг пластического течения с размером $\sim 6...8$ мм. Скорость его движения $(6,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$ м/с. Перед его фронтом и за ним материал не деформируется. Когда такой очаг деформации пройдет по всей длине образца, стадия легкого скольжения заканчивается, что легко может быть зарегистрировано по изменению коэффициента деформационного упрочнения.

Картина, наблюдаемая на стадии линейного упрочнения, где Θ примерно в 30 раз выше, характерна тем, что в этом случае вдоль оси один за другим движутся очаги пластического течения со скоростью $(7,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$ м/с (см. рисунок), разделенные интервалом ~ 8 мм. Сравнивая характер движения очагов пластического течения для каждой из рассматриваемых стадий, следует обратить внимание еще на две важные подробности: во-первых, направления движения очагов оказываются противоположными – от неподвижного захвата испытательной машины к подвижному на стадии легкого скольжения, и от подвижного к неподвижному на стадии деформационного упрочнения. Во-вторых, корреляционный анализ [6] показывает, что различие приведенных выше значений скоростей распространения статистически значимо.

Процесс перехода от одного этапа течения к другому осуществляется через стадию хаотического распределения величины ϵ_{xx} вдоль оси растяжения, что также хорошо видно на рисунке. Окончание стадии линейного упрочнения и переход к параболической, когда Θ по мере роста деформации падает [2], вновь сопровождается возникновением хаотического распределения ϵ_{xx} , из которого в дальнейшем формируются неподвижные зоны локализации деформации. Аналогичные данные были получены нами и при исследовании деформации монокристаллических образцов Cu, также ориентированных для легкого скольжения.

Таким образом, установлено, что в зоне пластического течения ГЦК монокристаллов возникает пространственно-временная периодичность в распределениях компонент тензора пластической дисторсии. Отмеченные ранее в других материалах [1,4,5] подобные закономерности дали основания говорить об автоволновом характере пластической деформации.

В настоящее время кажется преждевременным высказывать какие-либо определенные суждения о природе наблюдаемых явлений. Тем не менее, представляется оправданной тесная аналогия с явлениями, реализующимися в открытых, далеких от равновесия системах. Деформируемая среда относится к этому классу, поскольку в образец от нагружающего устройства непрерывно поступает энергия, а в самом материале происходит рождение дефектов, существенно меняющих его свойства. Известно, что в системах такого типа возможно рождение диссипативных структур [7], в частности, в форме автоволновых процессов [8]. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в экспериментальных и теоретических исследованиях довольно глубоко изученных химических и биологических систем [8] обнаруживаются структуры, аналогичные наблюдаемым при пластическом течении.

Конкретный вид возникающих автоволн зависит от характера взаимодействия между дислокационными сдвигами в деформируемой среде. Известно [2], что упрочнение на стадии легкого скольжения определяется дислокационным взаимодействием внутри плоского скопления, а на стадии линейного упрочнения такие скопления начинают взаимодействовать друг с другом. С этим, видимо, связано различие пространственно-временных распределений компонент тензора пластической дисторсии, наблюдаемое в экспериментах.

Очевидно, что обнаруженные закономерности пластического течения могут играть важную роль при деформации и не должны игнорироваться при ее описании и построении любых вариантов теории пластичности.

-
1. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Под ред. В.Е.Панина. Новосибирск: Наука, 1990.
 2. А.Зегер. В сб. "Дислокации и механические свойства кристаллов". Пер. с англ. М.: ИИЛ, с.179, 1960 (A.Seeger, in *Dislocations and Mechanical Properties of Crystals*. N.-Y.: p.243, 1957).
 3. Ч.Вест. Голографическая интерферометрия. Пер. с англ. М.: Мир, 1982 (C.Vest. *Holographic Interferometry*. N.-Y.: J. Wiley, 1979).
 4. В.Е.Панин, Л.Б.Зуев, В.И.Данилов, Докл. АН СССР **308**, 1375 (1989).
 5. Л.Б.Зуев, В.Е.Панин, Н.М.Мних, ДАН СССР **317**, 1386 (1991).
 6. Д.Худсон. Статистика для физиков. Пер. с англ. М.: Мир, 1967 (D.Hudson. *Statistics*. CERN. Geneva, 1964).
 7. Г.Николис, И.Пригожин. Самоорганизация в неравновесных системах. Пер. с англ. М.: Мир, 1979 (G.Nicolis, I.Prigogine. *Self-organisation in Nonequilibrium Systems*. N.-Y.: J. Wiley, 1977).
 8. В.А.Васильев, Ю.М.Романовский, В.Г.Яхно. Автоволновые процессы. М.: Наука, 1987.