

величины. В то же время, динамическая вязкость разрушения кремния скачкообразно возрастает с ростом скорости деформирования как в макро-, так и наношкале. Это дает основание полагать, что наблюдаемое резкое блокирование трещинообразования в условиях локального высокоскоростного деформирования обусловлено тем, что пластическое течение в этих условиях происходит за счет генерирования и перемещения не дислокаций, а точечных дефектов.

Таким образом, представленные результаты показывают, что нестабильная деформация в субмикророботах твердых тел действительно может иметь различную природу в зависимости от рода материала, размеров зоны деформирования и условий нагружения. Высокое временное и пространственное разрешение динамических наноиндентометров позволяет исследовать

кинетику и динамику таких важнейших для формирования механических свойств элементарных актов, как образования и роста зародышей новой фазы в области высокого давления и момента появления микротрещин. Установленные закономерности поведения материалов в наношкале открывают перспективы улучшения служебных свойств тонких покрытий, субмикророботов материалов, наномашин и т. п., а также совершенствования технологических процессов, связанных с тонкой механической обработкой, помолотом и спеканием.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 04-02-17198 и Министерства образования и науки РФ, грант № Е02-3.4-263.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО АМОРФНОГО СПЛАВА $Zr_{46,8}Ti_8Cu_{7,5}Ni_{10}Be_{27,5}$ ПРИ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ

© А.И. Тюрин, В.И. Иволгин, С.В. Потапов, В.З. Бенгус, Е.В. Табачникова

Исследование пластической деформации объемных аморфных металлических сплавов в микро- и нанообъемах может быть осуществлено методами динамического наноиндентирования. Поэтому цель настоящей работы заключалась в определении кинетики пластической деформации при наноиндентировании, выявления областей устойчивого (монотонного) и неустойчивого (скачкообразного) пластического течения объемного аморфного сплава $Zr_{46,8}Ti_8Cu_{7,5}Ni_{10}Be_{27,5}$ в условиях локального деформирования с различной скоростью и на разную глубину, а также выяснения параметров и роли скачков в суммарном массопереносе материала из-под индентора.

Исследования проводили при комнатной температуре на специально разработанном динамическом наноиндентометре, имеющем разрешение по перемещению (до 1 нм), по силе (до 0,4 мН) и по времени (до 50 мкс). В качестве индентора была использована стандартная пирамида Берковича.

Нагружение осуществляли треугольным импульсом силы с амплитудой до 80 мН и длительностью от 20 мс до 500 с и синхронно регистрировали зависимости $P(t)$ и $h(t)$ или $P(h)$. В описанных условиях испытаний максимальная глубина отпечатка в исследуемом

сплаве составляла 800–900 нм, а трещины, которые могут быть обнаружены в оптическом микроскопе, отсутствовали.

Анализ полученных данных позволил выявить скачкообразные моды пластического течения в аморфном сплаве $Zr_{46,8}Ti_8Cu_{7,5}Ni_{10}Be_{27,5}$, и показал, что скачки деформации могут возникать как в фазе роста усилия вдавливания, так и в процессе разгрузки, но не во всей исследованной области параметров нагружения. При этом число скачков в одном цикле индентирования, при заданном значении амплитуды действующей силы $P = 80$ мН, составляет порядка 5–7 штук и практически не зависит от $\dot{\epsilon}$ в диапазоне от 0,02 до 20 с⁻¹. Кроме того, определены основные характеристики скачков: их амплитуда, количество, доля в массопереносе из-под индентора и область появления скачков на диаграмме $P(h)$, а также установлены границы области существования скачкообразной моды течения при наноиндентировании в фазовом пространстве $h - \dot{\epsilon}$.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-02-17198 и Министерства образования РФ, грант в области естественных наук (шифр Е02-3.4-263).