

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОМЕХАНИЗМОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В НАНООБЪЕМАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ЛОКАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Головин Ю. И., Тюряев А. И., Бойцов Э. А., Хлебников В. В.

Тамбовский государственный университет, г. Тамбов, Россия

golovin@tsu.tmb.ru

Исследования механических свойств и микромеханизмов пластической деформации различных материалов на уровне отдельных элементарных событий в одном микро- или наноконтакте при действии высоких локальных напряжений становятся все более актуальными. Это обусловлено разработкой и созданием интегрированных микроэлектромеханических систем и интеллектуальных микророботов, систем записи, хранения и считывания информации на механических носителях путем нанесения уколов атомарно острыми иглами, зондовой силовой микроскопией и другими потребностями нанотехнологии. Кроме того, многие практически важные случаи получения и механической обработки материалов, изготовления из них различных изделий и их дальнейшая эксплуатация (микро- и наноконтактное взаимодействие при сухом трении, механическая шлифовка и полировка, абразивный и эрозионный износ, соударение микро- и наночастиц между собой и с поверхностью твердых тел, тонкий помол и т.д.) подразумевают значительную локальную упруго-пластическую деформацию в субмикронных областях в условиях высоких скоростей относительной деформации (более 10^2 с^{-1}).

Смоделировать и исследовать процесс локальной деформации при высоких локальных напряжениях позволяет методика динамического наноиндентирования. Поэтому цель работы заключалась в исследовании кинетики формирования отпечатка, определении кинетических и активационных параметров, установлении типа структурных дефектов и доминирующих микромеханизмов пластической деформации материала под индентором при различных видах динамического наноиндентирования.

Исследования осуществляли алмазной пирамидой Берковича при комнатной температуре на ионных и ковалентных кристаллах (LiF, Si), керамике (ZrO_2) и полимере (ПММА) в диапазоне нагрузок до 100 мН и скоростей относительной деформации от 0,01 до 100 с^{-1} , на специально разработанной установке, имеющей высокое пространственное (до 1 нм) и временное (до 100 мкс) разрешение. Определены кинетические (глубина и скорость внедрения индентора, скорость относительной деформации), силовые (величина контактных напряжений, динамическая нанотвердость) и активационные (величина активационного объема) параметры процесса формирования отпечатка.

Выявлено, что на каждом этапе постоянства величины приложенной силы при ступенчатом-нарастающей нагрузке отпечаток формируется в несколько стадий (в зависимости от типа исследуемого материала и скорости нагружения), отличающиеся характерными временами, кинетическими и активационными параметрами.

Проведенный активационный анализ процесса формирования отпечатка позволил определить активационные параметры, выявить спектр структурных дефектов и предложить микромеханизмы массопереноса материала из-под индентора. Показано, что начальные стадии формирования отпечатка обусловлены пластической деформацией за счет моноатомных микромеханизмов массопереноса, которые затем сменяются стадиями скоррелированного движения отдельных атомов (краудионны или атомные кластеры), а для LiF – дислокационной пластичностью. Для ПММА движения отдельных боковых групп макромолекулы на начальных стадиях сменяются движением хребтовых звеньев макромолекулы – на завершающих стадиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 01-02-16573 и № 04-02-17198) и Министерства образования РФ, грант в области естественных наук (шифр E02-3.4-263).