

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СУБМИКРОННЫХ ОБЪЕМОВ АМОРФНОГО СПЛАВА $Pd_{40}Cu_{30}Ni_{10}P_{20}$ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Головин Ю. И., Иволгин В. И., Тюрян А. И., Потапов С. В.

Тамбовский государственный университет, г. Тамбов, Россия
golovin@tsu.tmb.ru

Несмотря на то, что пластическая деформация (в отличие от упругой) протекает всегда неоднородно на атомарном уровне, в физике пластичности принято различать гомогенные и гетерогенные моды течения. Условная граница между ними определяется, главным образом, температурой испытания, скоростью относительной деформации, предысторией, характерными размерами образца и состоянием его поверхности.

В настоящей работе ставилась цель выявления областей устойчивого и неустойчивого пластического течения объемного аморфного сплава $Pd_{40}Cu_{30}Ni_{10}P_{20}$ в условиях циклического локального деформирования (в процессе нагружения и разгрузки отпечатка) с различной скоростью и на разную глубину, а также выяснения параметров и роли скачков в суммарном массопереносе материала из-под индентора.

Исследования проводили на специально разработанной оригинальной компьютеризированной установке по динамическому наноиндентированию. Она имеет разрешение по глубине внедрения алмазной пирамидки Берковича до 1 нм, а по времени – до 50 мкс. Это позволяет разрешать без интегрирования скачки с длительностью на фронте ≥ 100 мкс.

Нагружение осуществляли треугольным импульсом силы P с амплитудой от 50 до 85 мН и длительностью от 20 мс до 500 с и синхронно регистрировали зависимости $P(t)$ и $h(t)$ или $P(h)$.

Анализ полученных данных показал, что скачки деформации могут возникать как в фазе роста усилия вдавливания, так и в процессе разгрузки. При этом число скачков в одном цикле индентирования могло меняться от десятков до полного отсутствия в зависимости от скорости относительной деформации. Видимая регулярность в моментах появления скачков отсутствовала, а амплитуда отдельного скачка варьировалась от единиц до десятков нм и не была очевидным образом связана с глубиной отпечатка или скоростью нагружения.

Данные о количестве и величине скачков позволили оценить их роль в массопереносе материала из-под индентора в процессе формирования отпечатка.

Показано, что доля объема, вытесняемого индивидуальным скачком, варьируется от 0 до 40 % в зависимости от глубины и скорости относительной деформации.

Таким образом, в настоящей работе показано, что процесс непрерывного локального деформирования аморфного сплава при динамическом наноиндентировании $Pd_{40}Cu_{30}Ni_{10}P_{20}$ сопровождается скачкообразными модами пластического течения как при нагружении, так и при разгрузке. Установлены границы области существования скачкообразной моды течения при наноиндентировании в фазовом пространстве глубина отпечатка – скорость относительной деформации материала и определены основные характеристики скачков (амплитуда, количество, доля в массопереносе из-под индентора и др.).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 01-02-16573 и № 04-02-17198) и Министерства образования РФ, грант в области естественных наук (шифр Е02-3.4-263).