

УДК 620.162

## ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО И СКОРОСТНОГО ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ МЕТОДОМ МИКРО- И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

© А.И. Тюрин, В.И. Иволгин, В.В. Коренков, М.А. Юнак, Г.В. Поверинова,  
В.В. Шиндяпин, В.В. Хлебников, А.П. Занина

Ключевые слова: наноиндентирование, нагрузка, скорость относительной деформации, поведение материала, временная и масштабная зависимость.

Рассматривается влияние масштабного и скоростного фактора на физикомеханические свойства твердых тел, определяемые методом микро- и наноиндентирования.

Индентирование – один из способов создания высокоэнергетической системы в конденсированном состоянии. При микро- и наноконтактной деформации твердых тел под действием локально приложенной нормальной и латеральной нагрузки образуются системы различных дефектных микроструктур, обладающих при своих малых размерах большой энергией. Это точечные дефекты и краудиноны, скопления дислокаций, зоны новой фазы и т. д.

Определяющую роль в их образовании и соответственно в формировании физико-механических свойств материала играют скорость относительной деформации, размер зоны деформирования и температура.

Поэтому цель настоящей работы заключалась в исследовании скорости относительной деформации –  $\dot{\epsilon}$ , размера зоны деформирования и температуры –  $T$  на кинетику деформирования, величину физико-механических параметров (модуль Юнга, динамическая твердость материала –  $H_d$ , коэффициент скоростной чувствительности нано- и микротвердости –  $m$ , доля материала вытесненного в навал около отпечатка –  $\beta$ , степень относительной деформации материала в зоне деформирования  $\epsilon$ , коэффициент трещиностойкости –  $K_{1c}$ , параметр Палмквиста –  $\alpha$ , микрохрупкость –  $\gamma$ , поверхностную энергию разрушения –  $W_p$  и коэффициент трения  $\mu$  ряда материалов (ионные и ковалентные кристаллы, металлы, объемные аморфные металлические сплавы, полимеры и керамики) в диапазоне  $\dot{\epsilon}$  от  $3 \cdot 10^{-3}$  до  $10^2 \text{ с}^{-1}$ , перекрывающем около пяти порядков величины.

Деформирование материала в субмикрообъеме осуществляли на динамическом наноиндентометре собственной конструкции алмазной пирамидой Берковича, под действием нормального и латерального импульсов силы с варьируемой амплитудой и длительностью.

Для ряда исследованных материалов установлена зависимость кинетики формирования зоны деформирования при нормальном и латеральном нагружении, а также определены величины –  $H_d$ ,  $E$ ,  $m$ ,  $\beta$ ,  $K_{1c}$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $W_p$ ,  $\epsilon$ ,  $\mu$  от размеров зоны деформирования, скорости относительной деформации, температуры и прочностных свойств материала (отношения статической твердости к модулю Юнга исследуемого материала). Проведенный термоактивационный анализ позволил установить мгновенные значения ряда активационных параметров (величину активационного объема и энергии активации) процессов пластической деформации при нормальном и латеральном деформировании. Полученные значения величины активационного объема позволили установить номенклатуру структурных дефектов и кинетику доминирующих микромеханизмов пластичности при действии высоких локальных напряжений в зависимости от размера зоны деформирования, скорости относительной деформации и температуры.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-02-00906) и фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Поступила в редакцию 16 ноября 2008 г.

Tyurin A.I., Ivolgin V.I., Korenkov V.V., Unak M.A., Poverinova G.V., Shindyapin V.V., Hlebnikov V.V., Zanina A.P. Influence of scale and high-speed factor on physico-mechanical properties of firm bodies defined by the method of micro-and nano-indentation. Influence of the scale and high-speed factor on physico-mechanical properties of firm bodies defined by a method micro-and nano-indentation is considered.

Key words: nano-indentation, load, relative deformation speed, materials behaviour, time and scale effect.