



Рис. 1. Нанорельефы, нормированные на глубину максимального отпечатка

ЛИТЕРАТУРА

1. Щукин Е.Д., Михалске Т.А. и др. Микросклерометрия в изучении влияния среды на механические свойства металлов // Физика и химия обработки материалов. 1998. № 3. С. 99–104.
2. Jardret V., Zahouani H., Loubet J.L., Mathia T.G. Understanding and quantification of elastic and plastic deformation during a scratch test. Wear 218. 1998. P. 8–14.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-02-00906).

Поступила в редакцию 18 ноября 2008 г.

Tyurin A.I., Unak M.A. Microrelief of monocrystal LiF in micro-sclerometric researches. In work questions of information of the microrelief monocrystal LiF are considered at micro-sclerometric researches.

Key words: microrelief, monocrystal, micro-sclerometry, deformation, speed dependence, part of the material, scratching.

LITERATURE

1. Shchukin E.D., Mikhalske T.A. et al. Microsclerometry in studying the influence of the environment on mechanical properties of metals. Physics and chemistry of material treatment. 1998. № 3. P. 99–104.
2. Jardret V., Zahouani H., Loubet J.L., Mathia T.G. Understanding and quantification of elastic and plastic deformation during a scratch test. Wear 218. 1998. P. 8–14.

УДК620.162

СВЕРХПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В СУБМИКРООБЪЕМЕ ПРИ НАНОКОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

© А.И. Тюрин, В.В. Хлебников, В.В. Шиндяпин, А.П. Занина

Ключевые слова: скорость относительной деформации, сверхпластичность, деформация, субмикроробъем, наноконтакт, активационный объем, скоростная чувствительность.

В работе рассматривается сверхпластическая деформация в субмикроробеме при наноконтактном взаимодействии.

Хорошо известно, что с уменьшением области деформирования материалов до десятков – сотен нанометров все их свойства могут сильно измениться. Смоделировать поведение материала в таких условиях

можно методом динамического наноиндентирования сосредоточенной нагрузкой, создавая различные условия взаимодействия путем варьирования формы, амплитуды и характерных времен импульса нагрузки.

Исследования процесса формирования зоны пластической деформации в микро- и нанобъеме с высоким пространственным и временным разрешением, особенно на начальной стадии, могут дать качественно новое понимание механизмов деформирования при действии высоких локальных напряжений.

Поэтому целью данной работы является исследование скорости относительной деформации – $\dot{\varepsilon}$, размера зоны деформирования и температуры – T на кинетику деформирования, величину динамической твердости – H_d , коэффициент скоростной чувствительности нано- и микротвердости – m и микромеханизмы массопереноса при наноконтактной деформации полимеров (ПММА) и ионных кристаллов (LiF, ZnS).

Идентификация материала осуществляли на динамическом наноиндентометре собственной конструкции алмазной пирамидой Берковича, под действием треугольных симметричных импульсов силы с варьируемой амплитудой и длительностью нагрузки.

В широком интервале скоростей относительной деформации $\dot{\varepsilon}$ (от $3 \cdot 10^{-3}$ до 10^2 c^{-1}), перекрывающем около пяти порядков величины, исследована зависимость кинетики формирования пластического отпечатка, а также определены величины – H_d , и m 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 γ) процессов пластической деформации в субмикробъеме.

Показано, что в диапазоне глубин пластической деформации h_c от 30 нм до 1 мкм и температур от 25 до 125 °С в достаточно широком интервале h_c величина m остается практически постоянной во всем интервале исследованных температур как для ПММА, так и для кристаллов LiF и ZnS, а затем начинает расти с уменьшением h_c . Так, например, для ПММА при $T = 25 \text{ °C}$ в диапазоне h_c от 1000 до 400 нм величина $m = 0,09$, а при дальнейшем уменьшении h_c до 30 нм m возрастает до 0,15–0,2. Увеличение температуры показало, что величина m остается постоянной в интервале температур от 25 °С до 86 °С ($m = 0,09$), а при увеличении T от 86 °С до 125 °С начинает расти, достигая значения 0,38

(при $T = 125 \text{ °C}$). Высокие значения величины m при малых h_c (порядка нескольких десятков нм) и высоких T ($T > 100 \text{ °C}$) свидетельствует о переходе ПММА в этих условиях в сверхпластичное состояние.

В ионных кристаллах (LiF, ZnS) коэффициент скоростной чувствительности нанотвердости m оставался практически неизменным в широком интервале размеров зоны пластической деформации, и только при переходе в область малых глубин начал расти, достигая значений $m = 0,2–0,25$, при $h_c = 20 \text{ нм}$, что может свидетельствовать о состоянии материала близком к сверхпластичному.

Учитывая полученные значения величины активационного объема, можно предположить, что локальная наноконтактная деформация ПММА, при комнатной температуре на первом этапе ($h_c \leq 300 \text{ нм}$), может происходить преимущественно за счет движения отдельных боковых групп макромолекулы, а затем – на II этапе ($h_c > 300 \text{ нм}$) доминирующую роль в пластической деформации начинают играть хребтовые звенья макромолекулы. При увеличении T (от 25 до 125 °С) и h_c (до 1 мкм) величина активационного объема возрастает до значений сопоставимых с объемом отдельных макромолекул ПММА. В LiF и ZnS пластическая деформация на I этапе происходила за счет движения краудионов и малоатомных кластеров, сменяющейся на II этапе дислокационной пластичностью.

Таким образом, проведенные исследования 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, а также выявить явление сверхпластичности в субмикробъеме.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-02-00906).

Поступила в редакцию 17 ноября 2008 г.

Tyurin A.I., Hlebnikov V.V., Shindyapin V.V., Zanina A.P. Superplastic deformation in submicroeme at nano-contact interaction. In the paper, superplastic deformation in submicrovolum at nano-contact interaction is considered.

Key words: speed of relative deformation, superplasticity, deformation, sub-micro-volume, nano-contact, activation volume, speed sensitivity.