

УДК 620.162

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ МИКРО- И НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ ОБЛУЧЕННЫХ И НЕОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ LiF

© А.И. Тюрин, М.А. Юнак, А.П. Занина, В.В. Шиндяпин

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

Рассмотрено влияние скорости нагружения на процессы ползучести при микро- и наноиндентировании облученных и необлученных кристаллов LiF.

В последнее время все большее внимание исследователей привлекает к себе структура реальных кристаллов, и особенно появляющиеся в них при различных условиях (деформация, облучение и т. д.) дефекты. Известно, что длительное облучение кристаллических твердых тел частицами с энергиями, достаточными для образования пар точечных дефектов, приводит к изменению микроструктуры и, как следствие, физических и механических свойств (электропроводности, прочности и др.). Облучение же довольно часто встречается при практическом применении различных материалов. Так, высокие концентрации радиационных дефектов отмечаются в материалах атомных реакторов, космических аппаратов, медицинских установок. Одной из главных причин изменения их размеров при напряженном состоянии является ползучесть, которая к тому же значительно усиливается под действием облучения. Ползучесть достаточно часто исследуется также для того, чтобы лучше разобраться в структуре процессов релаксации, имеющих место в материалах.

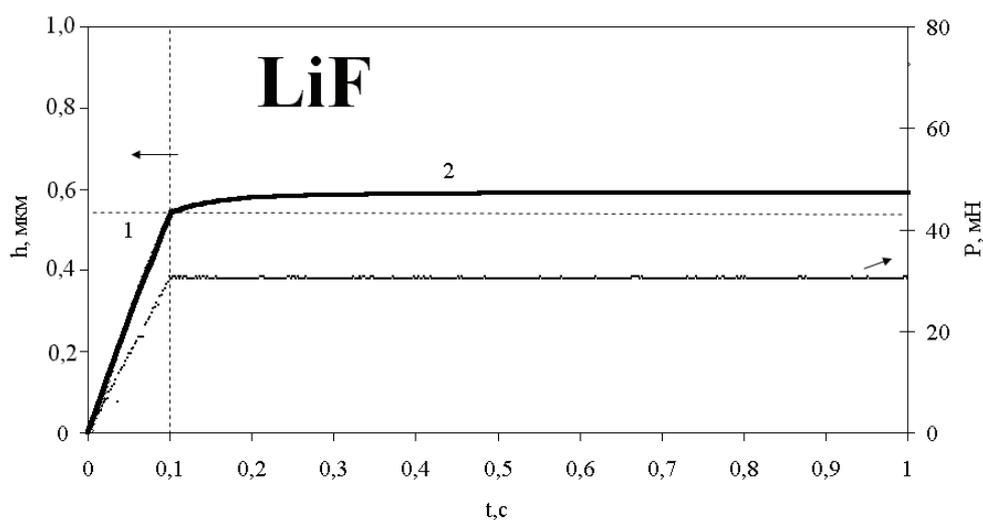
Для исследования пластичности и ползучести твердых тел применяют различные методы: метод крутильных колебаний, акустическая эмиссия, различные виды спектроскопических методов и т. д. Однако все данные методы являются либо разрушающими, либо требующими специальной подготовки образца для исследования и фактически не могут быть использованы в качестве неразрушающих методов *in situ* контроля качества и механических свойств готовых конструкций и изделий. В данной работе в качестве неразрушающего метода исследования ползучести материала в микро- и субмикробо́еме был использован метод динамического микро- и наноиндентирования, который позволяет проводить эксперименты с высокими пространственным (до 1 нм) и временным (до 50 мс) разрешением.

Таким образом, цель работы заключалась в исследовании влияния  $\gamma$  облучения на различные физико-механические свойства ионных кристаллов LiF (доза облучения  $\sim 10^7$  Gr), выявить микромеханизмы массопереноса при локальной деформации материала под действием высоких локальных напряжений, сравнить ползучесть облученного и необлученного материала.

Испытания проводились на компьютеризированном динамическом наноиндентометре. Деформирование поверхности осуществлялось внедрением в образец алмазной пирамидки Берковича. Применительно к индентированию методика ползучести может быть реализована посредством приложения к индентору импульса нагрузки трапецеидальной формы и исследованию отклика материала. Диапазон амплитуды силы составил от 0,4 до 120 мН, глубина пластического отпечатка  $h < 1$  мкм, время фронта нагружения от 10 до 100 мс.

В результате проведения эксперимента было установлено кинетические и активационные характеристики ползучести облученного и необлученного LiF. Показано, что в кинетике ползучести можно выделить несколько четко выраженных стадий, которые имеют характер близкий к экспоненциальному и отличаются временными рамками, скоростями относительной деформации, показателями экспоненты, силовыми и активационными характеристиками.

Таким образом, в работе установлена зависимость кинетики ползучести в облученном и необлученном кристаллах LiF, в субмикробо́еме при действии высоких локальных напряжений. Было проведено исследование влияния облучения на кинетику и стадийность формирования зоны пластической деформации, микро- и нанотвердость, коэффициент скоростной чувствительности твердости и доминирующие микромеханизмы массопереноса в зоне контакта.



**Рис. 1.** Кинетика формирования отпечатка на LiF. 1 – стадия нарастания нагрузки; 2 – стадия ползучести при постоянной нагрузке

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

Поступила в редакцию 17 ноября 2008 г.

Tyurin A.I, Unak M.A., Zanina A.P., Shindyapin V.V. Influence of load speed on the processes of creepage at micro- and

nano-indentation of the irradiated and non-irradiated crystals LiF. The influence of load speed on processes of creepage is considered at micro- and nano-indentation of the irradiated and non-irradiated crystals LiF.

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