

УДК 539.3

## РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ТВЕРДОСТИ ПРИ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ<sup>1</sup>

© В.В. Коренков, М.Ю. Голотаев, А.Ю. Наседкин

Ключевые слова: наноиндентирование, размерный эффект при индентировании.

На циркониевой керамике исследована зависимость твердости от глубины индентирования. Индентирование производилось в диапазоне глубин от 10 нм до 5 мкм. Выявлена немонотонность в изменении твердости.

Материалы на основе циркония занимают все более сильные позиции на мировом рынке. Это связано с особыми, а иногда уникальными свойствами таких материалов. В первую очередь к ним относится высокая прочность и химическая устойчивость. Перечисленные качества востребовали циркониевые материалы в металлургии, химической промышленности, машиностроении. В последнее время, в связи с развитием микро- и нанoeлектроники, циркониевые материалы находят широкое применение и в этих областях. Они используются как композитные матрицы, армирующие добавки, компоненты микро- и нанoeлектромеханических устройств. Однако о механических характеристиках таких устройств и материалов доподлинно известно очень мало. Прежде всего из-за того, что данные, полученные для макротела, нельзя интерполировать на микро- или наноуровень [1].

В данной работе изучалось поведение твердости в диапазоне глубин испытательных отпечатков от 10 нм до 5 мкм. Выбор такого диапазона глубин диктуется возможностью оценки твердости в микро- и наношка-

ле. Для исследований использовалась керамика на основе двуокиси циркония  $ZrO_2$  с добавкой  $Al_2O_3$  (международное обозначение – ATZ).

Эксперименты производилось на приборе Nano Indenter G200 фирмы MTS Systems. В процессе индентирования с высокой точностью регистрировалась глубина погружения индентора  $h$  и прикладываемая нагрузка  $P$ . Прибор G200 представляет возможность широкого выбора режимов непрерывного вдавливания индентора. В данном случае испытания проводились в режиме непрерывного измерения жесткости контакта (Continuously Stiffness Measurement, CSM). Этот режим позволяет получать информацию о механических свойствах с высокой степенью дискретизации по глубине. Индентирование производилось стандартным индентором Берковича с радиусом эквивалентного сферического притупления кончика  $R \leq 10$  нм. Влияние несовершенства геометрии индентора, теплового дрейфа, неидеальной жесткости силовой рамы, сдвиг начала отсчета на глубину отпечатка от первого контакта при

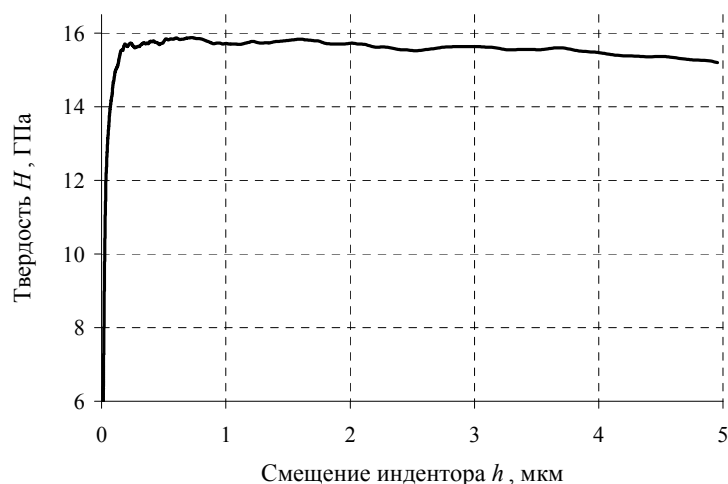


Рис. 1. Зависимость твердости от глубины непрерывного внедрения индентора для циркониевой керамики ATZ

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Приоритетного национального проекта «Образование» при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (проекты № 06-08-01433, № 06-02-96316 и № 07-02-00906)

автоматическом поиске поверхности просчитывалось и анализировалось консольной программой управления индентометром *TestWork 4.0*, а полученные данные корректировались с учетом этих поправок. Все результаты усреднялись по данным 100 экспериментов при одинаковых условиях.

Из диаграмм нагружения и обработки данных получены зависимости твердости  $H$  от глубины непрерывного внедрения индентора  $h$  (рис. 1.). Из графика видно, что на исследуемом материале наблюдается слабый масштабный эффект в твердости. Наиболее сильно он проявляется на границе нано- и микрообласти (~ 200 нм).

Проведенные исследования выявили наличие немонотонности в изменении твердости с глубиной. Это может свидетельствовать как о различных механизмах формирования твердости (особенно на малых глубинах индентирования), так и о влиянии структурных особенностей материала [2, 3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Fischer-Cripps A.C.* // Nanoindentation. N.Y.: Springer-Verlag, 2002. P. 198.
2. *Головин Ю.И., Иволгин В.И., Коренков В.В., Фарбер Б.Я.* // Физика твердого тела. 2001. Т. 43. № 10. С. 1839–1844.
3. *Zhao Z., Zhang L., Zheng J., Bai H., Zhang S., Xu B.* // Scripta Materialia. 2007. V. 56. P. 605–608.

Поступила в редакцию 17 ноября 2008 г.

Korenkov V.V., Tolotaev M.Y., Nasedkin A.Y. Indentation size effect at zirconia ceramic. Dependence of hardness from displacement was researched at zirconia ceramic. The indentation was performed within the range of depths from 10 nm to 5  $\mu$ m. Nonmonotonic dependence of hardness was obtained.

Key words: nanoindentation, indentation size effect.

## LITERATURE

1. *Fischer-Cripps A.C.* // Nanoindentation. N.Y.: Springer-Verlag, 2002. P. 198.
2. *Golovin Yu.I., Ivolgin V.I., Korenkov V.V., Farber B.Ya.* // Solid State Physics. 2001. V. 43. N 10. P. 1839–1844.
3. *Zhao Z., Zhang L., Zheng J., Bai H., Zhang S., Xu B.* // Scripta Materialia. 2007. V. 56. P. 605–608.