

05.1;05.3

К вопросу об определении твердости материалов со структурными превращениями

© Т.Ю. Саблина, А.Г. Мельников, С.Н. Кульков

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
E-mail: kulkov@ms.tsc.ru

Поступило в Редакцию 19 января 2004 г.

В окончательной редакции 26 апреля 2004 г.

Изучена зависимость твердости (HV) от приложенной нагрузки. Установлено, что для материалов, способных испытывать фазовые превращения, твердость возрастает при увеличении нагрузки, что обусловлено фазовым переходом, протекающим в материале.

Определение твердости является наиболее простым, быстрым и очень чувствительным методом испытания механических свойств материалов [1]. Оно осуществляется без разрушения материала, ведется на стандартном и простом в обращении оборудовании и позволяет определить не только твердость, но и ряд других характеристик, таких как вязкость разрушения материала, модуль Юнга [2].

При определении твердости с использованием разных типов индентора и широкого спектра нагрузок обнаружен так называемый „размерный эффект“ индентирования, заключающийся в зависимости твердости от приложенной к индентору нагрузки [3,4]. Особенно этот эффект проявляется в области микроиндентирования, где микротвердость резко возрастает при снижении нагрузки [5]. Однако этот вопрос важен и для материалов, в которых при приложении нагрузки возможно фазовое превращение. Поэтому здесь следует ожидать особого проявления зависимости твердости и трещиностойкости материалов от приложенной к индентору нагрузки.

Цель настоящей работы — изучить влияние величины нагрузки при индентировании на твердость материалов, способных испытывать трансформационное превращение под воздействием приложенных напряжений.

В работе были изучены образцы керамики составов $95 \text{ wt.}\% \text{ZrO}_2 + 5 \text{ wt.}\% \text{Y}_2\text{O}_3$, (Z0), с разными размерами зерна (4.5 , 2.2 , $0.6 \mu\text{m}$), $80 \text{ wt.}\% \text{ZrO}_2(\text{Y}) + 20 \text{ wt.}\% \text{Al}_2\text{O}_3$, (20A), Al_2O_3 , (A), два образца никелида титана, в метастабильном и стабильном состояниях, составов: $50 \text{ at.}\% \text{Ni} + 50 \text{ at.}\% \text{Ti}$ и $50.5 \text{ at.}\% \text{Ni} + 49.5 \text{ at.}\% \text{Ti}$ соответственно, (NiTi-1) и (NiTi-2). В качестве эталона взят стальной образец (меры твердости, образцовые МТР-1, ГОСТ 9031-75. Сталь). Поверхность образцов шлифовали на алмазном круге, а затем полировали алмазной пастой с разной зернистостью для удаления эффекта шлифования. Индентирование проводили с помощью твердомера Виккерса. Нагрузку при индентировании изменяли от 10 до 150 N : с шагом 10 N при нагружении от 10 до 50 N и с шагом 50 N при нагружении от 50 до 150 N . При каждой нагрузке было сделано по 5 отпечатков.

На рис. 1 представлены зависимости твердости материалов от приложенной к индентору нагрузки. Из полученных графиков видно, что для стального эталона (сталь), керамики из окиси алюминия (A), керамики на основе ZrO_2 (Z0), с мелким зерном ($0.6 \mu\text{m}$) и образца никелида титана в стабильном состоянии (NiTi-2) твердость не зависит от прикладываемого усилия (рис. 1, а). Для образца никелида титана (NiTi-1), способного испытывать мартенситное превращение под нагрузкой, зависимость твердости от приложенной к индентору нагрузки имеет возрастающий характер. Для образцов керамик на основе диоксида циркония (Z0) с большим размером зерен 2.2 , $4.5 \mu\text{m}$ и с добавками окиси алюминия (20A), с увеличением нагружающего усилия примерно до 50 N твердость керамик возрастает, а при дальнейшем повышении нагрузки — остается постоянной (рис. 1, б). Возрастающая зависимость твердости керамик при индентировании в области малых нагрузок аномальна [3,4]. Такой необычный вид зависимости твердости от прикладываемого усилия, скорее всего, связан с фазовым превращением, происходящим в материалах под воздействием приложенных напряжений, поскольку известно [6], что особенностями деформации и разрушения керамики на основе диоксида циркония в зоне отпечатка индентора Виккерса может быть тетрагонально-моноклинный фазовый переход, определяемый действующими здесь напряжениями.

Для подтверждения происходящих фазовых переходов при индентировании проведен рентгеновский анализ поверхности керамики Z0

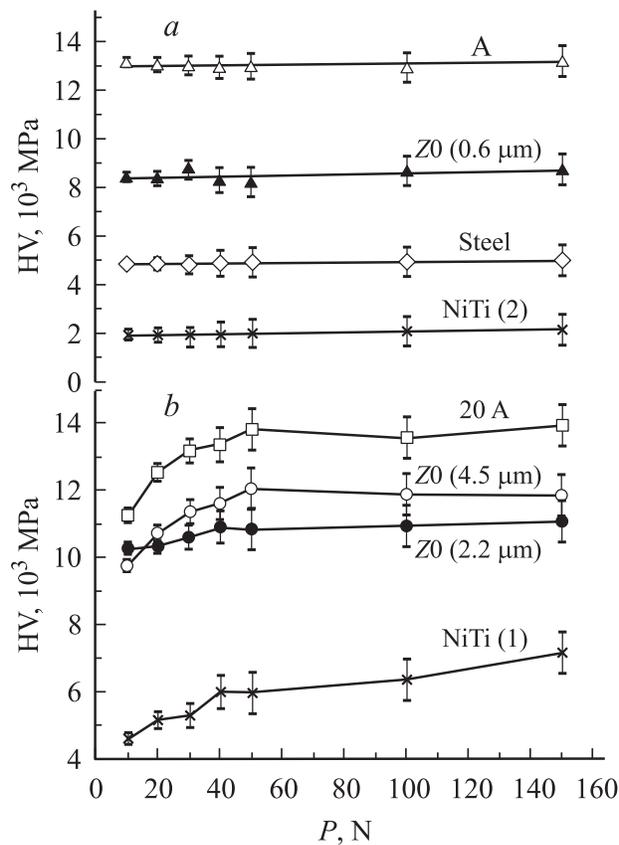


Рис. 1. Зависимость твердости материалов от нагрузки при индентировании.

до и после многократного индентирования поверхности при нагрузке 100 N. На рис. 2 приведены фрагменты рентгенограмм до и после индентирования, которые показали наличие моноклинной фазы, при этом количественный фазовый анализ, проведенный в соответствии с [7] (излучение $\text{CuK}\alpha$), показал, что ее содержание $6 \pm 1\%$. Если оценить площадь, охваченную деформацией около отпечатков, то оказывается, что она составляет порядка 5–7% от площади образца.

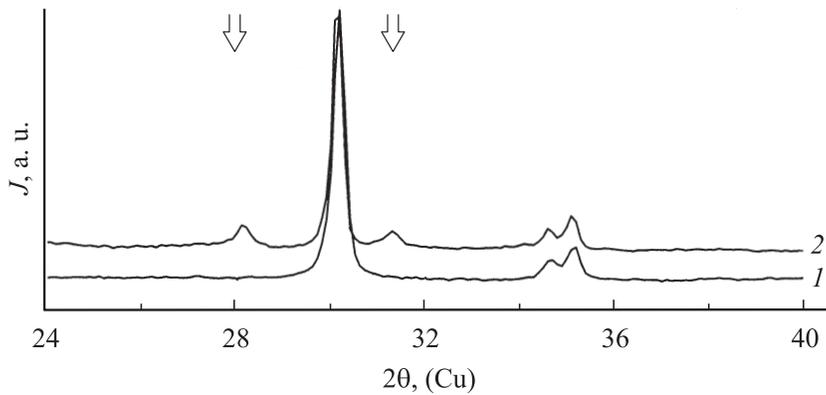


Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм с поверхности керамики ZrO до и после индентирования. 1 — начальное состояние, 2 — после индентирования.

Поскольку данные рентгеновского анализа получаются с достаточно тонкого поверхностного слоя (глубина проникновения рентгеновского излучения с данной длиной волны порядка $100 \mu\text{m}$), то можно считать, что площадь, охваченная деформацией около отпечатков, соответствует объему материала, превращенного в моноклинную фазу. При этом зависимость твердости от нагружающего усилия с насыщением обусловлена тем, что существует критическое значение P , выше которого ресурс превращения исчерпан и зависимость исчезает.

Таким образом, при определении твердости материалов, способных испытывать фазовые превращения под нагрузкой, учет влияния нагружающего усилия при индентировании обязателен.

Список литературы

- [1] Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976. 230 с.
- [2] Keer L.M., Farris Th.N., Lee J.Ch. // J. Am. Ceram. Soc. 1986. V 69. N 5. P. 392–396.
- [3] Гогоци Г.А., Галенко В.И. // Проблемы прочности. 1997. № 3. С. 104–118.

- [4] *Swadenera J.G., George E.P., Pharra G.M.* // J. Mechanics and Phys. of Sol. 2002. N 50. P. 681–694.
- [5] *Krell A.* // J. Amer. Ceram. Soc. 1995. V. 78. N 5. P. 1417–1419.
- [6] *Гогоци Г.А., Ломонова Е.Е.* // Огнеупоры и техн. керамика. 2000. № 6. С. 4–9.
- [7] *Garvie R.C., Nicholson P.S.* // J. Am. Ceram. Soc. 1972. V. 55. N 6. P. 303–305.