

05.1;12

Об измерении твердости хрупких тел

© А.Б. Синани

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: alex@mdlab.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 14 апреля 2003 г.

Предложен метод измерения твердости хрупких тел при больших нагрузках. Проведены измерения твердости на неорганических стеклах в широком диапазоне нагрузок от 1 до 300 N.

Широко используемый метод измерения микротвердости хрупких твердых тел (стекло, керамика) не всегда дает достаточно полное представление о твердости материала. Особенно большие трудности возникают при исследовании гетерогенных сред, когда величина отпечатка бывает соизмерима с размерами элементов структуры. Многие проблемы можно было бы решить, проводя измерения в широком диапазоне нагрузок на индентор. Однако возможности измерения при больших нагрузках для хрупких материалов в значительной степени ограничены из-за разрушения отпечатка. На рис. 1, *a* показана типичная картина разрушения отпечатков на силикатном стекле с ростом нагрузки. Однако, как показывают прямые наблюдения [1,2] процесса внедрения пирамиды Виккерса в стекло, при нагружении возникают лишь отдельные трещины, незначительно влияющие на ход зависимости сопротивления внедрению от глубины внедрения. Основные же разрушения отпечатка происходят в момент снятия нагрузки за счет остаточных напряжений, возникающих в зоне упругопластических деформаций вокруг отпечатка. Поэтому можно было попытаться воссоздать картину под индентором в момент разгрузки до разрушения отпечатка, если на поверхность образца поместить тонкий слой пластичного материала, например алюминиевую фольгу. Тогда в момент отрыва индентора от образца на фольге останется „слепок“ отпечатка, на котором можно будет произвести необходимые измерения.

Для того чтобы убедиться, что тонкий слой алюминия не вносит больших погрешностей в измерение твердости, были проведены контрольные опыты на образцовой мере твердости ($HV = 7.8 \text{ GPa}$)

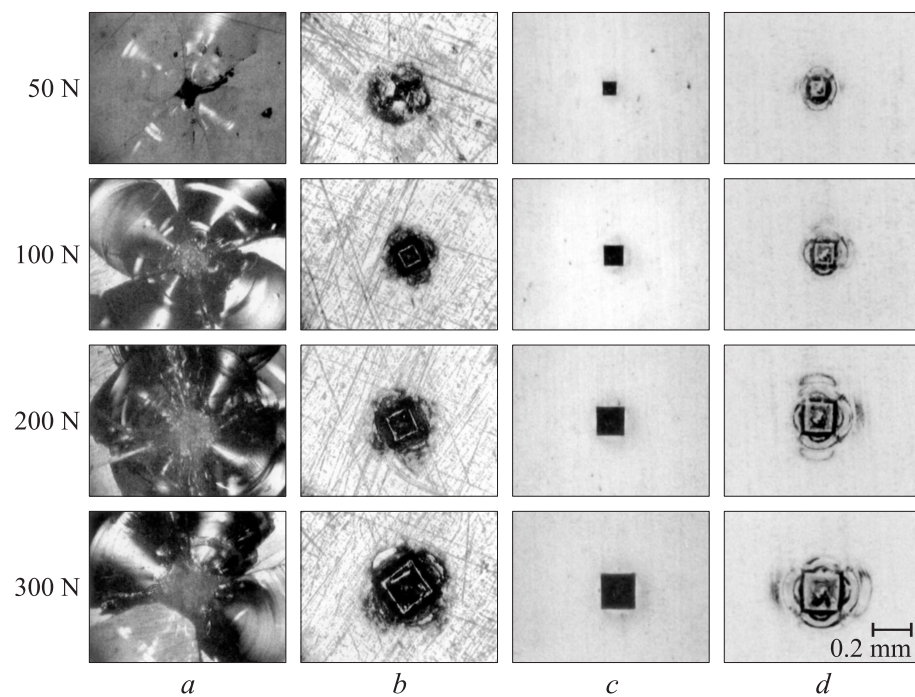


Рис. 1. Отпечатки пирамиды Виккерса при различных нагрузках на: *a* — стекле „Пилкинтон“, *b* — том же стекле через алюминиевую фольгу, *c* — образцовой мере твердости, *d* — той же мере твердости через алюминиевую фольгу.

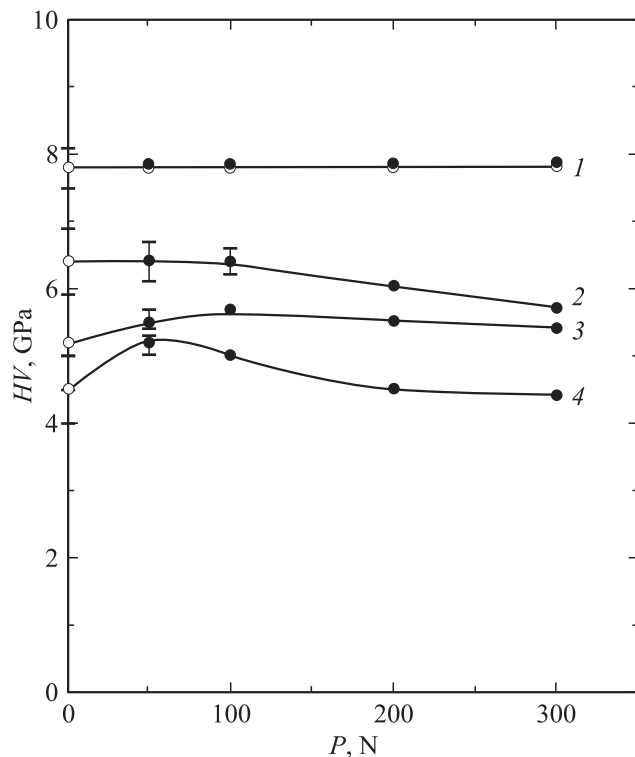


Рис. 2. Зависимость твердости от нагрузки (\circ — без фольги, \bullet — с фольгой): 1 — образцовая мера твердости, 2 — силикатное стекло „Пилкинтон“, 3 — силикатное стекло (прокат), 4 — свинцовое стекло.

с алюминиевой фольгой толщиной $7\ \mu\text{m}$. На рис. 1, *c, d* показаны отпечатки, нанесенные в широком диапазоне нагрузок, видно, что их форма и размеры практически одинаковы как с фольгой, так и без нее. Как показали измерения, числа твердости в обоих случаях различаются не более чем на 3%.

С помощью предложенной методики были проведены опыты на стеклах: двух щелочных силикатных (одно получено по пилкинтонской технологии) и тяжелом флинте (свинцовое стекло). На рис. 1, *b* в качестве примера показаны отпечатки, сохраненные слоем фольги на

стекле „Пилкинтон“ в широком диапазоне нагрузок. Видно, что вплоть до 300 N все отпечатки имеют четкие контуры и могут быть легко измерены.

На рис. 2 приведены зависимости твердости от нагрузки для исследованных материалов. Видно, что образцовая мера твердости дает постоянное значение твердости в диапазоне от 1 (микротвердость) до 300 N, при этом числа твердости, полученные без фольги и с фольгой, практически совпадают. Для стекол, поверхность которых была механически обработана (шлифовка + полировка) — прокатанное щелочное стекло и свинцовое стекло, на зависимости твердости от нагрузки имеется слабо выраженный максимум. Появление максимума, по-видимому, связано с влиянием на микротвердость поврежденного механической обработкой поверхностного слоя, а при больших нагрузках снижение твердости обусловлено развивающимся разрушением стекла под индентором. Для пилкинтоновского стекла, поверхность которого не подвергалась механической обработке, до нагрузок ~ 100 N твердость постоянна, а затем начинает снижаться, как и у других стекол. Отметим, что снижение твердости у стекол с ростом нагрузки происходит достаточно плавно, из чего можно заключить, что даже в таких хрупких материалах, как стекла, определяющая роль в сопротивлении внедрению индентора при больших нагрузках принадлежит пластическому деформированию, а не хрупкому разрушению и развитию трещин.

Таким образом, в данной работе предложен метод, позволивший впервые получить значения твердости хрупких твердых тел при нагрузках, на два порядка больших, чем при измерении микротвердости. Показано, что, несмотря на развитие разрушения вокруг отпечатка при возрастании нагрузки, твердость стекол уменьшается незначительно.

Список литературы

- [1] Cook R.F., Pharr G.M. // J. Am. Ceram. Soc. 1990. V. 73. N 4. P. 787–817.
- [2] Tandon R., Green D.J., Cook R.F. // J. Am. Ceram. Soc. 1990. V. 73. N 9. P. 2619–2627.