

М. Г. Лошак, Л. И. Александрова (г. Киев)

### Влияние величины прикладываемой к наконечнику нагрузки на результаты измерения твердости сверхтвердых материалов

*Обоснована величина нагрузки, прикладываемой к алмазному наконечнику Виккерса при измерении твердости сверхтвердых композиционных материалов. Показано, что нагрузка 5 Н при проведении испытаний на твердость обеспечивает оптимальные возможности для точного измерения отпечатка и отсутствие возле него разрушений.*

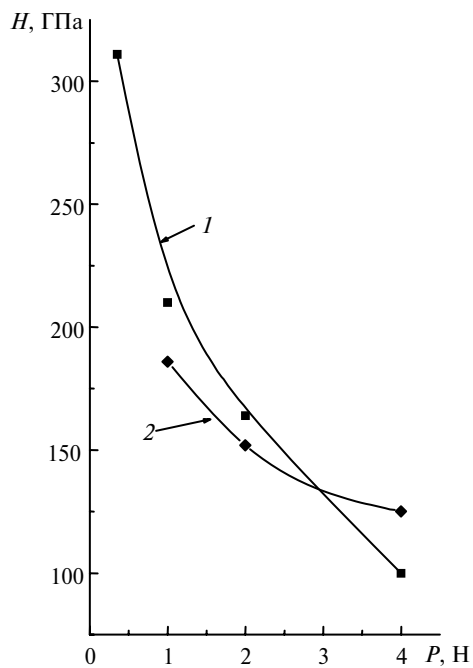
**Ключевые слова:** композиционные сверхтвердые материалы, твердость, нагрузка на наконечник, точность показателей.

При измерении твердости материалов путем вдавливания наконечника обычно используют несколько диапазонов по величине нормальной нагрузки, прилагаемой к наконечнику. При этом сохраняется неизменным порядок операций и способ обработки результатов. Ранее в [1], в зависимости от диапазона прилагаемой к наконечнику нагрузки, твердость была определена как микротвердость – в интервале от 0,1 до 2 Н, твердость – при малых нагрузках в интервале от 2 до 50 Н и макротвердость – при нагрузке свыше 50 Н. В настоящее время с появлением нового поколения приборов твердость материалов, измеряемая при нагрузке на наконечник, не превышающей 0,1 Н, определена как нанотвердость. По ГОСТ 9450–76 диапазон нагрузок на наконечник при определении микротвердости составляет от 0,05 до 5 Н.

Исследованиями, проведенными ранее [2, 3], было показано, что твердость алмаза, измеренная с использованием наконечника, оснащенного как алмазной пирамидой Виккерса, так и пирамидой Кнупа резко снижается с увеличением нагрузки на наконечник в интервале от 0,3 до 5 Н (рисунок). В то же время увеличение нагрузки на наконечник в диапазоне от 5 до 15 Н при измерении твердости алмаза с использованием алмазной пирамиды Кнупа было отмечено лишь незначительное уменьшение значения твердости (табл. 1).

**Таблица 1. Зависимость микротвердости алмаза от нагрузки на наконечник, оснащенный пирамидой Кнупа [3]**

Наконечник	Микротвердость, ГПа, при нагрузке, Н				
	1	2	5	10	15
1	9,9	8,3	6,4	5,5	5,6
2	11,3	8,5	6,4	6,3	5,5
3	10,6	7,8	5,8	5,7	5,6



Зависимость твердости алмаза от нагрузки, приложенной к наконечнику, оснащеному пирамидой Виккерса (1) и Кнупа (2).

Аналогичный характер изменения значения твердости при измерениях сверхтвердого нанокompозита на основе BN с увеличением нагрузки на наконечник был получен в [4]. С возрастанием нагрузки на наконечник до 5 Н показано снижение значения твердости, в то время как при последующем увеличении нагрузки значение твердости практически не изменяется. В [5] снижение твердости алмаза с 150 до 80 ГПа в интервале нагрузок на наконечник от 2 до 5 Н объясняют интенсивным разрушением алмаза под наконечником с увеличением на него нагрузки.

Природа уменьшения значения твердости с увеличением нагрузки, очевидно, многофакторная. Анализируя факторы, влияющие на получаемые результаты при определении твердости, М. М. Хрущов [1] обратил внимание на точность постановки эксперимента и измерений отпечатка, упругое восстановление отпечатка, соотношение размеров структурных составляющих испытуемого материала и размеров отпечатка и др.

Все эти факторы, которые приводят к увеличению неопределенностей определяемого значения твердости материала, проявляются в большей степени при использовании нагрузок на наконечник до 5 Н, что вызывает большой разброс чисел твердости для одних и тех же материалов, испытанных с использованием нагрузки на наконечник в этом диапазоне.

При испытании на твердость методом индентирования поликристаллических и композиционных сверхтвердых материалов влияние размера и распределения их структурных элементов на получаемый результат можно существенно уменьшить путем увеличения размера отпечатка, что в свою очередь обуславливает необходимость увеличения нагрузки на наконечник при испытаниях. В то же время следует учитывать, что увеличивать нагрузку на наконечник можно только до определенного предела, превышение которого приводит к образованию трещин и микроразрушений вокруг отпечатка, которые могут исказить результаты определения его размеров, а следовательно, значения твердости материала.

При испытании на твердость методом индентирования поликристаллических и композиционных сверхтвердых материалов влияние размера и распределения их структурных элементов на получаемый результат можно существенно уменьшить путем увеличения размера отпечатка, что в свою очередь обуславливает необходимость увеличения нагрузки на наконечник при испытаниях. В то же время следует учитывать, что увеличивать нагрузку на наконечник можно только до определенного предела, превышение которого приводит к образованию трещин и микроразрушений вокруг отпечатка, которые могут исказить результаты определения его размеров, а следовательно, значения твердости материала.

В настоящей работе исследовано влияние нагрузки, прилагаемой к наконечнику в интервале от 2 до 50 Н, на определяемое значение твердости сверхтвердых композиционных материалов. Для исследований были выбраны образцы из композитов на основе синтетического алмаза и кубического нитрида бора с мелкозернистой структурой, изготовленные в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины с использованием метода высоких давления и температуры. Композиты на основе синтетического алмаза были изготовлены из порошков зернистостью 5/3 и 2/1, на основе кубического нитрида бора – из порошков зернистостью 14/10, 5/3, а мелкозернистый композит на основе cBN – с наноструктурной составляющей.

Твердость измеряли с помощью модернизированного микротвердомера ПМТ-3, оснащенного пирамидой Виккерса, при нагрузке на наконечник 2, 5, 8 и 10 Н. Для измерения твердости при нагрузке на наконечник 50 Н использовали твердомер марки ХПО-250.

**Таблица 2. Твердость образцов из сверхтвердых материалов, определенная с использованием пирамиды Виккерса при различной нагрузке на наконечник**

Нагрузка на наконечник, Н	Твердость, ГПа, образца из порошка				
	сBN			синтетического алмаза	
	Зернистость				
	5/3	14/10	с наночастицами	2/1	5/3
2	47,8	45,1	46,7	50,8	44,8
5	42,3	39,7	41,5	42,3	38,4
8	41,1	38,5	40,1	40,7	36,9
10	40,5	38,2	39,7	40,2	36,5
50	39,4	37,8	30,5	38,5	35,4

Результаты испытаний, приведенные в табл. 2, показывают, что увеличение нагрузки на наконечник с 2 до 5 Н при испытании композитов из сверхтвердых материалов приводит к заметному уменьшению значения твердости. В то же время дальнейшее увеличение нагрузки на наконечник в интервале от 5 до 10 Н не дает существенного различия полученного значения твердости, хотя при измерении твердости данных материалов внедрение наконечника с нагрузкой 10 Н нередко приводит к образованию микротрещин вокруг отпечатка. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что наиболее приемлемой нагрузкой на наконечник, используемой при измерении твердости сверхтвердых композиционных материалов такого класса, является 5 Н. При такой нагрузке отпечаток, оставленный в испытуемом материале наконечником, имеет размер, позволяющий с достаточной точностью произвести необходимые замеры. При этом в зону отпечатка попадает достаточное количество структурных элементов, что позволяет уменьшить разброс значений по измеряемой поверхности образца. К тому же использование нагрузки на наконечник 5 Н в большинстве случаев не приводит к образованию вокруг отпечатка столь значительных трещин, которые могли бы исказить результаты измерений. Характерно, что подобные результаты были получены в [6], где по результатам измерения твердости композита  $TiB_2-V_4C$  также сделан вывод о том, что наиболее целесообразной нагрузкой на наконечник при тестировании твердости сверхтвердых композитов является 5 Н.

### ВЫВОДЫ

Для определения с достаточной точностью числа твердости сверхтвердых материалов и композитов на их основе при использовании алмазной пирамиды Виккерса оптимальная нагрузка, прикладываемая к наконечнику в процессе испытаний, составляет 5 Н.

Такая нагрузка на наконечник может быть рекомендована всем исследователям и испытателям при оценке твердости сверхтвердых материалов в условиях нормальных и повышенных температур.

Обґрунтовано величину прикладеного до алмазного наконечника Віккерса навантаження при вимірюванні твердості надтвердих композиційних матеріалів. Показано, що навантаження 5 Н при проведенні випробувань на твердість забезпечує оптимальні можливості для точного виміру розміру відбитку та відсутність біля нього руйнувань.

**Ключові слова:** композиційні надтверді матеріали, твердість, навантаження на наконечник, точність показників.

*The value of an indentation load on the Vickers indenter in measuring hardness of composite superhard materials has been substantiated. It has been shown that in testing for hardness a 5N-load provides the optimal chances for precise measuring the indent without damages around it.*

**Keywords:** composite superhard materials, hardness, indentation load, precision of measuring.

1. Хруцов М. М. О соотношении макротвердости и микротвердости // Методы испытания на микротвердость. Приборы. – М.: Наука, 1965. – С. 7–21.
2. Бакуль В. Н., Лошак М. Г., Мальнев В. И. Об измерении твердости алмаза вдавливанием индентора при нормальной температуре // Синт. алмазы. – 1973. – Вып. 6. – С. 5–12.
3. Бакуль В. Н., Лошак М. Г., Мальнев В. И. Микротвердость алмаза и ее зависимость от температуры // Там же. – 1978. – Вып. 1. – С. 7–11.
4. Gao F.M., Gao L.H. Microscopic model of hardness // Сверхтв. материалы. – 2010. – № 3. – С. 9–32.
5. Галанов Б. А., Григорьев О. Н. Аналитическая модель индентирования хрупких материалов // Электронная микроскопии и прочность материалов: Сб. науч. тр. – Киев: ИПМ, 2006. – С. 4–54.
6. Srivatsan T. S., Guruprasad G., Black D. et al. Influence of TiB<sub>2</sub> content on microstructure and hardness of TiB<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C composite // Powd. Techn. – 2005. – **159**. – P. 161–167.

Ин-т сверхтвердых материалов  
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 07.03.12