

УДК 621.921.34 – 419: 539. 8

М. Г. Лошак, д-р техн. наук; **Л. И. Александрова**, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИХ УПРУГИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Измерение твердости композитов системы cBN–Al с содержанием в шихте 10, 20, и 30 % и Al и их упругих характеристик показало, что между модулями E и G, с одной стороны, и твердостью HV, с другой, имеется линейная зависимость. Пролонгация этой зависимости на значение твердости алмаза (100 ГПа) позволяет оценить модуль сдвига алмаза величиной 570 ГПа.

Ключевые слова: твердость, модули упругости, линейная связь.

Обычно твердость металлов определяют вдавливанием в него значительно более твердого тела: шарика на приборе Бринелля или алмазной пирамиды на приборе Виккерса. Напряжение в металле, создаваемое при вдавливании в него наконечника, вначале носит упругий характер. Остаточная деформация в виде отпечатка наконечника образуется при напряжении, существенно превышающем предел текучести. Поэтому для пластичных металлов численные показатели твердости пропорциональны их прочности при растяжении. Для хрупких материалов, у которых высокая твердость может сочетаться с относительно небольшим пределом прочности при растяжении, прямой пропорциональности между прочностью и твердостью не существует. В то же время для многих материалов установлена определенная корреляционная связь между модулями объемной деформации В и сдвига G, с одной стороны, и твердостью по Виккерсу – с другой [1, 2].

В настоящей работе исследовали связь упругих характеристик сверхтвердых композитов системы cBN–Al с их твердостью по Виккерсу.

Методика эксперимента

Образцы для исследований предоставил Н.П. Беженар. Исследовали композиты системы cBN–Al с содержанием в шихте 10, 20 и 30% Al. Шихту спекали по двухстадийному режиму с предварительным насыщением алюминием в течение $t = 20$ с при $P = 2,5$ ГПа и $T = 1300$ К. Условия окончательного спекания приведены в табл.1.

Таблица 1. Условия окончательного спекания образцов

Образец	Давление спекания, ГПа	Температура спекания, К	Длительность спекания, с	Средний размер зерна, мкм	
				cBN	Al
A10-3	4,2	1750	180	2,3	26
A10-5			300		
A10-7			420		
A20-3			180		
A20-5			300		
A30-3			180		
A30-5			130		

После спекания цилиндрические образцы диаметром 10 мм и высотой 3 мм шлифовали алмазным инструментом, обеспечивая плоскопараллельность оснований. По одному из оснований изготавливали шлиф путем полирования алмазными пастами.

Твердость образцов измеряли твердомером, оснащенным пирамидой Виккерса, при нагрузке на индентор 50 Н, упругие характеристики – импульсной ультразвуковой диагностикой [3], продольную (V_i) и поперечную (V_t) скорости ультразвуковой волны – на оригинальной ультразвуковой установке [4] в частотном диапазоне 10–30 МГц с инструментальной погрешностью 0,01% на часовой базе 10 мкс. Плотность d измеряли дифференциальным методом гидростатического взвешивания с использованием кварцевого эталона. Упругие характеристики – модули Юнга E ,

сдвига G , всестороннего сжатия B и коэффициент Пуассона ν рассчитывали по известным формулам[5]:

$$G = dV_t^2; \quad E = GA; \quad B = GA/3(3 - A);$$

$$\nu = E/2G - 1 = (a^2 - 2)/2(a^2 - 1),$$

где $A = (3a^2 - 4)/(a^2 - 1)$; $a = V_i/V_t$.

Результаты испытаний

Результаты определения упругих характеристик модулей и твердости композитов системы cBN–Al приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты определения упругих характеристик и твердости композитов системы cBN–Al

Образец	№ образца	ρ , г/см ³	V_b , м/с	V_c , м/с	E , ГПа	G , ГПа	B , ГПа	ν	HV_5 , ГПа
A10-3	1	3,26	13134,7	8650,5	544,70	243,92	236,7	0,117	30,2
A10-5	2	3,28	13000,0	8606,9	539,41	242,98	230,5	0,110	30,8
A10-7	3	3,29	12925,0	8708,2	540,89	249,49	216,4	0,084	31,1
A30-5	4	3,19	12097,4	7727,3	440,77	190,48	214,0	0,156	20,0
A30-3	5	3,15	11540,9	7632,4	407,71	183,49	175,0	0,111	18,8
A20-3	6	3,25	13085,4	8448,8	530,10	231,99	247,7	0,142	26,9
A20-5	7	3,25	12831,4	8543,1	522,76	237,19	218,7	0,102	27,3

Зависимость между модулем упругости E и твердостью показана на рис. 1, между модулем сдвига G и твердостью – на рис.2.

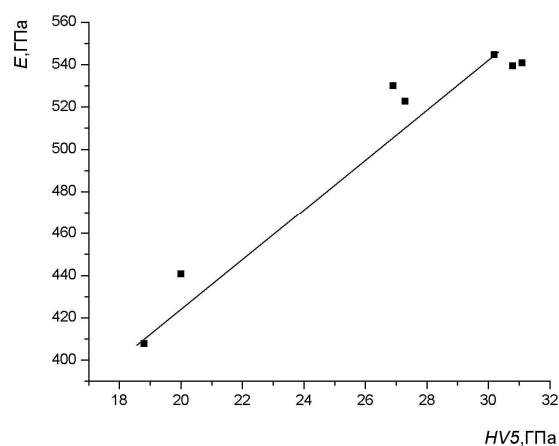


Рис.1 Связь модуля упругости при растяжении E и твердости по Виккерсу HV_5

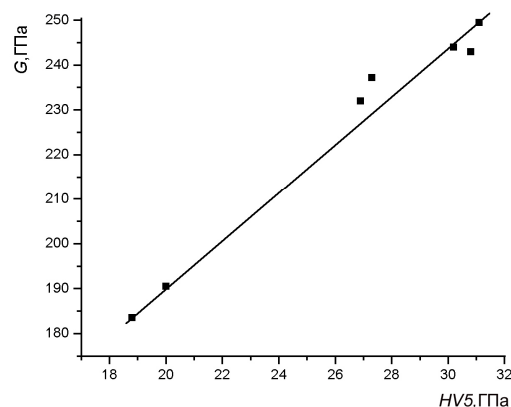


Рис.2 Связь модуля упругости при сдвиге G и твердости по Виккерсу HV_5

Из рис.1, 2 следует, что между упругими модулями E и G , и твердостью HV , с другой, в исследованном интервале твердости композитов наблюдается линейная связь. Если зависимость, приведенную на рис. 2, пролонгировать на твердость около 100 ГПа (рис. 3), что соответствует твердости алмаза, то модуль сдвига G для этого материала будет соответственно порядка 570 ГПа, что совпадает с данными, приведенными в [1]. Что же касается модуля объемной деформации B , можно отметить только некоторую тенденцию его уменьшения с увеличением содержания Al в композите. Однако разброс данных настолько велик, что следует говорить и о влиянии других факторов на модуль объемной деформации.

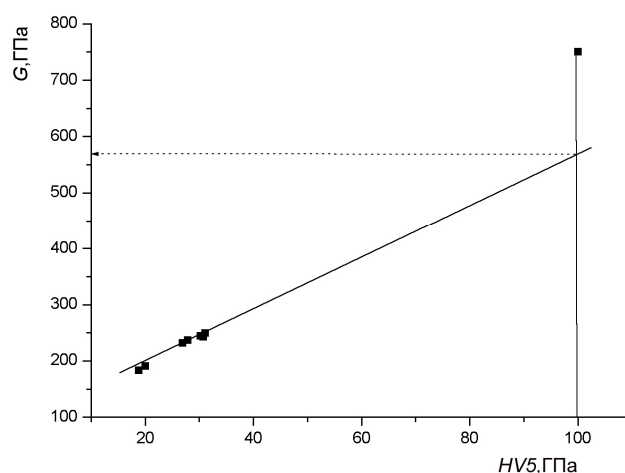


Рис. 3 Определение модуля G для алмаза, твердость которого принята 100 ГПа

Выводы

1. Для композиционных материалов системы cBN–Al установлена линейная связь между модулями упругости E и G с твердостью по Виккерсу, что позволяет по упругим характеристикам оценивать твердость композитов и наоборот, по значению твердости судить об их упругих характеристиках.

2. Значения модуля объемной деформации для данного класса композитов имеют большой разброс, который отмечается также в [1].

Авторы выражают благодарность кандидату физико–математических наук О. Н. Запорожцу и Ю. В. Русаковой за выполнение работ по определению упругих характеристик образцов.

Вимірювання твердості композитів системи cBN–C із вмістом у вихідній шихті 10,20 та 30 % Al та їх пружних характеристик показало, що між модулями E та G , з однієї сторони та твердістю H_V виконується лінійна залежність. Подовження цієї залежності до твердості 100 ГПа, яка відповідає твердості алмазу, дозволяє оцінити величину модуля зсуву алмазу G у 570 ГПа.

Ключові слова: твердість, модулі пружності. лінійний зв'язок.

Measurements of hardness and elastic characteristics of composites of the cBN–Al system (with 10, 20, and 30 wt% Al) have shown that the E and G values are related to the H_V value by the linear dependence. The extension of this dependence to the diamond hardness value (100 GPa) has allowed us to evaluate the diamond shear modulus at 570 GPa.

Key words: hardness, elastic modulus, linear dependence.

Литература

1. Tse I.S. Intrinsic hardness of crystalline Solids //Сверхтвердые матер. – 2010. – № 3. – С. 46–65.
2. Gao F.M., Gao L.H. Microscopic models of hardness // Сверхтвердые матер. –2010. – № 3. – С. 9–32.
3. Условия получения крупногабаритных заготовок гексанида Р и их характеристики //(А.В. Бочко, В.В. Ярош Т.Р.Балан и др.)//Порошковая металлургия – 1998. – № 12. – С. 55–63.
4. Установка для ультразвукового неруйнівного контролю температурних полів і термічних напруг в корпусах водоводяних ядерних реакторів при імпульсному тепловому навантаженні: Зб. наук ст. /(М.О. Дордієнко, О.І. Запорожець, Р.О. Мазманян та ін.) – 2009. – С. 299–305.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Иностран. лит., 1956. – 726 с.

Поступила 03.06.11