

УДК 621.762.4.045; 621.921.34

М. Г. Лошак, докт. техн. наук, **А. А. Шульженко** член-кор. НАН Украины,
Л. И. Александрова, **Ю. А. Мельничук**, **Ю. А. Муковоз**, кандидаты техн. наук,
И. А. Боримский, **Н. И. Заика**, **В. С. Лысаковский** *

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

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОРОШКОВ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА НА СВОЙСТВА СПЕКАЕМЫХ НА ИХ ОСНОВЕ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИИ И ТЕМПЕРАТУРЕ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ И КОМПОЗИТОВ.

Cubonit cBN powders produced in different growing systems were tested in free state und in the form of composites prepared from these powders by sintering at high pressures and temperatures. It is shown that in cutting metals the properties of the Composites may not correspond to those of starting powders in strength.

Поликристаллы и композиты на основе кубического нитрида бора (ПКНБ) благодаря использованию для их изготовления кристаллов КНБ, который по твердости занимает второе место после алмаза и превосходит его по термостабильности, обладают высокой твердостью, износостойкостью и механической прочностью.

Получают ПКНБ спеканием при высоких давлении и температуре порошков КНБ с различными активизирующими процесс спекания добавками. Известно, что параметры спекания – давление, температура, время – во многом определяют свойства ПКНБ; одним из основных факторов, от которого зависят эти свойства, является характеристика исходных порошков КНБ.

В настоящей статье излагаются результаты исследования влияния на механические характеристики ПКНБ морфологии исходных кристаллов КНБ, их прочности и абразивной способности.

Методика работы

Порошки КНБ зернистостью КМ 50/40, различающиеся строением, были получены в результате синтеза кристаллов КНБ с применением широко известных в практике ростовых систем. Кристаллы, показанные на рис. 1,а (партия 1), представляют собой преимущественно монокристаллы различной степени совершенства, их осколки и сростки. Они синтезированы в ростовой системе в избытке бора [1]. Степень превращения $\alpha\text{BN} \rightarrow \text{cBN}$ при синтезе таких кристаллов составляла около 35 % (по массе). Содержание в кристаллах бора (в ат.%) превышало содержание азота, в результате чего большинство кристаллов были темного цвета.

Кристаллы, показанные на рис. 1,б (партия 2), были получены в ростовой системе в избытке азота и представляли собой поликристаллические сростки. Такая форма кристаллов является результатом большого количества центров кристаллизации (рис. 1,в) и как следствие высокой степени превращения $\alpha\text{BN} \rightarrow \text{cBN}$ (60 % по массе). Содержание в кристаллах азота превышало содержание бора, в результате чего они были белого цвета с желтым оттенком.

Гранулометрический состав порошков определяли с помощью лазерного микроанализатора LMS-30 фирмы Seishin (Япония). Эта установка позволяет измерять зерна алмазов или КНБ размером 0,1 – 1000 мкм.

* Авторы выражают благодарность докторам технических наук Н.П. Беженарю и И. А. Петруше за изготовление образцов ПКНБ.

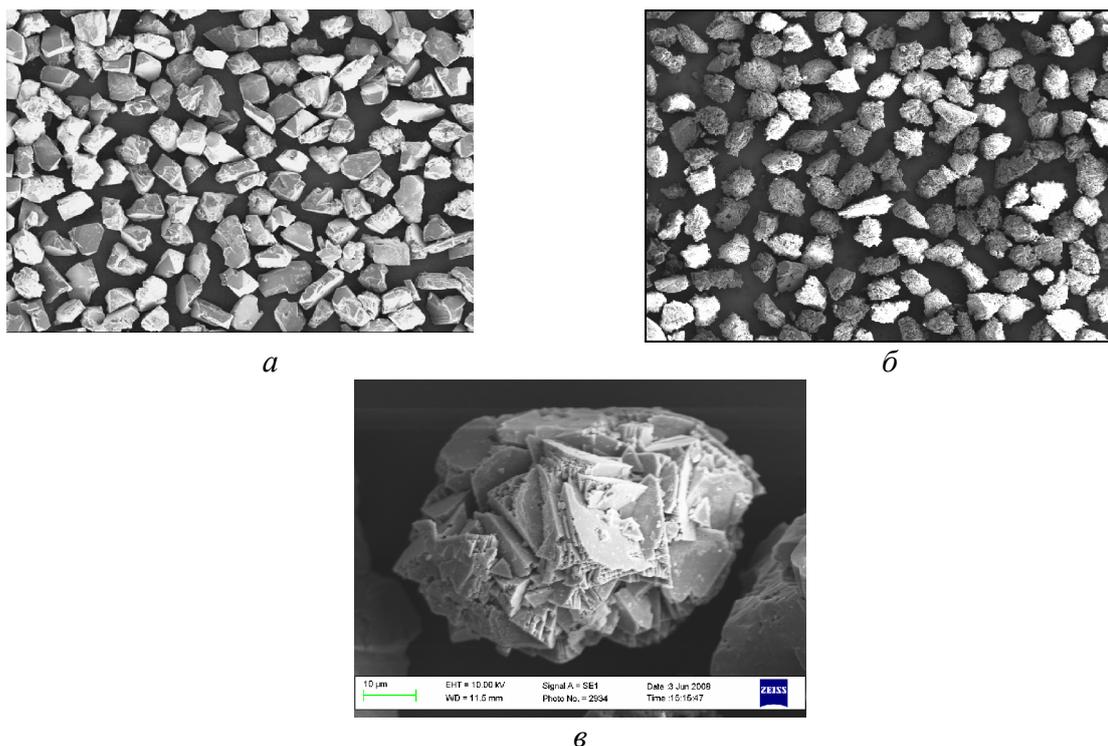


Рис. 1. Кристаллы КНБ зернистостью 50/40, полученные в ростовой системе с избытком бора (а) и азота (б), а также отдельный кристалл (в)

Абразивную способность порошков измеряли с помощью установки УАС-2М, в состав которой входит планшайба из керамики 22ХС диаметром 110 мм и толщиной 7 мм. Частота обращения планшайбы составляла 100 об./мин. В качестве образцов использовали цилиндрические твердосплавные вставки (сплав ВК6) диаметром 12 мм и высотой 7 мм. Суммарная масса груза, который прижимал образцы к планшайбе, составляла 2 кг.

Абразивную способность рассчитывали по формуле

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M},$$

где M_1 , M_2 – масса блока с образцами соответственно до и после испытаний;

M – масса навески порошка, $M = 0,03$ г.

Результатом определения абразивной способности было ее среднее значение из трех испытаний порошка.

Статическую прочность порошков при сжатии определяли на приборе ДДА-33А. Этот прибор позволяет измерять прочность (разрушающую нагрузку) отдельных зерен материала в диапазоне от 0,05 – 180 Н. Отдельные зерна размещали между лейкосапфировыми пластинами диаметром 5 мм и высотой 1,5 мм. Нагружение осуществляли в автоматическом режиме с записью разрушающего усилия.

Далее из порошков обеих партий были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 7 мм и высотой 3 мм. Спекание образцов осуществляли по двум технологическим процессам (А и Б), которые различались между собой составом шихты и параметрами спекания. В процессе А шихта состояла из гомогенной смеси порошков КНБ и алюминия, взятых в соотношении соответственно 9:1 (по массе). Спекание ПКНБ осуществляли при давлении 5 ГПа и температуре 1600 °С в течение 60 с. В процессе Б шихта состояла из порошка КНБ без добавок. Спекание осуществляли при давлении 7 ГПа и температуре 1700 °С в течение 60 с. На спеченных образцах приготавливали шлифы и измеряли твердость по Виккерсу при нагрузке 50 Н. Если при этом возле углов отпечатка появлялись трещины, то наряду с твердостью определяли трещиностойкость по Палмквисту [2].

Испытания ПКНБ при резании проводили в различных условиях обработки. В первом случае сталь ХВГ твердостью HRC = 56–61 обрабатывали на станке в режиме чистового точения: скорость резания $v = 100$ м/мин, подача – 0,09 мм/об., глубина резания – 0,2 мм, время работы варьировали от 1,5 до 7,5 мин. При этом годными считались пластины, износ по задней грани которых согласно ТУ 2-037-636-89 не превышал 0,11 мм после работы в течение 90 с.

Во втором случае обрабатывали цилиндрическую заготовку диаметром 70 мм из той же стали ХВГ твердостью 59 HRC, но которая имела три продольных равномерно расположенных по окружности шпоночных паза (10x12). Этот случай имитировал продольное точение с ударами.

В третьем случае обрабатывали твердый сплав ВК8, выполняя продольное непрерывное безударное точение цилиндрической заготовки диаметром 150 мм.

В четвертом случае обрабатывали фланец из антифрикционного чугуна АЧС-1 твердостью HB = 200 МПа, подрезая торец фланца с шестью полостями. Такая подрезка имитировала обработку в условиях непрерывного и прерывистого резания. Режимы обработки приведены в табл 3.

Результаты испытаний.

Результаты гранулометрического анализа в виде гистограмм распределения размеров зерен порошка КНБ зернистостью КМ 50/40 партий 1 и 2. приведены на рис. 2.

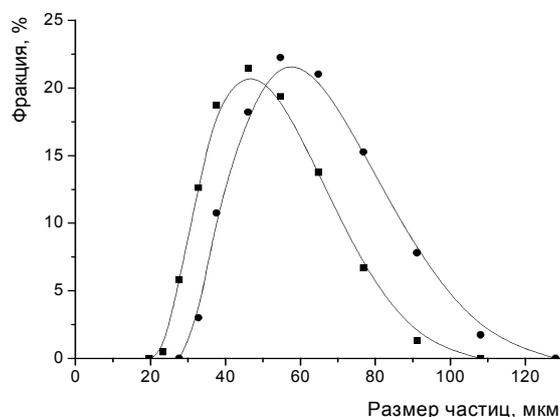


Рис. 2. Гистограммы распределения размеров зерен порошков партий 1 (⊙) и 2 (■).

Видно, что порошок партии 2 по сравнению с порошком партии 1 более мелкий: средний размер зерна партии 2 – 43 мкм, партии 1 – 53 мкм.

В табл. 1 приведены данные испытаний порошков на абразивную способность и прочность при сжатии.

Таблица 1. Механические свойства порошков КНБ зернистостью КМ 50/40

Партия материала	Прочность при сжатии, Н	Абразивная способность, отн. ед.
1	3,1	1,73
2	0,5	1,26

Следует отметить, что агрегаты партии 2 разрушались при нагрузке до 0,5 Н, поэтому в табл. 1 приведено максимальное значение для этой партии. Прочность при сжатии кристаллов партии 1 – 0,5–20 Н (рис. 3), средняя для партии – 3,1 Н. Абразивная способность порошков партии 1 примерно в 1,5 раза превышает абразивную способность порошков партии 2.

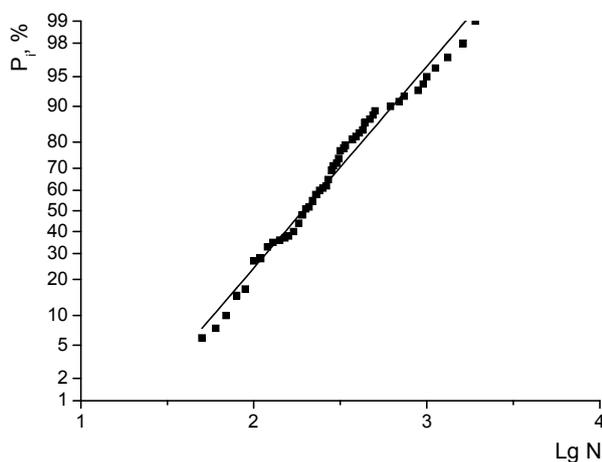


Рис.3. Результаты испытаний на прочность порошка КНБ в координатах «вероятность разрушения – логарифм прочности частицы»

На образцах, изготовленных по технологии А, при нагрузке 50 Н у углов отпечатков от вдавливания пирамиды Виккерса образовывались трещины, что сделало возможным определение трещиностойкости по Палмквисту этих материалов. На образцах, изготовленных по технологии Б, при нагружении индентора с нагрузкой 50 Н происходили выколы материала. Поэтому на этих образцах твердость определяли с помощью микротвердомера при нагрузке 5 Н. В этом случае возле отпечатков от пирамиды Виккерса трещин не обнаружено. Как следует из данных табл. 2, механические характеристики композитов различаются не так значительно, как порошки, послужившие основой их изготовления.

Таблица 2. Технология изготовления, твердость и трещиностойкость композитов

Партия материала	Технология изготовления композита	$HV50$, ГПа	$HV5$, ГПа	K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}
1	А	24,8	–	4,1
	Б	–	48,9	
2	А	23,5	–	4,0
	Б	–	44,1	

Результаты испытаний на стойкость при резании (табл. 3) свидетельствуют, что для технологии А стойкость режущих пластин при непрерывном чистовом точении практически не зависит от партии порошка.

При точении чугуна на всех режущих пластинах независимо от технологии изготовления и партии порошка износ практически не наблюдался.

При прерывистом точении стали ХВГ с ударами для пластин, спеченных по технологии А, стойкость пластин из порошка партии 1 в 1,5 раза ниже, чем из порошка партии 2. При точении твердого сплава пластинами, изготовленными по технологии А, стойкость пластин из порошка партии 2 в 2 раза выше чем из порошка партии 1.

Таблица 3. Износ по задней грани режущих пластин, изготовленных на основе порошков КНБ партий 1 и 2

	Обрабатываемый материал	Режим обработки	Процесс А		Процесс Б	
			Партия 1	Партия 2	Партия 1	Партия 2
1	ХВГ (56-61)HRC	Время точения, мин. 1.5 4.5 7.5	Износ по задней грани*, мм			
			0,07	0,07	0,06	0,05
			0,12	0,13	0,11	0,09
			-	-	0,16	0,11
2	ХВГ 59HRC	$\varrho=88$ м/мин. $S=0,05$ мм/об $t=0,2$ мм $T=6,5$ мин.	ширина фаски p_3 (мм) скорость изнашивания i (мкм/мм)			
			<u>0,15</u> 23,1	<u>0,1</u> 15,4	<u>0,2</u> 30,8	<u>0,1</u> 15,4
3	Сплав ВК8	$\varrho=15$ м/мин. $S=0,1$ мм/об $t=0,1$ мм; $T=5,5$ мин.	<u>0,4</u> 72,7	<u>0,2</u> 36,4	<u>0,35</u> 63,6	<u>0,15</u> 27,3
4	Чугун АЧС-1 НВ 200	$\varrho_{max}=314$ м/мин. $D_{min}=140$ м/мин. $S=0,19$ мм/об. $t=0,5$ мм $T=5$ мин.	На всех режущих пластинах износ практически не наблюдался			

Обсуждение результатов.

При испытании на статическое сжатие порошков можно было ожидать, что прочность зерен партии 2, представляющих собой фактически поликристаллические агрегаты, будет меньше прочности зерен партии 1, которые являются преимущественно монокристаллами различной степени совершенства.

Агрегированные зерна партии 2 разрушались уже при начальной степени нагружения (0,5 Н). В то же время монокристаллы партии 1 разрушались в широком интервале нагрузок (см. рис. 3). Нанесенные на график, соответствующий нормальному закону распределения логарифмов прочности, эти данные хорошо легли на прямую линию, что свидетельствует о подчинении прочности зерен КНБ партии 1 нормальному закону.

Абразивная способность порошка партии 1 также в 1,5 раза выше, чем порошка партии 2. Другие закономерности наблюдаются при испытании спеченных композитов. Твердость и трещиностойкость материалов, изготовленных на основе порошков партий 1 и 2, различаются незначительно (см. табл. 2). В то же время испытания на резание (см. табл. 3) свидетельствуют, что для режущих пластин, изготовленных по технологии Б (без добавок в шихту) для всех случаев испытаний резанием (кроме обработки чугуна) более высокую износостойкость имеют пластины, спеченные из порошка партии 2 с низкой прочностью и абразивной способностью агрегированных зерен. Следовательно, благодаря более развитой поверхности агрегированных зерен порошка партии 2 (см. рис. 1,в) при спекании ПКНБ режущие пластины по механическим характеристикам соответствуют пластинам из порошка партии 1, а при высоких динамических нагрузках значительно превышают эти пластины, как при прерывистом резании и обработке твердого сплава: стойкость пластин из порошка партии 2 в 2 раза превышает стойкость пластин из порошка партии 1. Однако при введении дополнительно алюминия, играющего роль активирующей добавки (процесс А), износ пластин, изготовленных из порошка КНБ обеих партий, совпадал при чистовом точении. При ударном нагружении пластины из порошка партии 2 снова оказались более стойкими.

Выводы

1. В режиме свободного абразива эффективность порошков КНБ определяться свойствами зерен этих порошков в исходном состоянии.

2. При изготовлении из порошков КНБ композита или поликристаллического материала характеристики последних будут определяться как исходными свойствами порошков, так и составом композита, а также его спеканием. При этом важную роль в определении качества материала играют условия его эксплуатации.

Литература

1. Сверхтвердый материал киборит и области его применения /Н.В. Новиков, А.А.Шульженко, Н.П.Беженар и др.// Инструментальный світ. – 2002. – № 1. – С. 10–12.
2. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – К.: Наук. думка, 1984. – 328 с.

Поступила 20.06.08