

**КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА**

**КЕРАМІКА НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ**

**CERAMICS BASED ON CUBIC BORON NITRIDE**

Научный руководитель – зав. каф. «Материаловедение технологии материалов»,

канд. техн. наук; ст. н. с. Евтифеев С. Л.

Выполнил – студент ОНПУ, гр. МЗ-141 (ИПТДМ) Ткаченко В. В.

Науковий керівник - зав. каф. «Матеріалознавство технології матеріалів»,

канд. техн. наук; ст. н. с. Евтифеев С. Л.

Виконав - студент ОНПУ, гр. МЗ-141 (ИПТДМ) Ткаченко В. В.

Supervisor – Head. kaf "Materials technology materials technology"

Cand. tech. sciences; Art. n with. Evtifeev S.L.

Completed – student ONPU, gr. MZ-141 (IPTDM) Tkachenko V. V.

**Аннотация:** К керамике относятся изделия, изготовленные в результате спекания различных сортов глин с минеральными примесями. Термин «керамика» произошел от греческого слова «keramos», что переводится глина. Керамическими издревле называли изделия, вылепленные из глины и обожженные на огне. Разнообразие керамических изделий очень широко. Это и различные предметы посуды, изысканные вазы, фигурки, картины, подсвечники, чайники и другие предметы декора. В данной работе будет рассматриваться керамика на основе кубического нитрида бора и еще некоторые типы керамик. Будут рассмотрены основные свойства материалов и схема испытания образцов при изгибе.

**Анотація:** До кераміки відносяться вироби, виготовлені в результаті спікання різних сортів глин з мінеральними домішками. Термін «кераміка» походить від грецького слова «keramos», що перекладається глина. Керамічними здавна називали вироби, виліплені з глини і обпалені на вогні. Різноманітність керамічних виробів дуже широко. Це і різні

предмети посуду, вишукані вази, фігурки, картини, свічники, чайники та інші предмети декору. У даній роботі буде розглядатися кераміка на основі кубічного нітриду бору і ще деякі типи керамік. Будуть розглянуті основні властивості матеріалів і схема випробування зразків при вигині.

**Annotation:** Ceramics include products made as a result of sintering various grades of clay with mineral impurities. The term "ceramics" is derived from the Greek word "keramos", which translates clay. From ancient times they called ceramic products molded of clay and burned on fire. The variety of ceramic products is very wide. This and various items of dishes, exquisite vases, figurines, paintings, candlesticks, teapots and other decor items. In this paper we will consider ceramics based on cubic boron nitride and some more types of ceramics. The basic properties of materials and the test pattern for bending will be considered.

**Ключевые слова:** керамика, образец испытания, изгиб, материал, свойства, теплопроводность, изделия, прочность, исследования.

**Ключові слова:** кераміка, зразок випробування, вигин, матеріал, властивості, теплопровідність, вироби, міцність, дослідження.

**Keywords:** ceramics, test sample, bending, material, properties, thermal conductivity, products, strength, research.

Главным преимуществом нитрида бора является его нетоксичность и химическая инертность. Одной из важнейших характеристик нитрида бора является то, что это вещество придает любому изделию термостойкость, плотность и стабильность.

3 основных модификации нитрида бора имеют разную структуру и, соответственно, разные области применения.

**Гексагональный нитрид бора** («белый графит») используют для производства высокотемпературной керамики, антикоррозийных и антипригарных покрытий, высокотемпературных смазочных материалов и ряде других областей.

Производство технической керамики из нитрида бора осуществляется согласно нескольким ТУ, поэтому разные марки гексагонального нитрида бора отличаются как по составу, так и по эксплуатационным свойствам.

Таблица 1. Технические характеристики керамики на основе нитрида бора.

Технические характеристики керамики на основе нитрида бора					
Бора нитрид (BN), min, %	98,50	99,00	97,40	97,80	98,00
Иные примеси	-	содержание железа – max 0,1%	бора карбид (B4C) – max 1,5%	-	бора карбид (B4C) – max 0,3%
Бора оксид (B2O3), max, %	0,200	0,200	0,200	0,300	0,200
Плотность	0,270–0,370 г/см <sup>3</sup>	-	min 0,33г/см <sup>3</sup>	0,270–0,370 г/см <sup>3</sup>	min 0,33г/см <sup>3</sup>
Индекс графитации	-	-	-	1,80 - 2,50	max 1,5

**Кубический нитрид бора** (эльбор, боразон), по своим характеристикам подобен алмазу, а в термостойкости и ударной прочности сильно его превосходит. Из него изготавливают тигли, изоляторы, тигли для получения полупроводниковых кристаллов и пр.

**Плотный гексагональный нитрид бора**, типа вюрцита, подобен лонсдейлиту.

**Керамика на основе нитрида бора** нашла широкое применение в авиастроении и ракетной технике, в машиностроении и стекольной промышленности, в химической промышленности, энергетике и металлургии. В производстве высокотемпературной техники все чаще применяются тигли, изоляторы и электровакуумные приспособления на основе нитрида бора.

Таблица 2. Характеристики керамики на основе нитрида бора гексагонального горячепрессованного.

<b>Характеристики керамики на основе нитрида бора гексагонального горячепрессованного</b>				
	тип А	тип Б	тип Е	тип Г
Химический состав, % или формула	99	99	BN+ZrO <sub>2</sub> +SiC	BN+TiB <sub>2</sub> +AlN
Плотность, г/см <sup>3</sup>	>2	2.15	2.3	>3.01
Твердость, гл	300	450	600	-
Модуль эластичности, ГПа	-	-	-	60-70
Прочностной изгиб, Мпа	35	95	150	>150
Коэффициент термического расширения, (10 <sup>-6</sup> /К)	-1-2.5	1~2	2-3	4-6
Теплопроводность при 20°C, Вт/мк	50	35	15	100/40
Максимальная температура использования: -воздушная среда -вакуум -инертный газ	900	900	900	900
	1800	1600	1500	1700
	2200	1800	1700	2000
Удельное сопротивление, Ω см	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>12</sup>	300-2000

Точность обработки изделий из гексагонального нитрида бора типа Б составляет 0,02мм.

Таблица 3. Свойства материала нитрида бора и области его применения.

<b>Свойства материала</b>						
	BN□99%	BN□97.5%	BN+Al	BN+SiC	BN+ZrO <sub>2</sub>	BN+AlN
Связующее вещество	-	CaB <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AlBO <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AlBO <sub>3</sub>	AlBO <sub>3</sub>
Удельная плотность (г/см <sup>3</sup> )	1.85~1.95	2.00~2.10	2.25~2.35	2.35~2.50	2.90~3.00	2.50~2.60
Удельное электросопротивление (Ω/см)	□10 <sup>14</sup>	□10 <sup>13</sup>	□10 <sup>12</sup>	□10 <sup>12</sup>	□10 <sup>12</sup>	□10 <sup>13</sup>
Максимальная температура эксплуатации (°C)	Окислительная среда	900	900	1000	1000	1000
	Инертная среда	2100	2100	1700	1700	1800
	Вакуумная среда	1900	1900	1700	1700	1800
Прочность на изгиб (Мпа)	30	35	85	105	120	110

продолжение таблицы 3

Прочность на сжатие (Мпа)	50	70	150	175	200	185
Тепловое расширение ( $RT \cdot 1000^{\circ}C$ ) ( $10^{-6}/K$ )	1.0	1.6	1.9	4.0	6.0	3.0
Теплопроводность (Вт/(м×К))	30	32	35	40	30	55
<b>Области применения изделий из нитрида бора</b>						
Компоненты для высокотемпературных печей	√	√				√
Тигли для выпаривания металлов	√	√				
Компоненты для плавки металла и стекломассы	√	√	√	√	√	√
Компоненты литейных форм для драгоценных металлов и специальных сплавов	√	√	√	√	√	√
Компоненты креплений, подверженные высокотемпературным стрессам			√	√	√	√
Трубы и сопла для перегонки и раздачи расплавленного металла	√	√	√	√		

Таблица 4. Основные свойства керамического материала G3.

Наименование свойства	Единица измерений	Интервал величин	Примечание
1. Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	2,66 – 3,06	
2. Средняя плотность	г/см <sup>3</sup>	1,08 – 1,127	
3. Общая пористость	%	57,6 – 64,4	
4. Влажность	%	0,002 – 0,11	
5. Водопоглощение	%	25,5 – 42,7	
6. Твердость по Моосу		1,3 – 1,5	
7. Теплопроводность	Вт/м×К	0,474 – 0,51	

Таблица 5. Основные свойства керамического материала Х2.

Наименование свойства	Единица измерений	Интервал величин	Примечание
1. Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	3,6 – 3,72	
2. Средняя плотность	г/см <sup>3</sup>	1,29 – 1,31	
3. Общая пористость	%	62,0 – 65	
4. Влажность	%	0,002 – 0,05	
5. Водопоглощение	%	22,8 – 34,4	
6. Твердость по Моосу		3 – 4	
7. Теплопроводность	Вт/м×К	0,56 – 0,60	

Таблица 6. Основные свойства керамического материала НТСА.

Наименование свойства	Единица измерений	Интервал величин	Примечание
1. Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	4,15 – 4,17	
2. Средняя плотность	г/см <sup>3</sup>	1,41 – 1,43	
3. Общая пористость	%	64 – 65	
4. Влажность	%	0,009 – 0,012	
5. Водопоглощение	%	35,5 – 38,55	
6. Твердость по Моосу		4,0 – 4,2	
7. Теплопроводность	Вт/м×К	0,61 – 0,63	

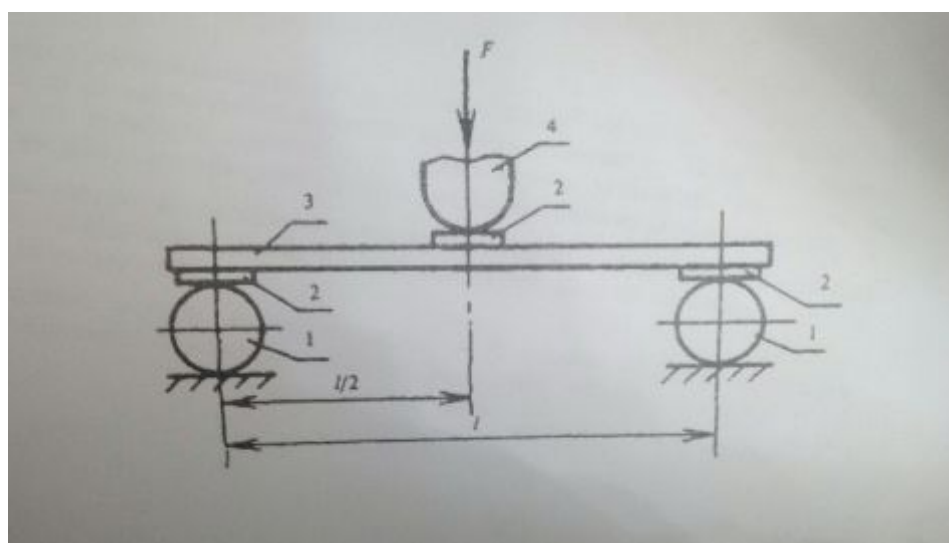


Рисунок 1. Схема испытания плиток на прочность при изгибе.

1 – опора; 2 – резиновая прокладка; 3 – образец; 4 – деталь, передающая нагрузку.

Для керамических изделий допускается определять теплопроводность по формуле Некрасова, а именно:

$$\lambda = 1,16 \times (\sqrt{0,019 + 0,22\rho_{\text{ср}}}) - 0,16, \text{ где} \quad (1)$$

$\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность

Прочность на изгиб определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{3NL}{2BH}, \text{ где} \quad (2)$$

N – нагрузка на образец в момент разрушения, кгс;

L – длина образца, мм;

B – ширина образца, мм;

H – толщина образца, мм.

Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты испытаний на изгиб.

Интервал значения прочности на изгиб различных керамик, МПа		
G3	X2	HTCA
1,2 – 2,04	3,57 – 5,535	2,5 – 6,4

Исследования и расчеты показали, что прочность на изгиб изученных типов керамики лежит в пределах прочности грубой керамики, которая составляет 1-10 МПа. В первом приближении по значениям прочности на изгиб можно установить прочность на растяжение, умножив на коэффициент 1,5 - 2, и сжатие, умножив на коэффициент 2.5 - 3.

Исследователи считают необходимым продолжить изучение свойств образцов керамики для накопления статистических данных и обработки их при помощи численных методов согласно общепринятым алгоритмам.

Также необходимо изучить количество муллита и влияние составов керамик и технологических режимов на основные свойства керамических материалов.

Выводы:

1. Необходимо продолжить набор статистического материала по изучению свойств керамических материалов ибо статистическая выборка количества образцов не соответствует алгоритмам коэффициентов корреляции результатов.
2. Необходимо увеличить время исследований, т.к. исследования очень трудоемкие и длительные. Например, исследования одного образца в пределах одного вида керамики может достигать 72 ч., непрерывной работы.
3. Рекомендовать заказчику тщательно готовить сухую массу для 3D печати смеси и поэкспериментировать с технологическими режимами первичной сушки образцов и обжига.
4. Наиболее прочным и твердым считаем керамический материал НТСА.

Литература:

1. С. Л. Евтифеев - OBTAINING CERAMIC PRODUCTS 3D PRINTING -  
Материалы 19-го Международного научно-технического семинара, 2019 г.,  
г. Кошице, Словацкая Республика, с.66-69
2. Л. И. Дворкин., О. Л. Дворкин – Справочник по строительному  
материаловедению. – Москва, Инфра-Инженерия. – 2014, 472 с.
3. Е. Л. Шведков, И. И. Ковенский. – Словарь-справочник по новой керамике. –  
Киев: Наукова думка, 2016. – 277 с.
4. Л. М. Балкевич – Техническая керамика. – 2015, 200 с.
5. <http://rm.gkmp32.com/nitr-bor>
6. <https://machine-cnc.livejournal.com/1340.html>