

# ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО КУБИЧЕСКИЙ НИТРИД БОРА

Олейник Н.А. (ІСМ НАН України, г. Київ, Україна)

*The results of studies character of the distribution particles of the synthesis product of cubic nitride boron after different treatments in form of the particular and summary characteristics, which are approximated according to Rosin –Rammler equation.*

**Вступление.** Порошки кубического нитрида бора (cBN) используют в технике для изготовления инструмента и поликристаллических материалов. Их получают в процессе переработки продукта, который образуется в виде спеков при синтезе cBN. Составляющими спеков являются кристаллы и их сростки cBN (до 26 % по массе), гексагональный нитрид бора (hBN) (до 52 % по массе), остальное - металлосодержащие и примесные фазы в виде боридов, диборидов, оксида магния, диоксида бора, графита.

Поэтому, как правило, переработка продукта синтеза cBN (ПС) представляет собой дробление спеков, растворение металлосодержащих фаз, окисление hBN и графита, финишную очистку, сортировку и классификацию порошка. В процессе переработки ПС крупность материала изменяется в широком диапазоне и значительно влияет на эффективность переработки. Интенсификация процесса и снижение его экологической опасности, возникающей из-за применения значительного количества химических реагентов возможна за счет увеличения площади поверхности, однородности по крупности и степени раскрытия дисперсного ПС.

Оценка крупности и математическое описание характеристики крупности дисперсного материала необходимы для обоснования и разработки процессов для применения в структурной схеме переработки ПС.

**Целью настоящей работы является установление зависимостей, описывающих характеристики крупности дисперсного ПС cBN после различных видов его обработки.**

**Методология исследования.** Исследования проведены на ПС, предназначенном для производства микропорошков, предоставленном лабораторией «Перспективные АВД для синтеза высокопрочных сверхтвердых материалов» ИСМ.

Образцы для исследования получены путем последовательных операций: стадийного дробления исходных спеков и химической обработки ПС (рис.1).

Образцы материала, подготовленные по схеме, были подвергнуты ситовому анализу на наборе сит с размерами отверстий 3,0 мм; 1,0 мм; 0,5 мм; 0,3 мм. Набор сит помещали в вибровстряхиватель и проводили рассев в течение 20 мин.

По результатам ситового анализа рассчитывали выход материала (%) классов крупности по формуле (1)

$$\gamma = \frac{100 \cdot G_{\text{кл.крупн.}}}{G_{\text{исх.}}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{кл.крупн.}}$  - масса материала (г), прошедшая сито с размером отверстий  $-d$  мм и задержавшаяся на сите с размером отверстий  $+d$  мм;  $G_{\text{исх.}}$  - масса материала (г), поступившая на рассев.

По результатам ситового анализа (гранулометрическому составу) оценивали крупность материала и распределение по крупности дисперсных частиц.

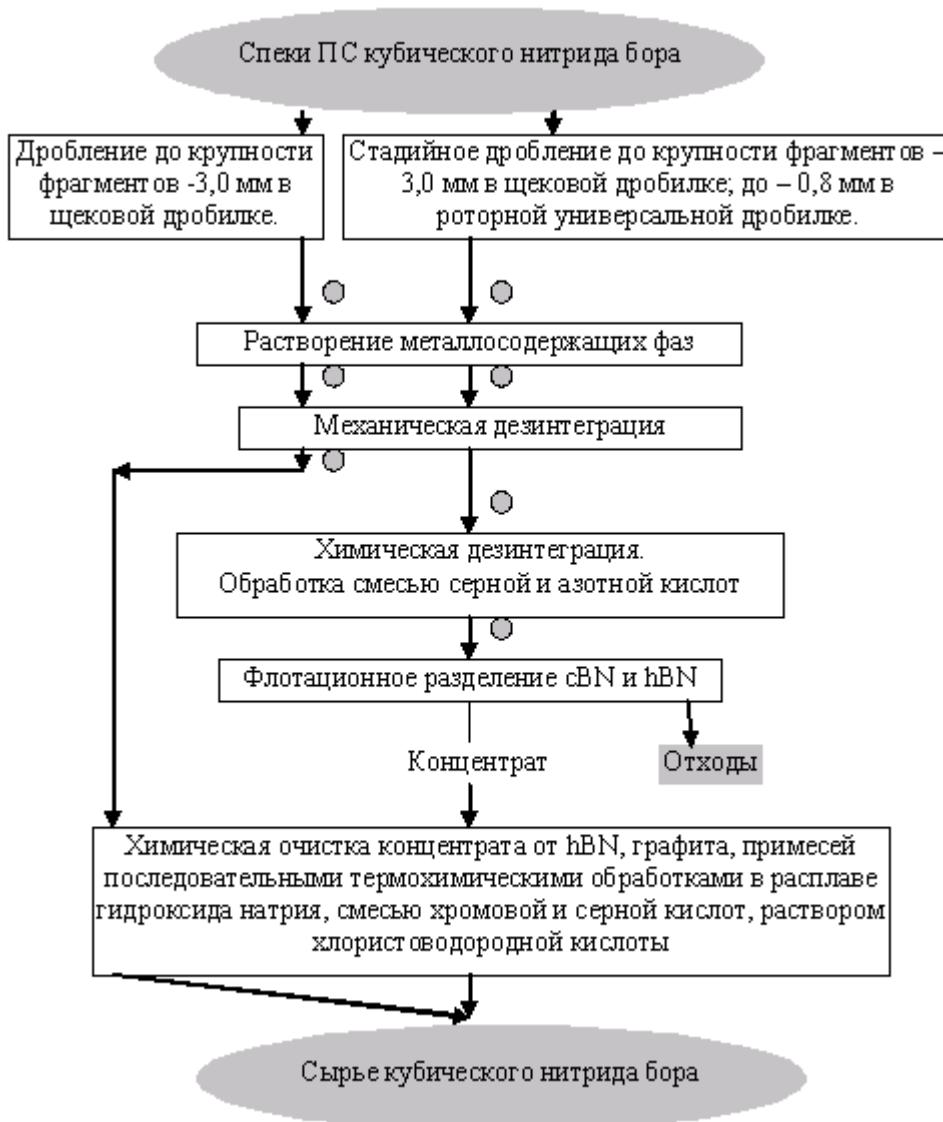


Рис. 1. Схема подготовки образцов для исследования их гранулометрического состава.  
 ● - места отбора проб образцов для исследования.

**Результаты и обсуждение.** Номинальной (условной) крупностью принято считать размер отверстий того сита, на котором остаток составляет 5 % по массе, а просев равен 95 % по массе [1]. Графическим изображением гранулометрического состава являются частные и суммарные характеристики крупности. Частные характеристики представляют собой график или столбиковую диаграмму, абсциссы которых - размер (диаметр) отверстий сит, применяемых при анализе, ординаты - выход материала этих классов. Частные характеристики крупности ПС после дробления до -3,0 мм; до -0,8 мм представлены на рис.2. Графическое изображение частной характеристики зависит от набора сит, применяемых при анализе. Определить выход материала заданного класса крупности можно, интерполируя изменение выхода в классе по закону прямой линии [1]. Для описания распределения частиц всего диапазона крупности применяют суммарную характеристику [1, 2]. Выход частиц заданного размера или заданного класса крупности ( $-d_1 + d_2$ ) определяют по разности

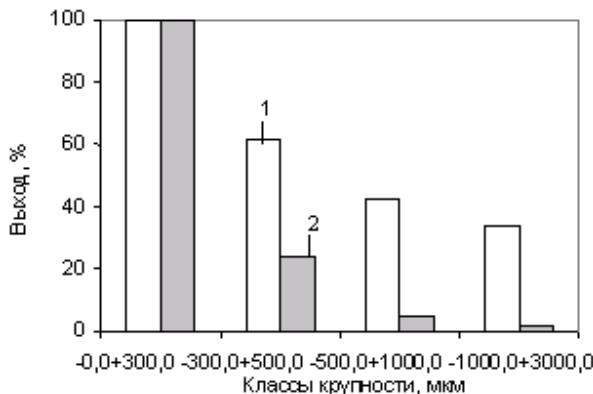


Рис. 2. Частные характеристики крупности материала после дробления до -3,0 мм (1); до -0,8 мм (2)

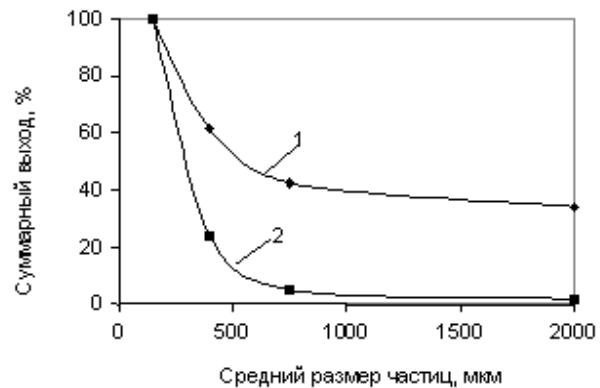


Рис. 3. Суммарные характеристики крупности материала после дробления до -3,0 мм (1); до -0,8 мм (2)

ординат. Пример построения суммарной характеристики крупности материала после дробления до -3,0 мм; до -0,8 мм представлен на рис.3.

Для оценки крупности, описания распределения частиц по крупности дробленых и измельченных материалов могут быть применены различные математические функции.

Результаты аппроксимации суммарных ситовых характеристик линейной, степенной, экспоненциальной зависимостями приведены в табл.1.

Как видно из результатов, коэффициент достоверности аппроксимации кривой  $y=f(x)$  линейной, степенной, экспоненциальной зависимостями значительно различается. Наибольшая достоверность достигается при описании функции степенной зависимостью.

Построение суммарных характеристик в широком диапазоне крупностей с линейными шкалами ведет к построению длинных графиков. Поэтому суммарные характеристики строят в прямоугольной системе координат с полулогарифмическими ( $\lg x, y$ ); логифмическими ( $\lg x, \lg y$ ) шкалами, где  $x$  – размер отверстий сита,  $y$  – суммарный выход классов. Используют двойную логарифмическую сетку. Аппроксимация характеристики крупности линейной зависимостью позволяет достичь высокий коэффициент достоверности.

Пример построения суммарной характеристики крупности материала после дробления до -3,0 мм; до -0,8 мм и ее аппроксимация линейной зависимостью представлены в двойной логарифмической сетке на рис.3 и рис. 4, соответственно.

Таблица 1. Результаты аппроксимации суммарных ситовых характеристик.

Вид обработки	Функция аппроксимации	Уравнение	Коэффициент достоверности аппроксимации, $R^2$
Дробление до крупности -3,0 мм	Линейная	$y = -0,0281x + 82,69$	0,6204
	Степенная	$y = 800,43x^{-0,4258}$	0,9661
	Экспоненциальная	$y = 82,006e^{-0,0005x}$	0,737
Дробление до крупности -0,8 мм	Линейная	$y = -0,0376x + 63,655$	0,452
	Степенная	$y = 334656x^{-1,624}$	0,9802
	Экспоненциальная	$y = 59,988e^{-0,002x}$	0,8095

Известно, что для описания распределения частиц по крупности дробленых и измельченных материалов широко применяется экспоненциально-степенное уравнение Розина — Раммлера [1]

$$R = 100 e^{-bx^n}, \quad (2)$$

где R - суммарный остаток на сите d, %; e – основание натуральных логарифмов; b и n - постоянные, характерные для данного материала.

При последовательном двойном логарифмировании уравнение принимает вид:

$$\lg \lg \frac{100}{R} = n \lg x + \lg(b \lg e), \quad (3)$$

где n – тангенс угла наклона прямой;  $\lg(b \lg e)$  – отрезок, отсекаемый на оси ординат.

Параметры b и n уравнения (2) находят по формулам:

$$n = \frac{\lg \lg \frac{100}{R_1} - \lg \lg \frac{100}{R_2}}{\lg x_1 - \lg x_2}, \quad b = \frac{\lg \frac{100}{R_1}}{x_1^n \lg e} \quad (4)$$

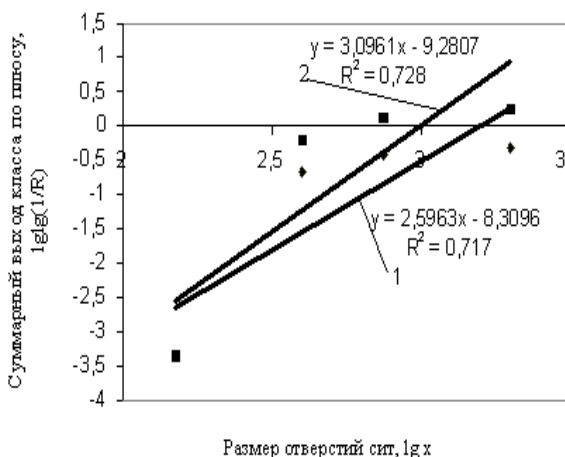


Рис.4. Пример построения суммарной характеристики крупности ПС сВН после дробления до крупности -3,0 мм (1) и стадиного дробления до крупности -0,8 мм (2)

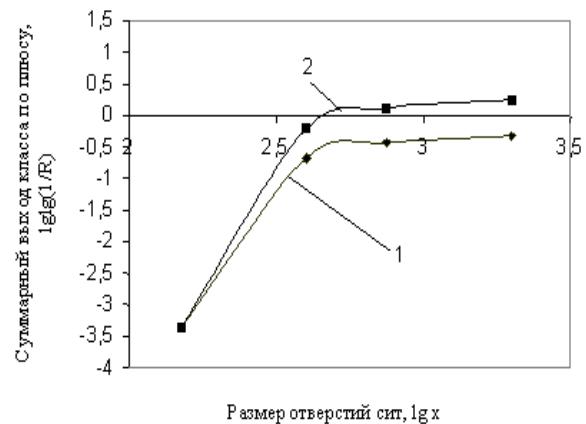


Рис.5. Аппроксимация линейной зависимостью суммарной характеристики крупности ПС сВН после дробления до крупности -3,0 мм (1) и стадиного дробления до крупности -0,8 мм (2)

Для технологических продуктов переработки ПС сВН после различных видов обработки были построены суммарные характеристики крупности в двойной логарифмической сетке и их аппроксимация. По формулам 3 вычислены параметры уравнения Розина-Раммлера (табл. 2).

Сравнение экспериментальных и расчетных выходов, полученных по уравнению Розина-Раммлера, показало, что при вероятности 0,95, относительная погрешность не превышает 10%.

Таблица 2. Параметры уравнения Розина-Раммлера, описывающего распределение по крупности частиц ПС сВН после различных видов обработки.

Вид обработки	Область применения уравнения (x), мкм	Параметры уравнения Розина-Раммлера	
		n	b
Дробление до крупности - 0,8 мм	0-3000	3,208941	$1,04 \cdot 10^{-10}$
Дробление до крупности - 0,8 мм, растворение металло-содержащих фаз.		3,248129	$8,55 \cdot 10^{-11}$
Дробление до крупности - 0,8 мм, растворение металло-содержащих фаз, механическая дезинтеграция		3,412737	$3,75 \cdot 10^{-11}$
Дробление до крупности - 0,8 мм, растворение металло-содержащих фаз, механическая, химическая дезинтеграция		4,301848	$4,35 \cdot 10^{-14}$
Дробление до крупности – 3,0		2,695905	$1,36 \cdot 10^{-9}$
Дробление до крупности - 3,0 мм растворение металло-содержащих фаз.		2,901784	$4,85 \cdot 10^{-10}$
Дробление до крупности - 3,0 мм, растворение металло-содержащих фаз, механическая дезинтеграция		3,252091	$8,38 \cdot 10^{-11}$

**Выводы.** 1. Проведена оценка характера распределения по крупности частиц семи образцов ПС сВН, специально подготовленных с применением стадийного дробления и химической обработки. 2. Распределение частиц по крупности дисперсного ПС сВН описано графически в виде частных и суммарных характеристик. Суммарная характеристика крупности ПС сВН, наиболее полно и во всем диапазоне кружностей, описана экспоненциально-степенным уравнением Розина — Раммлера. Определены параметры уравнения для всех рассматриваемых вариантов стадийной обработки. Относительная погрешность определения выхода материала заданного класса крупности при вероятности 0,95 не превышает 10%.

**Список литературы:** 1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980.— 415 с. 2. Справочник по обогащению руд /Под ред. О.С. Богдановна и В.А. Олевского. — М.: Недра, 1982. — Т.1. — 366 с.

Сдано в редакцию 10.04.08