

*We have considered real structure of diamond crystals type Ib, grown in systems based on Fe–Al, doped with boron. Infrared absorption topograph of diamond plates has been obtained and dependence of the structure relative to orientation of the origin crystal and conditions of its grown process has been detected.*

**Key words:** *Ib type diamond, photoluminescence, infrared spectroscopy.*

### **Литература**

1. Strong H. M., Wentorf R. H. The growth of large diamond crystals // J. Naturwissenschaften. – 1972. – **59**. – № 1. – С. 1–7.
2. Буберман Г.С. Зонная структура алмазов // Успехи физических наук. – 1971. – **103**. – № 4. – С. 675–704.
3. Внутреннее строение и электропроводность легированных бором кристаллов синтетического алмаза / А. С. Вишневецкий, А. И. Прихна, Т. Д. Оситинская и др. // Синтетические алмазы. – 1974. – № 2. – С. 5–7.
4. Физические свойства алмаза. Справочник / под ред. Н. В. Новикова // К.: Наукова думка, 1987. – 188 с.
5. Топография граней монокристаллов алмаза, выращенных на затравке / С. А. Ивахненко, О. А. Заневский, И. С. Белоусов и др. // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 3. – С. 23–29.
6. Особенности электрофизических свойств полупроводниковых алмазов, выращенных методом температурного градиента / А. П. Чепугов, А. Н. Катруша, Л. А. Романко и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – № 14. – С. 254–261.

*Поступила 15.06.12*

УДК 669 018.25

**М. Г. Лошак**, д-р техн. наук, **Л. И. Александрова**, канд. техн. наук, **Т. А. Косенчук**

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

### **СТАТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА**

*Приведены результаты исследования распределения вероятности разрушения кристаллов для различных партий алмазных порошков и порошков из кубического нитрида бора (КНБ), различающихся прочностью при сжатии. Установлено, что алмазный порошок, по прочности соответствующий маркам до АС100, а также порошки из КНБ подчиняются закону нормального распределения логарифмов прочности, тогда как прочность высокопрочных алмазных порошков (марки АС160 и выше) соответствуют закону распределения Вейбулла.*

**Ключевые слова:** *закон распределения Вейбулла, закон нормального распределения, алмаз, прочность зерен, порошки.*

### **Введение**

Практика определения предела прочности при сжатии кристаллов алмаза показывает [1], что существует большой разброс значений прочности, что обусловлено отклонениями размеров зерен, форм кристаллов, характером и количеством включений.

Статистическая обработка результатов испытаний кристаллов алмаза на прочность позволяет установить вид функции распределения  $P(\sigma < \sigma_0)$ , представляющей собой вероятность того, что кристалл не разрушится при напряжении менее  $\sigma_0$ .

Часто при испытаниях материалов на прочность используют нормальное распределение, или распределение по закону Гаусса [2]

$$P(\sigma < \sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S}} \int_{-\infty}^{\sigma} e^{-\frac{(\sigma-a)^2}{2S^2}} dx, \quad (1)$$

где  $a, S$  – параметры нормального распределения.

Если полученные при испытании результаты воспроизвести в виде графика в координатах, построенных с учетом нормального закона распределения, при условии справедливости этого закона для эксперимента точки на графике разместятся вблизи прямой линии.

Нормальный закон распределения справедлив тогда, когда случайная величина зависит от большого количества факторов, каждый из которых, взятый в отдельности, влияет на эту величину сравнительно мало. Часто лучшее соответствие получается при использовании не нормального, а логарифмического нормального закона распределения, для которого

$$P(\lg \sigma < \lg \sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S}} \int_{-\infty}^{\lg \sigma} e^{-\frac{(\lg \sigma - a)^2}{2S^2}} dx. \quad (2)$$

Если предположить, что при испытании на прочность кристаллов алмаза эта характеристика зависит от наличия примесей или внутренних дефектов, случайно распределенных в объеме кристалла, распределение прочности можно выразить формулой, предложенной Вейбуллом [3]:

$$P(\sigma < \sigma_0) = 1 - e^{-\left[\frac{\sigma - x_0}{\beta}\right]^{1/\alpha}}, \quad (3)$$

где  $x_0, \beta, \alpha$  – параметры распределения.

Распределение (3) путем несложных преобразований [2] приводится к виду

$$P(\sigma < \sigma_0) = 1 - e^{-e^y}. \quad (4)$$

Для расчета параметров распределения Вейбулла (4) используют формулы Гумбеля [4]. При условии соответствия распределения (4) результатам испытаний на прочность отдельные значения прочности кристаллов на графике располагаются вблизи прямой

$$Y = 2,30259 m (\lg \sigma - \lg K).$$

Параметры  $m$  и  $K$  определяются по формулам [4] соответственно

$$m = \frac{d_n}{S(\lg \sigma) 2,30259}; \quad (5)$$

$$\lg K = \lg \sigma + \frac{y_n}{2,30259 m}. \quad (6)$$

Для выражений (5), (6) параметры  $d_n$  и  $y_n$ , зависящие от количества испытанных кристаллов, приведены в работе [4, 156].

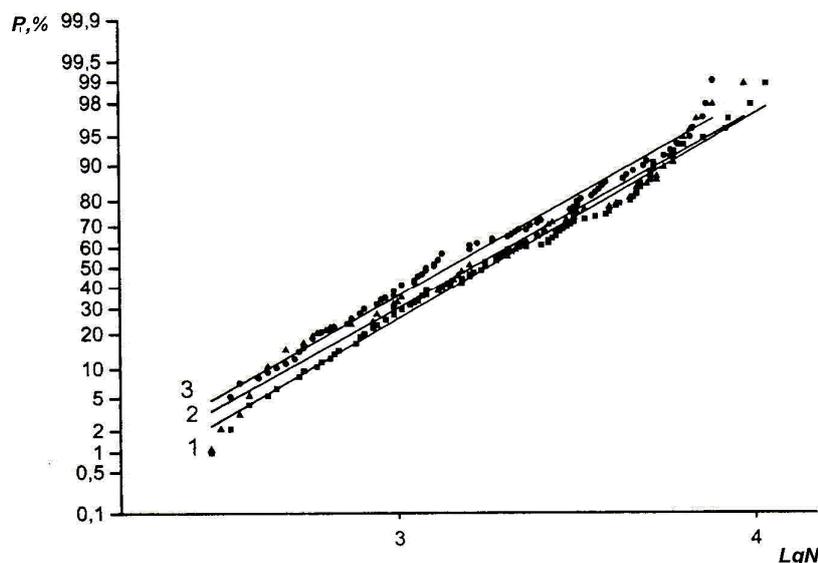


Рис. 1. Результаты испытания на прочность алмазного микропорошка: 1 – природный алмаз; 2 – синтетический алмаз; 3 – синтетический алмаз после термохимической обработки

В ранее выполненных исследованиях было показано [5], что прочность зерен микропорошков природного и синтетического алмазов зернистостью 40/28 при сжатии подчиняется нормальному закону распределения логарифмов прочности (рис. 1).

Аналогично при испытании на прочность зерен порошка из КНБ зернистостью 50/40 было получено [6], что зерна разрушались в широком интервале нагрузки, а прочность при сжатии монокристаллов из КНБ подчиняются нормальному распределению логарифмов

прочности частиц (рис. 2).

Последующие исследования, результаты которых впервые публикуются в настоящей работе, были направлены на установление соответствующих зависимостей для большого количества партий алмазных порошков и порошков из КНБ, различающихся прочностью при сжатии.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Отдельные зерна испытывали на сжатие на микропроцессорной установке ДДА-33, для определения статической прочности алмазных абразивных порошков при сжатии [7]. Отбирали по 50–100 зерен из партии порошка с предварительно установленной по стандарту маркой и зернистостью.

Алмазные порошки марок АС80, АС100, АС160, АС200, АС250 зернистостью 400/315 испытывали в одинаковых условиях. В таких же условиях испытывали порошки из КНБ марок КВ63/50, КР100/80, КО160/125 и КР200/160.

Результаты испытания в координатах «вероятность разрушения – прочность при сжатии» (рис. 3, а, б), показывают, что значения прочности зерен алмазных порошков до прочности марок АС100 ближе к прямым на графике, соответствующем нормальному закону распределения логарифмов прочности, тогда как прочность алмазных порошков более

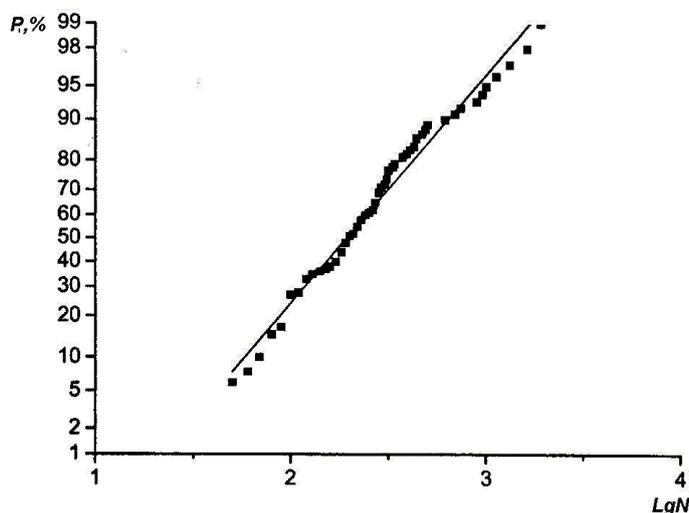


Рис. 2. Результаты испытания на прочность порошка из КНБ в координатах «вероятность разрушения – логарифм прочности частицы»

высокой прочности (марки АС160 и выше) ближе к прямым на графике, соответствующем распределению Вейбулла (рис. 4, а, б).

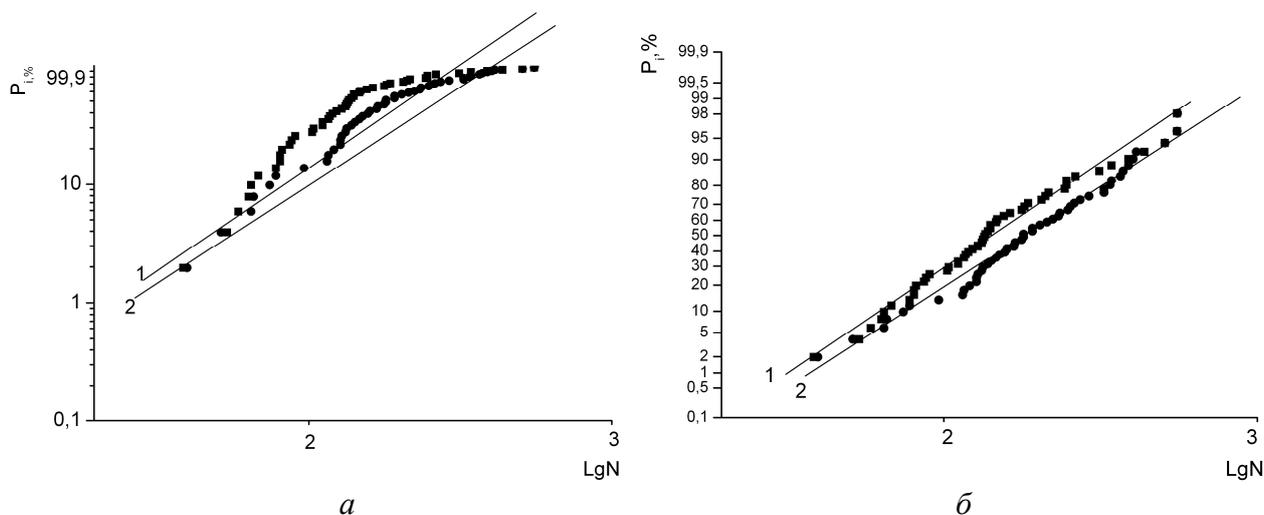


Рис. 3. Результаты испытания на прочность зерен алмаза марок 1 – АС80, 2 – АС100 в координатах «вероятность разрушения – логарифм прочности частицы»: а – распределение по закону Вейбулла; б – нормальное распределение

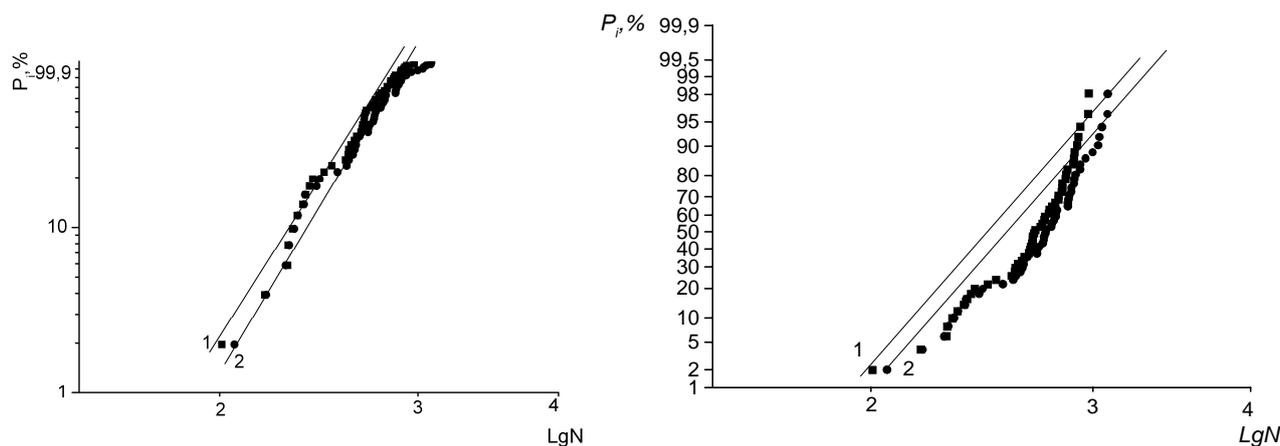


Рис. 4. Результаты испытания зерен алмаза марок 1 – АС160, 2 – АС250 в координатах «вероятность разрушения – логарифм прочности частицы» для распределения по закону Вейбулла (а) и нормального (б)

Все результаты испытаний порошков из КНБ располагаются ближе к прямым на графике, соответствующем нормальному закону распределения логарифмов прочности (рис. 5, а, б).

Из приведенных результатов следует, что прочность зерен алмазных порошков, характеризующихся прочностью до марки АС100 включительно, описывается нормальной функцией распределения логарифмов прочности, что также наблюдается при испытании порошков КНБ.

Следовательно, прочность отдельных зерен рассмотренных материалов зависит от многих факторов, каждый из которых влияет на прочность сравнительно в меньшей степени. Для высокопрочных алмазных порошков (марки АС160 и выше), соответствие значений прочности при сжатии отдельных зерен закону распределения Вейбулла, вероятно, указывает на преобладающее влияние отдельных дефектов структуры на прочность зерен.

Проанализировали также влияние размеров отдельных зерен на характер распределения их прочности. В частности, испытали на сжатие алмазный порошок марки АС250 зернистостью 630/500. Для испытаний отобрали 50 зерен одинакового размера по

одной диагонали. В этом случае результаты испытаний ближе к прямой на графике, соответствующем распределению Вейбулла (рис. 6, а, б).

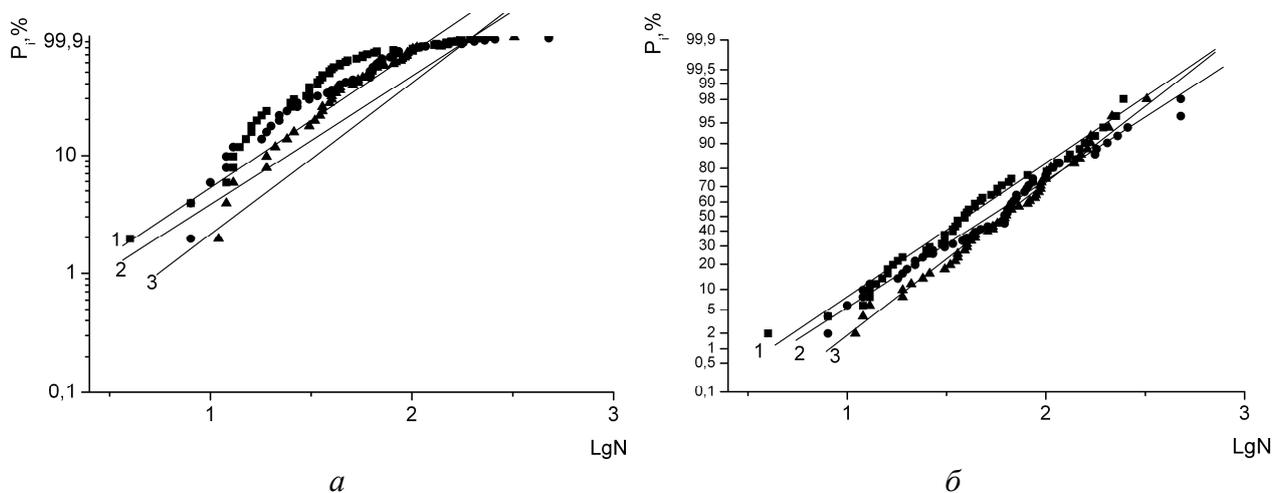


Рис. 5. Результаты испытания на прочность порошка из КНБ различной зернистости: 1 – KB63/50; 2 – KP100/80; 3 – KB160/125 (а – распределение по закону Вейбулла; б – нормальное распределение)

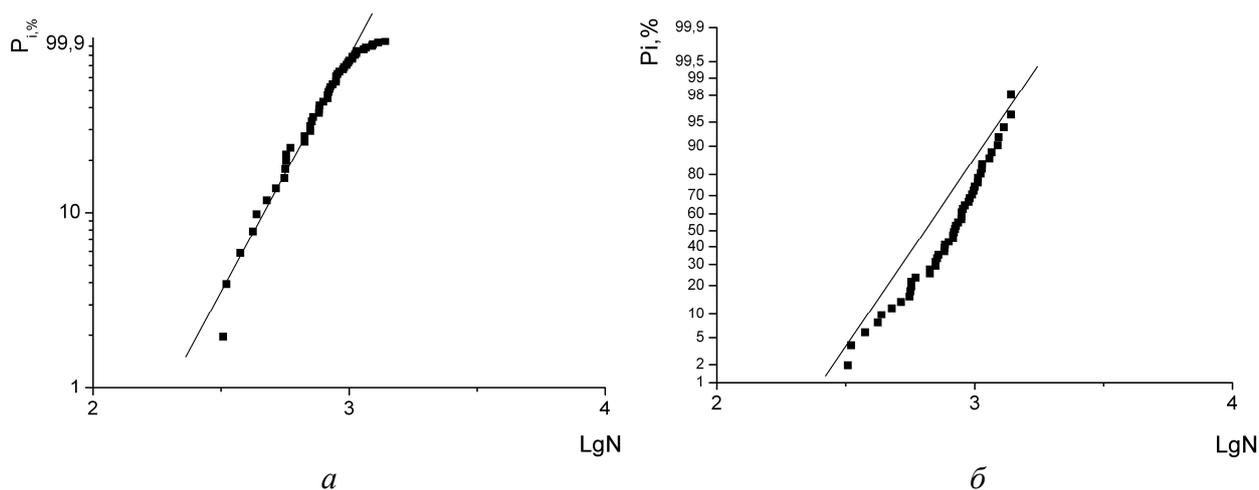


Рис. 6. Результаты испытания зерен алмаза марки AC250 (отборного) в координатах «вероятность разрушения – логарифм прочности частицы»: а – распределение по закону Вейбулла; б – нормальное распределение

Масштабный фактор предполагает большее количество дефектов на больший объем образца. Если этот объем приняли примерно одинаковым для всех зерен, количество дефектов также будет одинаковым. Следовательно, в данном случае следует говорить не о количестве дефектов, а об их природе. Геометрические размеры дефектов, их форма, возможно, определяют прочность высокопрочных кристаллов.

#### Выводы

1. Прочность зерен алмазных порошков, характеризующихся прочностью соответствующей маркам до AC100 включительно, а также порошков из КНБ описывается нормальной функцией распределения логарифмов прочности.

2. Алмазный порошок по прочности соответствующей маркам AC160 и выше, подчиняется закону распределения Вейбулла.

3. Определяющую роль в оценке прочности высокопрочных монокристаллов алмазных порошков играют дефекты структуры.

Наведено результати дослідження розподілу імовірності руйнування кристалів для різних партій алмазних порошків і порошків із кубічного нітриду бору (КНБ), що різняться міцністю при стисненні. Встановлено, що алмазний порошок, який за міцністю відповідає маркам до АС100, а також порошки з КНБ підпорядковуються закону нормального розподілу логарифмів міцності, тоді як міцність високоміцних алмазних порошків (марки АС160 і вище) відповідають закону розподілу Вейбулла.

**Ключові слова:** закон розподілу Вейбулла, закон нормального розподілу, алмаз, міцність зерен, порошки.

*The law of the strength distribution in compression of diamond single crystals in powders has been defined. The strength of individual high-strength crystals has been shown to depend mainly on the presence of defects in a crystal.*

**Key words:** law of distributing of Veyboulla, zakon normal distribution, diamond, durability, sprinkle of snow.

### Литература

1. Исследование физико-механических характеристик крупных синтетических монокристаллов для бурового инструмента / Н. В. Новиков, А. П. Загора, Г. Д. Ильницкая и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2011. – вып. 14. – С. 249 – 254.
2. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский Н. В. Курс вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 511 с.
3. Вейбулл В. Ю. Усталостные испытания и анализ их результатов. – М.: Машиностроение, 1964. – 275 с.
4. Прочность материалов при высоких температурах. / Г. С. Писаренко, В. Н. Руденко, Г. Н. Третьяченко, В. Т. Трощенко. – К.: Наук. думка, 1966. – 795 с.
5. Влияние свойств микропорошков алмаза на прочность и долговечность изготовленных на их основе поликристаллических сверхтвердых материалов / М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, Л. И. Александрова, и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 218–221.
6. Влияние морфологии порошков кубического нитрида бора на свойства спекаемых на их основе при высоких давлении и температуре поликристаллов и композитов / М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, Л. И. Александрова, и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 174–179.
7. Установка для определения показателей статической прочности микропорошков СТМ / М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, П. Ю. Моторный // Инструментальный світ. – 2008. – № 1. – С. 37–38.

Поступила 28.05.12