

УДК 621.921.34-2: 622.24.05

**Н.В. Новиков**, акад. НАН Украины, **Г.П. Богатырева**, д-р техн. наук,  
**Г.Д. Ильницкая**, **Р.К. Богданов**, **А.М. Исонкин**, **А.П. Загора**,  
**Г.Ф. Невструев**, кандидаты технических наук, **И.Н. Зайцева**

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

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

*The results of studies of physical-chemical properties of high-strength synthetic diamond grinding powders and dependence of operational (working) characteristics of drilling tools from these properties are presented in this report. The results of studies of an effect of thermal treatment on strength and magnetic characteristics of these powders are also presented. It has been ascertained that a use of diamond grinding powders with high uniformity by strength reduces wear of working elements of drilling tools, i. e. wear-resistance of drilling tools increases.*

### **Введение**

Эффективность работы бурового инструмента при геологоразведочных работах во многом зависит от качества применяемых алмазов. Расширение области применения нового бурового инструмента привело к использованию высокопрочных синтетических алмазов. В настоящее время для удовлетворения потребностей современного производства производятся алмазные порошки различных марок, в том числе высокопрочные порошки, не уступающие по прочности и термостойкости природным алмазам. При этом в порошках синтетических алмазов по сравнению с природными содержится большое количество кристаллов правильной формы [1].

Однако до сих пор не известны все закономерности кинетики увеличения размеров кристаллов алмаза, приводящие к образованию совершенных по строению бездефектных высокопрочных кристаллов [2]. Исследованиями установлено [3–5], что размеры кристаллов алмаза, количество включений в них и прочность во многом зависят от скорости увеличения размеров кристаллов. Как правило, в рабочем объеме аппарата высокого давления (АВД) невозможно обеспечить одинаковые условия для увеличения размеров всех кристаллов вследствие неоднородности температуры и давления, что приводит к различным свойствам зерен алмаза. В силу этого синтезированные алмазные порошки являются сырьем, из которого с помощью классификации и сортировки можно получить шлифпорошки необходимой зернистости и прочности.

В результате совершенствования процесса синтеза ведущими зарубежными фирмами получены высокопрочные алмазы, из которых могут изготавливаться высокопрочные порошки синтетического алмаза марок АС200 – АС400 [6].

В этой связи цель данной работы – исследовать влияние физико-химических свойств высокопрочных шлифпорошков синтетических алмазов на эксплуатационные характеристики бурового инструмента.

### **Методика эксперимента и исходные материалы**

Для исследования были выбраны алмазные шлифпорошки зернистостью 400/315 марки АС200, синтезированные в системе железо–никель–углерод. Методом адгезионно-магнитной сортировки эти порошки разделили по дефектности поверхности и изготовили из них три образца [7; 8]. Полученные образцы подвергли термической обработке в воздушной и инертной средах при температуре от 400–1100 °С. После температурных воздействий на порошки определили их прочность [9; 10] и удельную магнитную восприимчивость [11; 12].

Дефектность поверхности зерен алмазных шлифпорошков оценивали по коэффициенту поверхностной активности  $K_a$  [13].

Общее содержание примесей и включений в порошках алмаза измеряли методом рентгенофлуоресцентного интегрального анализа с использованием растрового электронного микроскопа «BS-340» и энергодисперсного анализатора рентгеновских спектров «Link-860». Коэффициент однородности шлифпорошков синтетического алмаза  $K_{одн}$  определяли по показателю статической прочности и оценивали по суммарному содержанию зерен, разрушающая нагрузка которых находится в интервалах прочности для номинальной марки в соответствии с ДСТУ 3292 [14]. Термостабильность оценивали по коэффициенту термостабильности  $K_{ст}$  [15].

Эксплуатационные характеристики бурового инструмента оценивали по интенсивности изнашивания породоразрушающих элементов бурового инструмента  $I$  при трении о горную породу [16].

#### Результаты и их обсуждение

Для исследования были изготовлены образцы шлифпорошков синтетического алмаза с различными коэффициентами поверхностной активности. Далее определили прочность  $P$  этих образцов, коэффициент однородности  $K_{одн}$ , удельную магнитную восприимчивость  $\chi$ , содержание примесей и включений в кристаллах алмаза  $\beta$ . Результаты измерений и расчетов приведены в таблице.

#### Характеристики образцов высокопрочных порошков алмаза зернистостью 400/315

Характеристика	Значение характеристики образцов		
	1	2	3
$K_a, \%$	0,05	0,12	0,23
$P, Н$	414,2	358,0	305,5
$K_{одн}, \%$	76,0	64,0	48,0
$K_{ст}, у. е.$	0,95	0,85	0,72
$\chi \cdot 10^{-8}, м^3/кг$	3,2	10,2	24,7
$\beta, масс. \%$	0,331	0,439	0,617

Как следует из данных таблицы, полученные образцы шлифпорошков алмаза, различаются дефектностью поверхности, прочностью, однородностью по прочности, термостабильностью, магнитными свойствами и содержанием примесей и включений.

Кристаллы алмаза образца 1 имеют низкую дефектность поверхности ( $K_a = 0,05 \%$ ), т. е. ниже этого параметра образцов 2 и 3 соответственно в 2 и 5 раз. При этом прочность шлифпорошков алмаза образца 1 превышает этот показатель образцов 2 на 13,6 %, образцов 3 – на 26,3 %.

Зависимость прочности алмазов от дефектности их поверхности показана на рис. 1. Как видно из рис. 1, прочность как основная технологическая характеристика алмазных шлифпорошков при статическом сжатии зерен алмаза увеличивается при снижении дефектности их поверхности.

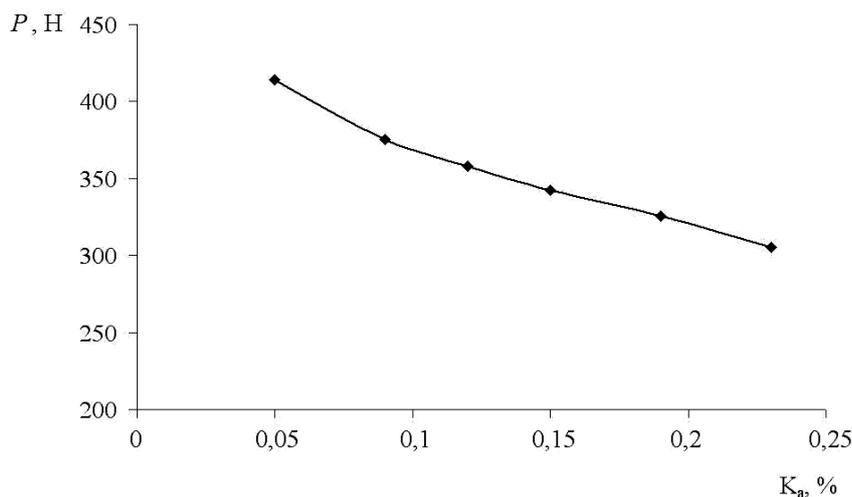


Рис. 1. Зависимость прочности алмазов от дефектности их поверхности

Для изучения влияния термических воздействий на прочность высокопрочных шлифпорошков алмаза образцы 1–3 с различным содержанием примесей и включений подвергали термообработке в инертной среде аргона при температуре 400–1100 °С. Результаты этих испытаний показаны на рис. 2. Как видно из данных рис. 2, прочность кристаллов алмаза в результате термической обработки в инертной среде снижается во всех образцах. Прочность образца 1 (кривая 1 на рис. 2) при содержании примесей и включений  $\beta = 0,331$  масс. % снижается на 5 %, образца 2 (кривая 2 на рис. 2) при  $\beta = 0,439$  масс. % – на 15 %, образца 3 при  $\beta = 0,617$  масс. % (кривая 3 на рис. 2) – на 28 %.

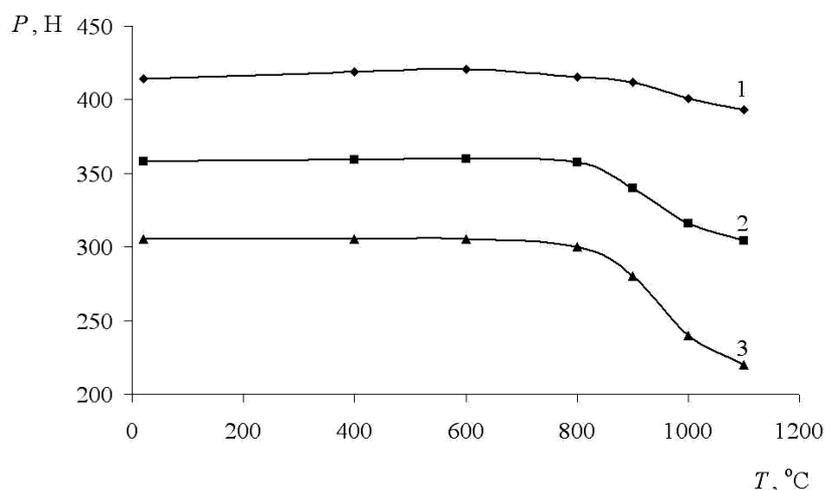


Рис. 2. Зависимости прочности алмазов образцов 1–3 от температуры в инертной среде

Шлифпорошки образцов 1 и 3 подвергали термообработке в воздушной среде при температуре 400–1100 °С. Результаты этих испытаний показаны на рис. 3. Как видим, прочность образца 1 (кривая 1 на рис. 3) снижается на 12 %, образца 3 (кривая 3 на рис. 3) – на 57 %.

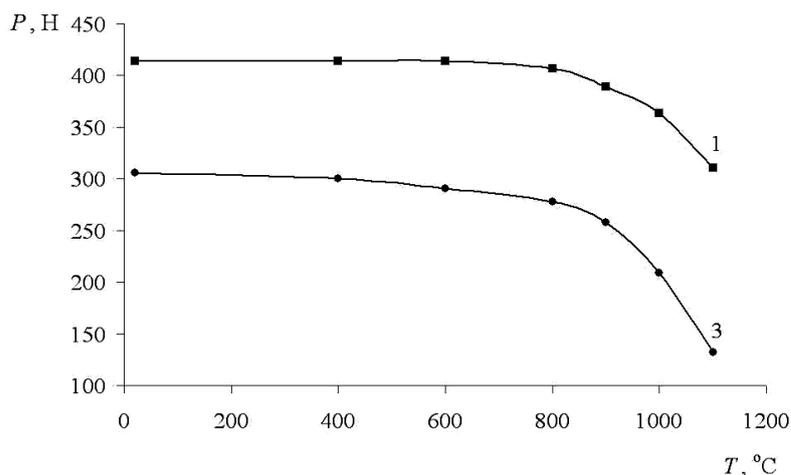


Рис. 3. Зависимости прочности алмазов образцов 1 и 3 от температуры в воздушной среде

Таким образом, прочность кристаллов алмазов высокопрочных порошков как в инертной среде, так и в воздушной снижается с повышением температуры термической обработки. При этом в воздушной среде с повышением температуры прочность снижается приблизительно в два раза интенсивнее. К тому же прочность кристаллов алмаза снижается тем сильнее, чем больше в них содержание примесей и включений.

Содержание примесей и включений в шлифпорошках алмаза тесно связано с магнитными свойствами этих порошков [11]. Содержание примесей и включений в шлифпорошках образцов с разной удельной магнитной восприимчивостью показано на рис. 4. Из рис. 4 следует, что при увеличении содержания примесей и включений в шлифпорошках алмаза повышается их удельная магнитная восприимчивость.

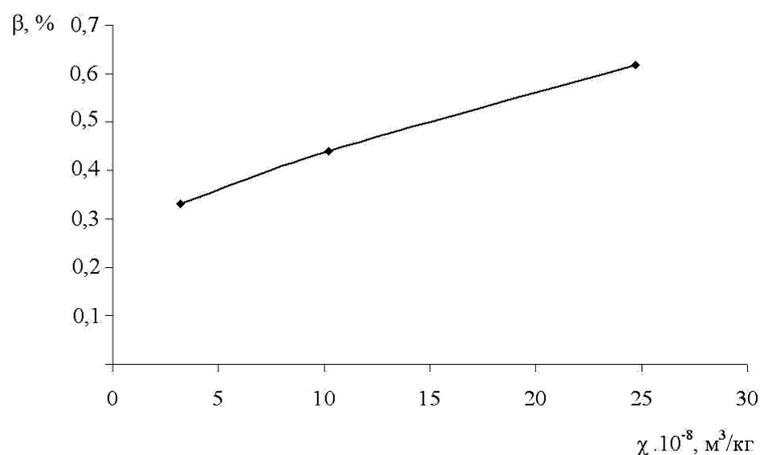


Рис. 4. Содержание примесей и включений в шлифпорошках алмазов с разной удельной магнитной восприимчивостью

После термической обработки при различной температуре (400–1100 °C) в шлифпорошках алмаза образцов 1–3 измеряли удельную магнитную восприимчивость. Результаты испытаний показаны на рис. 5.

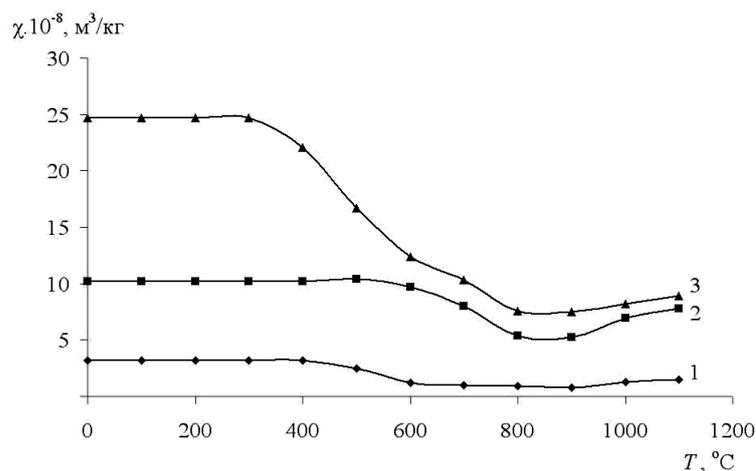


Рис. 5. Зависимости удельной магнитной восприимчивости алмазов образцов 1–3 от температуры обработки

Из данных рис. 5 видно, что для всех образцов с повышением температуры обработки снижаются магнитные свойства кристаллов алмаза.

Удельная магнитная восприимчивость образца 1 снижается с  $3,2 \cdot 10^{-8}$  до  $1,5 \cdot 10^{-8}$  м³/кг, образца 2 – с  $10,2 \cdot 10^{-8}$  до  $7,8 \cdot 10^{-8}$  м³/кг, образца 3 – с  $24,7 \cdot 10^{-8}$  до  $8,9 \cdot 10^{-8}$  м³/кг. Во всех образцах удельная магнитная восприимчивость снижается до достижения температуры 900 °С, а при температуре 1000 °С и выше начинает незначительно увеличиваться. Изменение удельной магнитной восприимчивости связано с изменением фазовых превращений внутрикристаллических включений.

Образцы синтетических высокопрочных алмазов различной прочности и однородности по прочности и были использованы при изготовлении породоразрушающих элементов бурового инструмента, сравнительные испытания которых на износостойкость были проведены посредством разрушения коростышевского гранита в лабораторных условиях при частоте вращения 600 мин<sup>-1</sup> и удельной нагрузке 8 МПа. Результаты испытаний, показанные на рис. 6, свидетельствуют о том, что интенсивность изнашивания породоразрушающих элементов бурового инструмента уменьшается при использовании порошка алмаза, более однородного по прочности, с  $0,25 \cdot 10^{-4}$  мм/м для образца 3 ( $K_{одн} = 48 \%$ ) до  $0,17 \cdot 10^{-4}$  мм/м для образца 1  $K_{одн} = 76 \%$ .

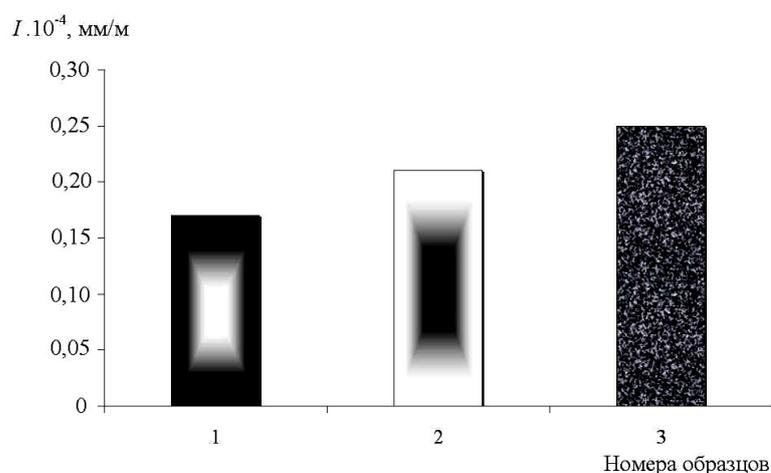


Рис. 6. Интенсивность изнашивания вставок бурового инструмента образцов 1–3

Дополнительным подтверждением более высокой износостойкости породоразрушающих элементов, оснащенных алмазами с низкой дефектностью поверхности, различной

однородностью и более высокой прочностью, являются исследования их рабочего торца, результаты которых показаны на рис. 7.

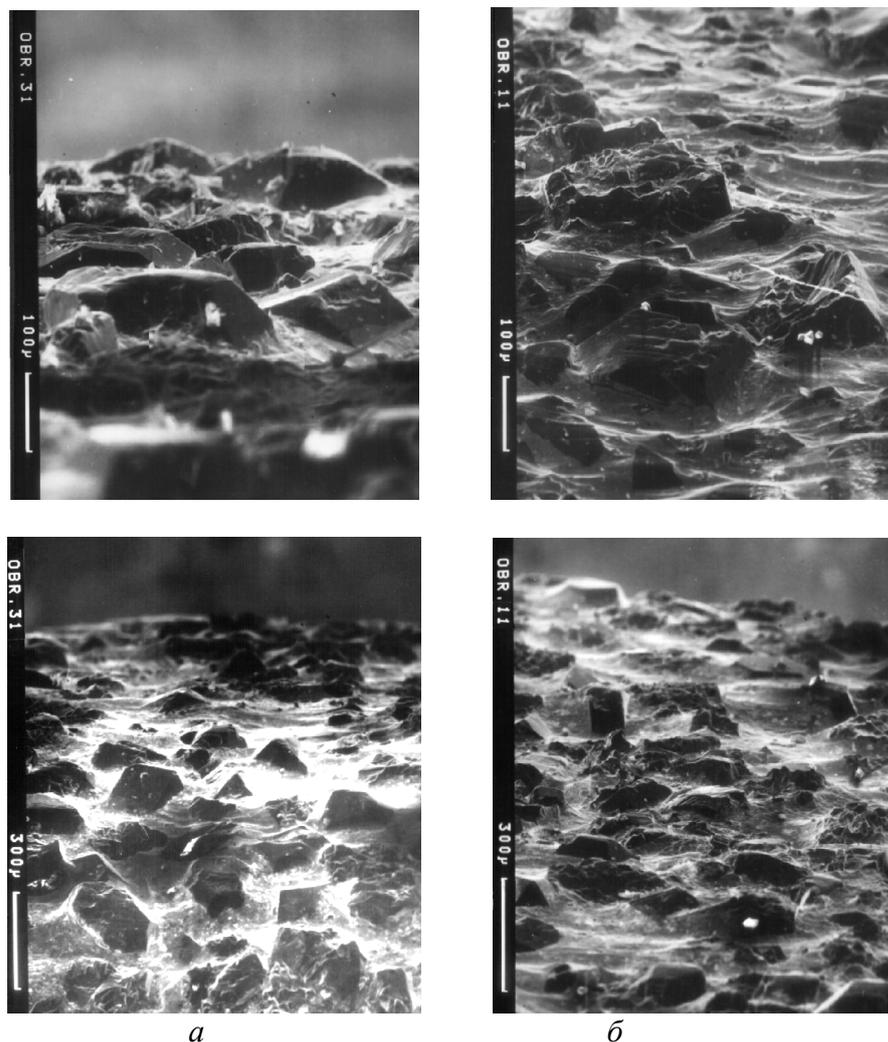


Рис. 7. Виды поверхности породоразрушающих элементов, оснащенных синтетическими алмазами с коэффициентом однородности: а – образца 1 с  $\chi = 3,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $K_{\text{одн}} = 76 \%$ ,  $\beta = 0,331 \text{ масс. \%}$ ; б – образца 3 с  $\chi = 24,7 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $K_{\text{одн}} = 48 \%$ ,  $\beta = 0,617 \text{ масс. \%}$

Результаты сравнительного анализа состояния алмазных зерен на поверхности образцов 1 и 3 свидетельствуют о явной перспективности оснащения породоразрушающих элементов бурового инструмента синтетическими алмазами с низкой дефектностью поверхности, более высокой однородностью и прочностью. На поверхности образца 1 по сравнению с образцом 3 наблюдается большее количество целых зерен алмазов, что позволяет снизить степень воздействия частиц шлама горной породы на материал матрицы бурового инструмента и тем самым повысить его износостойкость.

Таким образом, использование порошков синтетических алмазов с низкой дефектностью поверхности, более высокой однородностью и прочностью способствует снижению вероятности разрушения их вершин, активно разрушающих горную породу, и тем самым позволяет повысить работоспособность породоразрушающего инструмента.

#### Выводы

1. Прочность кристаллов алмазов высокопрочных порошков, синтезированных в системе железо–никель–углерод, как в инертной среде, так и воздушной снижается с повышением температуры термической обработки. При этом с повышением температуры прочность сни-

жается приблизительно в два раза интенсивнее в воздушной среде. Снижение прочности кристаллов алмаза тем интенсивнее, чем выше в них содержание примесей и включений.

2. Удельная магнитная восприимчивость снижается до достижения температуры 900 °С, а при температуре 1000 °С и выше она начинает незначительно увеличиваться, что связано с изменением фазовых превращений внутрикристаллических включений.

3. Повышение однородности шлифпорошков алмаза по прочности снижает износ породоразрушающих элементов бурового инструмента в 1,5–2,5 раза.

### Литература

1. Bovenkerk H.P. Morphology and Physical Characteristics of synthetic diamonds // *Ainer. Mineral.* – 1961. – V. 46. – N 7-8. – P. 952–963.
2. Новиков Н.В. Развитие технологии синтеза алмазов // *Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя.* – К.: Наук. думка, 1998. – С. 333–352.
3. Влияние скорости роста на свойства монокристаллов алмаза / Н.В. Новиков, А.А. Шульженко, М.Я. Кацай и др. // *Сверхтвердые материалы.* – 1984. – № 3. – С. 15–18.
4. Природные и синтетические алмазы / Г.Б. Бокий, Г.Н. Безруков, Ю.А. Клюев и др. – М.: Наука, 1986. – 222 с.
5. Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 196 с.
6. Влияние качественных характеристик высокопрочных алмазов на работоспособность бурового инструмента / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Р.К. Богданов и др. // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2007. – Вып. 10. – С. 160–168.
7. Ильницькая Г.Д., Богатырева Г. П., Невструев Г.Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // *Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр.* – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 63–71.
8. Деклараційний пат. 20031211734 України, 69948 А, МКИ В 24 D 3/00. Шліфувальний порошок і спосіб його одержання / М.В. Новіков, Г.П. Богатирьова, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницька. – Заявл. 16.12.2003. Опубл. 15.09.04. Бюл. № 9.
9. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 72 с.
10. ТУУ 28.4-05417344-2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
11. О связи между содержанием включений в синтетических алмазах и их магнитными свойствами. Г.П. Богатырева, В.Б. Крук, Г.Ф. Невструев и др. // *Синтетические алмазы.* – 1977. – Вып. 6. – С. 14–19.
12. М88 Украины 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 10 с.
13. Пат. 65129 А України, МКИ G01N27/12. Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу / Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницька. – № 2003065196; Заявл. 05.06.2003. Опубл. 15.03.04. Бюл. № 3.
14. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Ч. 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества. Н.В. Новиков, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницькая и др. // *Сверхтвердые материалы.* – 2006. – № 5. – С. 74–83; Ч. 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества. – С. 58-67.
15. Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Р.К. Богданом и др. Оценка однородности высокопрочных алмазных шлифпорошков по статической прочности и термостойкости // *Матер. 3-й Междунар. конф. «Породоразрушающий инструмент – техника и техноло-*

гия его изготовления и применения». – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2000. – С. 17–18.

16. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Моногр. / П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Загора и др. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

*Поступила 17.06.08*