

УДК 621.921.34

Г. Д. Ильницкая, А. М. Исонкин, канд. техн. наук,  
И. Н. Зайцева, мл. науч. сотр.

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

## Влияние качества шлифпорошков из синтетических алмазов на работоспособность бурового инструмента

В работе рассмотрено получение элитных шлифпорошков синтетических алмазов, однородных по прочностным характеристикам и линейным размерам с использованием различных методов сортировки. При сортировке зерен алмаза марки АС80 зернистости 250/200 по дефектности получили алмазы марок АС125, АС100, АС80 и АС65, различающиеся между собой по статической и динамической прочности, термостабильности и высокой однородностью по прочности при статической нагрузке разрушения. Дополнительная классификация и выделение узкой фракции 250/220 обеспечила увеличение содержания основной фракции порошков марок АС125 – АС65 на 34÷14 % и коэффициента однородности по линейным размерам этих порошков более чем в 2,5 раза по сравнению с исходным порошком. Оснащение буровых коронок полученными элитными алмазами позволило увеличить среднюю высоту выступления алмазов из матрицы на 14,4 % и снизить интенсивность изнашивания коронки на 13,3 %.

Ключевые слова: шлифпорошок, сортировка.

По мере развития и совершенствования процесса синтеза и необходимости повышения работоспособности породоразрушающего инструмента возрастают требования к качеству применяемых для его оснащения алмазных порошков. Работоспособность алмазного инструмента в значительной мере определяется характеристиками качества алмазов. В свою очередь показатели качества алмазных порошков обуславливаются технологиями синтеза, извлечения, обработки, классификации по размерам и форме, сортировки по физико-химическим свойствам, обеспечивающими получение порошков с заданными свойствами. Основными характеристиками качества алмазного порошка являются крупность в виде зернистости и зернового состава, прочностные характеристики: прочность, термостабильность и однородность порошка по прочностным и геометрическим характеристикам в виде линейных размеров зерен алмаза [1].

Однородность является важной характеристикой качества порошков сверхтвердых материалов, позволяющей объективно отражать состояние их качества. В настоящее время наблюдается тенденция повышения интереса к однородности порошков по различным технологическим характеристикам. В Институте сверхтвердых материалов (ИСМ) НАН Украины провели ряд исследований и разработали ряд нормативных документов [2–5], позволяющих оценивать однородность шлифпорошков по основным технологическим характеристикам качества. Полученные при этом шлифпорошки синтетического алмаза, обладающие высокой однородностью по прочности, линейным размерам и обладающие высокой термостабильностью, относятся к разряду элитных.

В процессе бурения прилагаемая к алмазной импрегнированной коронке осевая нагрузка распределяется не равномерно по всей площади поверхности алмазосодержащей матрицы, а перераспределяется между алмазами, наиболее выступающими из поверхности матрицы. Это приводит к развитию такого преобладающего вида износа алмазов, как хрупкое разрушение выступающих вершин алмазных зерен вследствие развития микротрещин в них при контакте с породой.

Поскольку существенным фактором, способствующим эффективному разрушению горной породы и выносу из призабойной зоны образующегося при этом шлама, является высота выступления алмазов из матрицы буровой коронки, уменьшить вероятность скалывания их вершин можно за счет повышения однородности природных и синтетических алмазных шлифпорошков по зерновому составу и прочности.

Отечественные и зарубежные исследователи установили, что существенное влияние на прочностные характеристики алмазных шлифпорошков оказывают металлы-растворители, форма

зерен, объемные и поверхностные их дефекты [6]. Поэтому для получения алмазных шлифпорошков разных марок необходимо применение процессов классификации по размеру зерен и различных способов сортировки по определенным свойствам. Наибольшее применение в отечественных и зарубежных технологиях нашел способ сортировки алмазных порошков по форме на вибростоле. Кроме того, широко используется разделение алмазных порошков в магнитном поле по содержанию в них внутрикристаллических включений.

Анализ известной информации о методах получения новых материалов и их свойствах позволяет сделать вывод, что дальнейшее развитие способов сортировки синтетических алмазов для получения шлифпорошков с высокой однородностью по прочности основывается на создании и выявлении новых свойств поверхности зерен шлифпорошков при изменении их поверхности жидкими или мелкодисперсными твердыми модификаторами. Разработаны и применяются разные методы сортировки алмазных зерен по дефектности их поверхности. Так, в методе флотации зернистых материалов используются физико-химические свойства поверхности зерен, которые определяют избирательность их прилипания к пузырькам воздуха.

В ИСМ разработан и промышленно освоен адгезионно-магнитный способ сортировки, основанный на различии кристаллов алмаза по уровню дефектности поверхности [7]. Дефектность поверхности тесно связана с прочностью кристаллов. В то же время поверхность кристалла алмаза содержит много активных связей, которые при определенных условиях прочно удерживают твердые микрочастицы. В разработанном способе сортировки наносимые микрочастицы обладают сильными магнитными свойствами. У зерен алмаза возникает приобретенная магнитная восприимчивость, величина которой пропорциональна дефектности поверхности алмаза и обратно пропорциональна его прочности. В магнитном поле с регулируемой напряженностью шлифпорошок алмаза можно разделить на 5–10 продуктов с различной прочностью. При адгезионно-магнитном способе сортировки зерна алмаза разделяются по ряду свойств. При этом однородность порошков по основным свойствам возрастает в 2–3 раза.

Разработанный способ сортировки обладает высокой селективностью разделения и позволяет эффективно сортировать шлифпорошки алмазов, синтезированных в присутствии различных сплавов-растворителей. При сортировке могут быть получены высококачественные термостойкие особопрочные элитные алмазные порошки в диапазоне марок от АС15 до АС400 [8].

Поэтому целью данной работы были исследования по разделению алмазных порошков, синтезированных в присутствии сплавов-растворителей в виде ферросплавов, с целью получения из них элитных шлифпорошков с высокой однородностью по прочности, термостабильностью и линейным размерам с последующей оценкой эффективности их применения в алмазных буровых коронках.

#### Методика эксперимента

Исследования проводили на алмазах, синтезированных в системе Fe–Co–C. Алмазы марки АС50 зернистости 400/315 и марки АС80 зернистости 250/200 разделяли по дефектности поверхности на несколько продуктов разделения [7, 8]. В полученных продуктах определяли дефектность поверхности зерен алмазных шлифпорошков, которую оценивали по коэффициенту поверхностной активности ( $K_a$ , %) [9]. Прочностные характеристики алмазных шлифпорошков оценивали по показателю статической прочности ( $P$ , Н) [10]. Согласно техническим условиям ТУ У 26.8–05417377–221:2010 «Шлифпорошки из синтетических алмазов элитные для бурового и камнеобрабатывающего инструмента» определяли марки шлифпорошков алмаза, полученные в результате сортировки [11].

В соответствии с требованиями указанных технических условий в элитных шлифпорошках синтетических алмазов определяли следующие прочностные характеристики:

- статическая прочность ( $P_{исх.}$ , Н) до и после термических воздействий при 1100 °С в токе нейтрального газа ( $P_{м.о.}$ , Н) по [10];
- термостабильность по коэффициенту термостабильности ( $K_{ТС}$ , %) [12].
- коэффициенты однородности по прочности ( $K_{одн. пр.}$ ) и по линейным размерам ( $K_{одн. л.р.}$ ) [3, 4].

Шлифпорошки алмаза, полученные после сортировки, были использованы для изготовления буровых коронки. Эксплуатационные характеристики бурового инструмента при лабораторных испытаниях определяли по разработанным критериям оценки при бурении горных пород [13].

**Результаты и обсуждение**

После проведения сортировки с использованием вышеуказанных методов были получены элитные алмазные шлифпорошки разных зернистостей и марок, отличающиеся между собой по коэффициенту однородности по прочности  $K_{одн. пр.}$ , по коэффициенту термостабильности  $K_{ТС}$ , коэффициенту однородности по линейным размерам  $K_{одн. л.р.}$  (табл. 1).

Табл. 1 – Характеристики однородности элитных шлифпорошков синтетического алмаза

Зернистость, мкм	Значения оценочных показателей					
	$K_{одн. пр.}$ , %, более		$K_{ТС}$ , %, более		$K_{одн. л.р.}$ , %, не менее	
	АС50 – АС100	АС125 – АС400	АС50 – АС100	АС125 – АС400	АС50 – АС100	АС125 – АС400
800/630 – 500/400	50	60	70	70	70	75
400/315 – 250/200	50	65	70	80	70	80
200/160 – 125/100	50	65	70	80	70	80

Для получения элитных алмазных шлифпорошков, наиболее широко используемых для оснащения буровых коронок, дополнительно произвели адгезионно-магнитную сортировку алмазов марки АС50 зернистости 400/315 и марки АС80 зернистости 250/200. Полученные алмазы зернистости 400/315 и 250/200 разделили на шесть продуктов разделения, различающихся по дефектности поверхности  $K_a$  для зернистости 400/315 от 0,11 % до 3,24 % и для зернистости 250/200 от 0,05 % до 1,11 %. Для выделения однородных шлифпорошков по линейным размерам полученные продукты сортировки дополнительно классифицировали на ситах ряда R-20 с целью выделения узких зернистостей 400/355 и 250/220, а также разделяли по форме зерен алмаза на вибрационной установке [15, 16]. Характеристики полученных после сортировки шлифпорошков представлены в табл. 2.

Табл. 2 – Характеристики алмазных шлифпорошков после сортировки

Продукт разделения	$P$ , Н	$K_{ТС}$ , усл.ед.	$K_{одн. пр.}$ , %	$K_{одн. л.р.}$ , %	Марка
400/315					
1	288,5	0,95	76	77	АС160-Э
2	181,0	0,94	70	74	АС100-Э
3	139,0	0,85	65	72	АС80-Э
4	111,8	0,81	64	70	АС65-Э
5	59,5	0,80	56	37	АС50
6	39,8	0,72	48	-	АС20
Исходный	78,8	0,82	14	22	АС50
250/200					
1	165	91	75	75	АС125-Э
2	127	78	74	72	АС100-Э
3	107	72	68	70	АС80-Э
4	83	70	54	65	АС65-Э
5	68	67	51	41	АС50
6	33	-	-	-	АС20
Исходный	95	75	23	24	АС80

Как следует из табл. 2, в результате проведенной сортировки получены элитные шлифпорошки марок АС160-Э, АС100-Э, АС80-Э и АС65-Э зернистости 400/315 и АС125-Э, АС100-Э, АС80-Э и АС65-Э зернистости 250/200.

Для лабораторных испытаний были изготовлены буровые коронки с использованием алмазов марок АС160-Э – АС65-Э зернистости 400/315 и марок АС125-Э – АС65-Э зернистости 250/200. Лабораторные испытания проводили при бурении коростышеского гранита с частотой вращения  $800 \text{ мин}^{-1}$  и подаче 63 мкм за оборот. Работоспособность буровых коронок оценивали по интенсивности изнашивания коронок ( $I \times 10^{-4}$ , мм/м). Дополнительно изучалось состояние алмазов на рабочем торце инструмента с измерением высоты выступания алмазов из матрицы и расчета ее среднего значения ( $h_6$ , мкм).

Результаты лабораторных испытаний буровых коронок, оснащенных элитными алмазами зернистости 400/315 и 250/200 представлены в табл. 3.

Табл. 3 – Результаты лабораторных испытаний буровых коронок, оснащенных элитными алмазами зернистости 400/315 и 250/200

Зернистость	Марка алмазов	Средняя высота выступания алмазов из матрицы, $h_6$ , мкм	Интенсивность изнашивания коронок, $I \times 10^{-4}$ , мм/м
400/315	АС160-Э	75,3	0,143
	АС100-Э	71,4	0,164
	АС80-Э	67,2	0,186
	АС65-Э	64,7	0,202
	АС50 исходные	57,3	0,234
250/200	АС125-Э	67,8	0,156
	АС100-Э	65,2	0,195
	АС80-Э	59,7	0,216
	АС65-Э	54,4	0,249
	АС80 исходные	53,7	0,254

Данные испытаний (табл. 3) показывают, что оснащение буровых коронок алмазами с высоким коэффициентом однородности по прочности и линейным размерам позволяет повысить работоспособность буровых коронок. Так, оснащение коронок алмазами марки АС80-Э зернистости 250/200 после сортировки по сравнению с исходными порошками алмаза той же марки, позволяет увеличить среднюю высоту выступания алмазов из матрицы на 14,4 % и за счет снижения степени воздействия частиц шлама разрушенной породы на рабочий торец коронок снизить интенсивность их изнашивания на 13,3 %.

На рис. 1 показаны зависимости средней высоты выступания зерен алмаза из матрицы ( $h_6$ , мкм) зернистости 400/315 – кривая 1 и зернистости 250/200 (кривая 2) от коэффициента однородности по прочности элитных зерен алмазов.

На рис. 2 представлены зависимости интенсивности изнашивания коронки ( $I \times 10^{-4}$ , мм/м), оснащенных элитными зернами алмазов зернистости 400/315 – кривая 1 и зернистости 250/200 (кривая 2), от коэффициента однородности по прочности элитных зерен алмазов.

На рис. 3 показаны зависимости средней высоты выступания зерен алмаза из матрицы ( $h_6$ , мкм) зернистости 400/315 – (1) и зернистости 250/200 (2) от изменения коэффициента однородности по линейным размерам элитных зерен алмазов.

Как видно из рис. 1 и 2, с ростом однородности по прочности увеличивается средняя высота выступания алмазов из матрицы. Интенсивность изнашивания коронок снижается с увеличением прочности и однородности по прочности порошков алмаза этих марок.

На рис. 4 представлены зависимости интенсивности изнашивания коронки ( $I \times 10^{-4}$ , мм/м), оснащенных элитными зернами алмазов зернистости 400/315 (кривая 1) и зернистости 250/200 (кривая 2) от изменения коэффициента однородности по линейным размерам элитных зерен алмазов.

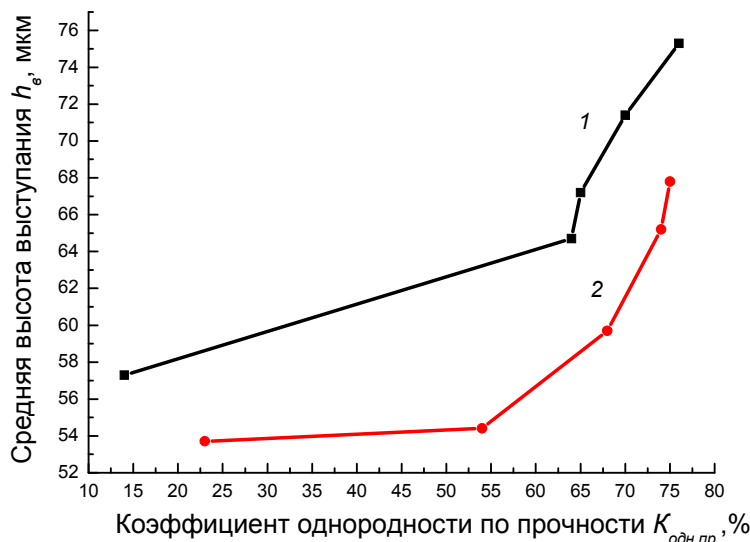


Рис. 1. Зависимости средней высоты выступания зерен алмаза из матрицы ( $h_e$ , мкм) зернистости 400/315 (1) и зернистости 250/200 (2) от коэффициента однородности по прочности.

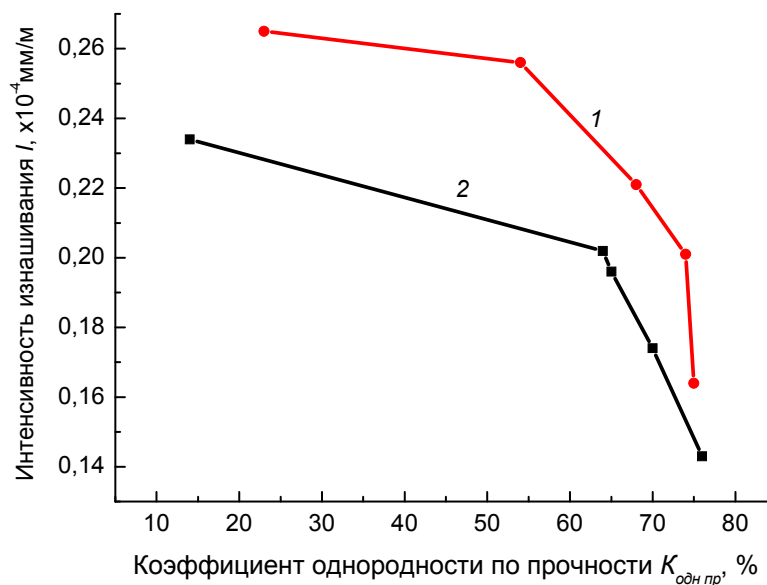


Рис. 2. Зависимости интенсивности изнашивания коронки ( $I \times 10^{-4}$ , мм/м), оснащенных элитными зернами алмазов зернистости 400/315 (1) и зернистости 250/200 (2), от коэффициента однородности по прочности элитных зерен алмазов.

Из данных рис. 3, 4 следует, что увеличение коэффициента однородности алмазов по линейным размерам способствует росту средней высоты выступания зерен алмазов из матрицы, снижению вероятности расклинивания и передрабливания частиц шлама под рабочим торцом и уменьшению сил трения. При этом количество зерен алмазов, активно вступающих в контакт с горной породой в одной линии резания, увеличивается, а удельная нагрузка на алмаз снижается. Это приводит к снижению износа алмазосодержащей матрицы, что обеспечивает повышению работоспособности инструмента в целом.

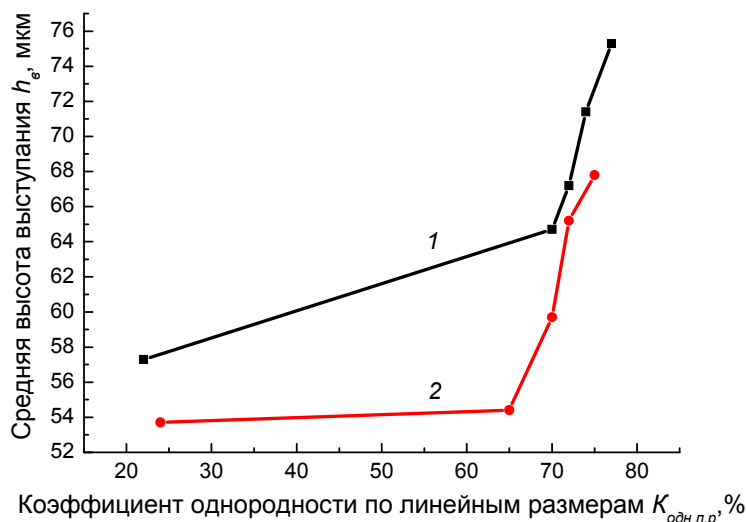


Рис. 3. Зависимости средней высоты выступания зерен алмаза из матрицы ( $h_g$ , мкм) зернистости 400/315 – (1) и зернистости 250/200 (2) от изменения коэффициента однородности по линейным размерам элитных зерен алмазов

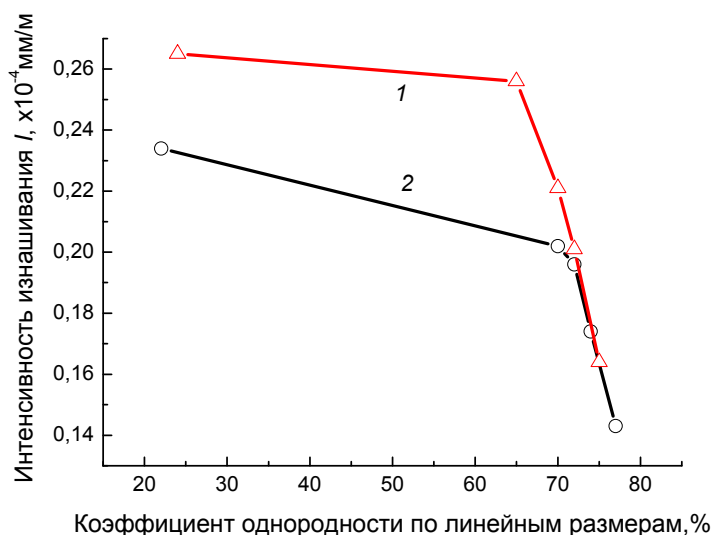


Рис. 4. Зависимости интенсивности изнашивания коронки ( $I \times 10^{-4}$ , мм/м), оснащенных элитными зернами алмазов зернистости 400/315 (1) и зернистости 250/200 (2) от коэффициента однородности по линейным размерам элитных зерен алмазов.

Таким образом, получение элитных порошков алмаза однородных по прочностным и геометрическим характеристикам позволяют повысить работоспособность породоразрушающего бурового инструмента.

#### Выводы

1. Сортировка зерен алмаза зернистости 400/315 и 250/200, синтезированных в присутствии феррокобальта, с ярко выраженными магнитными свойствами по степени дефектности и дополнительная классификация с выделением узкой фракции 400/355 и 250/220 позволили получить элитные алмазные порошки марок АС160-Э – АС65-Э с высокой однородностью по прочным и геометрическим характеристикам.

2. Показано, что доминирующими факторами, способствующими увеличению высоты выступления алмазов и снижению интенсивности изнашивания коронок являются повышение прочности порошков марок АС160-Э – АС65 и их однородности по прочности в совокупности с увеличением однородности по линейным размерам.
3. Оснащение буровых коронок элитными алмазами с высоким коэффициентом однородности по прочности и линейным размерам позволяют повысить работоспособность буровых коронок при бурении твердых горных пород высокой категории буримости.

### Библиографический список

1. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: монография / [П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Загора и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
2. Новиков Н.В. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Ч. 1: Теоретические основы метода оценки характеристик качества / Н.В. Новиков, Г. Ф. Невструев, Г. Д. Ильницкая // Сверхтв. материалы. – 2006. – № 5. – С. 74-83.
3. Новиков Н.В. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Ч. 2: Практическое применение нового метода оценки характеристик качества / Н.В. Новиков, Г. Ф. Невструев, Г. Д. Ильницкая // Сверхтв. материалы. – 2006. – № 6. – С. 58-67.
4. Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков синтетического алмаза: М.28.5–272:2008. – К.: ИСМ НАН Украины, 2008. – 15 с.
5. Методика аналитической оценки линейных размеров зерен порошков сверхтвердых материалов (СТМ): М.28.5–271:2008. – К.: ИСМ НАН Украины, 2008. – 18 с.
6. Методика определения показателей однородности синтетических алмазных порошков на основе системно-критериального подхода / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Ю.И. Никитин, Г.А. Петасюк // Инструментальный світ. – 2006. – № 3 (31). – С. 4-6.
7. Ильницкая Г.Д. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков / Г.Д. Ильницкая, Г. П. Богатырева, Г.Ф. Невструев // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сб. науч. тр. – К.: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 63-71.
8. Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен: патент України № UA65128, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 / Новіков М.В., Богатирьова Г.П., Ильницка Г.Д., Невструев Г.Ф. – № 2003065195; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
9. Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен: патент України №25515, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 / Новіков М.В., Богатирьова Г.П., Ильницка Г.Д., Невструев Г.Ф. – № 200703803; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
10. Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу: патент України №65129 А, МКИ G01N27/12 / Невструев Г.Ф., Ильницка Г.Д. – № 2003065196; опубл. 15.03.2004, Бюл. №3.
11. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия: ДСТУ 3292–95.
12. Шлифпорошки из синтетических алмазов элитные для бурового и камнеобрабатывающего инструмента: ТУ У 26.8–05417377-221:2010. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 8 с.
13. Методика определения коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов: М.28.5–299:2010. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
14. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте / [Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин и др.]. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2003. – 138 с.

Надійшла до редакції 16.05.2013

Г. Д. Ильницка, А. М. Исонкин, І. Н. Зайцева

*Институт надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

### Вплив якості шліфпорошків з синтетичних алмазів на працездатність бурового інструменту

У роботі розглянуто отримання елітних шліфпорошків синтетичних алмазів, однорідних за характеристиками міцності і лінійним розмірам з використанням різноманітних методів сортування. Під час сортування зерен алмазу марки АС80 зернистості 250/200 по дефектності отримали алмази марок АС125, АС100, АС80 і АС65, що розрізняються між собою за статичною та динамічною міцністю, термостабільністю і високою однорідністю по міцності при статичному навантаженні руйнування. Додаткова класифікація і виділення вузької фракції 250/220 забезпечила збільшення вмісту основної фракції порошків марок АС125 - АС65 на  $34 \div 14\%$  і коефіцієнта однорідності за лінійними розмірами цих порошків більш

ніж в 2,5 рази в порівнянні з вихідним порошком. Оснащення бурових коронок отриманими елітними алмазами дозволило збільшити середню висоту виступання алмазів з матриці на 14,4 % і знизити інтенсивність зношування коронки на 13,3 %.

Ключеві слова: шліфпорошок, сортування.

G. Ilnytskaya, A. Isonkin, I. Zaitsev

*V.N. Bakul Institute of Superhard Materials of NASU, Kiev, Ukraine*

### **Influence of the quality of synthetic diamond grinding powder on the performance of the drilling tool**

In the paper the elite synthetic diamond grinding powders with homogeneous strength characteristics and linear dimensions are considered. After sorting grains of diamond AC80 of 250/200 grit size we obtained diamonds AC125, AC100, AC80 and AC65, which differ by static and dynamic strength, thermal stability and high uniformity in strength under static loading of destruction. Additional classification and separation of narrow fraction 250/220 increased the basic fraction content in powders AC125 - AC65 by 34÷14 % and the coefficient of uniformity on the linear sizes of these powders by more than 2,5 times in comparison with the initial powder. The equipment of drilling tools with the obtained elite diamonds increased the mean height of the protrusion of diamonds from the matrix by 14,4 % and reduced drilling tool wear by 13,3 %.

Keywords: grinding powders, sorting.