

14. Vereshagin, L. F., Koniaev, Yu. S., & Dovbnia A. V. (1970). Termostoikost polikristallicheskih obrazovaniy almaza i borazona pri davlenii do 50 kbar v usloviakh ikh spekaniia s metallokeramicheskimi svyazkami [Thermostability of polycrystalline diamond and borazone formations at pressures up to 50 kbar under conditions of their sintering with cermet bonds]. *Almazy – Diamonds*, 4, 1–5 [in Russian].
15. Novikov, N. V. (Eds.). (1986). Composite superhard materials // *Synthetic superhard materials* (Vols. 1–4; Vol. 2). Kyiv: Naukova dumka.
16. Simkin, E. S., & Cypin, N. V. (1984). The effect of high pressure on the heat resistance of synthetic diamonds. *The interaction of diamonds with liquid and gaseous media*. Kyiv: ISM AN USSR.
17. Gargin, V. G., & Shishkin, V. A. (1984). Influence of pressure, temperature and environment on the strength of synthetic diamonds. *The interaction of diamonds with liquid and gaseous media*. Kyiv: ISM AN USSR.
18. Podziarei, G. A., Nachalnaia, T. A., Simkin, E. S., et al. (1983). Issledovanie izmenenii v sinteticheskikh almazakh posle termoobrabotki pri vysokikh davleniyakh [Study of changes in synthetic diamonds after heat treatment at high pressures]. *Fizika i tekhnika vysokikh davlenii – High-pressure physics and technology*, 14, 36–39.
19. Nojkina, A. V., Laptev, A. I., & Ermolaev, A. A. (2002). Influence of synthesis and composition conditions on strength characteristics of synthetic carbonado-type diamonds. *High Pressure Research*, Vol. 22, 3-4, 545–549.
20. Poliakov, V. P., Ermolaev, A. A., Laptev, A. I., & Potemkin, A. A. (2001). The influence of Boron compound particles (TiB_2 , BN^{CUB}) on the thermostability and the mechanical strength of the synthesized carbonado after heating. *Diamond and Related Materials*, Vol. 10, 11, 2024–2029.

УДК 539.893.621.317.4

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-160-171

В. И. Лавриненко, д-р техн. наук, **Г. Д. Ильницкая**, **Н. А. Олейник**, **О. О. Пасичный**,
В. В. Смоквина, **И. Н. Зайцева**, кандидаты технических наук, **Г. А. Базалий**, **Т. Н. Беляева**,
Ю. П. Ушаповский, **Е. А. Барановская**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
ул. Автозаводская, 2, 04074, г. Киев, e-mail: gil-ism@ukr.net*

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ АС20 100/80 ПОСЛЕ РАЗДЕЛЕНИЯ В МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Эффективность работы алмазного илифовального инструмента во многом зависит от качества применяемых илифпорошков синтетического алмаза. При этом дефекты кристаллов алмаза, образующиеся во время синтеза в процессе роста кристаллов алмаза, как объемные, так и дефекты поверхности обуславливают магнитные и электропроводные свойства порошков алмаза,

что оказывает влияние на их физико-механические, физико-химические и эксплуатационные характеристики.

В статье представлены результаты изучения влияния физико-механических и физико-химических характеристик алмазов марки АС20 узкой зернистости 100/90 на характер износа шлифовального инструмента. Выявлено, что при небольшой производительности обработки (50, 100 мм³/мин) предпочтительнее в кругах использовать алмазы магнитной фракции. При более высокой производительности обработки (400 мм³/мин) износостойкость кругов, оснащенных алмазами магнитной фракции, снижается вследствие уменьшения термостойкости алмазов. Поэтому при высоких скоростях обработки шлифовальные круги, оснащенные алмазами непроводящей и немагнитной фракциями с более меньшим содержанием примесей и включений, имеют меньший расход алмазов и обладают более высокой износостойкостью.

Ключевые слова: порошки алмазные синтетические, сортировка, магнитное поле, электрическое поле, дефекты кристаллов, износостойкость шлифовального инструмента.

Введение

В машиностроении широко применяют шлифовальный инструмент, оснащенный синтетическими алмазами, при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других материалов. Изготовление высокопроизводительного шлифовального инструмента основывается на использовании шлифпорошков алмаза различной зернистости и прочности [1, 2]. Как известно, в освоенных технологических процессах за один цикл синтеза алмазов в одном реакционном объеме формируются кристаллы различного размера и уровня дефектности. Во время синтеза в процессе роста алмазы захватывают находящиеся в реакционной камере побочные фазы, например, сплава-растворителя, с образованием объемных дефектов кристаллов. При этом микрорельеф граней кристаллов также отражает особенности их роста и отображается в виде поверхностных дефектов. Как правило, значительная часть кристаллов синтетических алмазов имеет дефекты поверхности. Это двойники с морфологическими разновидностями, следы разориентации мозаичного и блочного строения, слои роста с макроступенями или спиральями округлой или прямоугольной формы с зазубренными или гладкими кромками, впадины в центре грани различных форм, шероховатость граней, выход на поверхность кристаллов дислокаций, микротрещин, пор и внутрикристаллических включений [3–6].

Дефекты синтетических кристаллов алмаза, как объемные, так и дефекты поверхности обуславливают магнитные и электропроводные свойства синтетических порошков алмаза, что оказывает влияние на их физико-механические, физико-химические и эксплуатационные характеристики.

Поэтому целью данной работы было изучение влияния физико-механических и физико-химических характеристик алмазов марки АС20 зернистости 100/80 после их разделения по объемным и поверхностным дефектам в магнитных и электрических полях на износостойкость шлифовального инструмента.

Методика исследования

Исследование проводили на шлифпорошках алмаза марки АС20 зернистостью 100/80. Для повышения однородности по линейным характеристикам порошок дополнительно классифицировали с использованием сит R-20 с выделением узкой зернистости 100/90 [7]. Полученные алмазы узкой зернистости 100/90 разделяли в магнитном поле, с учетом различия магнитных свойств кристаллов алмаза, различия которых оценивали по изменению их удельной магнитной восприимчивости. После разделения немагнитную фракцию порошка (с

минимальной удельной магнитной восприимчивостью), а также исходный порошок разделяли в электрическом поле, с учетом различия проводимости кристаллов алмаза.

Разделение в магнитном поле выполняли на магнитном сепараторе 138-Т по классической схеме разделения на магнитную и немагнитную фракции, предусматривающей стадийное увеличение границы разделения путем изменения напряженности магнитного поля от 0 до 2 Т. [8, 9]. Для разделения порошка в электрическом поле использовали электрический сепаратор типа ЭС2 и классическую схему разделения на проводящую и непроводящую фракции при одинаковых параметрах разделения при напряжении на отклоняющем электроде 15 кВ [9].

В порошках алмаза, исходном и продуктах разделения, определяли прочность P (Н), содержание основной фракции, коэффициент формы K_f , содержание примесей в виде несорганизованного остатка н.о. (масс. %) по методикам ДСТУ 3292 [10], однородность по прочности $K_{одн.пр}$ [11], термостабильность шлифпорошков ($K_{ТС}$) [12], содержание объемных дефектов при изменении удельной магнитной восприимчивости χ [13], содержание дефектов поверхности по изменению коэффициента поверхностной активности K_a [14], удельное электросопротивление ρ [15], по методикам, разработанным в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

Элементный состав примесей включений в шлифпорошках алмаза определяли рентгенофлуоресцентным интегральным анализом, с помощью растрового электронного микроскопа «BS-340» и энергодисперсионного анализатора рентгеновских спектров «Link-860» [16].

Для оценки физико-химических характеристик шлифпорошков алмаза зернистостью 100/90 марки АС20 магнитных, немагнитных, непроводящих и исходных фракций на масс-спектрометре МИ 1201 с интервалом температур 20–1000 °С в воздушной среде проводился анализ паров воды, газов, десорбированных с поверхности образцов (диоксида углерода, монооксида углерода). Для этого исследуемые образцы переносили в кварцевую кювету, вакуумировали и снимали масс-спектры до 800 °С, скорость нагрева составляла 10 °/мин [17].

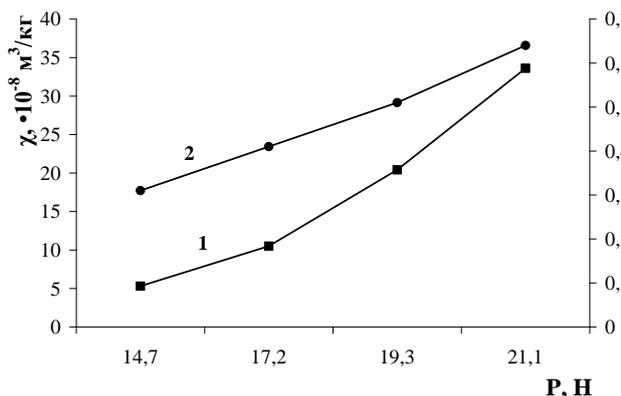


Рис. 1. Зависимости прочности шлифпорошков алмаза зернистостью 100/90 после разделения в магнитном поле: 1 – от удельной магнитной восприимчивости; 2 – от дефектности поверхности

Эксплуатационные показатели шлифовальных кругов, оснащенных алмазами после разделения в магнитных и электрических полях, оценивали по изменению относительного (q_v) расхода алмазов в кругах при шлифовании. При этом, последний выступал критерием износостойкости кругов [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты разделения в магнитном поле исходного шлифпорошка алмаза представлены на рис. 1. Полученные по результатам разделения порошка в магнитном поле зависимости прочности P (Н) от удельной магнитной восприимчивости χ (кривая 1) и от дефектности поверхности зерен порошка

K_a – (кривая 2).

Как следует из рисунка, после разделения в магнитном поле крайние фракции шлифпорошков различаются по удельной магнитной восприимчивости более чем в 5 раз. С увеличением удельной магнитной восприимчивости вследствие увеличения содержания внутрикристаллических примесей и включений прочность алмазов магнитных фракций повышается незначительно (кривая 1). Так, по сравнению с прочностью немагнитной фракции прочность магнитной фракции повышается в 1,4 раза. При этом происходит разделение по дефектности поверхности (кривая 2), коэффициент поверхностной активности K_a магнитной фракции приблизительно в 3 раза выше, чем K_a немагнитной фракции.

Результаты разделения исходного шлифпорошка и немагнитной фракции в электрическом поле показаны на рис. 2.

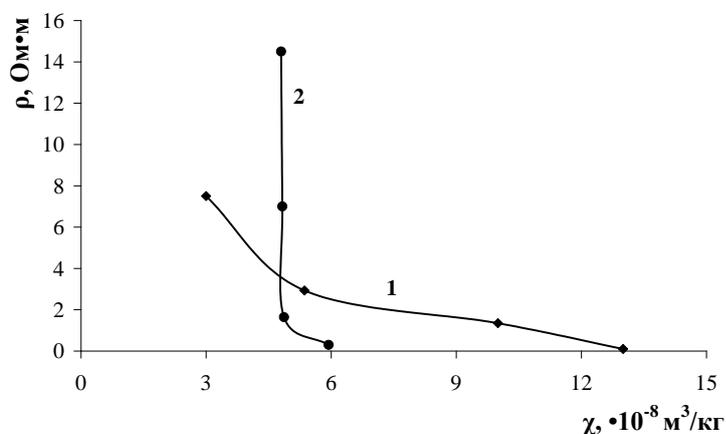


Рис. 2. Зависимости удельного электросопротивления продуктов разделения исходного порошка (1) и немагнитной фракции (2) при напряжении отклоняющего электрода 15 кВ от их удельной магнитной восприимчивости

2), имеющей объемные дефекты с узким диапазоном удельной магнитной восприимчивости ($4,5 - 6,0 \cdot 10^{-8}$ м³/кг), на электросопротивление наиболее существенно влияют дефекты поверхности, о чем свидетельствует широкий диапазон удельного электросопротивления ($0,2 - 15,0 \cdot 10^7$ Ом·м).

Интерес представляет исследование изменения коэффициента поверхностной активности продуктов разделения исходного порошка и немагнитной фракции порошка в электрическом поле в зависимости от их удельного электросопротивления (рис. 3).

На результаты разделения в электрическом поле при напряжении отклоняющего электрода 15 кВ (рис. 2) исходного порошка (кривая 1), имеющего широкий спектр объемных дефектов и дефекты поверхности, существенно влияют объемные дефекты, характеризующиеся широким диапазоном удельной магнитной восприимчивости (χ). С увеличением χ шлифпорошков алмаза снижается их удельное электросопротивление (ρ). При разделении в электрическом поле при напряжении отклоняющего электрода 15 кВ немагнитной фракции порошка (рис. 2, кривая

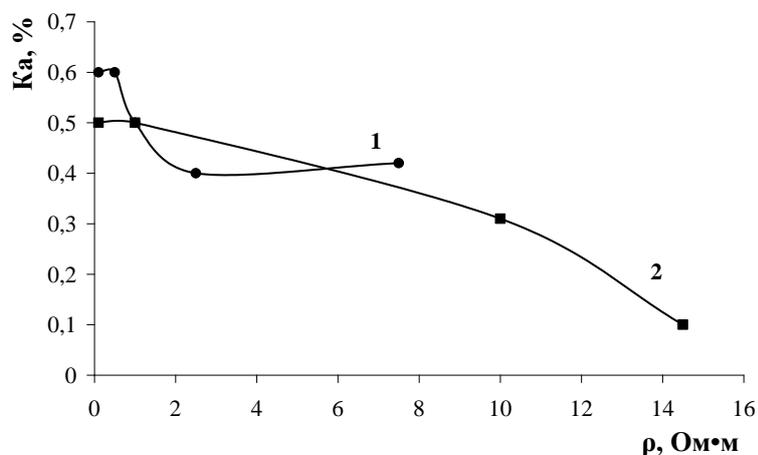


Рис. 3. Зависимость коэффициента поверхностной активности продуктов разделения исходного порошка (1) и разделения немагнитной фракции (2) при напряжении отклоняющего электрода 15 кВ от их удельного электросопротивления

Как видно из рис. 3 (кривые 1, 2), исходный порошок и немагнитную фракцию порошка, содержащую кристаллы алмаза с широким спектром удельного электросопротивления, можно разделить в электрическом поле на фракции, различающиеся между собой по коэффициенту поверхностной активности.

Очевидно, разделение в электрическом поле порошка немагнитной фракции, содержащей значительно меньше объемных дефектов, происходит в основном под

влиянием дефектов поверхности на фракции, существенно различающиеся электросопротивлением и коэффициентом поверхностной активности.

В исходном шлифпорошке алмаза марки АС 20 узкой зернистости 100/90, магнитной, немагнитной и непроводящей фракциях определяли элементный состав включений. Результаты определения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Элементный состав внутрикристаллических включений и примесей в алмазном порошке АС20 зернистости 100/90 исходном и после разделения в магнитном и электрических полях

Наименование фракций	Элементный состав, масс %						Общее содержание включений, масс %
	Si	Ca	Cr	Fe	Mn	Zn	
Магнитная	0,137	0,005	0,018	0,977	0,358	0,010	1,505
Немагнитная	0,269	0,007	0,0020	0,468	0,105	0,014	0,865
Непроводящая	0,241	0,005	0,0014	0,278	0,097	0,016	0,638
Исходная	0,243	0,003	0,014	0,701	0,171	0,009	1,141

Как видно из табл. 1, наибольшее количество примесей и включений содержится в алмазах магнитной фракции, причем содержание Fe и Mn во внутрикристаллических включениях и примесях магнитной фракции больше, чем в немагнитной и непроводящих фракциях. Это обеспечивается разделением зерен алмаза в магнитном поле по содержанию в алмазе элементов сплава-растворителя. При этом разделение немагнитной фракции в электрическом поле позволяет дополнительно снизить содержание этих элементов. Более

высокое содержание включений сплава-растворителя в алмазах магнитной фракции обеспечивает незначительное повышение прочности (рис. 1).

При анализе данных элементного состава включений обращает внимание различное содержание Si в порошках алмаза, выделенных в непроводящую, немагнитную и магнитные фракции. Порошки алмаза по содержанию кремния различаются примерно в 2 раза. Вероятно, кремний не связан со сплавом-растворителем. Он содержится в кристаллах с незначительным количеством объемных дефектов и при разделении в магнитном поле концентрируется в немагнитной фракции. Разделение шлифпорошков алмаза немагнитной фракции в электрическом поле несущественно влияет на изменение содержания Si в непроводящей фракции.

После проведения разделения шлифпорошков алмаза марки АС20 узкой зернистости 100/90 в магнитном и электрическом полях были определены их физико-механические характеристики (таблица 2).

Таблица 2. Физико-механические характеристики порошков АС20 узкой зернистости 100/90 различной фракции

Наименование фракций	$\chi \cdot 10^{-8}$ м ³ /кг	P, Н	К _{одн. пр.} %	К _а , %	К _{тс} , %	Общее содержание примесей и включений, масс %
Магнитная	30,7	20,7	71,5	0,78	41,6	1,505
Немагнитная	4,5	15,4	69,4	0,58	71,6	1,141
Непроводящая	4,5	16,7	77,9	0,51	81,5	0,638
Исходная	5,8	19,7	57,1	0,63	58,7	0,765

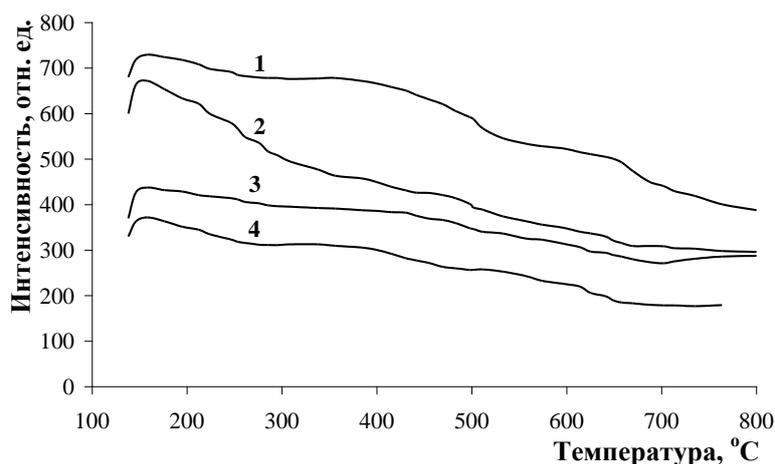


Рис. 4. Термодесорбционные кривые паров воды на поверхности алмазов марки АС20 зернистости 100/90 фракций: 1 – магнитной, 2 – исходной, 3 – немагнитной, 4 – непроводящей

Из табл. 2 следует, что после разделения в магнитном поле выделены шлифпорошки алмаза магнитной фракции с большим содержанием примесей и включений, что обеспечивает этим алмазам более высокую прочность. При этом высокое содержание примесей и включений снижает термостойкость алмазов, на что указывает низкое значение коэффициента термостабильности ($K_{тс}$). Сортировка в электрическом поле немагнитной фракции

позволяет дополнительно повысить однородность по прочности и термостойкость шлифпорошков за счет выделения из состава шлифпорошка более дефектных зерен

Для оценки физико-химических характеристик шлифпорошков алмаза зернистости 100/90 марки АС20 магнитных, немагнитных, непроводящих и исходных фракций проводился анализ паров воды, десорбированных с поверхности образцов. Были построены зависимости интенсивности термодесорбционных спектров от температуры для всех исследуемых шлифпорошков (рис. 4).

В результате проведенных исследований установили, что поверхности всех образцов шлифпорошков алмаза зернистости 100/90 марки АС20 (магнитной, немагнитной, непроводящей и исходной фракций) полностью покрыты большим количеством ОН-групп, которые десорбируясь с поверхности алмазов, создают молекулы воды. Термодесорбционные пики воды имеют симметричную форму и наблюдаются во всем исследуемом температурном интервале (рис. 4). Пики на кривых до 150 °С свидетельствуют о наличии воды на поверхности всех образцов, после 150 °С начинает активно выделяться вода, присутствующая в пористой структуре образцов. Присутствие воды в порошках алмаза тесно связано с их удельной площадью поверхности. На рис. 4 кривая алмазов непроводящей фракции (кривая 4) указывает на наименьшее содержание воды и меньшую удельную площадь поверхности порошков алмаза. У магнитной фракции присутствует большее содержание воды (кривая 1), что соответствует большей величине удельной площади поверхности алмазов.

Полученные после разделения шлифпорошки алмаза АС20 зернистости 100/90 магнитной, немагнитной, непроводящей и исходных фракций использовали для изготовления шлифовальных кругов 12А2-45° 125×5×3×32 – АС20 100/90–В2-08–100%. Испытания проводили при шлифовании образцов из твердого сплава Т15К6 с производительностью

обработки 50, 100, 200 и 400 мм³/мин. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

Из данных рис. 5 по износу шлифовальных кругов видно, что при небольшой производительности обработки (50, 100 мм³/мин) предпочтительнее в кругах использовать алмазы магнитной фракции, которые имеют большую прочность, что способствует снижению износа алмазов, и тем самым, повышают износостойкость таких кругов. При более высокой производительности обработки (400 мм³/мин) износостойкость кругов, оснащенных алмазами магнитной фракции, снижается вследствие меньшей термостойкости таких алмазов, которые при разогреве

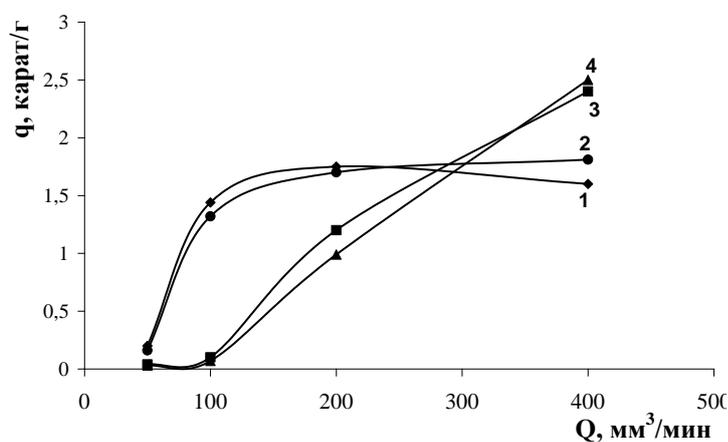


Рис. 5. Зависимость износостойкости шлифовальных кругов, оснащенных алмазами магнитной (4), немагнитной (2), непроводящей (1) и исходной фракций (3) от производительности обработки

поверхности кругов быстрее разрушаются, поэтому при высоких скоростях обработки шлифовальные круги, оснащенные алмазами непроводящей фракции с меньшим содержанием примесей и включений, имеют меньший расход алмазов и являются более износостойкими.

Выводы

Установлено, что магнитные характеристики шлифпорошка алмаза марки АС20 узкой зернистости 100/90 определяются наличием объемных (металлических, магнитных) примесей и включений в кристаллах алмаза и определяют возможность сортировки порошка в магнитном поле. Разделение порошка в магнитном поле приводит к сортировке кристаллов преимущественно по объемным дефектам, а также дефектам поверхности и позволяет получать порошки, существенно различающиеся содержанием примесей, удельной магнитной восприимчивостью, прочностью при статическом сжатии, однородностью по прочности, коэффициентом поверхностной активности.

Электропроводные характеристики порошка алмаза определяются наличием объемных (металлических, магнитных) включений в кристаллах и дефектов поверхности. Последние имеют тенденцию сорбировать группы ОН, тем самым влияя на электропроводность кристаллов. Это и определяет возможность сортировки порошка в электрическом поле. Разделение порошка в электрическом поле приводит к сортировке кристаллов преимущественно по дефектам поверхности и позволяет получать порошки, существенно различающиеся содержанием примесей, удельным электросопротивлением и коэффициентом поверхностной активности.

На основании проведенных физико-химических исследований установлено, что алмазы магнитной фракции марки АС20 зернистости 100/90 обладают более высокой удельной площадью поверхности по сравнению с удельной площадью поверхности алмазов непроводящей, немагнитной и исходной фракций.

Выявлено, что при низкой производительности обработки (50, 100 мм³/мин) более предпочтительно использование кругов, оснащенных алмазами магнитной фракции. При более высокой производительности обработки (400 мм³/мин) износостойкость кругов, оснащенных алмазами магнитной фракции, снижается вследствие уменьшения термостойкости алмазов. При высоких скоростях обработки шлифовальные круги, оснащенные алмазами непроводящей фракции с меньшим содержанием примесей и включений, имеют меньший расход алмазов и являются более износостойкими.

Ефективність роботи алмазного шліфувального інструменту багато в чому залежить від якості застосовуваних шліфпорошків синтетичного алмазу. При цьому дефекти кристалів алмазу, які утворюються під час синтезу в процесі росту кристалів алмазу, як об'ємні, так і дефекти поверхні обумовлюють магнітні і електропровідні властивості порошків алмазу, що чинить вплив на їх фізико-механічні, фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики.

В статті наведено результати вивчення впливу фізико-механічних і фізико-хімічних характеристик алмазів марки АС20 вузької зернистості 100/90 на характер зносу шліфувального інструменту. Виявлено, що при невеликій продуктивності обробки (50, 100 мм³/хв) краще в кругах використовувати алмази магнітної фракції. При більш високій продуктивності обробки (400 мм³/хв) зносостійкість кругів, оснащених алмазами магнітної фракції, знижується внаслідок зменшення термостійкості алмазів. Тому при високих швидкостях обробки шліфувальні круги, які оснащені алмазами непровідних і немагнітних фракцій з меншим вмістом домішок і включень, мають менші витрати алмазів і мають більш високу зносостійкість.

Ключові слова: порошки алмазні синтетичні, сортування, магнітне поле, електричне поле, дефекти кристалів, зносостійкість шліфувального інструменту.

**V. I. Lavrinenko, G. D. Pnytska, N. A. Oliinyk, O. O. Pasichny, V. V. Smokvina, I. N. Zaitseva,
G. A. Bazaliy, T. N. Belyaeva, Yu. P. Ushchapovsky, E. A. Baranovskaya**
**INFLUENCE OF PHYSICOMECHANICAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF SYNTHETIC DIAMONDS AC20 100/80 AFTER SEPARATION IN MAGNETIC AND
ELECTRIC FIELDS ON WEAR-RESISTANCE OF THE GRINDING TOOL**

The overall performance of the diamond grinding tool in many respects depends on quality used grinding powder synthetic diamond. Thus defects of crystals of the diamond, formed during synthesis during growth of crystals of diamond, both volumetric, and defects of a surface cause magnetic and electrowire properties of powders of diamond that influences their hysicomechanical, physicochemical and operational characteristics.

The results of studying of influence of hysicomechanical and physicochemical characteristics of diamonds of mark AC20 of narrow grinding 100/90 on character of deterioration of the grinding tool are submitted in article.

It is revealed, that at low productivity of processing (50, 100 мм³/mines) use of the circles equipped with diamonds of magnetic fraction is more preferable. At higher efficiency of processing (400 мм³/mines) wear resistance of the circles equipped with diamonds of magnetic fraction, is reduced owing to reduction of thermostability of diamonds. Therefore at high speeds of processing the grinding circles equipped with diamonds of non-conducting and not magnetic fractions with smaller contents of impurity and inclusions, have the smaller charge of diamonds and have higher wear resistance.

Key words: powders diamond synthetic, sorting, a magnetic field, an electric field, defects of crystals, wear-resistance of the grinding tool.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н. В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. Том 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А. А. Шепелева. – Киев ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. – 340 с.
2. Лавриненко В. И., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.
3. Ильницкая Г. Д. Влияние структуры кристаллов алмаза на физико-механические свойства алмазных шлифпорошков // Надтверді матеріали: створення та застосування (Сер. „Матеріалознавство”): зб. наук. пр. – К. : ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2007. – 234 с.
4. Вишнеvский А. С., Шульман П. А., Подзярей Г. А., Белянкина А. В. Примеси и включения в синтетических алмазах и их влияние на структуру и свойства кристаллов. // Синтетические алмазы в промышленности. – К.: Наук. думка, 1974. – С. 41–47.
5. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий, Г. Н. Безруков, Ю. А. Ключев и др. – М.: Наука, 1986. – 222 с.
6. Чепуров А. И., Пальянов Ю. Н. Влияние условий образования на морфологию и дефекты кристаллов алмаза // Экспериментальная петрология высоких давлений. – Новосибирск : ИГ и Г СО АН СССР, 1981. – С. 59–64.

7. Патент України № UA69947. МКИ В03С7/00, В03С1/00 Спосіб одержання шліфпорошків вузької зернистості / Г. Ф. Невструєв, Г. Д. Ільницька. – Заявлено 16.12.2003; Опубл.15.09.2004. Бюл. № 9.
8. Невструєв Г. Ф., Ільницька Г. Д. Свойства алмазных порошков, полученных магнитной сепарацией // Физика и техника высоких давлений. – 1988. – № 29. – С. 53–56.
9. Тихонов О. Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессе обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
10. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 71 с.
11. Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков сверхтвердых материалов (СТМ). М 28.5-272:2008. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 14 с.
12. Методика определения коэффициента термостабильности М 26.8-299:2010. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – 7 с.
13. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). У 90.256-2004. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
14. Пат. на винахід № 65129, Україна, МКИ G01N27/12. Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу / Г. Ф. Невструєв, Г. Д. Ільницька. – Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3.
15. Методика определения удельного электрического сопротивления дисперсных порошков сверхтвердых материалов. М 23.9-303:2014. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – 6 с.
16. Loubser J. H. N., Wik J. A. Electron spin resonance in the study of diamond // Rep. Progr. Phys. – 1978. – 41. – P. 1201–1248.
17. Взаимодействие порошков синтетического алмаза с жидкими и газовыми средами / Г. П. Богатырева, М. А. Маринич, Г. А. Базалий и др. // Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Том 2. Структура и свойства СТМ, методы исследования. Монограф. в 6т. / Под общ. ред. Н. В.Новикова. Отв.ред. В. М. Перевертайло – Киев ИСМ им. В. Н. Бакуля ИПЦ „АЛКОН” НАНУ, 2004. – 288 с.

Поступила 05.06.18

References

1. Shepelev, A. A. (Eds.). (2007). *Almazno-abrazivnyi instrument v tekhnologiiakh mekhanooobrotki [Diamond-abrasive tools in machining technologies]. Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primeneniye [Superhard materials. production and use]*. N.V. Novikov (Ed.); ISM im. V. N. Bakulia (Vols. 1–6; Vol. 6). Kiev: IPC «ALKON» NANU. [in Russian].
2. Lavrinenko, V. I., & Novikov, M. V. (2013). *Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanooobrobci [Super-abrasive materials in machining]*. Kyiv: INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
3. Initskaia, G. D. (2007). *Vliianie struktury kristallov almaza na fiziko-mekhanicheskie svoistva almaznykh shlifporoshkov [The Influence of the Structure of Diamond Crystals on the Physico-Mechanical Properties of Diamond Sanding Powders]*. *Nadtverdi materialy:*

- stvorenna ta zastosuvannia (Ser. „Materialoznavstvo”) : zb. nauk. pr.* Kyiv : INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy. [in Russian].
4. Vishnevskii, A. S., Shulman, P. A., Podziarei, G. A., et al. (1974). Primesi i vklucheniia v sinteticheskikh almazah i ih vliianie na strukturu i svoistva kristallov [Impurities and inclusions in synthetic diamonds and their effect on the structure and properties of crystals]. *Sinteticheskie almazы v promyshlennosti Synthetic diamonds in industry*. Kyiv: Naukova dumka, 41–47. [in Russian].
 5. Bokii, G. B., Bezrukov, G. N., Kliuev, Yu. A., et al. (1986). *Prirodnye i sinteticheskie almazы [Natural and synthetic diamonds]*. Moscow: Nauka. [in Russian].
 6. Chepurov, A. I., & Pal'ianov, Yu. N. (1981). Vliianie uslovii obrazovaniia na morfologiiu i defekty kristallov almaza [Influence of formation conditions on morphology and defects of diamond crystals]. *Ehksperimentalnaia petrologiia vysokikh davlenii [Experimental petrology of high pressures]*. Novosibirsk: IG i G SO AN SSSR, 59–64. [in Russian].
 7. Nevstruev, G. F., & Ilnytska, G. D. (2004). Patent of Ukraine № UA69947 [in Ukrainian].
 8. Nevstruev, G. F., & Ilnitskaya, G.D. (1988). Svoistva almaznyh poroshkov, poluchennyh magnitnoi separaciei [Properties of diamond powders obtained by magnetic separation]. *Fizika i tekhnika vysokikh davlenii – High-pressure physics and technology*, 29, 53–56. [in Russian].
 9. Tihonov, O. N. (1984). *Zakonomernosti ehffektivnogo razdeleniia mineralov v processe obogashcheniia poleznyh iskopaemyh [Regularities of the effective separation of minerals in the process of mineral processing]*. Moscow: Nedra [in Russian].
 10. Poroshki almaznye sinteticheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviia. [Synthetic diamond powders. General specifications]. (1995). DSTU 3292-95. Kiev: Hosstandart Ukrainy. [in Russian].
 11. M 28.5–272:2008. Metodika analiticheskoi otsenki prochnostnykh kharakteristik shlifporoshkov sverhtverdykh materialov (STM) [Method of analytical evaluation of the strength characteristics of grinding powders of superhard materials (SHM)]. (2008). Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
 12. M 26.8–299:2010. Metodika opredeleniia koehfficienta termostabilnosti [Method for determining the coefficient of thermal stability]. (2010). Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy. [in Russian].
 13. M88 Ukrainy 90.256–2004. Metodika opredeleniia udelnoi magnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy. [in Russian].
 14. Nevstruev, G. F., & Ilnytska, G.D. (2004). Patent of Ukraine № 65129 [in Ukrainian].
 15. M 23.9 303:2014. Metodika opredeleniia udelnogo ehlektricheskogo soprotivleniia dispersnyh poroshkov sverhtverdykh materialov [ethod for determining the specific electrical resistance of dispersed powders of superhard materials]. (2014). Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy. [in Russian].
 16. Loubser, J. H. N., & Wik, J. A. (1978). Electron spin resonance in the study of diamond. *Rep. Progr. Phys*, 41, 1201–1248.
 17. Bogatyreva, G. P., Marinich, M. A., Bazalii, G. A., et al. (2004). Vzaimodeistvie poroshkov sinteticheskogo almaza s zhidkimi i gazovymi sredami [Interaction of powders of synthetic diamond with liquid and gaseous media]. *Sverhtverdye materialy. Poluchenie*

i primenenie [Superhard materials. Production and application]. N. V. Novikov (Ed.). (Vols. 1–6; Vol. 2). Kiev: ISM im. V. N. Bakulia IPC «ALKON» NANU. [in Russian].

УДК 621.921.34.620.179.4:622.24.004.69

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-171-182

Н. А. Бондаренко, д-р техн. наук¹; **А. С. Осипов**¹, **А. М. Исонкин**¹, **Ю. А. Мельнийчук**¹,
А. И. Быков², кандидаты технических наук

¹Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,
04074, г. Киев, e-mail: mega-osipov@ukr.net

²Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, ул.
Кржижановского 3, 02142, г. Киев, e-mail: abykov@ipms.kiev.ua

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТОВ АЛМАЗ–ДОЛОМИТ И АЛМАЗ–КАРБОНАТ СТРОНЦИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР

В условиях высокого давления 8,0 ГПа и температуры 2100°C были получены образцы композитов в системах алмаз–доломит и алмаз–SrCO₃. Методами рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии установлен состав и определены особенности структуры композитов. Проведены испытания пластин композитов и образцов АТП при точении гранита и твердого сплава марки ВК15. Определено, что все двухфазные образцы имеют алмазный каркас и макровключения карбонатной фазы, содержание которой в структуре композита 8,5–8,8 об.%. Установлено, что показатель износостойкости образцов композита алмаз–SrCO₃ соответствует показателю износостойкости АТП при обработке твердого сплава и превосходит его при обработке гранита. В двух видах испытаний максимальную износостойкость показывают пластины композита алмаз–доломит, значение износа кромки режущей части которых на 30–50 % меньше образцов АТП.

Ключевые слова: алмаз, доломит, карбонат стронция, высокое давление, точение, износ, износостойкость.

В настоящее время создание композитов на основе алмаза для применения в буровом и режущем инструменте в основном идет в развитии технологии спекания композиционного материала, представляющего собой двухслойный компакт с алмазосодержащим режущим слоем на твердосплавной подложке, который формируется в условиях высоких давлений и температур [1, 2]. Термобарическое спекание системы алмаз–WC–Co осуществляется при давлении 5,5–8,0 ГПа и температуре 1450–1750°C, в результате которого, в процессе инфильтрации алмазного микропорошка расплавом Co–WC–C и происходит формирование композита в виде алмазно–твердосплавных пластин (АТП). Значение этого композиционного материала в оснащении бурового и породоразрушающего инструмента трудно переоценить. Применение такого инструмента режущего типа позволило существенно увеличить скорость бурения и глубину проходки [3, 4]. Однако, сравнительно невысокая термостойкость алмазосодержащего режущего слоя (не более 700–800°C) АТП ограничивает возможности применения технологии высокотемпературной пайки в изготовлении инструмента и обработку материалов, где температура в зоне резания превышает критическую температуру,