

УДК 621.762.5:679.826

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-151-160

А. В. Ножкина^{1,2}, В. И. Бугаков³, А. И. Лаптев², доктора технических наук

¹ВНИИАЛМАЗ, Москва, ул. Гиряровского, 62, e-mail: nojkina@inbox.ru

²Национальный исследовательский университет «МИСиС», Москва, Ленинский пр. д.4,
e-mail: laptev@misis.ru

³Институт физики высоких давлений РАН, г. Троицк, Мос. обл.
e-mail: bugakovv@hppi.troitsk.ru

ПРОЧНОСТЬ АЛМАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ НАГРЕВА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Целью настоящей работы являлось установить влияние давления на термостойкость различных алмазных материалов. Проведенный анализ имеющихся данных по влиянию давления прессования при спекании на термостойкость как природных, так и искусственных алмазов показал, что давление прессования повышает температуру разупрочнения и графитизации алмазов всех типов. Методика изучения влияния давления на термостойкость заключалась в следующем: алмазные порошки из природных алмазов марки А4, синтетических монокристаллических алмазов марок SDB 1100, AC 125 и синтетических поликристаллических алмазов марки АРК4 подвергали нагреву в вакууме и при давлениях 2,5; 4,0 ГПа до различных температур. Определяли прочность алмазных порошков до нагрева и после нагрева. Установлено, что повышение давления прессования при нагреве алмазов приводит к замедлению процессов их графитизации и существенному повышению термостойкости алмазов, имеющих включения металлов-катализаторов.

Ключевые слова: алмазные порошки, прочность, термостойкость, давление.

Полиморфный переход графит - алмаз является гистерезисным баротермическим превращением; баротермический гистерезис, возникающий при указанном прямом и обратном переходах, приводит к тому, что p, T -линии синтеза и графитизации алмаза, а также p, T -линия термодинамического равновесия графит - алмаз не совпадают.

Теоретический термодинамический расчет зависимости между давлением и температурой при превращении алмаза в графит приведен в работах А. В. Лысенко и др. [1–3].

На рис.1 из работы [2] проиллюстрирован баротермический гистерезис, возникающий при фазовых превращениях графит – алмаз. В работе [3] установлено, что уменьшение длины колебания межатомных связей в кристаллах алмаза с ростом давления описываются формулой:

$$\sqrt{\bar{U}^2} = \alpha\sqrt{T} \exp(-\chi p), \quad (1)$$

где \bar{U} – средняя амплитуда колебаний межатомных связей, T – температура, p – давление, α и χ – коэффициенты.

Уравнение $p=f(T)$ зависимости перехода алмаз – графит имеет вид:

$$p = p^* \frac{\ln \sqrt{T/T_0}}{\ln \sqrt{T^*/T_0}}, \quad (2)$$

где: $T_0 = 1900$ К [4], $T^* = 400$ К [5, 6], $p^* = 14$ ГПа (среднее между 11,4 ГПа [5] и 16,6 ГПа [6]).

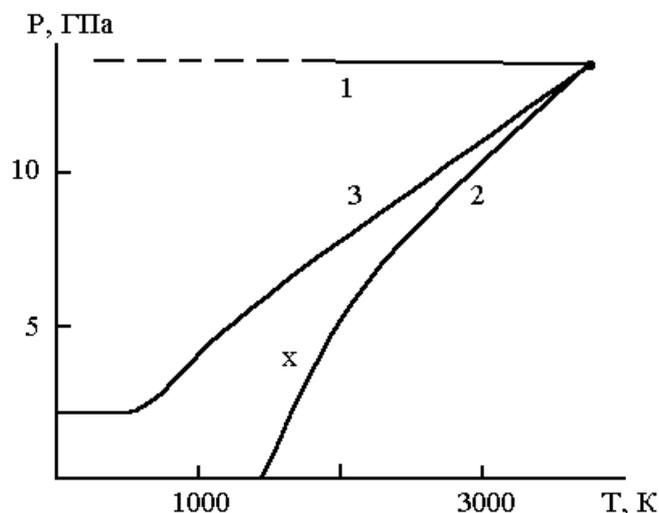


Рис. 1. Баротермический гистерезис, возникающий при фазовых превращениях графит–алмаз. 1 – линия синтеза алмаза из графита [2]; 2 – кривая графитизации алмаза; 3 – линия термодинамического равновесия графит–алмаз [2, 5, 6]; x – промежуточная точка на кривой графитизации [7]

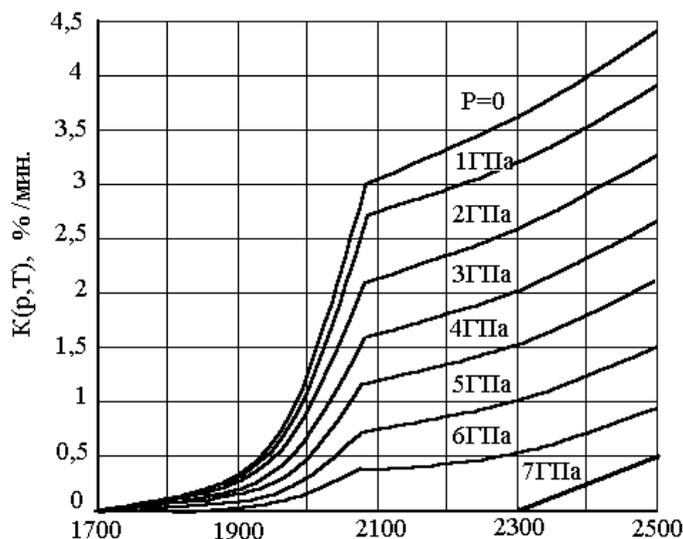


Рис. 2. Кривые $K(p, T)$ для реакции графитизации алмазного порошка АСМ 28/20 для различных давлений [10]

Кривая 2 на рис. 1 отличается от экспериментальной [7], т.к. реальные алмазы имеют различные дефекты в кристаллической решетке.

Термодинамический расчет влияния давления на кинетику превращения алмаза в графит приведен в работе [8].

Уравнение зависимости для константы скорости графитизации от давления имеет вид:

$$K_{(p)} = A_0(p) \cdot \exp(-D_0(p)/RT(w, p)). \quad (3)$$

Кинетика превращения для конечной массы исходной фазы в этом случае описывается уравнением Аврами:

$$\alpha = 1 - \exp(-K(p)t^n). \quad (4)$$

По этому уравнению могут быть получены решения в виде:

$$\alpha_{T=\text{const}} = f(p), \quad \alpha_{p,T} = f(t), \quad K_{p=\text{const}} = f(T). \quad (5)$$

В работе [9] решение в виде $K_{p=\text{const}} = f(T)$ приведено в графическом виде (рис. 2). Вычисления проводились для графитизации алмазного порошка АСМ 28/20, имеющего идеальную алмазную решетку. Область алмаз→графит ограничена двумя асимптотами $K_{(p,T)} \rightarrow 0$, а именно, температурным барьером $T_{\min} \approx 700$ К и линией равновесия $p_{LG} = 0$.

Экспериментальную проверку по влиянию давления на скорость графитизации алмаза впервые провел

Бриджмен в 1947 г. [10]. Он графитизировал природные алмазы при давлениях от 1,5 до 3,0 ГПа и сделал вывод, что скорость графитизации повышается с ростом температуры и снижается с ростом давления. Бовенкерк [11] исследовал графитизацию алмаза при температурах 1500–2000 °С и давлениях до 2,0 ГПа; им было установлено, что скорость графитизации падает с увеличением давления. Банди [12] при давлениях 3,3–6,1 ГПа, температурах 1200–2150 °С и выдержках до 1 ч были получены аналогичные результаты. Первые надежные экспериментальные данные по графитизации алмаза под давлением были получены в работе [13].

В табл. 1 по данным работы [13] приведены результаты изучения кинетики превращения А→Г для алмазов массой от 0,01 до 0,1 карата, помещенных в порошок графита.

Таблица 1. Время перехода А→Г при степени превращения $\alpha=50$ и 100% [13]

P, ГПа	T, °С	Время, с	
		$\alpha=50\%$	$\alpha=100\%$
3,2	2000	600	-
	2140	100	260
	2290	18	60
3,9	2140	280	800

На основе количественных измерений графитизации алмазов сделаны следующие выводы: повышение температуры очень сильно увеличивает скорость графитизации, увеличение давления сильно ее замедляет, на скорость реакции не влияет твердая среда, окружающая алмаз, суммарная энергия активации зарождения и роста графита составила 270 ккал/моль, суммарный активационный объем – 59 см³/моль.

Реальные алмазные зерна имеют различные дефекты: поры, включения графита, минералов, металлов-катализаторов, газов и т. д. Повышение давления в процессе изготовления алмазного инструмента приводит к всестороннему сжатию алмазного зерна окружающей средой, что должно препятствовать его разрушению. Результаты влияния давления на термостойкость алмазов в различных средах приведены в работах [14–18]. В работе [15] исследования проведены на порошках природных алмазов зернистостью 1000/800 с исходной прочностью 280 Н. Прессование проводили при давлениях до 4 ГПа в твердосплавной смеси ВК6, порошках карбида вольфрама, меди и железа. Прочность алмаза после прессования в металлических порошках при давлении до 2000 МПа практически не изменилась, а при давлении 3000 МПа и выше снизилась на 20–40% из-за образования внутренних дефектов. Гранулометрический состав алмазных порошков при этом практически не изменился, т. е. зерна не разрушались. Прочность синтетических алмазов фракции 400/315 после горячего прессования при давлениях до 5 ГПа и температурах до 1673 К исследовали в работах [16, 18], при давлениях до 7,7 ГПа и температурах до 2100 К в работе [17]. Установлено, что после проведения горячего прессования в твердосплавной шихте в графитовых пресс-формах (давление 15–20 МПа) при температуре 1100 °С происходило снижение прочностных свойств алмазов. По-видимому, этого давления не достаточно для уравнивания внутренних напряжений в кристалле алмаза. Дальнейшее увеличение давления до 3–5 ГПа повышает термостойкость синтетических алмазов до 1673 К, причем

термостойкость 1373 К достигается при давлении 0,5 -1,0 ГПа. Более химически активная к алмазу среда, передающая давление, приводит к большему разупрочнению алмаза при нагреве. При применении засыпки из WC, Al₂O₃ и NaCl наиболее резкое снижение прочности алмазов происходило в среде NaCl по мнению авторов из-за присутствия воды [17]. Термобарическая обработка в засыпке Al₂O₃ и WC не приводит к резкому снижению прочности.

В работе [14] для исследования влияния давления горячего прессования на прочностные свойства поликристаллов были взяты навески по три зерна АСПК, АСБ общей массой 1 карат и, для сравнения, навеска природного алмаза А 4-3. Средой, передающей давление, служила смесь порошков твердого сплава ВК15 и никеля. Термообработку проводили по двум режимам:

1. При атмосферном давлении: время нагрева до заданной температуры 20-30 мин., выдержка 5–60 мин., охлаждение вместе с печью и разгрузка;

2. При давлениях 0,75; 1,5; 2,5 и 5,0 ГПа: время нагрева до заданной температуры 8–10 мин., выдержка при постоянной мощности 5 минут, охлаждение в течение 8–10 мин.

После прокаливания зерна АСПК и АСБ испытывали на абразивную стойкость (рис. 3): повышение давления горячего прессования до 1 ГПа повышает термостойкость алмазных поликристаллов АСПК и АСБ на 120-150 градусов – до 1000-1050 °С. Поскольку алмазные поликристаллы АСПК и АСБ

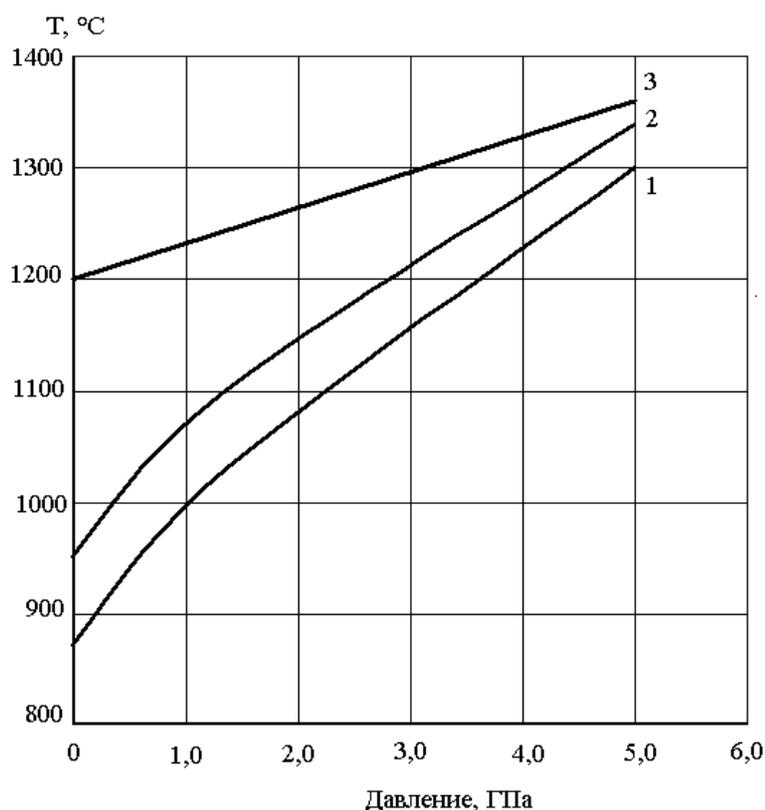


Рис. 3. Влияние давления на термостойкость алмазных поликристаллов при 5-минутной выдержке в среде ВК-15–никель (критерий–абразивная стойкость) [14]. 1-АСБ; 2-АСПК; 3-порошок природного алмаза А4-3

содержат до 20 % включений металла-катализатора, то их нагрев приводит к графитизации алмазной фазы. Удельный объем графита значительно превышает удельный объем алмаза, поэтому повышение давления должно препятствовать протеканию процесса графитизации алмаза и, как следствие, снижению механических свойств поликристалла. Термостойкость природных алмазов А4-3 повышается, хотя и незначительно, с 1200 °С до 1230 °С. В цитируемой работе не приводятся режимы испытания на абразивную стойкость поликристаллов и не указано, извлекались ли алмазы из связки для проведения прочностных испытаний или испытания алмазов проводили в той же связке, в которой проводилась термообработка. В

первом случае химическая обработка приводит к снижению содержания металлической фазы поликристалла, и, следовательно, снижению его прочностных свойств [19]. Во втором случае при повышении температуры и давления повышаются прочностные свойства связки, которые влияют на износостойкость инструмента. Важным выводом работы [14] является возможность применения прочных порошковых металлических связок при спекании под высоким давлением для изготовления абразивного инструмента с использованием прочных поликристаллических алмазов АСПК. При спекании таких связок в обычных условиях требуются достаточно высокие температуры, которые приводят к разрушению поликристаллических алмазов АСПК. Применение высоких давлений в процессе спекания увеличивает термостойкость поликристаллов и снижает температуру спекания связок.

Показатель термостойкости алмазных порошков является одной из основных характеристик их работоспособности. Термостойкость алмазных порошков важна и при выборе методов изготовления инструмента и при определении режимов его эксплуатации. Поэтому методам определения и повышения термостойкости алмазных материалов посвящено много работ, например, [20].

Термостойкость алмазов – это максимальная температура нагрева, при которой сохраняются их механические и эксплуатационные характеристики. Из теоретических и экспериментальных данных следует, что повышение давления приводит к увеличению термостойкости как монокристаллических, так и поликристаллических алмазов, если они содержат включения сплавов-катализаторов, приводящих к графитизации алмазов. Механизм блокирования разупрочняющего действия температуры может быть связан как с чисто механическим снижением возникающих термонапряжений на границе алмаз-включение, так и за счет подавления процессов графитизации алмаза. Разброс количественных данных по влиянию давления при нагреве на повышение термостойкости различных алмазов объясняется большим разнообразием их физико-химических свойств. Кроме того, различные условия создания давления и проведения нагрева, наличие передающей давление среды снижают ценность количественных значений термостойкости для разработки конкретного технологического режима изготовления камнеразрушающего инструмента. Для дополнительного изучения влияния давления на способность алмазов сохранять их прочностные свойства после нагрева под давлением, были выбраны 4 типа алмазов, пригодных для камнеобработки: природные алмазы А4 400/315; алмазы фирмы *De Beers* SDB 1100 40/50; отечественные алмазы АС125 400/315; поликристаллические алмазы АРК4 400/315. Навеску алмазного порошка смешивали с навеской NaCl, прессовали в таблетку под давлением 500 МПа и прессовку помещали в сушильный шкаф для удаления влаги при 200-250 °С в течение 1 часа. Обезвоженную таблетку помещали в эксикатор. Термобарическую обработку проводили в камере высокого давления (КВД) типа «наковальня с углублением». КВД калибровали в холодном состоянии по стандартной методике с использованием в качестве реперных материалов *Vi* и *PbSe*. Температуру измеряли хромель-алюмелевой термопарой непосредственно в процессе проведения термобарической обработки в трубчатом нагревателе из графита марки МГОСЧ. Поправка по влиянию давления на показания термопары не вводилась. Время выдержки алмазов при температуре под давлением составляло 1 мин. Торцевые заглушки прессовали из природного графита марки ГСМ-1. После термобарической обработки прессовки с алмазами извлекали и обрабатывали кипящей водой до полного растворения NaCl. Прочностные испытания термобарически обработанных алмазов проводили в соответствии с ГОСТ 9106-80; полученные данные представлены на рис. 4–6.

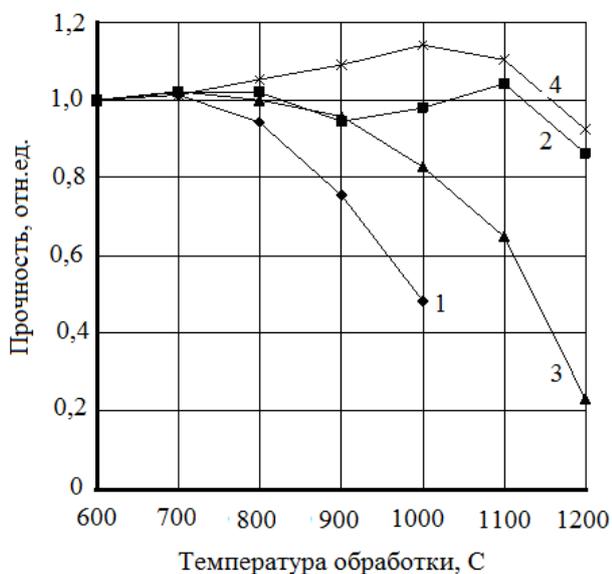


Рис. 4. Зависимость прочности алмазных порошков от температуры обработки в вакууме: 1 – APK4 400/315; 2 – A4 400/315; 3 – AC125 400/315; 4 – SDB 40/50

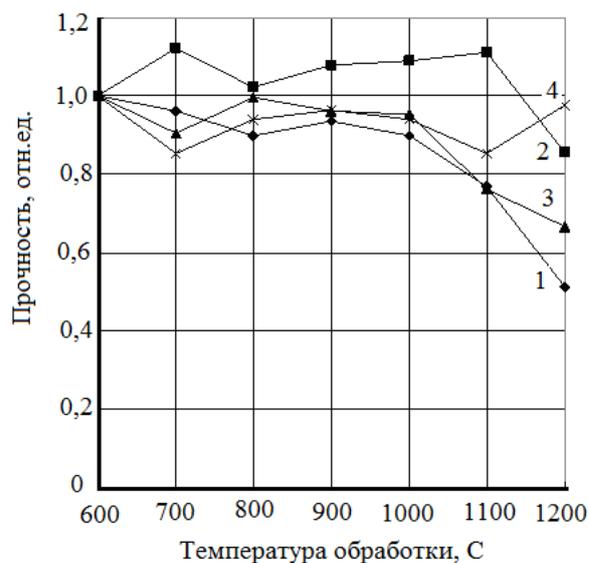


Рис. 5. Зависимость прочности алмазных порошков от температуры обработки при давлении 2,5 ГПа: 1 – APK4 400/315; 2 – A4 400/315; 3 – AC125 400/315; 4 – SDB 40/50

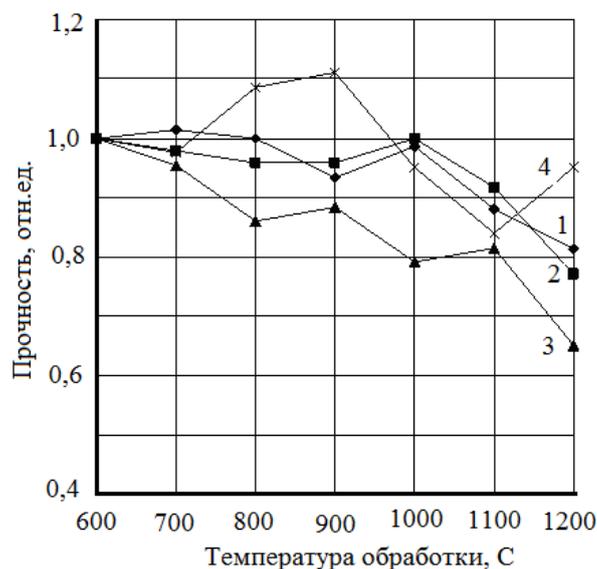


Рис. 6. Зависимость прочности алмазных порошков от температуры обработки при давлении 4,0 ГПа: 1 – APK4 400/315; 2 – A4 400/315; 3 – AC125 400/315; 4 – SDB 40/50

Прочность исходных порошков составила: для APK4 400/315 – 86 Н ± 7%; для AC125 400/315 – 230 Н ± 6,5%; для A4 400/315 – 102 Н ± 8,8%; для SDB 40/50 – 780 Н ± 13%. Для порошков A4 и SDB 1100 влияние давления при горячем прессовании для повышения термостойкости алмазов в диапазоне 700-1200 °С не существенно, что связано с их высокой

начальной термостойкостью. Для порошков АРК4 и АС125 увеличение давления прессования повышает термостойкость алмазов, из-за большего количества примесей в этих алмазах и, как следствие, невысокой их термостойкости. Давления прессования 2,5–4,0 ГПа при нагреве, приводят к некоторому понижению прочности алмазов АРК4 уже при 700–800 °С из-за наличия в них крупных включений сплава-катализатора, сжимаемость которых значительно выше, чем у алмазных кристаллитов. Давления 2,5–4,0 ГПа могут приводить к образованию трещин на границе алмаз - металлическое включение. Поэтому для изготовления камнеразрушающего инструмента с алмазами АРК4 методом горячего прессования под давлением, оптимальными являются давление 1,5–2,0 ГПа и температура термобарической обработки до 1050 °С.

Метою цієї роботи було встановити вплив тиску на термостійкість різних алмазних матеріалів. Проведений аналіз наявних даних щодо впливу тиску пресування при спіканні на термостійкість як природних, так і штучних алмазів показав, що тиск пресування підвищує температуру розупорядкування і графітизації алмазів всіх типів. Методика вивчення впливу тиску на термостійкість полягала в наступному: алмазні порошки з природних алмазів марки А4, синтетичних монокристалічних алмазів марок SDB1100, АС125 і синтетичних полікристалічних алмазів марки АРК4 піддавали нагріванню у вакуумі при тисках 2,5; 4,0 ГПа до різних температур. Визначали міцність алмазних порошків до і після нагрівання. Встановлено, що підвищення тиску пресування при нагріванні алмазів приводить до уповільнення процесів їхньої графітизації і суттєвого підвищення термостійкості алмазів, що мають включення металів-каталізаторів.

Ключові слова: алмазні порошки, міцність, термостійкість, тиск.

V. I. Bugakov, A. V. Nojkina, A. I. Laptev

STRENGTH OF DIAMOND MATERIALS AFTER HEATING UNDER PRESSURE

The purpose of this work was to establish the effect of pressure on the heat resistance of various diamond materials. The analysis of the available data on the effect of pressing pressure during sintering on the thermal stability of both natural and artificial diamonds showed that the pressing pressure raises the temperature of softening and graphitization of all types of diamonds. The procedure for studying the effect of pressure on heat resistance was as follows: diamond powders from natural diamonds of grade A4, synthetic single crystal diamonds of SDB 1100, AC 125 and synthetic polycrystalline diamonds of grade ARK4 were heated in vacuum and at pressures of 2.5; 4.0 GPa to different temperatures. Determine the strength of diamond powders before heating and after heating. It was found that increasing the pressing pressure when the diamonds are heated leads to a slowdown in the processes of their graphitization and a significant increase in the thermal stability of diamonds that have inclusions of catalyst metals.

Key words: diamond powders, strength, heat resistance, pressure.

Литература

1. Лысенко А. В., Шульман Л. А., Пугач Э. А. Баротермические условия графитизации алмаза и Р,Т-гистерезис, возникающий при фазовом превращении графит↔алмаз // Сверхтвердые материалы. –1993. – № 3. – С. 65–66.
2. Лысенко А. В., Шульман Л. А., Пугач Э. А. Тензорное уравнение состояния графита и алмаза вблизи Р-Т-линии равновесия графит–алмаз // Сверхтвердые материалы. – 1992. – № 5. – С. 61–62.
3. Шульман Л.А., Лысенко А.В., Пугач Э.А. Баротермические условия образования единичных поперечных сшивок в графите при его превращении в алмаз // Сверхтвердые материалы. – 1992. – № 6. – С. 62–63.

4. Физические свойства алмаза: Справ. под ред. Н.В. Новикова. -Киев: Наук. думка, 1987. – 182 с.
5. Vereshchagin L. F., Yakovlev E. N., Buchnev L. M., Dymov B. K. The question about the conditions of equilibrium of diamond with different carbon materials // *Teplofizika Vysokikh Temperatur.* –1977. – 15, – N 2. – P. 316–321.
6. Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. – М.: Мир, 1974. – 540 с.
7. *Properties of diamond. First Edition / Ed. by J. E. Field. London: Acad. Press, 1979. – 674 p.*
8. Андреев В. Д. Спонтанная графитизация и термодеструкция алмаза при $T > 2000$ К // *Физика твердого тела.* – 1999. – 41. – Вып. 4. – С. 695–701.
9. Графитизация алмаза в широком диапазоне давлений / Андреев В. Д., Боримский А. И., Малик В. Р. и др. // *Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение. Материалы международной научно-технической конференции 4-6 июля 2001 г., г. Киев.* – Киев: ИСМ НАН Украины, 2001. С. 44-46.
10. Bridgman P.W. An Experimental Contribution to the Problem of Diamond Synthesis // *J. Chem. Phys.* – 1947. – 15. – N 2. – P. 92–98.
11. Bovenkerk H. P., Bundy F. P., Hall H. T., Strong H. M. Preparation of diamond // *Nature.* – 1959. – 184. – N 4693. – P. 1094–1098.
12. Bandy F. P., Bovekerk H. P., Strong H. M., Wentorf R. H. Diamond-Graphite Equilibrium Line from Growth and Graphitization of Diamond // *J. Chem. Phys.* – 1961. – 35. – N 2. – P. 383–391.
13. Horton R. M., Horton M. D. The high-pressure graphitization of diamond // *High Temperature – High Pressure.* –1972. – 4. – P. 39–48.
14. Верещагин Л. Ф., Коняев Ю. С., Довбня А. В. Термостойкость поликристаллических образований алмаза и боразона при давлении до 50 кбар в условиях их спекания с металлокерамическими связками // *Алмазы.* – 1970. – № 4. – С. 1–5.
15. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. Т. 2. Композиционные сверхтвердые материалы /Редкол.: Новикова Н. В. (отв. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1986. – 264 с.
16. Симкин Э. С., Цыпин Н. В. Влияние высокого давления на термостойкость синтетических алмазов // *Взаимодействие алмазов с жидкими и газовыми средами.* – К.: ИСМ АН УССР, 1984. – С. 124–127.
17. Гаргин В. Г., Шишкин В. А. Влияние давления, температуры и среды на прочность синтетических алмазов // *Взаимодействие алмазов с жидкими и газовыми средами.* – К.: ИСМ АН УССР, 1984. – С. 127–131.
18. Исследование изменений в синтетических алмазах после термообработки при высоких давлениях / Г. А. Подзярей, Т. А. Начальная, Э. С. Симкин и др. // *Физика и техника высоких давлений.* – 1983. – № 14. – С. 36–39.
19. Nojkina A. V., Laptev A. I., Ermolaev A. A. Influence of synthesis and composition conditions on strength characteristics of synthetic carbonado-type diamonds // *High Pressure Research.* – 2002. – 22. – N 3-4. – P. 545-549.
20. Poliakov V. P., Ermolaev A. A., Laptev A. I., Potemkin A. A. 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*. – 2001. – 10. – N 11. – P. 2024–2029.

Поступила 23.07.18

References

1. Lysenko, A. V., Shulman, L. A., & Pugach, E. A. (1993). Baro-termicheskie usloviia grafitizatsii almaza i P,T-gisterezis, vznikayushchii pri fazovom prevrashchenii grafit–almaz [Barothermic conditions for graphitization of diamond and P, T-hysteresis, which occurs during the phase transformation of graphite↔diamond]. *Sverhtverdye materialy – Superhard Materials*, 3, 65–66 [in Russian].
2. Lysenko, A. V., Shulman, L. A., & Pugach, E. A. (1992). Tenzornoe uravnenie sostoyaniya grafita i almaza vblizi P-T–linii ravnovesiia grafit–almaz [Tensor equation of state of graphite and diamond near P-T-line of graphite-diamond equilibrium]. *Sverhtverdye materialy – Superhard Materials*, 5, 61–62 [in Russian].
3. Lysenko, A. V., Shulman, L. A., & Pugach, E. A. (1992). Baro-termicheskie usloviia obrazovaniia edinichnykh poperechnykh sshivok v grafite pri ego prevrashenii v almaz [Barothermal conditions for the formation of single cross-links in graphite during its transformation into diamond]. *Sverhtverdye materialy – Superhard Materials*, 6, 62–63 [in Russian].
4. Novikov, N. V. (Eds.). (1987). *Physical properties of diamond*. Kyiv: Naukova dumka.
5. Vereshchagin, L. F., Yakovlev, E. N., Buchnev, L. M., & Dymov B. K. (1977). The question about the conditions of equilibrium of diamond with different carbon materials. *High Temperatures – High Pressures*, Vol. 15, 2, 316–321 [in Russian].
6. Lodiz, R., & Parker, R. (1974). *Rost monokristallov [Growth of single crystals]*. Moscow: Mir [in Russian].
7. Field J. E. (Eds.). (1979). *Properties of diamond*. London: Acad. Press.
8. Andreev, V. D. (1999). Spontannaya grafitizatsiya i termodestruktsiya almaza pri $T > 2000$ K [Spontaneous graphitization and thermal destruction of diamond at $T > 2000$ K]. *Fizika tverdogo tela – Solid State Physics*, 41, 4, 695-701 [in Russian].
9. Andreev, V. D., Borimskii, A. I., Malik, V. R., et al. (2001). Grafitizatsiya almaza v shirokom diapazone davlenii [Graphitization of diamond in a wide range of pressures]. Proceedings from Superhard instrumental materials at the turn of the millennium: acquisition, properties, application'01: *Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaia konferentsiia (4–6 iulia 2001 hoda) – International scientific and technical conference*. (pp 44–46). Kyiv: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
10. Bridgman, P. W. (1947). An Experimental Contribution to the Problem of Diamond Synthesis. *J. Chem. Phys.*, Vol. 15, 2, 92–98.
11. Bovenkerk, H. P., Bundy, F. P., Hall, H. T., & Strong H. M. Preparation of diamond. *Nature*, Vol. 184, 4693, 1094–1098.
12. Bandy, F. P., Bovekerk, H. P., Strong, H. M., & Wentorf, R. H. (1961). Diamond-Graphite Equilibrium Line from Growth and Graphitization of Diamond. *J. Chem. Phys.*, Vol. 35, 2, 383–391.
13. Horton, R. M., & Horton M. D. (1972). The high-pressure graphitization of diamond. *High Temperature – High Pressure*, 4, 39–48.

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]. *Almazы – 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,