

основе / А. А. Шульженко, А. В. Ножкина, В. Г. Гаргин и др. // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 5. – С. 7–15.

4. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, В. А. Шишкин и др. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория Упругости. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 259 с.

Поступила 31.05.10

УДК 621.921.34:621.921.34–413:621.923.4:662.23.05

**А. А. Шульженко<sup>1</sup>**, член-корр. НАН Украины; **Е. Е. Ашкинази<sup>2</sup>**, **Р.К. Богданов**, **А. Н. Соколов<sup>1</sup>**, **В. Г. Гаргин<sup>1</sup>**, **А.П. Загора**, кандидаты техн. наук; **В. Г. Ральченко<sup>2</sup>**, канд. физ.-мат. наук; **В. И. Конов<sup>2</sup>**, член-корр. РАН; **Г. Д. Ильницкая<sup>1</sup>**, канд. техн. наук; **М. В. Супрун**, **А. А. Хомич<sup>2</sup>**, инженеры; **М. В. Кандзюба<sup>2</sup>**, асп.

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, г. Москва

## ГИБРИДНЫЙ АЛМАЗНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ЕГО СВОЙСТВА

*A new ultrahard hybrid diamond-based composite polycrystalline material (HDCPM) has been developed using a combination of high-pressure high-temperature (HPHT) sintering technique and chemical vapor deposition (CVD) of diamond.*

### Введение

В настоящее время основным способом разведки новых месторождений твердых полезных ископаемых является бурение скважин в горных породах алмазным инструментом.

В мировой практике геологоразведочного бурения с применением алмазного инструмента за последние 30 лет произошли существенные изменения относительно оснащения его алмазным сырьем. Так, большинство ведущих фирм США, Англии, Швеции, Бельгии и других стран перешли на оснащение бурового инструмента синтетическими алмазами (СА) вместо применявшихся ранее в нем природных алмазов. В странах дальнего зарубежья около 80 % алмазного породоразрушающего инструмента, применяемого для бурения геологоразведочных скважин в твердых горных породах, к настоящему времени составляют коронки, армированные СА, в том числе около 5% - поликристаллами [1].

Одним из основных направлений технического прогресса при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых должно быть снижение материальных и трудовых затрат на единицу разведанных запасов. Достигается это прежде всего благодаря созданию и применению новых марок сверхтвердых композиционных материалов в буровом инструменте, разработке его новых конструкций, рациональных технологий применения породоразрушающего инструмента.

Композиционными обычно называют многокомпонентные материалы, состоящие, как правило, из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями высокой прочности, жесткости и т. п. [2]. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. При использовании в материале нескольких наполнителей различной природы (гибридных композиционных материалов) значительно расширяются возможности регулирования свойств композиционных материалов.

К наиболее наукоемким и многообещающим для практики относятся гибридные алмазные композиционные поликристаллические материалы и технологии их получения. Новейшее поколение гибридных сверхтвердых материалов сочетает положительные свойства синтетиче-

ского, природного и CVD-алмаза. Большинство многокомпонентных композиционных материалов представляет собой структуру типа «гость – хозяин». В алмазных композиционных гибридных материалах, состоящих из синтетического, природного и CVD-алмаза, каждый материал играет роль «хозяина», дополняя материалы своими положительными свойствами.

В институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ) разработан способ получения гибридного алмазного композиционного материала на основе порошков синтетического и природного алмаза [3]. Этот материал характеризуется высокими физико-механическими свойствами, что позволяет успешно использовать его для оснащения бурового инструмента.

Специалистами ИСМ и института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ) совместно получен ультратвердый гибридный композиционный материал, содержащий CVD-алмаз (светлый), поверхность которого частично или полностью в условиях высокого давления и температуры окружена оболочкой из алмазного композиционного термостойкого материала (АКТМ) [4] со связью между зернами алмаз-алмаз, между которыми размещена активирующая добавка, при этом площадь оболочки, которая охватывает CVD-алмаз, составляет не меньше 40 % его поверхности [5–11].

В настоящее время этими же организациями разработан новый гибридный сверхтвердый материал, содержащий порошки CVD и активирующую процесс спекания добавку [12]. В этом материале содержатся порошки CVD-алмаза с размером зерен ~ 300–1000 мкм.

В основу создания нового материала положена задача получения с использованием порошков CVD-алмаза гибридного композиционного материала, при котором благодаря выбору соотношения порошков синтетических и природных алмазов, и оптимального расположению зерен CVD-алмаза в материале обеспечивается повышение их твердости и как следствие – износостойкости материала.

Цель настоящей работы – исследовать свойства (прочность, термостабильность и износостойкость), разработанных совместно ИСМ и ИОФ новых гибридных алмазных композиционных поликристаллических материалов (ГАКПМ) и их составляющих (матрицы и армирующих элементов).

#### Материалы и методики экспериментов

В качестве исходных материалов использовали алмазные микропорошки зернистостью 40/28, пластины (рис. 1, *а*), бруски (черные) (рис. 1, *б*) и порошки (светлые и серые) (рис. 1, *в*) CVD-алмаза, синтезированные в ИОФ РАН, а также бруски CVD-алмаза марки CDD (фирма «Element Six») (рис. 1, *г*).

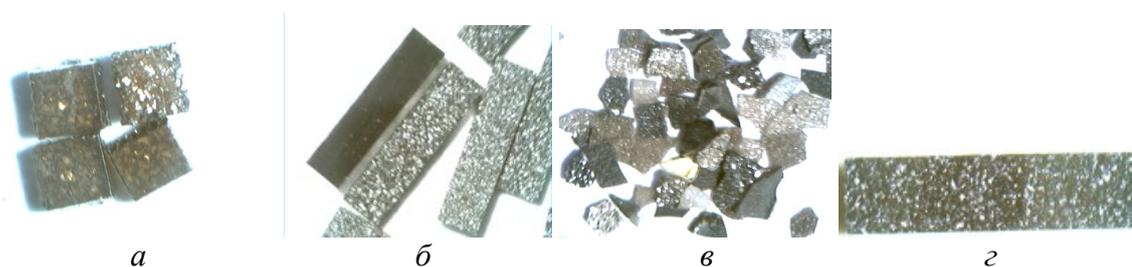


Рис. 1. Внешний вид образцов CVD-алмаза: пластины (*а*), бруски (*б*), порошки (*в*), также бруски CVD-алмаза марки CDD (*г*)

Цвет образцов CVD-алмаза определялся степенью их чистоты и структурного совершенства, зависящих от технологии синтеза. Так называемый «черный алмаз» (black diamond) является поликристаллическим CVD-алмазом с высоким содержанием структурных дефектов, таких как микродвойники, дислокации, нанометровые аморфизованные домены [13]. Эти дефекты вызывают сильное оптическое поглощение в так называемом «черном» алмазе, в то время как включения графита в них отсутствуют. Однако при вакуумном отжиге поликристаллического алмаза, даже первоначально прозрачного, до температуры выше 1200–1300 °С на границах зерен

могут формироваться тонкие прослойки кристаллизованного графита толщиной от нескольких межплоскостных расстояний [14], что также приводит к почернению материала.

Локальные спектры комбинационного рассеяния (КР) света образцов снимали на установке LABRAM HR в геометрии рассеяния света назад (длина волны возбуждающего излучения Ar<sup>+</sup> лазера – 488 нм, диаметр лазерного пятна на поверхности образца – около 1 мкм).

Термическую обработку пластин и порошков CVD-алмаза осуществляли в муфельной печи в токе аргона при температуре  $T = 1150\text{ °C}$  в течение 600 с. Охлаждали образцы вместе с печью в токе аргона до температуры 600 °C. Указанный режим термообработки соответствовал условиям изготовления инструмента.

Исследовали также пластинки CVD-алмазов, обработанные в условиях высокого давления и температуры (НРНТ) – при давлении 7,0 ГПа и температуре 1350 °C в среде графита (марки С-3) в течение 60 с (рис. 2).

Спекание нового материала проводили в многопозиционной матрице, которую спрессовали из чешуйчатого графита с линейным размером частичек 0,5–1,0 мм и толщиной около 1 мкм. Матрица имела диаметр 18 мм и высоту 5 мм с цилиндрическими гнездами диаметром 4,5 мм, в которые засыпали алмазный микропорошок АСМ 40/28. После этого на поверхность алмазной массы укладывали 1–5 пластинок из поликристаллического CVD-алмаза и вдавливали их пуансоном в алмазную массу.

Для формирования пропитывающего слоя приготовили смесь из порошка кремния с размером частиц менее 100 мкм, чешуйчатого графита и алмазного нанопорошка с размером частиц менее 0,01 мкм. Однородность смеси обеспечивалась смешиванием компонентов в шаровой мельнице. Из полученной смеси спрессовали диски, закрывающие гнезда матрицы, в которых размещалась алмазная масса с пластинками CVD-алмаза. Матрица помещалась в ячейку высокого давления.

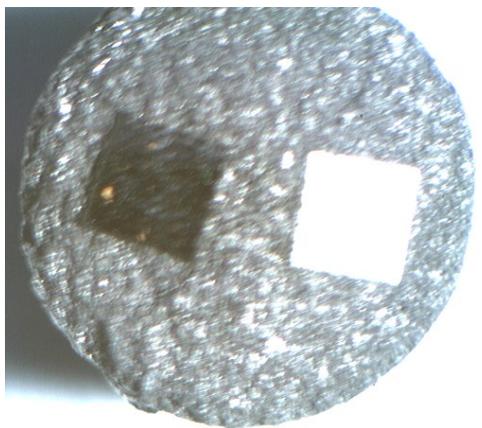


Рис. 2. Внешний вид пластинок CVD-алмазов, обработанных в НРНТ-условиях ( $p = 7,0\text{ ГПа}$ ,  $T = 1350\text{ °C}$ ) в среде графита (марки С-3) в течение 60 с

Материал спекали в аппарате высокого давления типа «тороид» с диаметром центрального углубления 30 мм.

Спекание осуществляли в два этапа.

На первом этапе содержимое многопозиционной матрицы подвергали баротермической обработке при давлении 8 ГПа и температуре 1170 К в течение 50 с. Затем температуру повышали до температуры плавления кремния при заданном давлении (1570 К) и выдерживали в течение 90 с [13].

После спекания поверхность полученных образцов композиционного материала на основе АКТМ и CVD-алмаза подвергали химической обработке в целях очищения от остатков графита.

Эффективность применения CVD-алмаза в инструменте определяется прежде всего его прочностью и термостабильностью, поэтому знание прочностных характеристик CVD-алмаза имеет важное научное и прикладное значение.

При определении прочности хрупких материалов наблюдаются общие закономерности, такие как существенное рассеяние результатов испытаний на прочность, снижение прочности с увеличением размеров и пр.

Для определения прочности применяли разрывную машину WPM-1000. При испытании на ней использовали шкалу 0–500 кг. Разрушение осуществлялось между двумя опорами из твердого сплава марки ВК2М; скорость приложения нагрузки составляла 40 кг/с.

Исследовали прочность при одноосном статическом сжатии «светлых» пластин CVD-алмаза размером 1,0×1,0×0,4 мм (рис. 1, а). Зародышевая сторона пластины была гладкой (зеркальной), противоположная (ростовая) – шероховатой. Для соблюдения плоскопараллельности на ростовую сторону помещали медную фольгу толщиной 0,02 мм.

Также исследовали прочность порошков CVD-алмаза зернистостью 630/500 (рис. 1, в). Как видно на рис. 1, в порошки состояли из светлых и серых зерен. Для исследования влияния окраски зерен CVD-алмаза на прочность их условно разделили на «светлые» и «серые».

В результате предварительных экспериментов было установлено, что кристаллы CVD-алмаза при достижении критических напряжений разрушались на мелкие фрагменты, так что фиксирование момента разрушения CVD-алмаза не вызывало трудностей.

Испытания на износостойкость проводили при точении на токарно-винторезном станке модели ДИП-200 коростышевского гранита XI категории буримости. Этот гранит имеет стабильные свойства, высокую твердость и абразивность. При этом использовали специальное оснащение для закрепления керна горной породы в виде разрезного цилиндра и стакана, а также специальное приспособление для закрепления исследуемого образца породоразрушающего элемента в резцедержателе на основе сверлильного патрона. Исследуемый образец породоразрушающего элемента закрепляли в патроне специального приспособления и подводили к поверхности керна горной породы, где и осуществляли его продольное точение с заданной глубиной внедрения.

Износ по массе породоразрушающих элементов измеряли электронными весами типа Sartorius с точностью до 0,0001 г.

Параметры режима резания были следующие: частота вращения – 355 мин<sup>-1</sup>, глубина внедрения – 1,0 мм.

Контролируемыми параметрами служили глубина внедрения (с точностью до 0,05 мм) и продолжительность точения (с точностью до 1 с).

Интенсивность изнашивания  $I$  (мг/м) определяли как отношение потери массы породоразрушающего элемента  $\Delta m = m_n - m_k$ , ( $m_n$  и  $m_k$  – масса образца соответственно до и после испытаний, мг) к величине проходки на вставку  $L$ :

$$I = \frac{\Delta m}{L},$$

где  $L = \frac{\pi D n}{60} t$ ;  $D$  – диаметр керна, м;  $n$  – частота вращения шпинделя станка, мин<sup>-1</sup>;  $t$  – продолжительность точения, мин.

Образцы породоразрушающих элементов испытывали при скорости резания 1,33 м/с, пути резания 545 м и продолжительности резания 410 с.

Все породоразрушающие элементы были исследованы на износостойкость как в исходном состоянии, так и после прохождения термообработки в муфельной печи в токе аргона.

Потерю массы материалов определяли по изменению пробы до и после термической обработки. Термообработку проводили при температуре 1150 °С в течение 600 с в токе инертного газа (аргона) с последующим охлаждением до температуры 150 °С. Такую термообработку проводили в целях имитации процесса спекания матрицы буровой коронки.

### Результаты

Для проведения сравнительных лабораторных исследований износостойкости были изготовлены цилиндрические породоразрушающие элементы диаметром 3,5 мм и высотой 3,7 мм из АКТМ, в котором размещали армирующие вставки CVD-алмаза следующих вариантов изготовления и размещения в оболочке АКТМ: АКТМ + CDD ( $5,0 \times 0,8 \times 0,8$  мм), АКТМ + CVD-алмаз (черный) ( $4, \times 1,0 \times 0,3$  мм), АКТМ + CVD-алмаз (черный) (режущие вставки) и АКТМ + CVD-алмаз (черный) (подрезные вставки). Следует отметить, что в первом и втором вариантах изготовления породоразрушающих элементов армирующие вставки CVD размещали вдоль оси цилиндра из АКТМ с выступанием вершины CVD на его поверхности. В третьем и четвертом вариантах изготовления дробленые армирующие вставки CVD размещали на поверхности цилиндра из АКТМ плашмя: либо узкой частью (0,3 мм) – режущий вариант, либо широкой (1 мм) – подрезной.

При выборе ориентации зерен в последних двух случаях исходили из следующих соображений.

Порошки CVD-алмаза получали в результате механического дробления поликристаллических заготовок. После дробления зерна порошка CVD-алмаза имеют уплощенную форму с торцом толщиной  $\sim 0,3$ – $0,6$  мм (рис. 3), поэтому для работоспособности инструмента большое значение имеет расположение зерна CVD-алмаза в материале.

Если вставка (торцевая) из такого материала разрушает горную породу при бурении, то зерна CVD-алмаза располагаются в гибридном сверхтвердом материале так, что их рабочая поверхность совпадает с торцом зерна. В этом случае уменьшаются усилия для проникновения зерна в породу, что повышает работоспособность инструмента.

Если вставки (подрезные) из такого материала защищают корпус породоразрушающего инструмента от преждевременного износа по диаметру, что способствует сохранению (удержанию) необходимого размера скважины, то зерна CVD-алмаза располагаются так, что их рабочая поверхность совпадает с направлением зародышевой стороны.

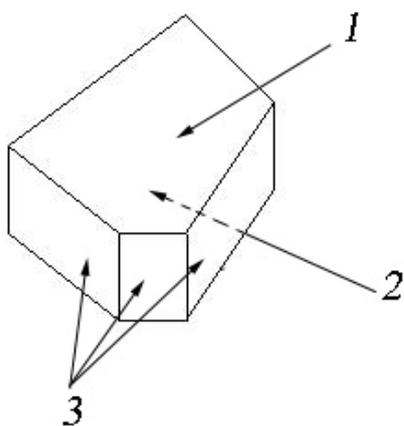


Рис. 3. Схематическое изображение зерна порошка CVD-алмаза: 1 – ростовая сторона; 2 – зародышевая сторона; 3 – торец

Результаты сравнительных испытаний армирующих вставок при точении коростышевского гранита XI категории по буримости приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные испытания армирующих вставок при точении коростышевского гранита XI категории по буримости (скорость резания – 1,33 м/с, путь резания – 545 м, продолжительность резания – 410 с)

№ п/п	Материал армирующей вставки		Масса вставки, мг		Износ		Интенсивность изнашивания по массе, (мг/м)×10 <sup>-3</sup>
			Начальный	Конечный	по массе, мг	%	
1	CDD	Исходный	86,0	83,6	2,4	2,80	4,5
		После термообработки	79,2	78,2	1,0	1,30	1,8
2	CVD-алмаз черный	Исходный	135,4	135,0	0,4	0,30	0,7
		После термообработки	132,0	131,6	0,4	0,30	0,7
3	CVD-алмаз режущие вставки	Исходный	125,6	124,4	1,2	0,96	2,2
		После термообработки	102,4	102,2	0,2	0,20	0,4
4	CVD-алмаз подрезные вставки	Исходный	106,2	105,2	1,0	0,94	1,8
		После термообработки	103,8	103,4	0,4	0,39	0,7

Как видно из полученных результатов, термообработка в муфельной печи в целом положительно влияет на породоразрушающие элементы – их износостойкость повысилась с 2,5 раз (в случае CDD) до 5,5 раз (в случае CVD-алмазной режущей вставки). Очевидно, что после термообработки наблюдается процесс снятия напряженного состояния армирующих вставок. Особенно следует отметить присутствие в процессе работы породоразрушающих элементов первых двух вариантов изготовления очевидного эффекта «самозатачивания», т. е. появление конусности на их рабочем торце при вершине армирующей вставки из CVD-алмаза (рис. 4).

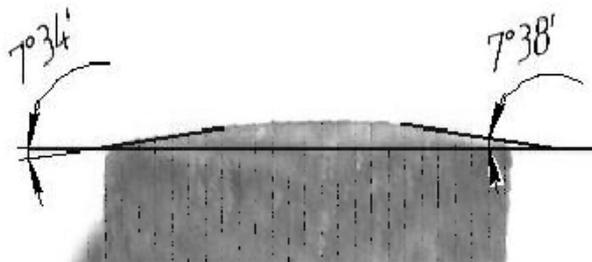


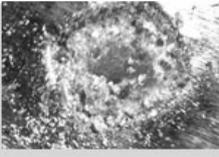
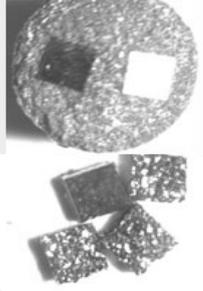
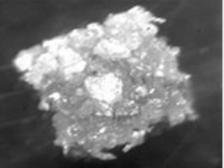
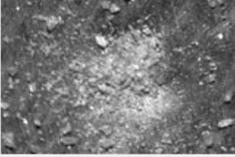
Рис. 4. Внешний вид рабочего торца породоразрушающего элемента после точения

Полученный результат является положительным фактором для дальнейшего использования таких вариантов исполнения породоразрушающих элементов на базе АКТМ + CVD-алмаз при разработке новых конструкций буровых геологоразведочных коронок с комбинированной алмазосодержащей матрицей.

Отличие интенсивности изнашивания вставки, армированной CVD-алмазами (черными) и CVD-алмазом марки CDD, объясняется тем, что последняя имеет большую площадь контакта с породой (0,64 мм<sup>2</sup> против 0,3 мм<sup>2</sup> в случае CVD-алмаза).

Показатели прочности при одноосном сжатии пластин CVD-алмаза размером 1,0×1,0×0,4 мм темно-желтого цвета приведены в табл. 2.

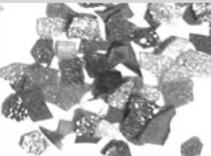
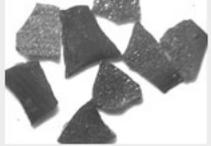
Таблица 2. Показатели прочности при одноосном статическом сжатии пластин CVD-алмаза размером 1×1×0,4 мм

Пластины CVD-алмаза	Внешний вид пластин	Разрушающая нагрузка, кН	Характер разрушения	Внешний вид пластин после разрушения
Исходная		1,7±0,2	При достижении критической нагрузки CVD-алмаз разрушается на мелкие фрагменты	
После НРНТ-обработки ( $p=7,0$ ГПа; $T=1350$ °C; $\tau=60$ с) в среде графита		1,7±0,2		Такой же
После термообработки ( $T=1150$ °C; $\tau=600$ с) в среде аргона		0,09±0,02	При достижении критической нагрузки CVD-алмаз разрушается на более крупные фрагменты	

Из приведенных данных следует, что прочность пластинок исходная и после НРНТ-обработки ( $p = 7$  ГПа;  $T = 1350$  °C;  $\tau = 60$  с) практически не изменилась, а после термообработки в среде аргона ( $T = 1150$  °C,  $\tau = 600$  с) – резко уменьшилась (~18 раз).

Показатели прочности при одноосном статическом сжатии зерен пластинчатой формы порошка CVD-алмаза зернистостью 630/500 приведены в табл. 3. Перед измерением прочности зерна были разделены, как отмечалось, на «светлые» и «серые».

Таблица 3. Показатели прочности при одноосном статическом сжатии порошков CVD-алмаза зернистостью 630/500

Пластины CVD-алмаза	Внешний вид пластин	Разрушающая нагрузка, кН	Характер разрушения	Внешний вид пластин после разрушения
Исходный		«светлые» 2,0±0,2	При достижении критической нагрузки CVD-алмаз разрушался на множество мелких фрагментов	
		«серые» 1,2±0,4		
После термообработки при $T=1150$ °C в течение 600 с в среде аргона		«светлые» 1,9±0,5	Такой же	Такой же
		«серые» 1,0±0,3		

Как видим из данных табл. 3 прочность зерен после термообработки практически не изменилась.

Изменение внешнего вида различных образцов CVD-алмаза после термической обработки в токе аргона при температуре  $T = 1150$  °С в течение 600 с показано на рис. 5, изменение их массы приведено в табл. 4.



Рис. 5. Изменение внешнего вида различных образцов CVD-алмаза после термической обработки в токе аргона ( $T = 1150$  °С;  $\tau = 600$  с)

Таблица 4. Изменение массы CVD-алмаза после термической обработки в токе аргона ( $T = 1150$  °;  $\tau = 600$  с)

№ п/п	Наименование образца	Масса материала, $г \times 10^{-2}$		Изменение массы, %
		исходная	после т.о.	
1	CDD 5×0,8×0,8 мм	6,20 (1 образец)	–	не установлено
2	CVD-алмаз черный 4×1×0,3 мм	2,74 (3 образца)	2,68	–2,2
3	CVD-алмаз желтый 1×1×0,4 мм	0,63	0,07	–88,9
4	CVD-алмаз светло-желтый (кусочки)	1,66	1,09	–34,3
5	CVD-алмаз порошок, зернистость 630/500	2,03	1,72	–15,3
6	Г АКПМ (CVD-алмаз черный + АКТМ)	12,58	12,46	–0,9

Наиболее термостойки бруски CVD-алмаза черного цвета (потеря массы ~2,2 %).

При их использовании для армирования вставки потеря массы CVD-алмаза после термической обработки уменьшается до 0,9 %.

В [8] было установлено повышение твердости поликристаллического CVD-алмаза, подвергнутого баротермической обработке в процессе получения гибридного поликристаллического материала. При этом ширина спектров КР алмазного микропорошка АСМ 40/28 (исходный материал для изготовления АКТМ) и пластины CVD-алмаза (светлой), измеренная на половине высоты ее интенсивности, составила  $2,5 \text{ см}^{-1}$ .

Внешний вид гибридного поликристаллического композиционного материала, армированного CVD-алмазом, на котором отмечены 5 точек, в которых снимались спектры КР показан на рис. 6, а.

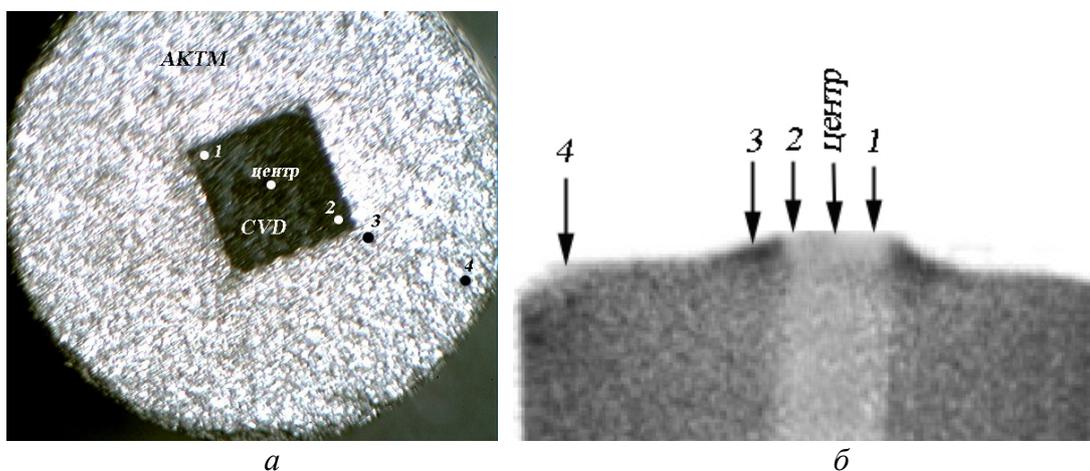


Рис. 6. Внешний вид гибридного поликристаллического композиционного материала, армированного CVD-алмазом (светлым) (а) и рентгеновская микротомограмма вставки (б) [11]

Ширина линии КР в точке 1 (см. рис. 6) составила  $3,8 \text{ см}^{-1}$ ; центре –  $3,8 \text{ см}^{-1}$ ; точке 2 –  $4,0 \text{ см}^{-1}$ ; точке 3 –  $19,7 \text{ см}^{-1}$ ; точке 4 –  $5,4 \text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, в результате баротермической обработки пластины CVD-алмаза, играющей роль армирующего элемента в матрице из АКТМ, увеличилась ширина линии КР до  $3,8\text{--}4,0 \text{ см}^{-1}$ , а для РСД в точке 3 – до  $19,7 \text{ см}^{-1}$  (исходное значение –  $2,5 \text{ см}^{-1}$ ).

Как следует из рентгеновской микротомограммы (рис. 6, б) этот участок отличается наиболее высокой плотностью материала (чем темнее контраст, тем выше плотность).

На основании полученных экспериментальных данных сформулируем механизм повышения твердости CVD-алмаза (светлого): в процессе спекания ( $p = 7 \text{ ГПа}$ ;  $T = 1570 \text{ К}$ ) происходит пластическая деформация алмазных зерен в процессе формирования жесткого каркаса вокруг пластины CVD-алмаза, что приводит при высоком давлении к созданию структурно-напряженного состояния, проявляющегося в уширении линий КР как CVD-алмаза, так и алмазов в оболочке, особенно в алмазах, наиболее близко расположенных к CVD-алмазу.

## Выводы

1. Установлено, что износостойкость породоразрушающих вставок, армированных CVD-алмазом, после термической обработки в токе аргона ( $T = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 600 \text{ с}$ ) повышается в 2,5–5,5 раз, что объясняется снятием в этих условиях напряжений в CVD-алмазе.

2. Показано, что в результате термической обработки CVD-алмаза в указанных условиях масса образцов уменьшается в зависимости от режимов их получения от 2,2 (для CVD-алмаза черного) до 89 % (для CVD-алмаза желтого). Наиболее термически устойчивой является породоразрушающая вставка, армированная CVD-алмазом черным – масса вставки уменьшилась всего на 0,95 %.

3. Исходная прочность (разрушающая нагрузка) при одноосном статическом сжатии высокая и для CVD-алмаза желтого (размер  $1,0 \times 1,0 \times 0,4 \text{ мм}$ ) составляет  $1,7 \pm 0,2 \text{ кН}$ . После термообработки она снижается до  $0,09 \pm 0,02 \text{ кН}$ .

4. Показано, что для армирования породоразрушающей вставки можно использовать порошки CVD-алмаза, на базе которых созданы режущие и калибрующие вставки.

5. При центральном расположении CVD-алмаза и CVD-алмаза марки CDD в породоразрушающей вставке обнаружен эффект «самозатачивания», что проявляется в конусности на их рабочем торце при вершине армирующей вставки из CVD-алмаза.

6. Полученные спектры КР подтвердили механизм повышения твердости CVD-алмаза (светлого) в процессе совместного спекания микропорошков алмаза и CVD-алмаза в НРНТ-условиях, который заключается в создании сложного структурно-напряженного состояния как в CVD-алмазе, так и в алмазах в оболочке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 10-08-90438-Укр\_а, № 10-08-01256-а) и Национальной академии наук Украины (проект № 29-08-10 (У)).

### Литература

1. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин – Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2007. – 244 с.
1. Справочник по композиционным материалам. Кн. 1 / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
2. Пат. на корисну модель № 32235 Україна МПК С01 В 31/06. Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі порошків алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова та ін. – Опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.
3. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргін 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. 189–196.
4. Пат. на корисну модель № 45291 Україна МПК С04 В 35/5831, С04 В 35/80. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 10.11.09, Бюл. № 21.
5. Пат. № 89732 Україна МПК С04 В 35/00. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 25.02.10, Бюл. № 4.
6. Положительное решение по заявке № 2008152306 на выдачу патента РФ на изобретение. Сверхтвердый материал / Е. Е. Ашкинази, В. Г. Ральченко, В. И. Конов и др. – Подана 30.12.08. – Вх. № 068935.
7. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – Киев: ЛОГОС, 2009. – Вып. 12. – С. 143–153.
8. Заявка на корисну модель № u 201007108 Україна МПК8 С04В 35/5831, С04В 35/80. Гібридний надтвердий композиційний матеріал / О. О. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргін та ін. – Подана 08.06.2010. – Вх. № 696357/
9. Ультратвердый материал / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, В. Г. Гаргін и др. // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ЛОГОС, 2009 – С. 181.
10. Структура и свойства УТМ с компонентами CVD алмаза / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // XIX Петербургские чтения по проблемам прочности. Санкт-Петербург, 13-15 апреля 2010 г.: сборник материалов. – Ч. 1. – СПб., 2010. – С. 263–265.
11. Structural aspects of CVD diamond wafers grown at different hydrogen flow rates / L. Nistor, J. Van Landuyt, V. Ralchenko, I. Vlasov. – Phys. Stat. Sol. (a). – 1999. – 174, N 1. – P. 5–9.
12. Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond / V. Ralchenko, L. Nistor, E. Pleuler, et. al. – Diamond and Related Materials. – 2003. – 12. – N 10-11. – P. 1964–1970.
13. Пат. на корисну модель № 21897 Україна МПК С01 В 31/06 Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі порошків алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.

*Поступила 25.05.10.*