

УДК 622.24.05: 621.921.34-419

Исследование работоспособности гибридного алмазного композиционного поликристаллического материала для бурового инструмента

Закора А. П.¹, Богданов Р. К.¹, Шульженко А. А.¹, Гаргин В. Г.¹,
Соколов А. Н.¹, Супрун М. В.¹, Загора Е. А.¹, Ашкинази Е. Е.²,
Ральченко В. Г.², Конов В. И.²

¹Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

²Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 01.03.11, принята к печати 18.03.11

Аннотация

Исследованы свойства новых гибридных алмазных композиционных поликристаллических материалов и оценена возможность использования их в буровом породоразрушающем инструменте.

Ключевые слова: свойства, алмазные композиционные поликристаллические материалы.

Одними из наиболее перспективных материалов для оснащения бурового инструмента являются алмазные композиционные поликристаллические гибридные материалы. Новейшее поколение гибридных сверхтвердых материалов сочетает положительные свойства синтетического, природного и CVD–алмаза, который выращивается методом химического газофазного осаждения.

В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины совместно с ИОФ им. А. М. Прохорова РАН получен гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал (ГАКПМ), который содержит порошки CVD, природного и синтетического алмаза и активирующую процесс спекания добавку [1]. 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 расположения зерен CVD–алмаза в материале обеспечивается повышение их твердости и как следствие повышение износостойкости материала.

Цель настоящей работы – исследовать свойства (прочность, износостойкость и работоспособность) новых гибридных алмазных композиционных поликристаллических материалов и оценить возможность использования их в буровом породоразрушающем инструменте.

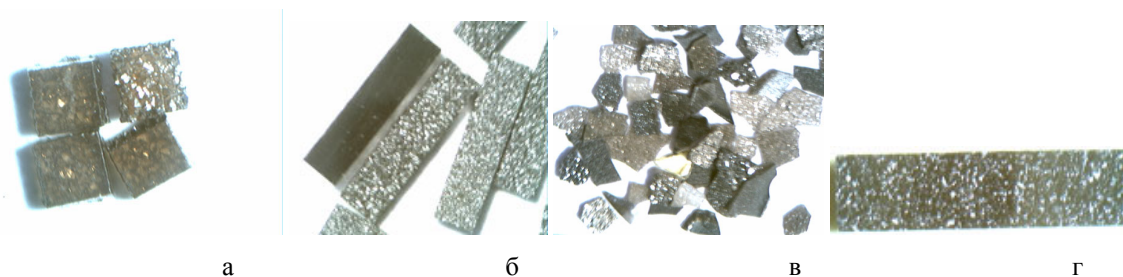


Рис. 1. Внешний вид образцов CVD–алмаза, синтезированные в ИОФ РАН: пластины (а), бруски (б), порошки (в), также бруски CVD–алмаза марки CDD (фирма "Element Six") (г)

Для определения прочности применялась разрывная машина WPM-1000. Разрушение осуществлялось между двумя опорами из твердого сплава марки ВК2М, скорость приложения нагрузки составляла 40 кг/с.

Исследованию прочности при одноосном статическом сжатии подвергались пластины CVD–алмаза, которые имели размер 1,0×1,0×0,4 мм (рис. 1, а), а так же порошки CVD–алмаза зернистостью 630/500 мкм (рис. 1, в).

В табл. 1 приведен показатель прочности при одноосном сжатии пластин CVD-алмаза размером 1,0×1,0×0,4 мм темно-желтого цвета.

Из приведенных данных видно, что прочность пластин исходная и после баротермической обработки ($p = 7$ ГПа, $T = 1350$ °С, $\tau = 60$ с) практически не изменилась, а после термообработки в среде аргона ($T = 1150$ °С, $\tau = 600$ с) она резко уменьшилась (~18 раз).

В табл. 2 приведены данные по показателю прочности при одноосном статическом сжатии зерен пластинчатой формы порошка CVD-алмаза зернистостью 630/500 мкм. Для исследования влияния цвета зерен CVD–алмаза на прочность зерна перед измерением были разделены на "светлые" и "серые".

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

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

Таблица 2. Показатель прочности при одноосном статическом сжатии порошков CVD-алмаза зернистостью 630/500 мкм

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

Как видно из таблицы прочность зерен после термообработки практически не изменилась.

При этом следует отметить, что ранее проведенными исследованиями [2] было установлено повышение твердости поликристаллического CVD-алмаза, подвергнутого баротермической обработке в процессе получения гибридного поликристаллического материала.

Испытания на износостойкость проводились при точении на токарно-винторезном станке модели ДИП-200 породоразрушающими элементами ГАПКМ коростышевского гранита X категории буримости. При этом использовалось 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.

Параметры режима резания были следующие: частота вращения – 355 мин⁻¹, глубина внедрения – 1,0 мм.

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

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

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

где $L = \frac{\pi D n}{60} t$; (D – диаметр керна, м; n – частота вращения шпинделя станка, мин^{-1} ; 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.

Благодаря особенностям технологии синтеза CVD–алмаз имеет три отличающихся по структуре рабочие поверхности: зародышевую, ростовую и боковую (рис.2).

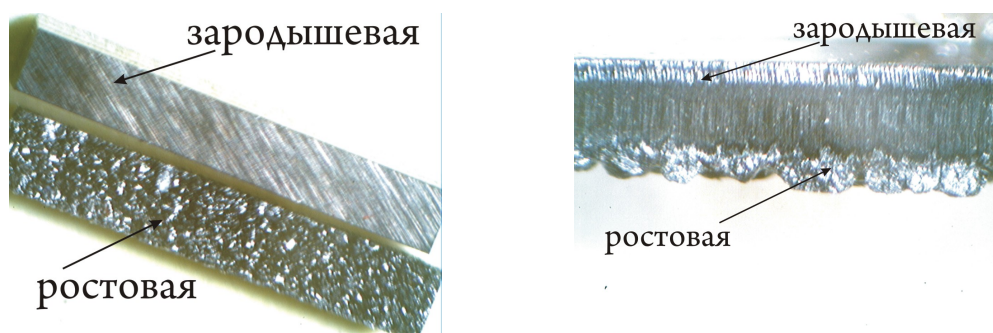


Рис.2. Рабочие поверхности брусков CVD–алмаза.

Для проведения исследований по изучению износостойкости были изготовлены цилиндрические породоразрушающие элементы из гибридного композиционного материала: 1) с различными вариантами его оснащения (монокристалл синтетического алмаза и поликристаллический синтетический CVD–алмаз) и 2) с различным вариантом расположения армирующих зерен CVD–алмаза в оболочке из АКМ. Общий вид цилиндрических породоразрушающих элементов гибридного композиционного материала и их рабочего торца представлен на рис.3 и 4.



Рис.3. Общий вид цилиндрических породоразрушающих элементов из гибридного композиционного материала.

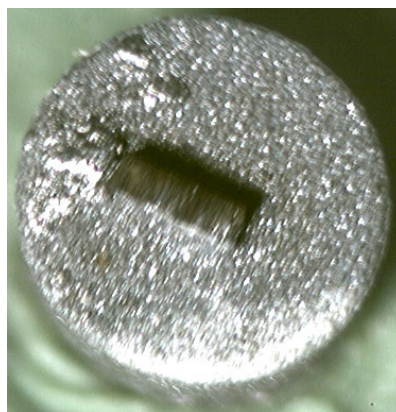


Рис. 4. Вид рабочего торца породоразрушающего элемента из гибридного композиционного материала.

Результаты сравнительных испытаний износостойкости породоразрушающих элементов из гибридного композиционного материала различного типа и АКТМ приведены в табл. 3, из которой видно, что износостойкость породоразрушающих элементов из АКТМ значительно ниже износостойкости породоразрушающих элементов из ГАПКМ. При этом износостойкость зависит от используемого варианта армирования АКТМ. Так, оснащение АКТМ монокристаллом синтетического алмазом повышает износостойкость породоразрушающего элемента в 2,33 раза, а оснащение поликристаллическим CVD-алмазом (4×1×0,3 мм) повышает износостойкость породоразрушающего элемента в 14 раз.

Таблица 3. Сравнительные лабораторные испытания породоразрушающих элементов из различных поликристаллических материалов

Состав породоразрушающих элементов	Масса вставки, мг		Интенсивность изнашивания по массе, мг/км · 10 ⁻³
	начальная	конечная	
АКТМ	121,4	107,0	8,4
ГАПКМ с монокристаллом синтетического алмазом	134,2	128,0	3,6
ГАПКМ с поликристаллическим CVD-алмазом (4×1×0,3 мм)	127,2	126,0	0,6

На рис.5 представлена картина разрушения образца гранита при точении породоразрушающими элементами из АКТМ и ГАПКМ (АКТМ с компонентом CVD-алмаза).

При работе породоразрушающих элементов из АКТМ наблюдается картина разрушения гранита, характерная для процесса шлифования, т.е. с отделением от массива породы шлама мелких фракций, причем сравнительно одинакового размера, в среднем порядка 50 - 80 мкм (рис.6 а). При работе породоразрушающих элементов из АКТМ с компонентом CVD-алмаза очевиден характер разрушения, присущий процессу резания, т.е. с отделением от массива породы шлама, неоднородного по размеру.

При этом при наличии мелких фракций (50 -80 мкм) наблюдается присутствие частиц более крупного размера 100 – 200 мкм (рис.6 б), что свидетельствует о повышении эффективности разрушения горной породы.

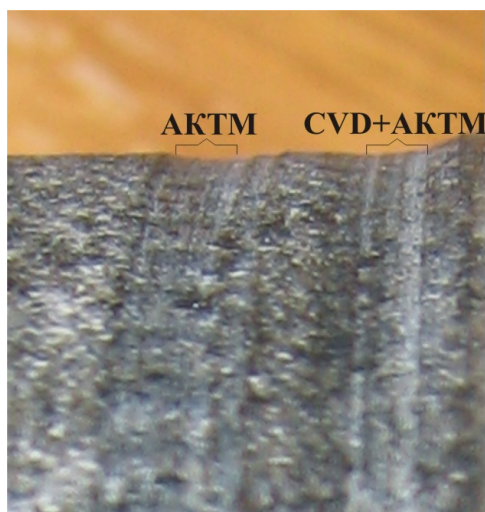


Рис.5. Поверхность участков разрушения образца гранита при точении породоразрушающими элементами из АКТМ и ГАПКМ.

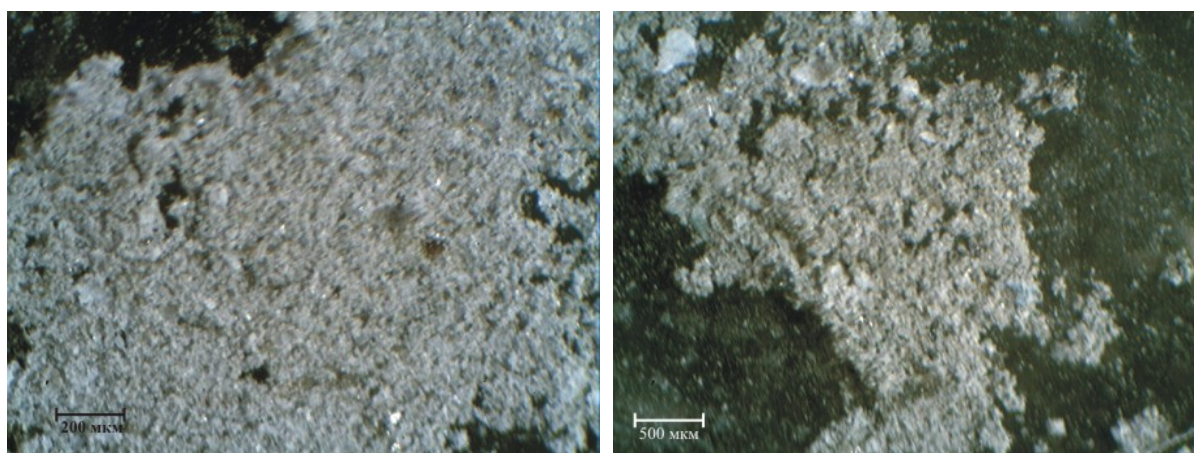


Рис.6. Шлам гранита, полученный при работе породоразрушающих элементов: а) из АКТМ; б) из АКТМ с компонентом CVD-алмаза.

Результаты влияния варианта размещения CVD – алмаза в оболочке АКТМ на износостойкость породоразрушающего элемента представлены в табл. 4.

Таблица 4. Сравнительные испытания породоразрушающих элементов при точении гранита X категории по буримости

Вариант изготовления породоразрушающих элементов	Масса вставки, мг		Интенсивность изнашивания по массе, мг/км · 10 ⁻³
	начальная	конечная	
АКТМ	121,4	107,0	8,4
АКТМ + CVD черный (зародышевая сторона)	122,7	120,0	1,6
АКТМ + CVD черный (ростовая сторона)	120,0	117,2	1,6
АКТМ + CVD черный (боковая сторона)	117,2	115,8	0,8
АКТМ + CVD светлый (зародышевая сторона)	127,2	126,1	0,6
АКТМ + CVD светлый (ростовая сторона)	126,1	124,7	0,8
АКТМ + CVD светлый (боковая сторона)	124,7	123,3	0,8

Как видим из табл. 4, износостойкость породоразрушающих элементов, изготовленных из АКТМ в 5,25 – 14,0 раз ниже, чем у элемента из гибридного композиционного материала (АКТМ с

компонентом CVD-алмаза). При этом интенсивность изнашивания в варианте изготовления "АКТМ + CVD-алмаз черный" по зародышевой и ростовой стороне CVD-алмаза не отличается, а в варианте изготовления "АКТМ + CVD-алмаз светлый" интенсивность изнашивания при работе зародышевой стороной в 1,33 раза ниже, чем при работе ростовой стороной. При работе боковой стороной CVD-алмаза, в варианте "АКТМ + CVD-алмаз черный" интенсивность изнашивания в 2 раза ниже, чем при работе зародышевой и ростовой сторонами. В случае "АКТМ + CVD-алмаз светлый" интенсивность изнашивания боковой стороны равна интенсивности изнашивания ростовой стороны и выше в 1,33 раза, чем при работе зародышевой стороной.

Для проведения сравнительных лабораторных исследований влияния термообработки на износостойкость породоразрушающих элементов в зависимости от варианта армирования были изготовлены цилиндрические породоразрушающие элементы диаметром 3,5 мм и высотой 3,7 мм из АКТМ, в котором размещались армирующие вставки CVD-алмаза следующих вариантов изготовления и размещения в оболочке АКТМ:

- 1) АКТМ + CDD (5,0 мм × 0,8 мм × 0,8 мм), расположенные вдоль оси цилиндра из АКТМ с выступанием вершины CVD на его поверхности;
- 2) АКТМ + CVD-алмаз (черный) (4,0 мм × 1,0 мм × 0,3 мм), расположенные вдоль оси цилиндра из АКТМ с выступанием вершины CVD на его поверхности;
- 3) АКТМ + вставки CVD-алмаза (черный) дробленого располагались на поверхности цилиндра из АКТМ "плашмя" узкой частью (0,3 мм) – режущие вставки;
- 4) АКТМ + вставки CVD-алмаза (черный) дробленого располагались на поверхности цилиндра из АКТМ "плашмя" широкой частью (1 мм) - подрезные вставки).

Выбор ориентации зерен в последних двух случаях определяется следующими соображениями.

Порошки CVD-алмаза получали в результате механического дробления поликристаллических заготовок. После дробления зерна порошка CVD-алмаза имеют уплощенную форму с толщиной торца ~0,3-0,6 мм (рис. 7). Поэтому для работоспособности инструмента имеет большое значение расположение зерна CVD-алмаза в материале.

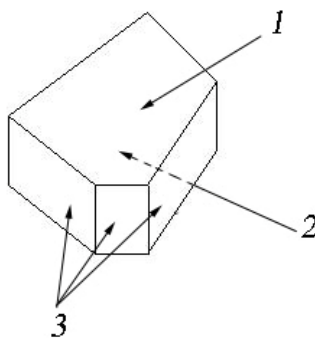


Рис. 7. Схематическое изображение зерна порошка CVD-алмаза:
1 – ростовая сторона, 2 – зародышевая сторона, 3 – торец

Если зерна CVD-алмаза располагаются в гибридном сверхтвердом материале таким образом, что их рабочая поверхность совпадает с торцом зерна, то вставка (торцевая) из такого материала выступает в качестве режущего элемента при разрушении горной породы.

Если зерна CVD-алмаза расположены таким образом, что их рабочая поверхность совпадает с направлением зародышевой стороны, то вставки из такого материала выступают в качестве калибрующих элементов.

Результаты сравнительных испытаний породоразрушающих элементов в зависимости от варианта армирования при точении коростышевского гранита X категории по буримости представлены в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительные испытания армирующих вставок при точении коростышевского гранита X категории по буримости (скорость резания - 1,33 м/с, путь резания - 545 м, время резания - 410 с).

№ п/п	Материал армирующей вставки		Масса вставки, мг		Износ		Интенсивность изнашивания по массе, мг/км · 10 ⁻³
			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 оказывает на породоразрушающие элементы в целом положительный эффект – их износостойкость увеличилась от 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.

В процессе работы породоразрушающих элементов первых двух вариантов изготовления наблюдался очевидный эффект «самозатачивания», то есть появление конусности на их рабочем торце при вершине армирующей вставки из CVD-алмаза (рис. 8).

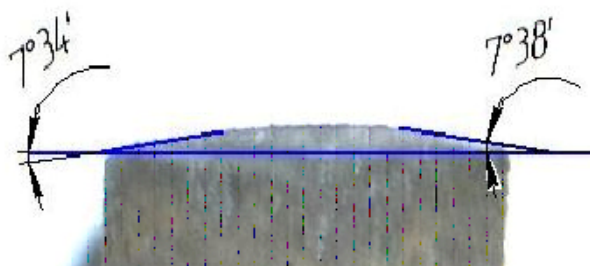


Рис. 8. Вид рабочего торца породоразрушающего элемента АКТМ с компонентом CVD-алмаза после процесса точения.

Данный 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.

Выводы

1. Установлено, что износостойкость породоразрушающих вставок, армированных CVD-алмазом, после термической их обработки в токе аргона при $T = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 600 с увеличивается в 2,5–5,5 раза.
2. Исходная прочность (разрушающая нагрузка) при одноосном статическом сжатии достаточно высока и составляет для CVD-алмаза (размер $1,0 \times 1,0 \times 0,4$ мм) – $1,7 \pm 0,2$ кН. После термообработки она снижается до $0,09 \pm 0,02$ кН или в 18,9 раза.
3. При центральном расположении CVD-алмаза и CVD-алмаза марки CDD в породоразрушающей вставке обнаружен эффект самозатачивания, что проявляется в

появленні конусності на їх робочем торці при вершині армуючої вставки із CVD-алмаза.

4. Показано, що для армування породорозрушаючої вставки, можуть бути використані порошки CVD-алмаза, на базі яких створені режущі і калібруючі вставки.

Библиографический список

1. Nistor L., Van Landuyt J., Ralchenko V. and Vlasov I., Structural aspects of CVD diamond wafers grown at different hydrogen flow rates. – Phys. Stat. Sol. (a). – 1999. – **174**, N 1. – P. 5–9.
2. Шульженко А. А., Ашкинази Е. Е., Соколов А. Н. и др. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009 – Вып. 12. – С. 143–153.

© *Закора А. П., Богданов Р. К., Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Соколов А. Н., Супрун М. В., Закора Е. А., Ашкинази Е. Е., Ральченко В. Г., Конов В. И., 2011.*

Анотація

Досліджені властивості нових гібридних алмазних композиційних полікристалічних матеріалів і оцінена можливість використання їх в буровому породорозрушаючому інструменті.

Ключові слова: властивості, алмазні композиційні полікристалічні матеріали.

Abstract

Investigated the properties of new hybrid diamond composite polycrystalline materials and assess their use in drilling rock cutting tool..

Keywords: properties, diamond composite polycrystalline materials.