

УДК 621.923+621.921.34:621.921.34–413:621.923.4

С. С. Соболев, инж.¹; Е. Е. Ашкинази, В. Г. Ральченко, кандидаты технических наук^{2,3};
В. И. Конов, чл.-корр. РАН^{2,3}; А. А. Шульженко, чл.-корр. НАН Украины⁴, А. Н. Соколов,
В. Г. Гаргин, кандидаты технических наук⁴, Н. Е. Ашкинази, инж.²

¹Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина, г. Москва

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

³Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ), г. Москва

⁴Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТИ АЛМАЗНОГО ГИБРИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «ГИБРИДАЙТ»

Проведено сравнительное исследование абразивной способности разных зон образца гибридного алмазного поликристаллического материала (гибридайт) в условиях сухого трения скольжения в силовом контакте с Al_2O_3 и Si_3N_4 .

Ключевые слова: износостойкость, абразивная способность, CVD-алмаз, алмазный породоразрушающий инструмент, гибридайт

Введение

Эффективность бурения скважин в твёрдых горных породах в значительной степени определяется эксплуатационными показателями породоразрушающего инструмента. Поэтому повышение его износостойкости является существенным резервом увеличения производительности труда при бурении скважин, а увеличение его долговечности сокращает затраты времени на непроизводительные операции, повышает непрерывность рабочего процесса, снижает энергозатраты и материальные затраты на сооружение скважин. Достигается это, прежде всего, благодаря созданию и применению новых сверхтвердых композиционных материалов, разработке новых конструкций бурового инструмента, оптимизации режимов применения породоразрушающего инструмента.

Одним из наиболее перспективных подходов к повышению износостойкости бурового инструмента является CVD-армирование алмазных композиционных поликристаллических материалов, впервые предложенное Институтом сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины и Институтом общей физики им. А. М. Прохорова РАН [1–4].

Цель настоящей работы – сравнительное исследование абразивной способности разных зон образца гибридного алмазного поликристаллического материала (гибридайт) в условиях сухого трения скольжения в силовом контакте с Al_2O_3 и Si_3N_4 .

Материалы и методики исследований

Образцы для испытания были получены в соответствии с методикой, описанной в [5], особенностью которой является двухстадийное спекание соответствующей шихты при давлении 8 ГПа.

Трибологические испытания проводили на трибометре CETR UMT-2 (США) с использованием контр-тела в форме шара (схема образец/палец-шар)³.

В ходе испытания сравнивали абразивную способность двух разных зон одного образца гибридайт: 1-я зона – АКТМ, 2-я зона – АКТМ со вставкой CVD-алмаза.

Трибологические испытания двух разных зон образца гибридайт при трении с шариком Si_3N_4 проводили при следующих параметрах эксперимента: нагрузке $P = 2$ Н; частоте поперечной вибрации $n = 5$ Гц; амплитуде перемещения $l = 1$ мм; количестве циклов $N = 72000$. Общее время испытания для одной зоны составило 4 часа, пройденный путь – 1440 м.

³ Принципиальная схема и принцип работы трибометра CETR UMT-2 описаны в статье «Алмазный гибридный композиционный материал «гибридайт». исследование фрикционных свойств и абразивной способности» данного выпуска сборника научных трудов

Для исследования результатов испытания был использован оптический инвертированный микроскоп Axiovert 40 MAT Carl Zeiss.

Для исследования структуры поверхности образца использовался сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Zeiss EVO MA-15.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 и 2 приведены полученные с помощью СЭМ изображения поверхности двух зон образца гибридаита после трибологических испытаний.

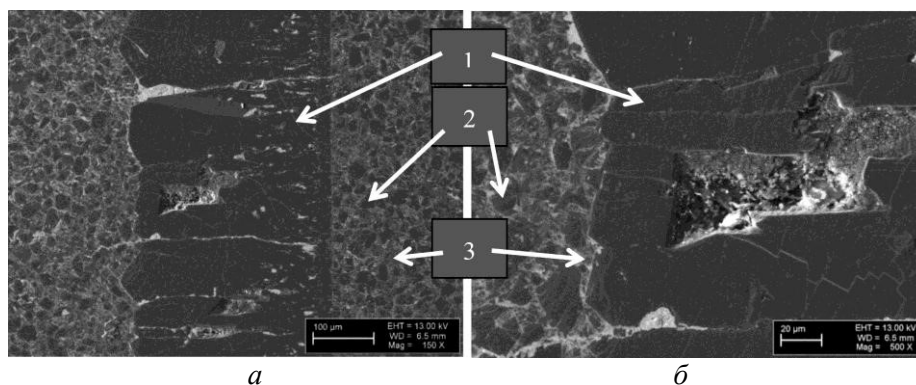


Рис. 1. Изображение поверхности в зоне АКТМ+СVD образца гибридаита после трибологического испытания; увеличение $\times 150$ (а) и $\times 500$ (б)

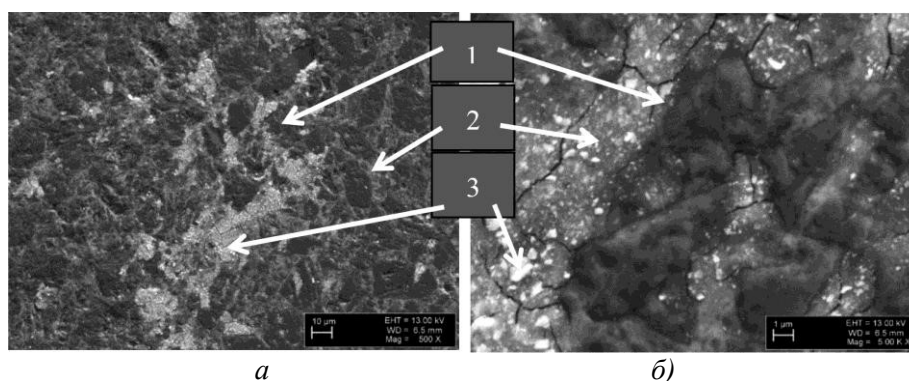


Рис. 2. Изображение поверхности в зоне АКТМ образца ибридаита после трибологического испытания; увеличение $\times 500$ (а) $\times 5000$ (б)

Методика получения гибридаита позволяет получить прочные связи «алмаз–алмаз», что способствует увеличению износостойкости образца [5]. На рис. 1 хорошо видна структура гибридаита, состоящая из СVD-алмаза (показан под номером 1) и поликристаллической алмазной оболочки (2 – алмазное зерно, 3 – алмазная поликристаллическая матрица, разрушенные мелкие зерна алмаза и карбида кремния).

На рис. 2 показана зона АКТМ, где также 1 – алмазные зерна, 2 – алмазная матрица; под номером 3 обозначены видимые продукты износа контр-тела (шара).

В результате трибологического испытания на поверхности гибридаита образуются дорожки износа (рис. 3).

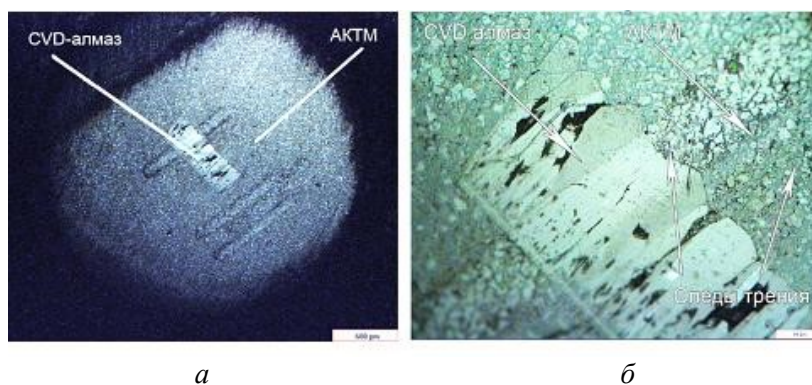


Рис. 3. Дорожки износа на CVD алмазе и АКТМ: а – увеличение $\times 25$; б – $\times 200$

При трибологическом испытании на протяжении всего исследования велась непрерывная запись значений коэффициента трения $f_{тр}$. Осциллограммы зависимости коэффициента трения от времени представлены на рис. 4.

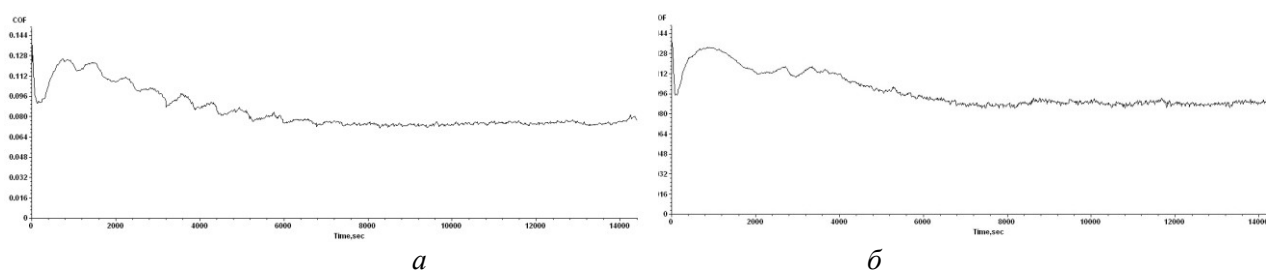


Рис. 4. Осциллограммы зависимости коэффициента трения от времени при трибоиспытании с шариком Si_3N_4 : а – область АКТМ; б – область АКТМ+CVD

Как видно из рис. 4, начиная примерно с 100-й минуты, наблюдается выравнивание коэффициента трения, что свидетельствует о стабилизации режима трения и нормализации процесса изнашивания. Это означает также, что с 100-й минуты образец работал в режиме равновесного изнашивания, т. е. микрорельеф, образующийся на образце имеет стабильное состояние до окончания испытаний. Значение коэффициента трения в зоне АКТМ снизилось с 0,125 до 0,074 в равновесном состоянии, в зоне трения АКТМ+CVD - с 0,132 до 0,086 в равновесном состоянии.

Вместе с коэффициентом трения с помощью трибометра определялось вертикальное перемещение каретки, в которой крепится контр-тело. Перемещение каретки показывает, на какое расстояние опустился шар за время эксперимента. По этому параметру можно косвенно судить о величине износа контр-тела. Ниже представлены осциллограммы зависимости положения каретки от времени испытания в двух тестах (рис. 5).

При одинаковых условиях эксперимента вертикальное перемещение каретки в случае испытания области АКТМ составило 0,014 мм, в случае с АКТМ+CVD – 0,028 мм. Величина перемещение в последнем случае в 2 раза больше, чем в первом, что говорит о большей абразивной способности.

Абразивная способность разных зон образца определялась также по величине износа контр-тела с помощью оптического микроскопа. По диаметру «отпечатка» (изношенного участка шара) рассчитывался объем шарового сектора и интенсивность износа. Для эксперимента использовались шары диаметром 3 мм из материалов с различной твердостью - Al_2O_3 (350 ГПа) и Si_3N_4 (310 ГПа) [6].

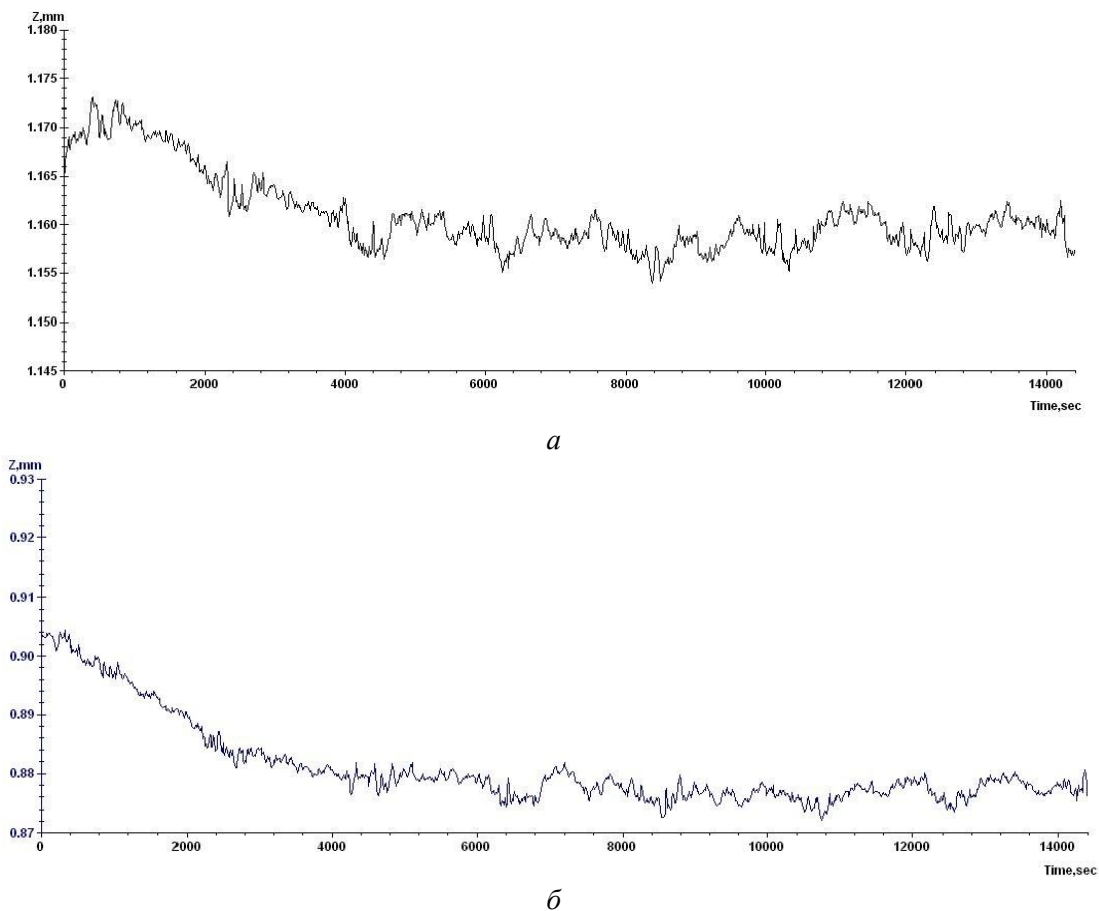


Рис. 5. Осциллограммы зависимости вертикального положения каретки от времени испытания в зонах АКТМ(а) и АКТМ+ CVD (б)

Изображения участков шаров из Al_2O_3 и Si_3N_4 со следами износа после испытаний в зоне контакта с областью АКТМ+CVD образца гибридаита (а, в) и областью АКТМ (б, г) представлены на рис. 6.

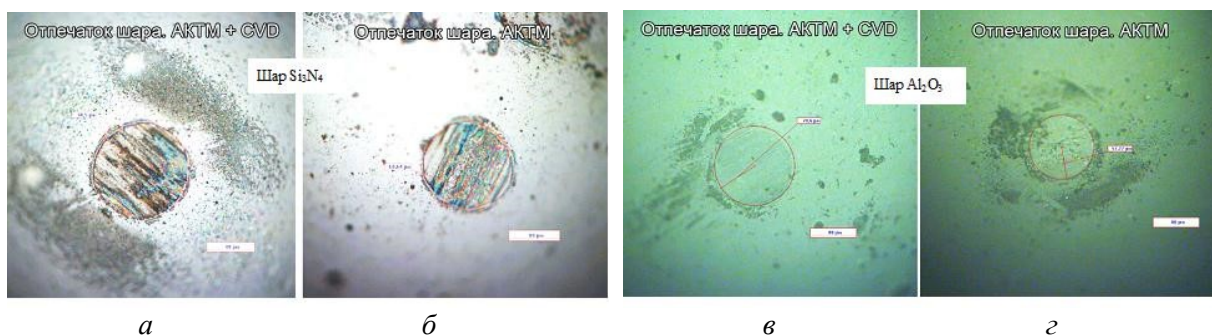


Рис. 6. Следы износа шаров после испытаний в различных зонах образца гибридаита: а, в – АКТМ+CVD; б, г – АКТМ

Данные по износу и степени интенсивности износа шаров из Al_2O_3 и Si_3N_4 при контактом взаимодействии с различными зонами гибридаита приведены соответственнов в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Износ шаров из Al_2O_3 и Si_3N_4 при контактном взаимодействии с различными зонами гибридайт

Материал шарика	Диаметр «отпечатка»		Сравнительный износ, %
	CVD+АКТМ	АКТМ	
Al_2O_3	70,6	57,27	23%
Si_3N_4	80,5	68,64	17%

Таблица 2. Степень интенсивности износа шаров из Al_2O_3 и Si_3N_4 при трении с различными зонами гибридайт

Материал шарика	Интенсивность износа, 10^{-9} мм ³ /мН		Сравнительная интенсивность износа, %
	CVD+АКТМ	АКТМ	
Al_2O_3	3,76	1,63	225
Si_3N_4	6,36	3,36	89

Как следует из табл. 1 и 2 диаметр «отпечатка» при трении шара из Al_2O_3 в зоне CVD+АКТМ на 23% выше, чем при трении в зоне АКТМ (70,6 и 57,27 мкм соответственно). При этом расчетная интенсивность износа шарика Al_2O_3 при трении о CVD+АКТМ на 225% выше, чем при трении о АКТМ (3,76 и 1,63 10^{-9} мм³/мН соответственно). Диаметр «отпечатка» при трении шара из Si_3N_4 в зоне CVD+АКТМ на 17% выше, чем при трении в зоне АКТМ (80,5 и 68,64 мкм соответственно). При этом расчетная интенсивность износа шарика Si_3N_4 при трении о CVD+АКТМ на 89% выше, чем при трении о АКТМ (6,36 и 3,36 10^{-9} мм³/мН соответственно).

Выводы

Выполнены испытания абразивной способности гибридного алмазного композита «Гибридайт» с использованием сухого трения скольжения шаров Si_3N_4 и Al_2O_3 в зонах АКТМ и АКТМ+CVD по схеме образец/палец-шар.

Коэффициент трения скольжения шара Si_3N_4 в зоне АКТМ+CVD при стабилизации режима изнашивания на 16% больше, чем для АКТМ ($f_{\text{гибридайт}} = 0,086$, что $f_{\text{АКТМ}} = 0,074$).

Величина вертикального перемещения каретки трибометра в случае испытания зоны АКТМ+CVD в 2 раза больше, чем в случае с АКТМ ($h_{\text{АКТМ}}=0,014$ мм, $h_{\text{гибридайт}}=0,028$ мм.).

При испытании по схеме образец/палец-шар размер «отпечатка» при трении шара из Al_2O_3 в зоне CVD+АКТМ на 23% выше, чем при трении в зоне АКТМ, а в случае шара из Si_3N_4 превышение составляет 17%. При этом расчетная интенсивность износа при трении о CVD+АКТМ шаров из Al_2O_3 и Si_3N_4 соответственно на 225 и 89% выше, чем при трении о АКТМ.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что присутствие в сформированном при высоком давлении и температуре гибридайте более твердой и износостойкой CVD компоненты, армирует алмазный поликристаллический композит, что в конечном итоге способствует существенному повышению его абразивной способности и расширяет области его применения в инструменте.

Проведено порівняльне дослідження абразивної здатності різних зон зразка гібридного алмазного полікристалічного матеріалу (гібридайт) в умовах сухого тертя ковзання в силовому контакті з Al_2O_3 і Si_3N_4 .

Ключові слова: зносостійкість, абразивна здатність, CVD-алмаз, алмазний породоруйнуючий інструмент, гібридайт

A comparative study of the abrasive ability of different areas of the sample of polycrystalline diamond hybrid material (gibridayt) in dry sliding friction force in the contact with Al_2O_3 and Si_3N_4 .

Key words: durability, abrasiveness, CVD-diamond, diamond rock cutting tool gibridayt

Литература

1. Эффективность разрушения горных пород элементами из гибридного алмазного поликристаллического материала / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, А. П. Загора и др // Инструментальный світ. – 2012. – № 1. – С. 8–11.

2. Патент № 89732 Україна МПК С04 В 35/00. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та інші. – Опубл. 25.02.10, Бюл. № 4.
3. Патент № 2413699 Россия МПК С04 В 35/528, С04 В 35/5835. Сверхтвердый материал / Е. Е. Ашкинази, В. Г. Ральченко, В. И. Конов и др. – Опубл. 10.03.11, Бюл. № 7.
4. Свідоцтво України на знак для товарів і послуг № 158183. – Гібридайт. – Опубл. 10.07.12, Бюл. № 13.
5. Новый гибридный ультратвердый материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Сверхтвердые материалы. – 2010. – № 5. – С. 3–14.
6. Podgursky, V., Hantschel, T., Bogatov, A., Kimmari, E., Antonov, M., Viljus, M., Mikli, V., Tsigkourakos, M., Vandevorst, W., Buijnsters, J. G., Raadik, A. T., Kulu, P. Rippling on wear scar surfaces of nanocrystalline diamond films after reciprocating sliding against ceramic balls. Tribology Letters. – 2014. – 55. – N 3. – P. 493–503/

Поступила 20.07.15

УДК 621.762.3:537.528

О. Н. Сизоненко, д-р техн. наук¹, **Е. В. Липян**, **Н. С. Присташ**, **А. А. Коваленко**¹, **Н. А. Олейник**,
канд. техн. наук²

¹Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев

²Институт сверхтвердых материалов им.В.Н.Бакуля НАН Украины, г. Киев

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАРБИДОСТАЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫМ МИКРОПОРОШКОМ

Рассмотрены возможности применения импульсной электроразрядной обработки алмазных микропорошков для модификации карбидосталей. Показана эффективность метода для целенаправленного управления свойствами как непосредственно микропорошков, так и консолидированных материалов.

Ключевые слова: порошок, алмаз, карбидосталь, высоковольтный электрический разряд, твердость, износостойкость

Введение

Влияние на структуру материалов – актуальная научно-техническая проблема современного материаловедения, открывающая пути управления свойствами гетерогенных систем – смеси дисперсных тел различной физической и химической природы и выдвигающая необходимость поиска методов управления их свойствами с учетом кинетических закономерностей физико-химических явлений и процессов [1].

Основные достижения и перспективы использования высокодисперсных порошков связаны с возможностью направленного синтеза свойств, которые определяются технологией их получения. Способ изготовления порошков алмаза, в котором применяют импульсное воздействие высоковольтными электрическими разрядами (ВЭР обработка) в жидкости описан в работах [2–5]. Как известно, высокая концентрация энергии в канале разряда приводит к возникновению электромагнитных полей, близких к ударным волнам давления, которые трансформируются в акустические с широким спектром частот, мощные гидротоки и кавитацию. Эти явления позволяют влиять как на геометрические размеры объекта, так и на структуру материалов в целях придания им определенных механических и физических свойств. В частности, установлено, что после ВЭР обработки существенно улучшаются адсорбционно-структурные характеристики порошков, повышается дисперсность. Следовательно, такая обработка эффективна для изготовления алмазных шлиф- и микропорошков со сниженным содержанием примесей, дополнительными