

- воздействиях: Автореф. дис...канд.техн.наук. – М., 1974. – 34 с.
7. Ашинов С. А., Беров З. Ж., Корнилов Н.И. и др. Металлизация алмазов для буровых коронок – М.: ВНЭМС, 1989. – 27с.
 8. Дуда Т. М. Свойства и области применения металлизированных алмазных и кубонитовых порошков // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. –Вып. 13. – С. 291–300
 9. Яхунтов М. М. Повышение работоспособности алмазных инструментов направленным изменением физических характеристик их режущей части. – автореф. дисс...докт.техн.наук. – Нальчик: – 2001. – 34с.
 10. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В. Н. Бакуля. – К. : Наук. думка, 1978. – 232 с.
 11. Исонкин А. М., Дуда Т. М., Белявина Н. Н., Ткач В. Н. Влияние металлизации алмазов на структурообразование и прочность композиционного материала WC-Co-Cu // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». Вип. 2(19) 2013. С. 146–154.

Поступила 14.04.15

УДК 621.921.34-2:622.24.05

А. М. Исонкин, Г. Д. Ильницкая, кандидаты технических наук, **М. А. Цысар**

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

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАНИЯ ШИХТЫ WC+Co+Cu НАНОАЛМАЗАМИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ БУРОВЫХ КОРОНОК

Исследовано влияние добавок наноалмазов марки АСУД99 на физико-механические свойства металлической матрицы бурового инструмента. Установлено оптимальное содержание добавок наноалмазных порошков в твердосплавной шихте. Показано, что добавление 1–2% нанодисперсных алмазов способствует связыванию кислорода при термоокислении алмазов в процессе изготовления инструмента, что позволяет в 1,2 раза уменьшить содержание пор в структуре материала матрицы, повысить его плотность и твердость.

Ключевые слова: наноалмазы, металлическая матрица, буровой инструмент, структура, плотность, твердость, износостойкость.

Последние два десятилетия характеризуются тем, что в области науки и техники были поставлены новые качественные задачи, решение которых стало возможным только при широком использовании дисперсно-упрочненных композиционных материалов на металлической матрице с высокими триботехническими и физико-механическими характеристиками.

В этом быстро развивающемся направлении все более заметную роль играют кластеры углерода, наиболее многообещающими из которых являются ультрадисперсные синтетические алмазы детонационного синтеза (ДНА).

Сплав, полученный по технологии горячего прессования и дисперсно-упрочненный наночастицами, имеет высокие механические и трибологические свойства [1]: износостойкость повышается в 4 раза, твердость – на 10–16 HRB, предел прочности на изгиб – на 54%.

Эффективное использование наноматериалов в качестве объемномодифицирующих добавок подтверждено в работах [2; 3]. Установлено, что небольшие добавки (до 0,01 об. %) нанопорошков положительно влияют на качество получаемых сплавов. В результате повышаются износостойкость, прочность, трещиностойкость, предел текучести и прочность на разрыв твердых сплавов. Кроме того, отмечено, что при использовании 0,5–5 масс. % добавок нанопорошков алюминия, никеля, железа, оксида, нитрида алюминия и других в качестве активаторов спекания к промышленным смесям позволяет снизить температуру спекания на 400–800 °С и сократить время спекания в несколько раз. При этом повышаются твердость и ударная вязкость спеченных изделий.

В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработали ряд технологических процессов получения из продукта детонационного синтеза фирмы «Алит»

нескольких марок детонационных наноалмазов (ДНА) различного функционального назначения. Порошки отличаются как соотношением углерода SP^3 и SP^2 гибридизации, удельной площадью поверхности, содержанием примесей, так и состоянием функционального покрова и размером агломератов, удельной магнитной восприимчивостью и пр. [4].

Разнообразие принципиально новых свойств указанных материалов позволяет использовать их в различных отраслях промышленности. Одним из перспективных направлений, по нашему мнению, является применение ДНА в качестве дисперсно-упрочняющих добавок для совершенствования структуры, повышения физико-механических свойств и износостойкости металломатричной композиции алмазных импрегнированных буровых коронок [5].

Большинство матриц импрегнированных коронок, оснащенных высокопрочными синтетическими алмазами марок АС160 и выше, изготавливаются методом порошковой металлургии (спекание, пропитка) в среде инертного газа и состоят из частиц тугоплавких металлов или их соединений и связующих металлов либо сплавов. Серийно выпускаемые промышленностью буровые коронки изготавливают с матрицами, состоящими почти на 100% из порошка карбида вольфрама [6].

Несмотря на значительное количество матриц буровых коронок по составу и областям применения, перспективен поиск их новых составов, обеспечивающих высокую износостойкость коронок и повышающих производительность бурения горных пород. Проблема создания новых и повышения эксплуатационных показателей известных матричных композиций для импрегнированных буровых коронок остается актуальной.

Цель настоящей работы – исследование влияние добавок ДНА на изменение структуры, физико-механических свойств материала матрицы бурового инструмента на основе механоактивированных смесей порошков WC + Co + Cu и наноструктур углерода и оптимизация его состава по критериям износостойкости.

Методика эксперимента и исходные материалы

Для исследования изготовили опытные образцы цилиндрической формы диаметром 10 мм и высотой 10 мм на основе шихты WC + Co, которые пропитывали медью М1 в соответствии со стандартной технологией изготовления буровых коронок типа БС [7]. В качестве добавок использовали ДНА марки АСУД99 с удельной площадью поверхности $S_{БЭТ} = 230 \text{ м}^2/\text{г}$ при содержании углерода SP^3 гибридизации 99%, плотности $3,44 \text{ г}/\text{см}^3$ и массовой долей примесей в виде несгораемого остатка – 0,55% .

Наноалмазные порошки добавляли к навеске шихты – 0,5; 1; 2 и 3% от её объёма. Смешивали смесь для получения равномерного распределения нанопорошков алмаза на предварительной стадии подготовки шихты сухим методом по специально разработанной методике.

Структуру шлифов полученных образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа Zeiss EVO 50 [8] и сканирующего туннельного микроскопа с алмазной иглой, заточенной в форме пирамиды Берковича [9].

Плотность образцов определяли на AutoPycnometer [10]. В качестве показателя, характеризующего механические свойства образцов, приняли твердость матрицы – относительную характеристику износостойкости металломатричных композиционных материалов буровых коронок. Твердость образцов определяли стандартными методами.

Результаты исследования и их обсуждение

Электронные изображения шлифов образцов металлической матрицы с разным содержанием наноалмазов показаны на рис. 1.

Результаты анализа изображений шлифов при увеличении $\times 2000$ показали, что структура образцов с содержанием нанопорошков алмаза 1–2% (рис. 1 в, г) совершеннее структуры образца без добавки наноалмазов (рис. 1 а). При этом структура металлической композиции матрицы уплотнилась вследствие взаимосближения зерен карбида вольфрама, что свидетельствует о более качественной степени распределения металлической связки в металломатричных композиционных материалах. Это подтверждают минимальные размеры пор – 4–6 мкм, заполненные пропитывающим материалом – медью. При добавлении 3% наноалмазов размер пор увеличивается до 10 мкм.

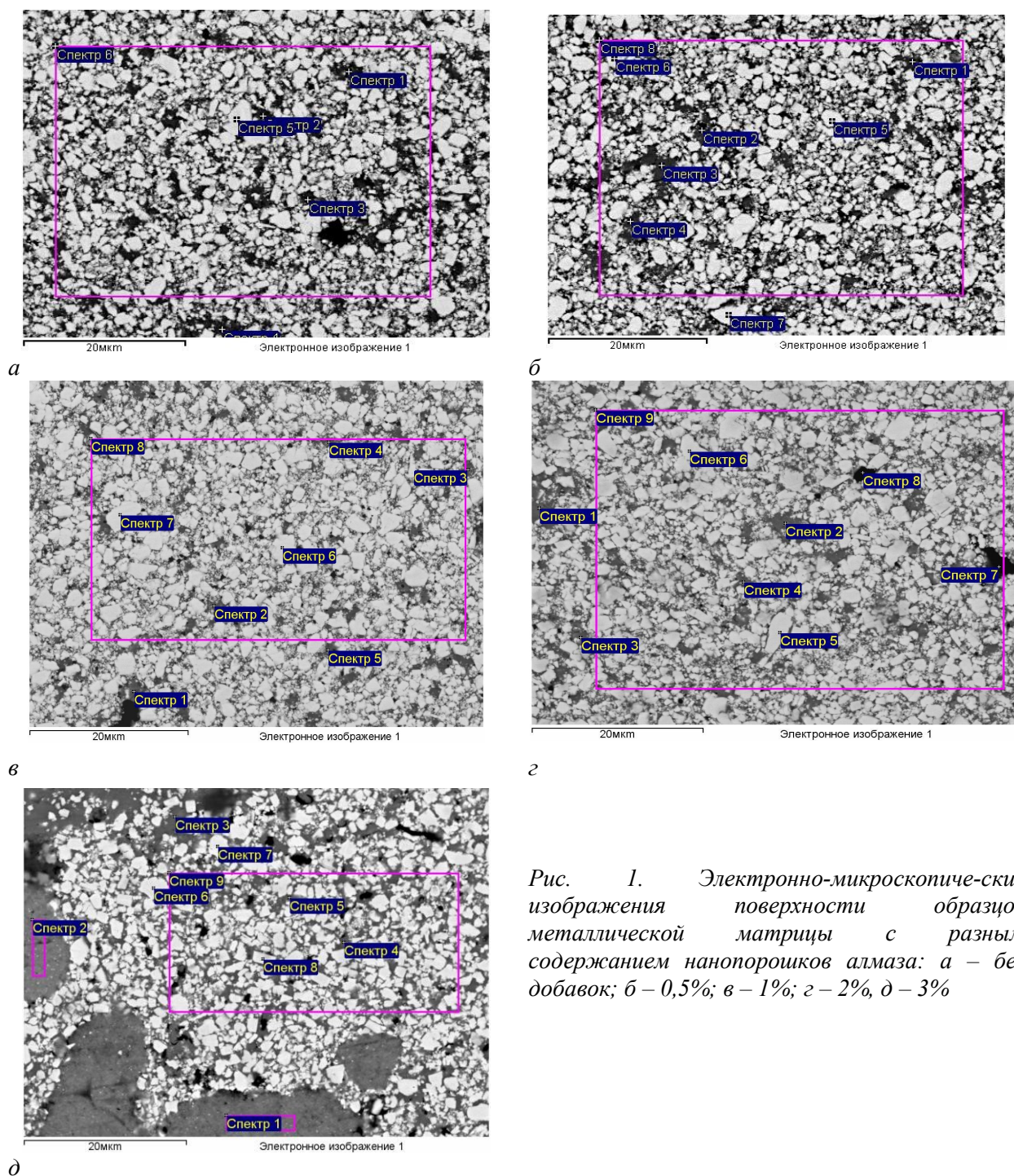


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхности образцов металлической матрицы с разным содержанием нанопорошков алмаза: а – без добавок; б – 0,5%; в – 1%; г – 2%, д – 3%

В результате спектрального анализа в различных точках поверхности шлифов образцов выявили, что наименьшее содержание углерода в них составляет 5,5–6,2 ат.% при содержании наноалмазов 1–2%. При этом в этих же образцах наименьшее количество кислорода – 0,55–0,75 ат.%.

При увеличении содержания добавок нанодисперсных алмазов до 3% в металлической матрице увеличивается содержание углерода. При этом наноалмазы полностью не окисляются и оставшаяся их часть переходит в аморфную фазу, что способствует увеличению пор от 6 до 10 мкм. Это приводит к снижению плотности образца на 10%.

Изменение физико-механических характеристик твердости образцов с разным содержанием наноалмазов марки АСУД99 иллюстрирует кривая 1 на рис. 2, – плотности – кривая 2.

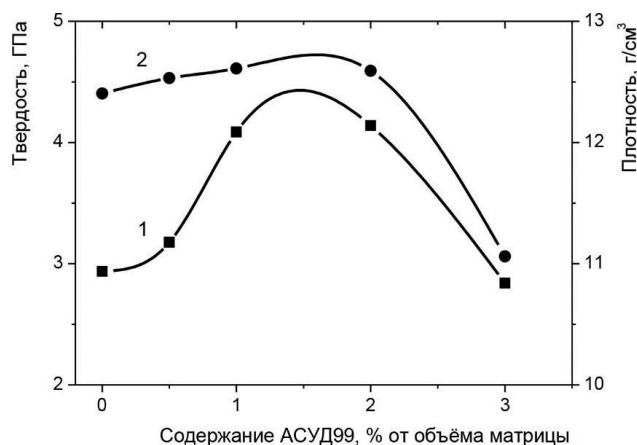


Рис. 2. Изменение твердости (1) и плотности (2) образцов материала матрицы коронок типа БС с разным содержанием нанодiamondов марки АСУД99

Как следует из данных рис. 2, максимальная твердость достигается при содержании в составе металлической матрицы нанодiamondов 1–2%. При снижении пористости материала и увеличении его плотности по сравнению с обычной матрицей твердость повышается на 24%. При дальнейшем увеличении содержания нанодiamondов в металлической матрице в ней образуется аморфный углерод, что приводит к снижению ее твердости.

Поверхность шлифов образцов с разным содержанием добавок нанодiamondов исследовали с помощью туннельного микроскопа. Сканировали поверхность с шагом 1, 5 и 32 нм, соответственно минимальная площадь сканирования

составляла 60x60 нм, а максимальная – 4080x4080 нм.

Поверхность шлифов образцов металлической матрицы с разным содержанием нанодiamondов сканировали при шаге 32 нм на площади 4080x4080 нм до тех пор, пока не обнаруживали участок с ярко выраженным содержанием добавки нанодiamondов. Затем для более детального определения координат добавок такие участки сканировали с шагом 5 нм. Геометрию контуров добавок нанодiamondов четко сканировали с шагом в 1 нм. Трехмерное изображение образца металлической матрицы с добавлением 1% АСУД99 при разном шаге сканирования в направлении сканирования X показано на рис. 3-5 а, в направлении Y – на рис. 3-5 б.

Поскольку геометрия добавок изменялась в зависимости от направления сканирования, сначала накладывали их контуры, а затем определяли радиус вписанного и описанного кругов этих контуров и средний радиус контура. Результаты определения геометрических размеров добавок нанодiamondов марки АСУД99 приведены в таблице.

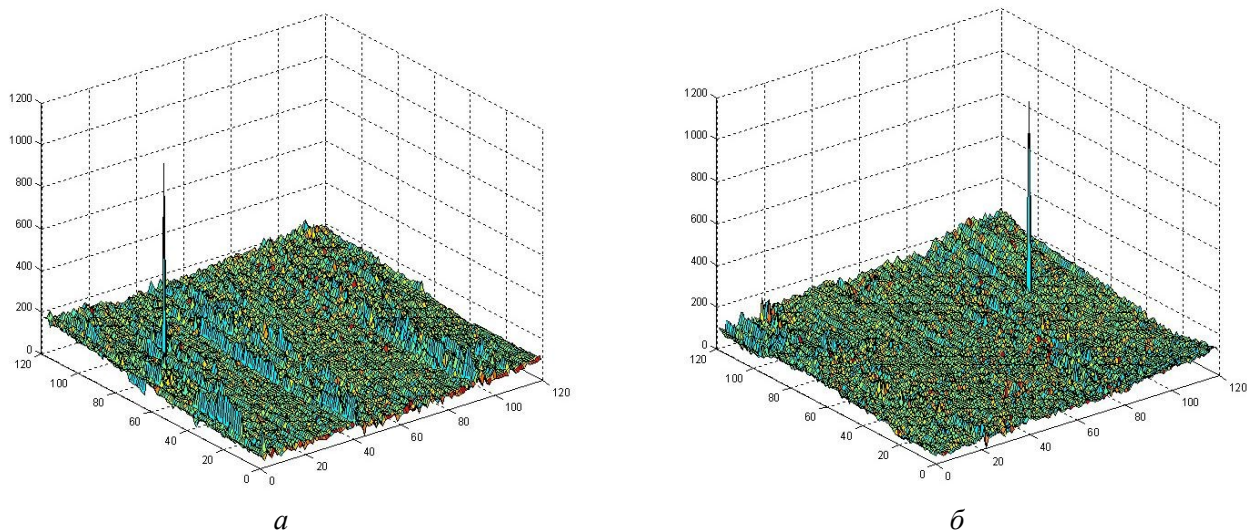


Рис. 3. Трехмерное изображение образца металлической матрицы при содержании АСУД99 1% и шаге сканирования 32 нм в направлении сканирования а – X и б – Y

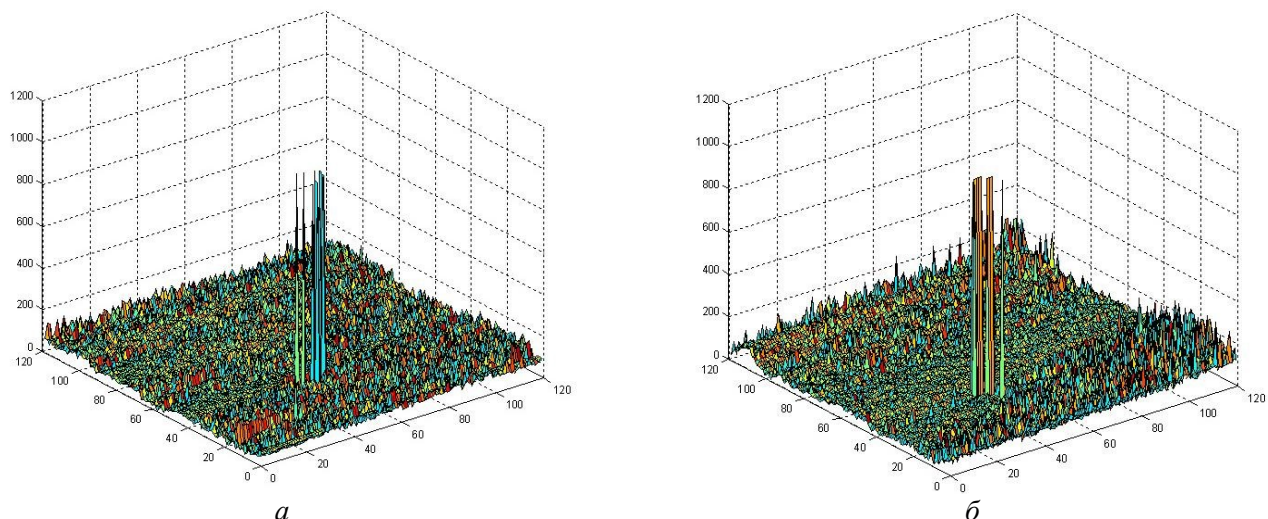


Рис. 4. Трехмерное изображение образца металлической матрицы при содержании АСУД99 1% и шаге сканирования 5 нм в направлении сканирования а – X и б – Y

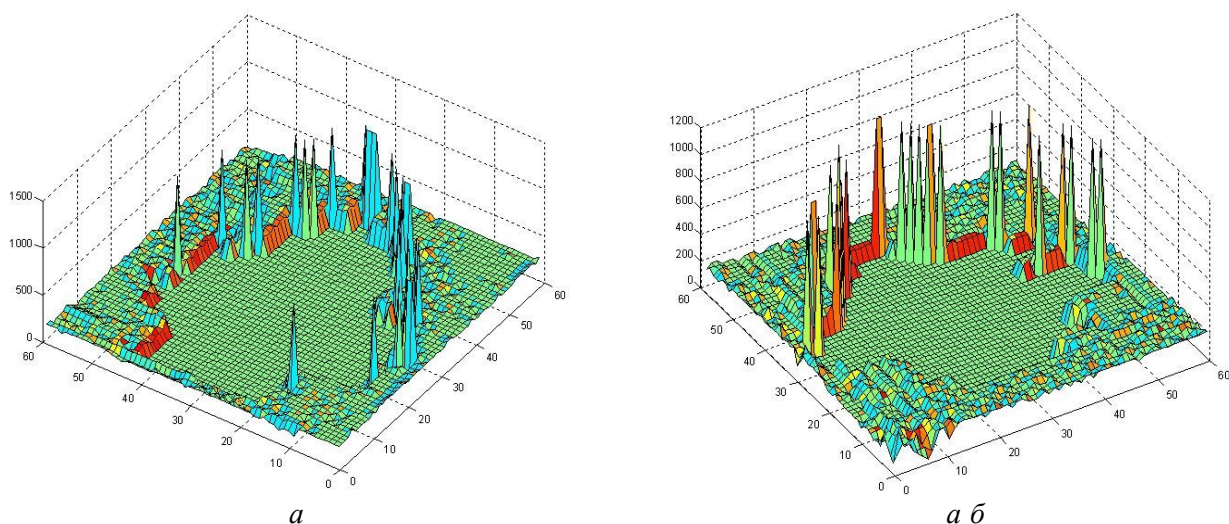


Рис. 5. Трехмерное изображение образца металлической матрицы при содержании АСУД99 1% и шаге сканирования 1 нм в направлении сканирования а – X и б – Y

Как видим из данных таблицы, средний радиус добавок наноалмазов составлял 25 нм, в образцах с содержанием добавок 1 и 2% – 23 нм. Как показали результаты исследования, содержащиеся в образцах металлической матрицы наноалмазы марки АСУД99 имеют вид конгломератов.

Геометрические размеры контуров добавок наноалмазов марки АСУД99

Образец	Вписанный радиус, нм	Описанный радиус, нм	Средний радиус, нм
ВК6 + Cu + 0,5% АСУД99	18,4	31,6	25,0
ВК6 + Cu + 1,0% АСУД99	17,4	32,4	23,4
ВК6 + Cu + 2,0% АСУД99	17,6	29,4	22,9
ВК6 + Cu + 3,0% АСУД99	18,5	31,7	25,1

В целях предварительной оценки влияния улучшения структуры и твердости материала матрицы на показатели работоспособности буровых коронок исследовали интенсивность изнашивания образцов матричных композиций, оснащенных синтетическими алмазами марки АС160 зернистостью 400/315 с добавлением наноалмазов марки АСУД99 в количестве 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0%

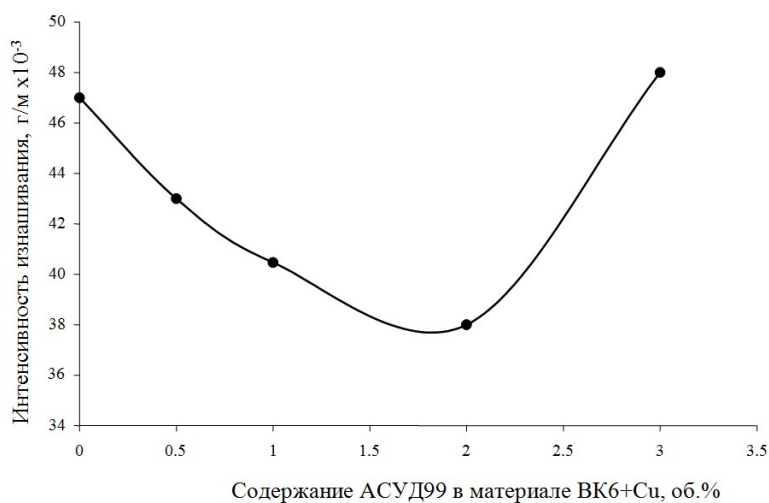


Рис.6. Зависимость интенсивности изнашивания образцов металлической матрицы от содержания в них наноалмазов марки АСУД99

объема образца. Исследовали износостойкость с помощью машины трения в процессе разрушения исследуемыми образцами торезского песчаника при скорости вращения 300 мин⁻¹ и удельной нагрузке 1 МПа. В качестве промывной жидкости для удаления шлама разрушенной породы использовали техническую воду. Интенсивность изнашивания образцов определяли как отношение массы износа образцов к объему разрушенной горной породы. Зависимость интенсивности изнашивания образцов металлической матрицы от содержания в них наноалмазов марки АСУД99 показана на рис. 6.

Выводы

Таким образом, установлено, что при оптимальном содержании наноалмазов в виде добавок повышается качество получаемых композиционных материалов матриц буровых импрегнированных коронок.

Показано, что содержание 1–2% нанодисперсных алмазов в металлической матрице способствует связыванию кислорода при термоокислении алмазов во время спекания. Это позволяет в 1,2 раза уменьшить содержание пор в структуре материала матрицы буровых коронок типа БС, что способствует повышению их твердости на 24%, износостойкости – на 9–19%.

The effect of the addition of nanodiamond brand ASUD99 on physical and mechanical properties of the metal matrix of the drilling tool. Efficiency optimum content of additives nanodiamond powder in the composition of carbide charge. It is shown that the additive nanosized diamond in an amount of 1%-2% oxygen promotes binding at thermooxidation diamond tool manufacturing process that reduces 1.2 times the content of the pores in the structure of the matrix material and increases its density and hardness.

Key words: nano-diamonds, metal matrix drill instrument, structure, density, hardness, wear resistance.

Досліджено вплив добавок наноалмазов марки АСУД99 на фізико-механічні властивості металевої матриці бурового інструменту. Встановлено оптимальний вміст добавок наноалмазних порошків у твердосплавній шихті. Показано, що додавання 1–2% нанодисперсних алмазів сприяє зв'язуванню кисню при термоокисленні алмазів у процесі виготовлення інструменту, що дає змогу в 1,2 раза зменшити вміст пор у структурі матеріалу матриці і підвищити його щільність і твердість.

Ключові слова: наноалмази, металева матриця, буровий інструмент, структура, щільність, твердість, зносостійкість.

Литература

1. Зайцев А. А., Курбаткина В. В., Левашов Е. А. Особенности влияния нанодисперсных добавок на процесс получения и свойства спеченного сплава Fe-Co-Cu-Sn // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. –2008. –№2. – С. 35–41.
2. Зайцев А. А., Курбаткина В. В., Левашов Е. А. Особенности влияние нанодисперсных добавок на процесс спекания и свойства порошковых кобальтовых сплавов // Изв. вузов. Цветная металлургия. –2008. –№ 2. – С. 53–59.

3. Ковтун В. Износостойкие композиционные материалы триботехнического назначения / В. Ковтун, М. Миховски, В. Пасовец // Науч. Изв. на НТСМ. – 2009. –Т.16. –№ 1. – С. 37–45.
4. Новиков Н. В., Богатырева Г. П. Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспектива их применения // Сверхтвердые материалы. –2008. –№ 2. – С. 3–12.
5. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение // СПб: Изд-во СПбГПУ. –2003. – 344 с.
6. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Монография/ П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин // – Донецк Норд-Пресс. –2007. – 244 с.
7. Синтетические алмазы в геологическом бурении / под ред. В.Н. Бакуля, – К. – Наук. Думка. – 1978. – 232 с.
8. Зандерна А . Методы анализа поверхностей. /Под ред. А.Зандерны. / Пер. с англ. –М.: Мир, – 1979. –582 с.
9. Semiconductive diamond tip for combined scanning probe microscope / O. G. Lysenko, N. V. Novikov, A. G. Gontar at all //J. of Superhard Mater. –2006, –N. 28. – р. 9–18.
10. Богатырева Г. П., Гвяздовская В. Л. Определение пикнометрической плотности алмазных порошков // Сверхтвердые матер. –1988. –№ 2. – С. 35–37.

Поступила 3.06.15

УДК 621.8:539.4.32:542.057

Р. С. Шмегера, В. М. Сердюк, канд. техн. наук, **М. В. Супрун**

Институт надтвердых матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

ІНТЕНСИВНЕ ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ АЛМАЗНИХ БУРОВИХ КОРОНОК ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Разработан эффективный энергосберегающий способ изготовления бурового инструмента интенсивным электроспеканием без предварительного спекания рабочих элементов. Результаты стендовых исследований исследовательских буровых коронок, изготовленных указанным методом, свидетельствуют об их применимости для бурения пород высокой и средней твердости.

Ключевые слова: алмазосодержащие композиционный материал, электроспекание, буровая коронка, интенсивность изнашивания.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України активно розвивається інтенсивне електроспикання. До основних його переваг для спікання композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) належать нетривалість і як результат збереження властивостей алмазних кристалів та значне зменшення енергозатрат. Таким способом було отримано зразки з КАМ у вигляді циліндрів, прямокутних сегментів та кільцевих свердел діаметром 10 мм [1; 2] з високими експлуатаційними характеристиками. У результаті попередніх випробувань на зносостійкість модельних зразків бурових коронок, що становили окремо виготовлені циліндричні алмазовмісні сегменти, закріплені на корпусі механічно електрозварюванням, виявлено їх високу ефективність при бурінні сильно абразивного пісковіку [3]. Ймовірно, що експлуатаційні властивості бурової коронки можна суттєво поліпшити при електроспиканні робочих елементів з одночасним їх напиканням на корпус. Це дозволяє уникнути повторного нагріву КАМ при високотемпературній пайці робочих елементів, що сприяє збереженню вихідної якості алмазів і, як наслідок, підвищенню якості інструменту.

Втім, пряме перенесення оптимальних технологічних параметрів і режимів електроспикання на процес виготовлення бурової коронки не можливе з огляду на суттєві перешкоди. Одна з них полягає в нерівномірному нагріванні секторів бурової коронки за високої швидкості нагрівання. Це зумовлено тим, що навіть мала неспіввість елементів комірочки для спікання призводить до варіації тиску (і, отже, контактних опорів) від вставки до вставки. З огляду на зазначені проблеми неможливо перенести параметри спікання модельних зразків на процес виготовлення бурової коронки. У цьому зв'язку здійснили необхідне корегування та оптимізацію параметрів спікання.