

bottom of the well]. *Metodika i tehnika razvedki– Methodology and technique of exploration*, 58, 71–76 [in Russian].

8. Karakozov, A. A., Popova, M. S., Bogdanov, R. K., & Zakora, A. P. (2015). Patent of Ukraine 108942.

УДК 622.24.051

А. М. Исонкин, Г. Д. Ильницкая, И. Н. Зайцева, кандидаты технических наук,
В. Н. Ткач, д-р физ.-мат. наук.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул.
Автозаводская 2, 04074, г. Киев e-mail: alm28@ism.kiev.ua*

ХАРАКТЕР ИЗНОСА СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ РАЗНОЙ ПРОЧНОСТИ В ИМПРЕГНИРОВАННЫХ БУРОВЫХ КОРОНКАХ

Целью работы являлось изучение влияния прочностных характеристик синтетических алмазов на характер их износа при разрушении горной породы и износостойкость импрегнированных буровых коронок. Изучение влияния температурных воздействий на кристаллы синтетических алмазов были проведены методом оценки их прочности при одноосном сжатии до и после термообработки при температуре изготовления породоразрушающего инструмента. Влияние изменения термочувствительности алмазов на износостойкость импрегнированных буровых коронок изучали при бурении ими горной породы в условиях, приближенных к производственным. Характер износа отдельных участков рабочей поверхности коронки и поверхности алмазных зерен после бурения исследовали растровым электронным микроскопом Zeiss EVO 50.

Установлено, что с повышением термочувствительности алмазов износостойкость буровых коронок повышается. Для высокопрочных термостойких алмазов, наиболее выступающих из матрицы и эффективно разрушающих горную породу, характерно микроскалывание их граней и отделение микрофрагментов чешуйчатого вида. Последнее может быть обусловлено высокими температурными напряжениями на поверхности алмазов при непосредственном контакте с горной породой в процессе ее разрушения. Показаны преимущества использования высокопрочных термостойких алмазов в буровых коронках для повышения показателей их работоспособности.

Ключевые слова: *износостойкость, термочувствительность, синтетические алмазы, буровые коронки*

Алмазное бурение на настоящее время остается одним из основных технологических методов геологической разведки месторождений полезных ископаемых.

Получение в последнее время высокопрочных синтетических алмазов с использованием различных методов сортировки привело к расширению их применения в породоразрушающем инструменте и повышению его работоспособности.

Рассматривая технологические параметры режима бурения, можно отметить, что высокая механическая скорость бурения как производная величина глубины внедрения единичных алмазов в горную породу может быть достигнута только в экстремальных условиях работы породоразрушающего инструмента при различном парном сочетании таких основных режимных параметров, как окружная скорость вращения и осевая нагрузка. [1].

В процессе бурения геологоразведочных скважин алмазным буровым инструментом под воздействием абразивных частиц породы (шлама) зерна алмазов постоянно обнажаются из матрицы и изнашиваются.

Сложность механизма абразивного изнашивания алмазного бурового инструмента при контакте с горной породой заключается в том, что процессы деформирования и теплообразования, имеющие принципиально динамический характер, развиваются на дискретных пятнах контакта. При этом результирующие воздействия контртел представляют собой суммирование единичных воздействий как алмазов на горную породу, так и частиц шлама на матрицу коронки, существенно отличающихся друг от друга интенсивностью и продолжительностью. Эти воздействия смещены во времени и имеют разную форму. Степень их воздействия определяется кинематическими особенностями контакта, внешними по отношению к контакту свойствами промывочной жидкости, теплофизическими и физико-механическими свойствами контактирующих друг с другом композиционной алмазосодержащей матрицы и горной породы.

С ростом окружных скоростей и контактных нагрузок существует уровень предельной забойной мощности, превышение которого вызывает повышение температуры в зоне контакта породоразрушающего инструмента с горной породой и может вызывать температурные деформации алмазов. Измерения температуры на контактной поверхности алмазной буровой коронки показали, что наиболее значительные её значения (в пределах 1000°C и более) возникают непосредственно в зоне контакта алмазов с горной породой. При этом градиент температуры по алмазу и материалу матрицы достаточно велик, а область развития высоких температур не превышает величины 1 мм [2, 3, 4].

Характер видов износа алмазов в алмазно-абразивном инструменте по мнению разных исследователей различен. Так, М. Сил считает, что износ алмазов вызывается тепловыми процессами, приводящими к графитизации алмаза [5]. Лоладзе Т. Н., Бокучава Т. В., а также Тараканов С. И. рассматривают износ алмазов как сочетание нескольких процессов и выделяют адгезионный, абразивный и диффузионный виды износа в процессе трения, а также хрупкое разрушение в виде микро- и макроскалывания. При этом преобладание одного из указанных видов износа определяется качеством обрабатываемого материала и режимом работы алмазного инструмента. [6, 7]

Работоспособность алмазного бурового инструмента существенно зависит от прочностных характеристик используемых в нем алмазов, конструктивных параметров коронки, параметров режима бурения и физико-механических свойств разрушаемой горной породы [8, 9].

Целью данной работы являлся анализ характера разрушения алмазов в инструменте как многофакторный процесс, обусловленный в первую очередь их прочностными характеристиками.

Объектом исследований были выбраны высокопрочные алмазные шлифпорошки зернистостью 400/315 марки АС200, исходную партию которых с помощью адгезионно-магнитной сортировки разделили на три продукта [10].

В каждом из них определяли прочность до (P) и после ($P_{\text{тo}}$) термической обработки при 1100°C , коэффициент термостабильности ($K_{\text{ст}}$) как отношение значений прочности зерен алмаза после высокотемпературных воздействий к исходной, удельную магнитную восприимчивость (χ), содержание примесей и включений в кристаллах алмаза (β). Содержание включений и объемных дефектов в зернах алмаза определяли по измеряемой величине удельной магнитной восприимчивости порошков (χ) [11].

Общее содержание примесей и включений в порошках алмаза измеряли методом рентгенофлуоресцентного интегрального анализа с использованием растрового электронного микроскопа «BS-340» и энергодисперсного анализатора рентгеновских спектров «Link-860» [12]. Характеристики полученных образцов шлифпорошков алмазов представлены в табл. 1.

Алмазы из 1–3 продуктов сортировки отличаются между собой по магнитным свойствам, содержанию в них примесей и включений и, как следствие, по прочностным характеристикам. С повышением удельной магнитной восприимчивости, связанной с увеличением содержания примесей и включений в высокопрочных шлифпорошках алмаза, коэффициент термостабильности снижается для всех образцов.

Таблица 1. Характеристики высокопрочных алмазов зернистостью 400/315 после адгезионно-магнитной сортировки

Продукты разделения	Характеристики шлифпорошков алмаза					
	$\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	β , %	P , Н	$P_{т.о.}$, Н	$K_{ст}$, у.е.	Марка алмазов
Исходный	17,9	-	343,5	281,7	0,82	АС200
1	3,2	0,331	414,2	393,5	0,95	АС250
2	10,2	0,439	358,0	304,3	0,85	АС200
3	17,3	0,617	325,8	260,6	0,80	АС200

Полученные образцы синтетических алмазов с различной однородностью по прочности, содержанием примесей и включений были использованы при изготовлении опытных буровых коронок. Их сравнительные испытания на износостойкость были проведены посредством бурения коростышевского гранита в лабораторных условиях импрегнированными коронками при окружной скорости вращения 630 мин⁻¹ и нагрузке 1000 даН.

Характер износа отдельных участков рабочей поверхности коронки и поверхности алмазных зерен после бурения исследовали растровым электронным микроскопом Zeiss EVO 50.

Оценку эксплуатационных характеристик бурового инструмента производили по величине интенсивности его изнашивания при трении о горную породу [2].

Зависимость интенсивности изнашивания бурового инструмента от содержания примесей и включений показана на рис. 1.

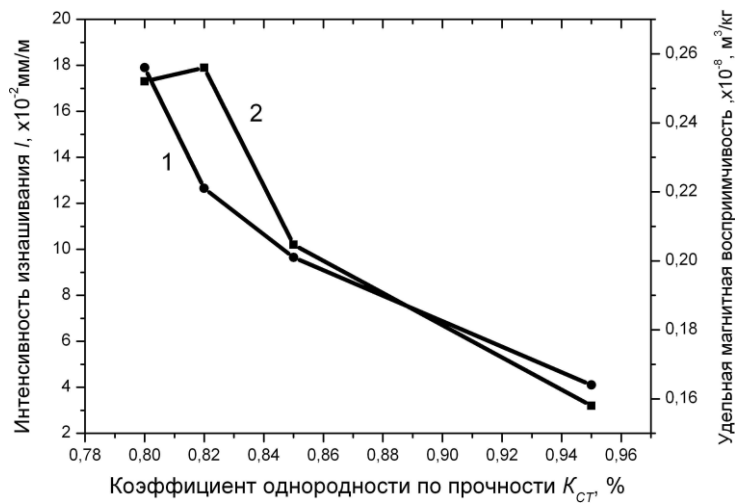


Рис. 1. Изменение интенсивности изнашивания бурового инструмента при повышении термпрочности алмазов 1 и снижении содержания в них примесей и включений 2

С увеличением содержания примесей и включений в кристаллах алмазов продуктов 1, 2 и 3 интенсивность изнашивания коронок, которыми они оснащались, увеличивается. При детальном изучении процесса изнашивания буровых коронок нами были проведены исследования состояния алмазов, находящихся на их рабочей поверхности.

При высоких механических скоростях, характеризующихся высокими окружными скоростями и контактными нагрузками, глубина внедрения алмазов в горную породу повышается, обуславливая повышение объема разрушенной горной породы и абразивного износа матрицы, а также увеличение нагрузки на единичные зерна алмазов. В этом случае напряжения на отдельной части алмазов могут значительно превосходят критические. В результате микротрещины на таких локальных участках поверхности алмазов начинают развиваться, что в последствии является причиной скалывания или части зерен, или их полного разрушения.

Изучение поверхности алмазов после бурения горной породы позволило выделить два вида их износа: хрупкое разрушение и абразивный износ.

Выполненные наблюдения позволили установить, что преобладающим видом износа синтетических алмазов в процессе бурения является хрупкое разрушение со скалыванием выступающих частей их зерен. Проведенными исследованиями было установлено, что макроскалывание их вершин и локальных участков, непосредственно контактирующих с горной породой, было наиболее характерным для алмазных зерен продукта 3 с значительным количеством примесей, способствующих развитию в кристаллах большего количества микротрещин (рис. 2).

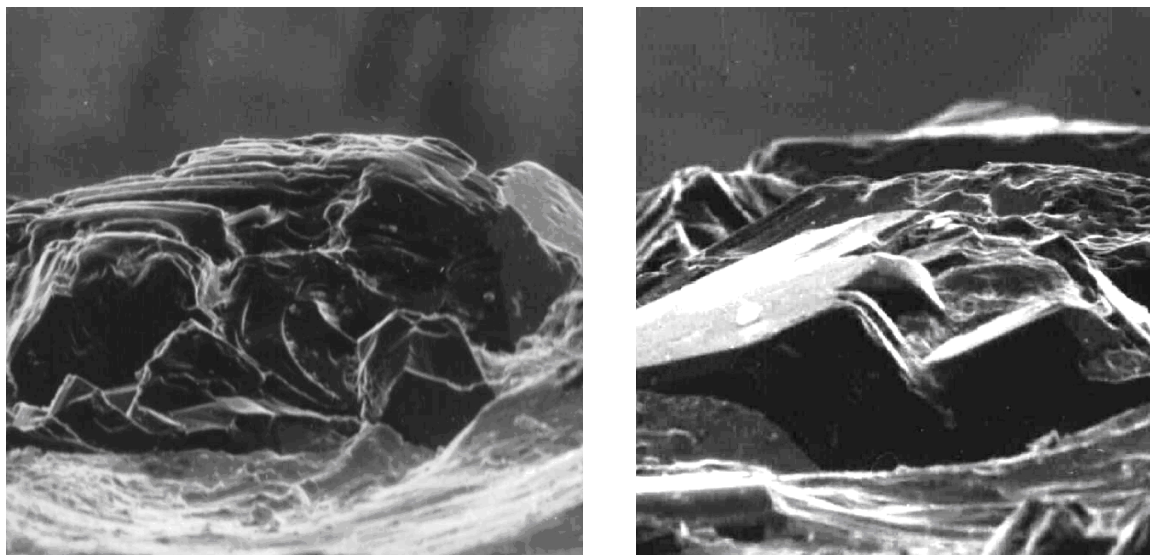


Рис. 2. Вид преимущественного разрушения алмазных зерен продукта № 3

Для алмазных зерен продукта 2 с более высокой прочностью характерным является развитие микротрещин по плоскостям спайности и микро- и макроскалывание только локальных участков (рис. 3)

Вид износа практически полностью соответствует той классификации, которая дана в работах [1, 3]. Кроме этого, на локальной поверхности некоторых алмазов виден ряд параллельных борозд, вытянутых по направлению движения алмазного зерна (рис. 4).

Можно предположить, что появление борозд является следствием абразивного воздействия на поверхность алмаза, разупрочненную под действием высокой контактной

температуры, твердых включений породообразующих минералов горной породы и разрушенных микрочастиц алмазов. Необходимо отметить, что абразивный износ алмазов хоть и имеет место, но не носит преимущественного характера.

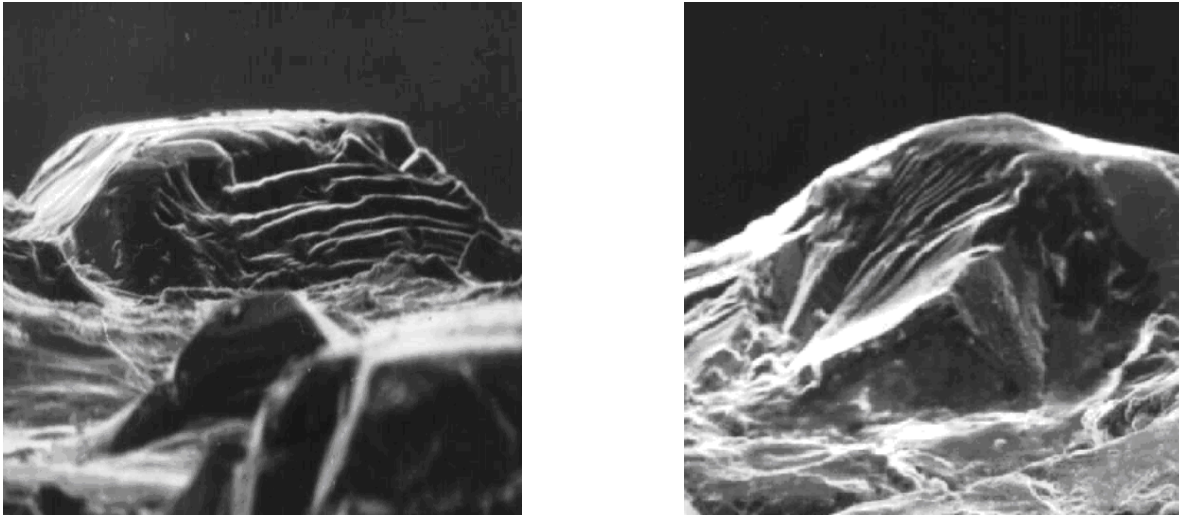


Рис. 3. Микроскалывание локальных участков зерен алмазов продукта № 2

Наибольший интерес вызвал анализ характера износа зерен алмазов продукта 1, сохранивших исходную форму и целостность большого количества кристаллов без явных следов макроразрушения, имеющих высокое выступание из матрицы, а также зона матрицы, прилегающая непосредственно к алмазному зерну (рис. 5).

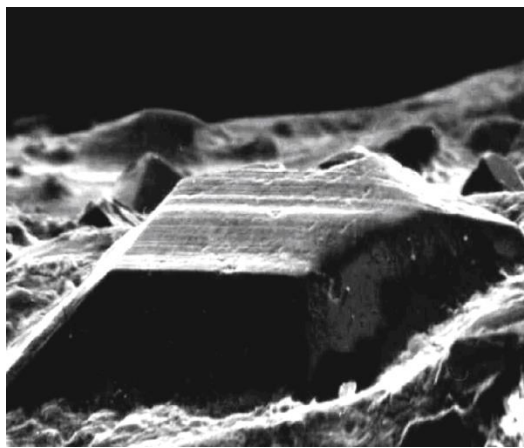


Рис. 4. Характерный вид абразивного износа алмазного зерна

На основании анализа изображения фрагмента рабочей поверхности коронки, приведенной на рис. 5, можно сделать вывод, что зерна алмаза, сохранившие целостность, обеспечивают эффективное разрушение горной породы. В большинстве случаев в результате гидро-абразивного износа матрицы, прилегающей непосредственно к алмазам, наблюдается практически полное фронтальное их обнажение.

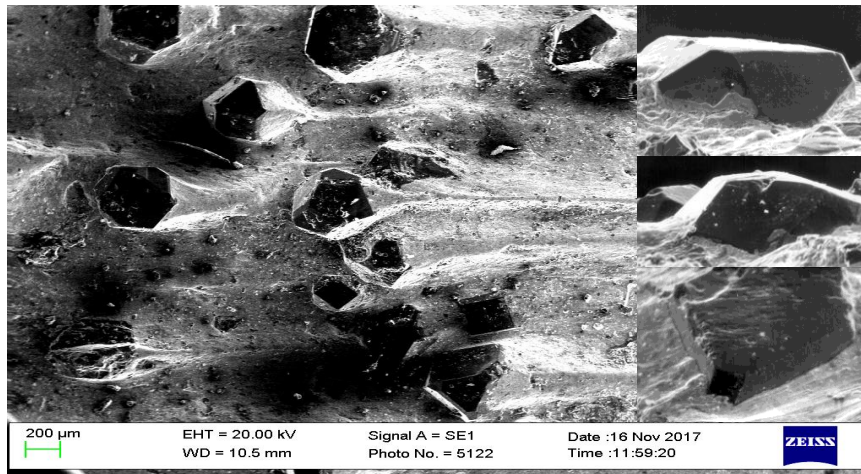


Рис. 5. Вид фрагмента рабочей поверхности буровой коронки, оснащенной алмазами продукта 1

Наиболее характерным видом износа высокопрочных алмазов продукта 1 является микросколы отдельных элементов на гранях, непосредственно разрушающих горную породу (рис. 6).

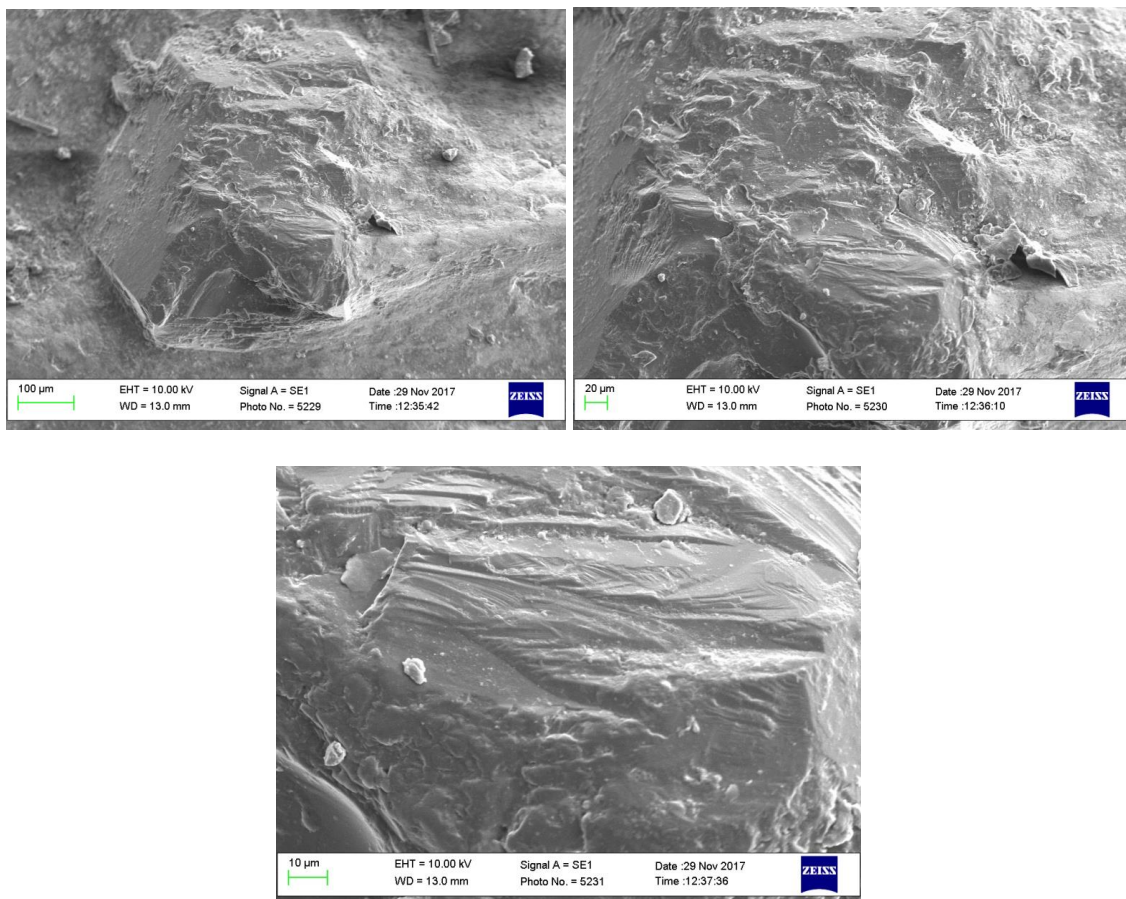


Рис. 6. Вид износа рабочей поверхности алмазного зерна продукта 1

На основе анализа следов разрушения поверхности алмазного зерна, приведенных на рис. 6, можно отметить, что имеет место микроскалывание и отделение его фрагментов

чешуйчатого вида. Последнее может быть обусловлено высокими температурными напряжениями на поверхности алмазов при непосредственном контакте с горной породой в процессе ее разрушения. При последующем перемещении в зазоре между породой и матрицей они могут шаржироваться в металлическую связку коронки. Подтверждением этого может быть повышение содержания углерода на поверхности металлической связки в зонах 1 и 2 (рис. 7, табл. 2).

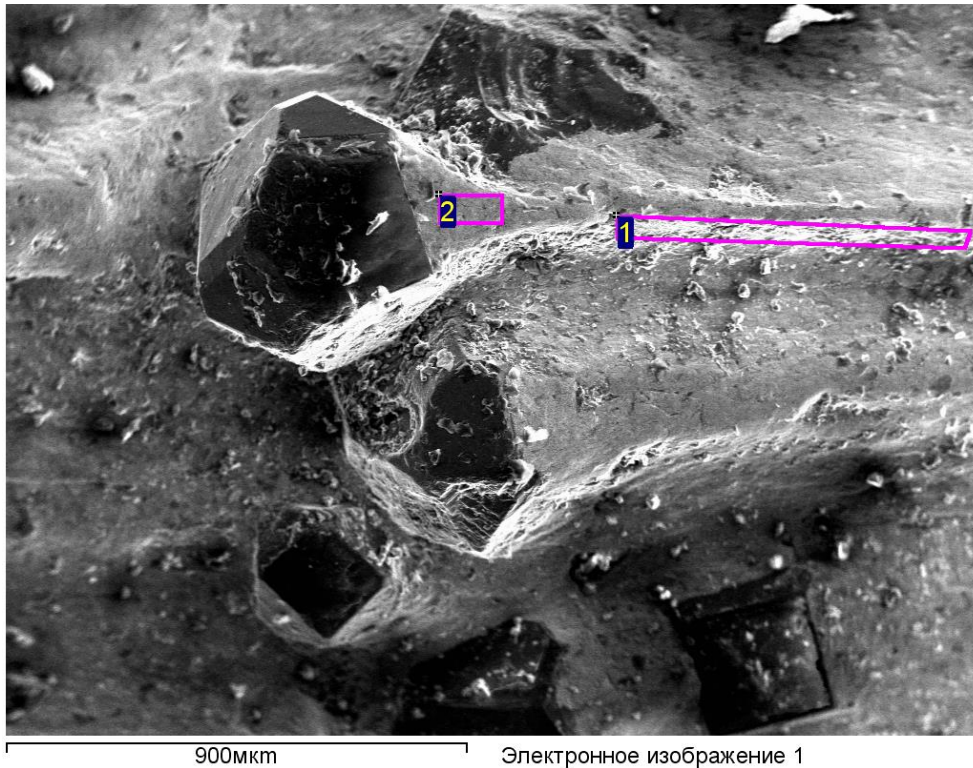


Рис. 7. Области исследования вероятного шаржирования фрагментов микроосколков алмаза в рабочую поверхность матрицы коронки

Таблица 2. Распределение элементов на поверхности матрицы коронки

Спектр	В стат.	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Ag	W	Итого
1	Да	38.83	19.12	0.35	0.69	2.31	0.99	2.53	1.01	1.51	1.67	10.82	2.16	18.02	100.00
2	Да	16.80	9.87					0.79				11.83	5.05	55.66	100.00
Макс.		38.83	19.12	0.35	0.69	2.31	0.99	2.53	1.01	1.51	1.67	11.83	5.05	55.66	
Мин.		16.80	9.87	0.35	0.69	2.31	0.99	0.79	1.01	1.51	1.67	10.82	2.16	18.02	

Анализ всех элементов (Нормализован)
Все результаты в весовых %

Проведенные исследования подтвердили существенное влияние наличия примесей и прочности алмазов на характер их износа. Возникновение в зернах алмазов поверхностных микротрещин в результате температурных напряжений, обусловленных интенсивным разрушением горной породы, способствует снижению их прочности и показателей работоспособности буровых коронок.

На основании анализа механизма износа можно заключить, что при сохранении параметров режима бурения коронками исследуемого типа, их износостойкость можно увеличить за счет использования синтетических термостойких высокопрочных алмазов, что способствует повышению их выступания из матрицы и зазора между ней и горной породой. Как следствие это приводит к снижению вероятности расклинивания частиц шлама между рабочим торцом коронки и забоем скважины, уменьшения степени их активного воздействия на матрицу, что в совокупности целесообразно не только относительно уменьшения затрат энергии на трение и разрушение горной породы, но и снижения интенсивности изнашивания инструмента.

Метою роботи було вивчення впливу міцності синтетичних алмазів на характер їх зносу при руйнуванні гірської породи і зносостійкість імпрегнованих бурових коронок. Вивчення впливу температурних впливів на кристали синтетичних алмазів було проведено методом оцінки їх міцності при одновісному стисненні до і після термообробки при температурі виготовлення породоруйнівного інструменту.

Вплив термоміцності алмазів на зносостійкість імпрегнованих бурових коронок вивчали при бурінні ними гірської породи в умовах, наближених до виробничих. Характер зносу окремих ділянок робочої поверхні коронки і поверхні алмазних зерен після буріння досліджували растровим електронним мікроскопом Zeiss EVO 50.

Встановлено, що з підвищенням термоміцності алмазів зносостійкість бурових коронок підвищується. Для високоміцних термостійких алмазів, що найбільш виступають з матриці і ефективно руйнують гірську породу, характерно мікросколювання їх граней і відділення мікрофрагментів лускатого виду. Останнє може бути обумовлено високими температурними напруженнями на поверхні алмазів при безпосередньому контакті з гірською породою в процесі її руйнування. Показано переваги використання високоміцних термостійких алмазів в бурових коронках для підвищення показників їх працездатності.

Ключові слова: зносостійкість, термоміцність, синтетичні алмази, бурові коронки

A. M. Isonkin, G. D. П'nitskaya, I. N. Zaitseva, V. N. Tkach
CHARACTER OF WEAR OF SYNTHETIC DIAMONDS DIFFERENTSTRENGTH IN
IMPREGNATED DRILL BITS

The aim of the work was to study the effect of the strength characteristics of synthetic diamonds on the nature of their wear during the destruction of rock and the wear resistance of impregnated drill bits. The influence of temperature effects on synthetic diamond crystals was studied by the method of their strength evaluating under uniaxial compression before and after the heat treatment at the temperature of the rock tool production. The effect of the thermal resistance of diamonds on the wear resistance of impregnated drill bits was studied when drilling rocks under conditions close to production ones. The wear pattern of individual parts of the working surface of the crown and the surface of diamond grains after drilling was examined with a Zeiss EVO 50 scanning electron microscope.

It has been established that the wear resistance of drill bits increases with an increase in the thermal strength of diamonds. For high-strength heat-resistant diamonds, the most protruding from the matrix and effectively destroying the rock, it is characteristic to microslide their faces and separate the microfragments of the scaly species. The latter can be caused by high temperature stresses on the surface of diamonds with direct contact with the rock during its destruction. The advantages of using high-strength heat-resistant diamonds in drill bits aimed to improve their performance are shown.

Key words: wear resistance, thermal strength, synthetic diamonds, drill bits

Литература

1. Соловьев Н. В. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов и сверхтвердых материалов / Соловьев Н. В., Башкатов Д. Н., Третьяк А. Я., Власюк В. И., Богданов Р. К., Загора А. П., Будюков Ю. Е., Спирин В. И., Осецкий А. И., Исонкин А. М. – Новочеркасск: ЮГРТУ(НПИ), 2009. – 334 с.

2. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка. 1978. –232 с.
3. Арцимович Г. В. Механофизические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. –Новосибирск: Наука, 1985 г. –268 с.
4. Горшков Л. К., Гореликов В. Г. Температурные режимы алмазного бурения. – М.: Недра, 1992. –193 с.
5. Сил М. Трение и износ алмаза. Сб. докл. Лондон. конф. по смазке и износу. – М. 1959. – С. 57–61.
6. Лоладзе Т. Н., Бокучава Т. В. Износ алмазов и алмазных кругов. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с.
7. Тараканов С. И. Теория работы мелкоалмазной кольцевой коронки на забое. Материалы совещ. по алмаз. бурению. – Аппатиты, 1966 – С. 12–18.
8. Зыбинский П. В., Богданов Р.К., Исонкин А. М., Загора А. П. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
9. Справочник по бурению геологоразведочных скважин. / Под ред. Козловского Е. А.; – С–Пб.: ООО «Недра», 2000. –712 с.
10. ТУ У 28.4-05417344-2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. –10 с.
11. О связи между содержанием включений в синтетических алмазах и их магнитными свойствами / Г. П. Богатырева, В. Б. Крук, Г. Ф. Невструев и др. // Синтетические алмазы. – 1977. – Вып. 6. – С. 14–19.
12. Loubser J. H., Wik J. A. Electron spin resonance in the study of diamond // Rep. Progr. Phys. – 1978. – 41. – P. 1201–1248.

Поступила 16.05.18

References

1. Soloviev, N. V., Bashkatov, D. N. , Tretiak, A. Ya. et al. (2009). *Geologorazvedochnyi porodorazrushayushchii instrument na osnovealmazov I sverkhтвердыkh materialov [Geological prospecting rock-cutting tool based on diamonds and superhard materials]*. Novocherkask: YUGRTU(NPI) [in Russian].
2. Bakul, V. N. (Eds.) (1978). *Sinteticheskiealmazy v geologorazvedochnom bureanii*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
3. Artsimovich, G. V. (1985) *Mekhanofizicheskie osnovy sozdaniia porodorazrushaiushchego burovogo instrumenta [Mechanophysical foundations for the creation of a rock drill tool]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
4. Gorshkov, L. K. & Gorelikov, V. G. (1992). *Temperaturnyie rezhimyalmaznogo bureniia [Temperature regimes of diamond drilling]*. Moscow: Nedra [in Russian].
5. Sil, M. (1959) *Treniie i iznos almaza [Friction and wear of diamond] Konferentsiia po smazke i iznosu*. pp. 57-61 Moscow [in Russian].
6. Loladze, T. N. & Bokuchava, T. V. (1967) *Iznosalmazov ialmaznykh krugov [Wear diamonds and diamond wheels]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
7. Tarakanov, S. I. (1966) *Teoriia raboty melkoalmaznoi koltsevoi koronki na zaboe. Materialy soveshch. poalmaz. bureniyu*. pp.12–18 Appatity [in Russian].

8. Zybinskii, P. V., Bogdanov, R. K., Isonkin, A. M., et al. (2007) *Sverkhtverdyye materialy v geologorazvedochnom burenii [Superhard materials in exploration drilling]*. Donetsk: Nord-Press [in Russian].
9. Kozlovskiy, Ye. A. (Eds.) (2000). *Spravochnik po bureniyu geologorazvedochnykh skvazhin*. Sankt-Peterburg: Nedra [in Russian].
10. *Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AS200, AS250, AS300, AS350, AS400*. (2003) Tekhnicheskiye usloviya TU U 28.4-05417344-2003. Gosstandart Ukrainy. Kyiv.
11. Bogatyreva, G. P., Kruk, V. B., Nevstruiiev, G. F. et al. (1977) O svyazi mezhdusoderzhaniiem vklucheniiv sinteticheskikhalmazakh i ikh magnitnymi svoistvami [On the relationship between the content of inclusions in synthetic diamonds and their magnetic properties]. *Sinteticheskiiealmazy – Synthetic diamonds*, 6, 14–19. Kyiv [in Russian].
12. Loubser, J. H., Wik, J. A. (1978). Electron spin resonance in the study of diamond. *Rep. Progr. Phys.*, 41, 1201–1248.

УДК 340.113:811.161.2

А. І. Вдовиченко, І. І. Мартиненко, академіки АТН України
Академія технологічних наук України, просп. акад. Глушкова, 42
03680, м. Київ, Україна, e-mail: vdovichenkoai@gmail.com

ПРО СТАН НАУКОВИХ ОБҐРУНТУВАНЬ ЗАКОНОТВОРЧОСТІ В УКРАЇНІ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЮ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СФЕРІ

У статті висвітлено істотні термінологічні вади, виявлені в текстах Закону України «Про альтернативні джерела енергії» та інших, пов'язаних з ним законів, які негативно впливають на якість формування і реалізацію державної політики в енергетичній сфері та суттєво гальмують розвиток нафтогазової і геологорозвідувальної галузей.

Відсутність науково обґрунтованих вимог щодо термінів та їхніх дефініцій у законодавчих документах спричиняє неузгодженість і невпорядкованість, призводить до нечіткості, неясності та неоднозначності у розумінні та застосуванні законодавчих приписів.

Закони, згадані в роботі не доповнюють і не розвивають один одного, а навпаки, дублюють, створюють колізії, проблеми і тому на практиці не працюють. Враховуючи цей висновок, Закон України «Про альтернативні джерела енергії» та інші йому подібні пропонується замінити всього декількома поправками до Закону України «Про енергозбереження». Для цього спочатку необхідно дати чітке визначення до терміна «звичайні джерела енергії», і лише після цього виникнуть підстави для наукового обґрунтування другого основоположного терміна – «альтернативні джерела енергії», які можуть бути альтернативою «звичайним джерелам енергії».

Залучення широкого кола фахівців до обговорення і відпрацювання шляхів реального впливу наукової спільноти на процес удосконалення законотворчості в енергетичній сфері України має бути головною темою фахових наукових конференцій.

Ключові слова: наукове обґрунтування законотворчості, терміни, альтернатива, джерела енергії, енергозбереження, нафтогазовидобування, відновлювальні процеси.