

Повышение эффективности работы алмазного бурового инструмента

Богатырева Г. П., Богданов Р. К.^{*}, Исонкин А. М., Ильницкая Г. Д.,
Загора А. П., Ткач В. Н., Зайцева И. Н.

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

Поступила в редакцию 20.11.08, принята к печати 02.11.09.

Аннотация

В настоящей статье представлены результаты исследований по повышению эксплуатационных характеристик бурового инструмента за счет применения в нем синтетических алмазов с характеристиками определенного качества. Показано, что износостойкость при оснащении бурового инструмента алмазными шлифпорошками с высокой однородностью по прочности увеличивается.

Ключевые слова: буровой инструмент, синтетические алмазы, износостойкость, шлифпорошок.

Введение

В настоящее время одним из основных способов разведки месторождений твердых полезных ископаемых является бурение скважин в горных породах при помощи буровых коронок. Для их оснащения используются такие сверхтвердые материалы как алмазы или твердые сплавы. В данной работе рассматривается одно из направлений повышения эффективности работы бурового импрегнированного инструмента, оснащенного синтетическими монокристаллическими алмазами.

Основой процесса бурения является концепция разрушения горной породы и удаления продуктов ее разрушения с забоя скважины. При этом научно обоснованная разработка конструкций буровых коронок оснащенных алмазными шлифпорошками, вопросы их выбора применительно к конкретным геолого-техническим условиям и установление рациональных параметров режима бурения должны базироваться на закономерностях разрушения горных пород единичными кристаллами алмаза с учетом специфики их работы в коронке [1]. В процессе работы бурового инструмента основным видом износа синтетических алмазов является хрупкое разрушение отдельных выступающих частей алмазного зерна вследствие развития в нем микротрещин при контакте с породой [2]. Поэтому работоспособность бурового инструмента при геологоразведочных работах во многом зависит от качества применяемых алмазов.

При бурении импрегнированной коронкой осевая нагрузка распределяется неодинаково по всей площади поверхности алмазосодержащей матрицы, а перераспределяется между алмазами, наиболее выступающими из поверхности матрицы и контактирующими с горной породой. При этом кристаллы алмаза с наибольшими высотами выступания и глубиной внедрения в горную породу нагружаются в десятки раз больше и мгновенно разрушаются. Уменьшить усилия нагружения и вероятность разрушения алмазов можно за счет использования алмазов, однородных по размеру и прочности, обеспечивающих равные высоты их выступания из тела матрицы.

Целью данной работы было исследование влияния на эксплуатационные показатели алмазного бурового инструмента высокопрочных шлифпорошков синтетических алмазов с различными физико-механическими свойствами.

^{*} E-mail: ggf@mine.dgtu.donetsk.ua

Методика эксперимента и исходные материалы

Методика эксперимента заключалась в следующем. Шлифпорошки алмазов зернистости 400/315 с помощью адгезионно-магнитной сортировки разделялись по дефектности их поверхности на несколько продуктов [5]. В полученных шлифпорошках определялись физико-механические характеристики в виде значений статической прочности (P). В порошках оценивалась дефектность поверхности по коэффициенту поверхностной активности (K_a) [6]. Содержание объемных дефектов в зернах алмаза определялось по измеряемой величине удельной магнитной восприимчивости порошков (χ) [7].

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» [8]. Коэффициент однородности шлифпорошков синтетического алмаза ($K_{одн}$) определяли по показателю статической прочности и оценивали по суммарному содержанию зерен, разрушающая нагрузка которых находится в интервалах прочности для номинальной марки в соответствии с ДСТУ 3292 [9]. Термостабильность оценивали по коэффициенту термостабильности ($K_{ст}$) [10].

Оценку эксплуатационных характеристик бурового инструмента производили по величине интенсивности его изнашивания при трении о горную породу [11].

Результаты и обсуждение

В результате проведения адгезионно-магнитной сортировки шлифпорошки алмаза марки АС200 зернистости 400/315 были разделены на шесть продуктов с разной степенью дефектности поверхности (K_a). В каждом из них определяли прочность до (P) и после ($P_{то}$) термической обработки при 1100 °С, коэффициент термостабильности ($K_{ст}$), коэффициент однородности шлифпорошков синтетического алмаза ($K_{одн}$), удельную магнитную восприимчивость (χ), содержание примесей и включений в кристаллах алмаза (β). Полученные результаты представлены в таблице 1.

Табл.1. Результаты адгезионно-магнитной сортировки высокопрочных алмазов зернистостью 400/315

Продукты разделения	Выход, %	Характеристики шлифпорошков алмаза							Марка алмазов
		$\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	K_a , %	P , Н	$P_{то}$, Н	$K_{одн}$, пр. %	$K_{ст}$, у.е.	β , %	
1	8,8	3,2	0,05	414,2	393,5	76	0,95	0,331	АС250
2	16,2	9,3	0,09	375,4	352,9	70	0,94		АС200
3	23,5	10,2	0,12	358,0	304,3	64	0,85	0,439	АС200
4	29,9	14,5	0,15	342,3	277,3	56	0,81		АС200
5	17,2	17,3	0,19	325,8	260,6	65	0,80		АС200
6	4,4	24,7	0,23	305,5	220,0	48	0,72	0,617	АС160
Исход- ный	100,0	17,9		343,5	281,7	14	0,82		АС200

Как следует из таблицы, шлифпорошки алмаза продуктов сортировки отличаются между собой по степени дефектности поверхности, прочностным характеристикам, магнитным свойствам и содержанию в них примесей и включений.

Кристаллы алмазов образца № 1 имеют низкую степень дефектности поверхности (K_a (0,05 %), которая примерно в пять раз ниже K_a образца № 6. При этом прочность шлифпорошков алмаза образца № 1 на 26,3 % выше прочности шлифпорошков алмаза образцов № 6.

На рис. 1 графически показана зависимость прочности алмазов от степени дефектности их поверхности. Как видим, прочность, как основная технологическая характеристика

алмазных шлифпорошков при статическом сжатии зерен алмаза увеличивается при снижении степени дефектности их поверхности.

В результате проведенных исследований установлено, что образцы алмаза (№ 1 - № 6) с разными прочностными характеристиками (P , $P_{то}$, $K_{ст}$) различаются между собой по магнитным свойствам. В качестве характеристики магнитных свойств порошков алмаза принята удельная магнитная восприимчивость (χ). На рис. 2 показано изменение коэффициента термостабильности ($K_{ст}$) высокопрочных шлифпорошков алмаза в зависимости от χ . Как видим, с увеличением удельной магнитной восприимчивости, коэффициент термостабильности, определяемый как отношение значений прочности зерен алмаза после высокотемпературных воздействий к исходной, снижается для всех образцов.

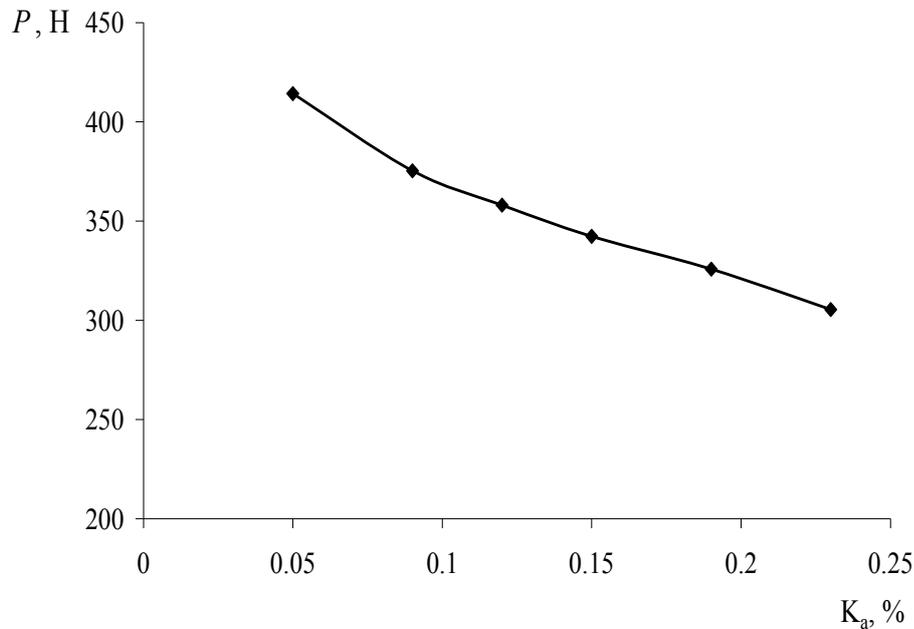


Рис. 1. Прочность алмазов (P , Н) от дефектности поверхности (K_a , %)

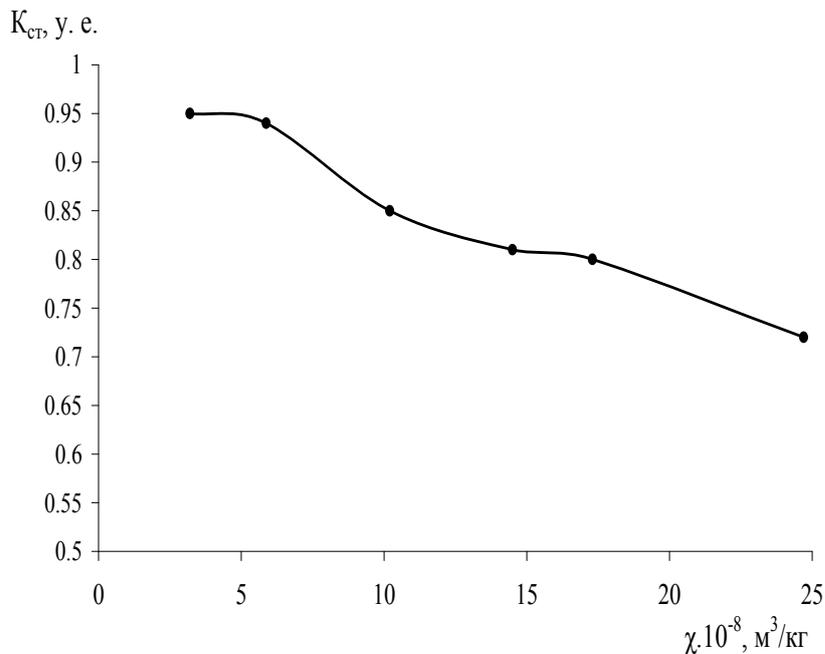


Рис. 2. Коэффициент термостабильности $K_{ст}$ от удельной магнитной восприимчивости χ

В результате разделения зерен алмаза по их дефектности поверхности получены шлифпорошки, различающиеся между собой не только по прочностным характеристикам (P , $P_{то}$, $K_{ст}$), но и по однородности ($K_{одн}$).

Однородность является важной характеристикой качества порошков сверхтвердых материалов, позволяющая объективно отражать состояние их качества. В настоящее время наблюдается тенденция повышения интереса к однородности порошков по различным технологическим характеристикам. В ИСМ НАН Украины разработан метод [10], позволяющий оценивать однородность шлифпорошков по основным технологическим характеристикам качества и, прежде всего, по прочностным характеристикам.

В последнее время проявляется тенденция более активного вовлечения этой характеристики в сферу практического использования. Это вызвано, прежде всего, необходимостью сравнительной оценки качества порошков. Так, в результате разделения алмазных шлифпорошков с $K_{одн} = 14\%$, получены алмазные шлифпорошки, различающиеся между собой по $K_{одн}$ от 76 % до 48%. На рис. 3 (а, б, в и г) представлены гистограммы распределения зерен алмаза по прочности в разных продуктах сортировки: а – исходный; б - № 1; в - № 3; г - № 6. Исходный шлифпорошок представлен алмазами марки АС200. Из рисунка видно, что зерна алмаза распределились по прочности, соответствующей маркам от АС65 до АС300. Зерна алмазов в продукте №1 распределились по маркам от АС125 до АС300 (рис. 3б), в продукте №3 – от АС125 до АС250 (рис. № 3в) и в продукте № 6 – от АС65 до АС200 (рис.3г).

В ходе выполнения исследований было определено общее содержание примесей и включений в образцах алмазов № 1 - № 6 и их элементный состав в образцах № 1, № 3 и № 6 методом рентгенофлуоресцентного интегрального анализа с использованием растрового электронного микроскопа «BS-340». Установлено, что элементный состав примесей и включений в образцах алмазов в основном представлен элементами сплава растворителя железа и никеля.

Содержание примесей и включений в шлифпорошках алмаза тесно связано с магнитными свойствами этих порошков [10]. В таблице 1 представлено содержание примесей и включений (β) в шлифпорошках образцов № 1, № 3 и № 6. Как видно, при увеличении содержания примесей и включений в высокопрочных шлифпорошках алмаза возрастает их удельная магнитная восприимчивость.

Изменение прочностных характеристик шлифпорошков алмаза (P , $P_{то}$) образцов № 3 - № 6 в зависимости от содержания в них примесей и включений показано на рис. 4.

Кривая 1 отражает изменение прочности исходных шлифпорошков до термо-обработки, а кривая 2 – изменение прочности после термического воздействия. Как видно, увеличение содержания примесей и включений в образцах с 0,331 атом. % (№ 1) до 0,617 атом.% (№6) на 46,4 % способствуют снижению прочности исходных шлиф-порошков на 5,0 % (кривая 1), а после термических воздействий на 22,7 % (кривая 2). Исходя из этого, для увеличения термостабильности шлифпорошков алмаза имеет смысл дополнительно выполнять магнитную сепарацию для отделения кристаллов алмаза с высоким содержанием в них внутрикристаллических включений и примесей.

Полученные образцы синтетических алмазов с различной однородностью по прочности, содержанием примесей и включений были использованы при изготовлении бурового инструмента.

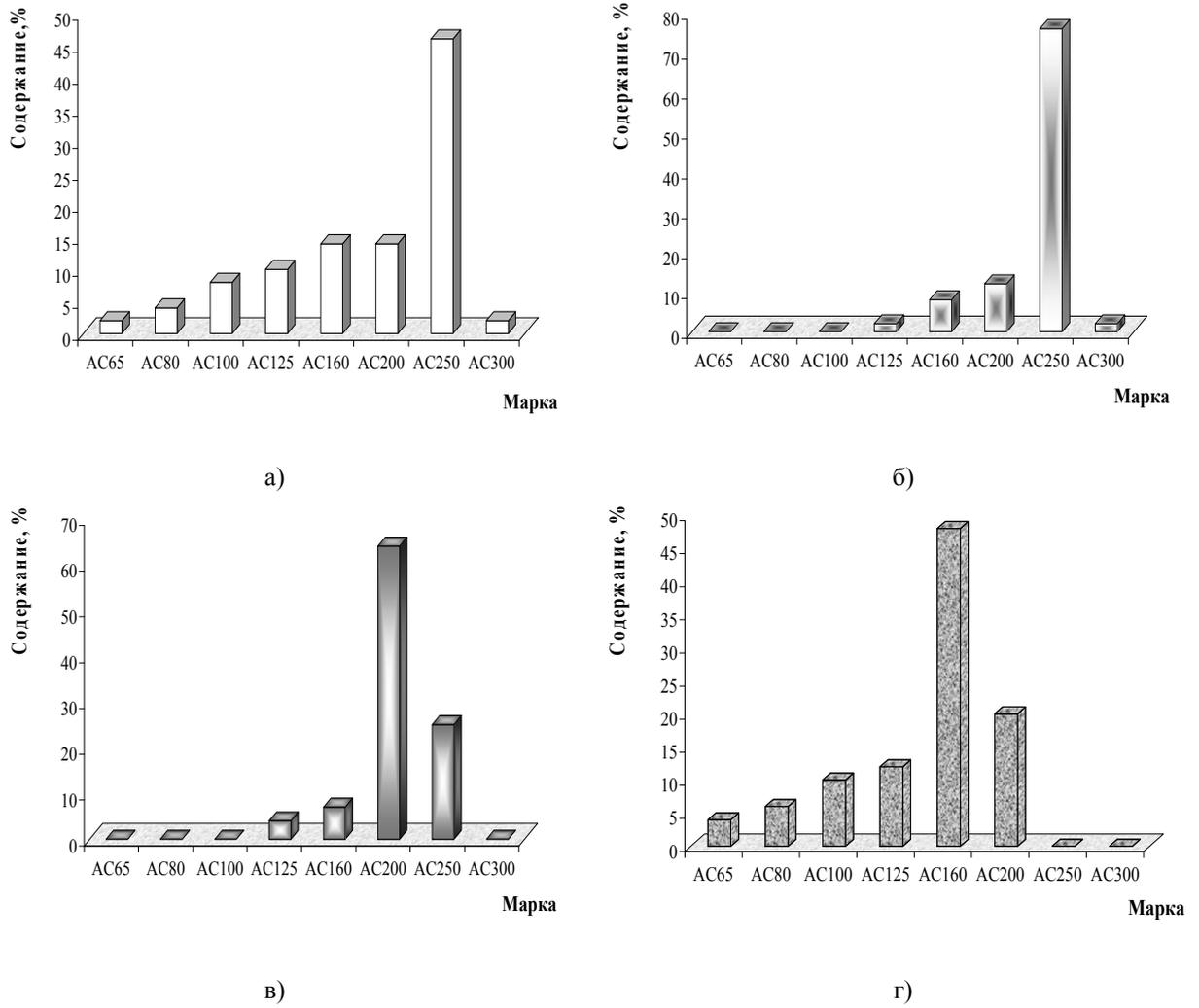


Рис. 3. Распределение зерен алмаза по прочности в разных продуктах сортировки зернистости 400/315: а – исходный; б - № 1; в - № 3; г - № 6.

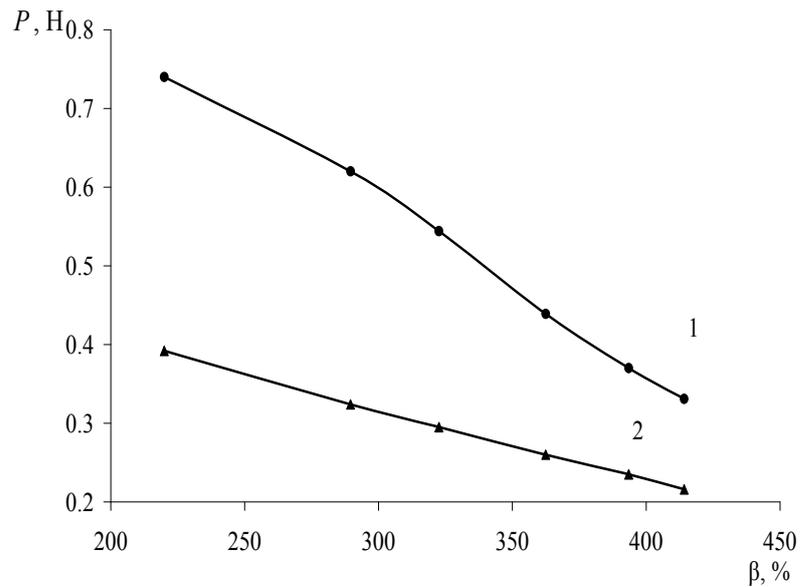


Рис. 4. Прочности алмазов (P, H) от содержания включений (β, %) образцов № 1, № 3 и № 6: 1 – до термообработки (исх.); 2 – после термообработки

Сравнительные испытания на износостойкость были проведены посредством бурения коростышевского гранита в лабораторных условиях импрегнированными коронками диаметром 59 мм при частоте вращения 600 мин^{-1} и нагрузке 800 даН. Результаты испытаний, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что интенсивность изнашивания бурового инструмента уменьшается при использовании порошка алмаза более однородного по прочности с $0,25 \cdot 10^{-4} \text{ мм/м}$ для образца № 6 с $K_{\text{одн.}} = 48 \%$ до $0,17 \cdot 10^{-4} \text{ мм/м}$ для образца № 1 с $K_{\text{одн.}} = 76 \%$.

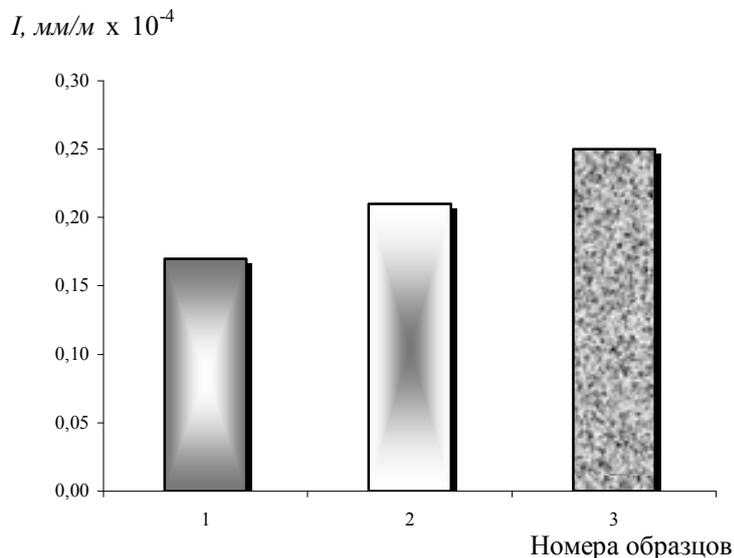


Рис. 5. Интенсивность изнашивания бурового инструмента в зависимости от однородности по прочности синтетических алмазов

На наш взгляд, использование порошков алмаза более однородных по прочности приводит к более равномерному распределению нагрузок на зерна алмазов и тем самым позволяет уменьшить их интенсивность разрушения.

Зависимость интенсивности изнашивания бурового инструмента от содержания примесей и включений показана на рис. 6, из которого следует, что с увеличением содержания примесей и включений в кристаллах алмаза образцов № 1, № 3 и № 6 их интенсивность изнашивания увеличивается.

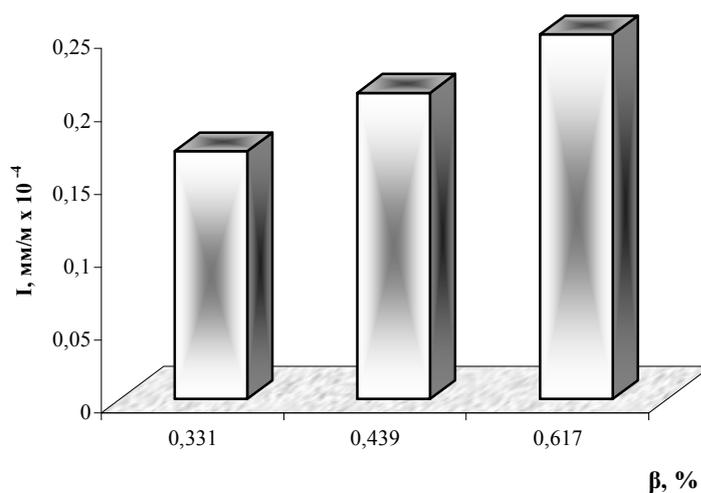


Рис. 6. Интенсивность изнашивания бурового инструмента от содержания примесей и включений в шлифпорошках алмаза

Дополнительным подтверждением более высокой износостойкости породоразрушающих инструментов, оснащенных алмазами с низкой степенью дефектности поверхности, разной однородностью и более высокой прочностью, являются результаты производственных испытаний буровых коронок БС-06 диаметром 76 мм конструкции ИСМ при бурении геологоразведочных скважин в геолого-технических условиях ГРЭ «Кривбасгеология» (рис. 7). Геологический разрез скважин сложен породами X категории буримости. Бурение осуществлялось с использованием буровых станков СКБ-5 при следующих режимах: частота вращения 257–407 мин⁻¹, осевая нагрузка 1000–1200 даН, расход промывочной жидкости 70 дм³/мин.

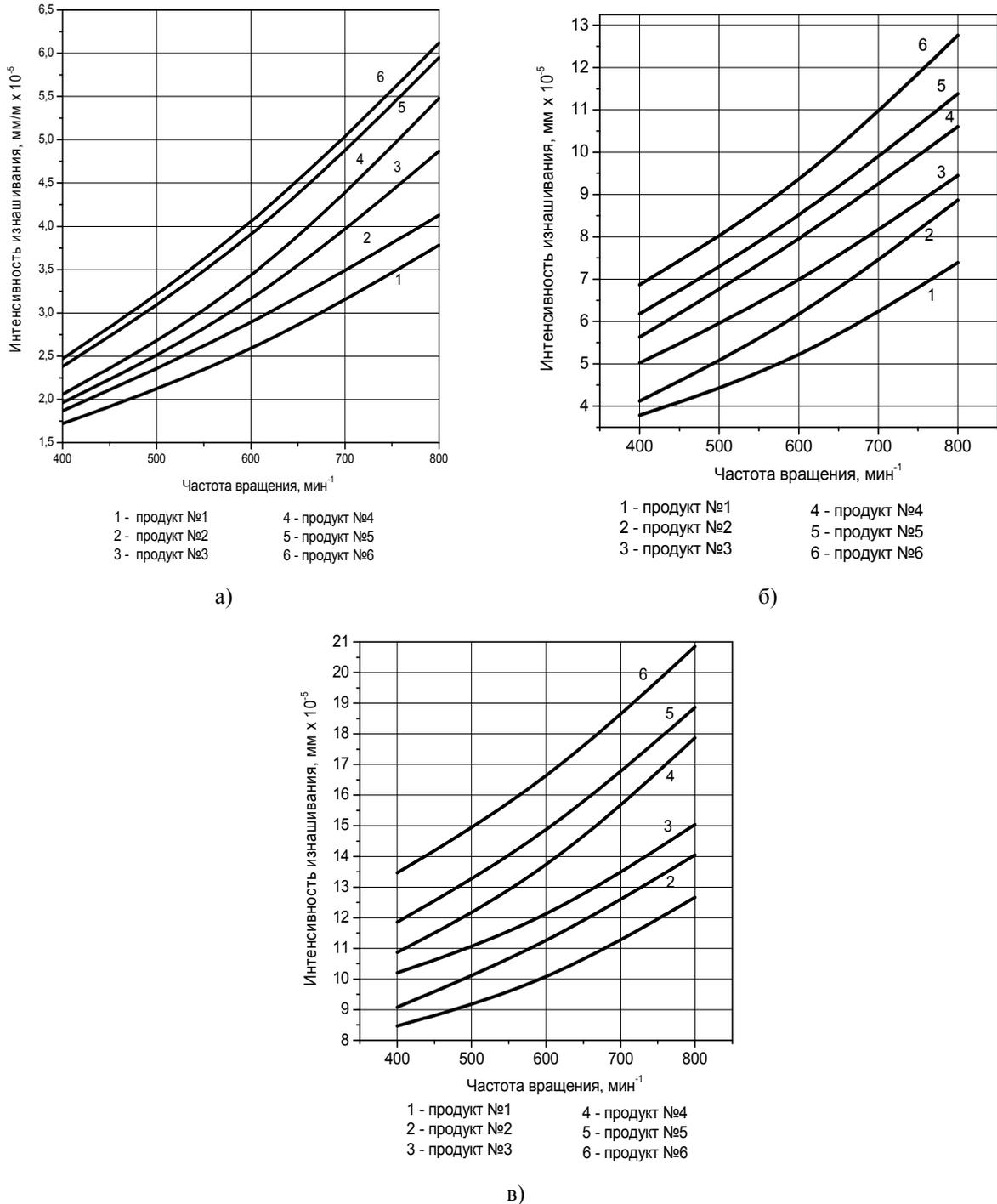


Рис. 8. Интенсивность изнашивания от частоты вращения коронок БС-54 диаметром 76 мм, оснащенных алмазами с различными физико-механическими свойствами, при углубке за один оборот: а) 63 мкм; б) 80 мкм; в) 100 мкм.

В результате проведенных испытаний установлено, что повышение однородности шлифпорошков алмаза по прочности уменьшает износ бурового инструмента в 1,5 – 2,5 раза.

Наряду с этим были проведены стендовые испытания опытных образцов коронок БС-54 диаметром 76 мм, оснащенных алмазами, разделенными на 6 продуктов (рис.8). Как видим, характер изменения интенсивности изнашивания бурового инструмента от частоты вращения сохраняется при различных величинах углубки за один оборот. Наименьшую интенсивность изнашивания имеют коронки, оснащенные алмазами продукта №1 и наибольшую - продукта № 6. С увеличением частоты вращения в пределах от 400 мин⁻¹ до 800 мин⁻¹ при углубке за оборот 63 мкм интенсивность изнашивания инструмента, оснащенного алмазами продукта №1, увеличилась в 2,2 раза, а продукта №6 - в 2,5 раза.

С увеличением углубки за оборот до 100 мкм падение интенсивности изнашивания от частоты вращения на всех шести продуктах остается практически одинаковой и составляет 1,5 - 1,6 раза. Это, на наш взгляд, может свидетельствовать о том, что с ужесточением режимов бурения влияние качества синтетических алмазов на интенсивность изнашивания бурового инструмента при различной частоте вращения несколько снижается по сравнению с бурением при оптимальном режиме с углубкой за оборот 63 мкм. Однако численные значения интенсивности изнашивания бурового инструмента, оснащенного алмазами продукта №1, остаются на всех режимах значительно ниже, чем у инструмента, оснащенного алмазами продукта №6.

Таким образом, использование порошков синтетических алмазов с более высокой однородностью и прочностью, а также с низкой степенью дефектности поверхности, позволяет повысить работоспособность породоразрушающего инструмента при различных режимах бурения.

Выводы

1. Повышение однородности синтетических алмазов по прочности, используемых для оснащения бурового инструмента, приводит к снижению интенсивности его изнашивания в 1,5–2,5 раза.
2. Прочность кристаллов алмазов высокопрочных порошков, синтезированных в системе железо–никель–углерод, как в инертной, так и воздушной среде снижается с увеличением температуры термической обработки. При этом снижение прочности с ростом температуры происходит приблизительно в два раза выше в воздушной среде. Падение прочности кристаллов алмаза тем больше, чем выше в них содержание примесей и включений.

Библиографический список

1. Исонкин А.М., Богданов Р.К., Загора А.П. Эффективность разрушения горной породы буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами разной прочности // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 9. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2006. – С. 21-24.
2. Исаев М.И., Пономарев П.В. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1975. – 288 с.
3. Влияние качественных характеристик высокопрочных алмазов на работоспособность бурового инструмента / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Р.К. Богданов 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. 160-168.
4. Ильницька Г.Д., Богатырева Г. П., Невструев Г.Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 63-71.
5. 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.
6. Пат. 65129 А України, МКИ G01N27/12. Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу / Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницька. – № 2003065196; Заявл. 05.06.2003, Опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.

7. Богатырева Г.П., Крук В.Б., Невструев Г.Ф. и др. О связи между содержанием включений в синтетических алмазах и их магнитными свойствами // Синтетические алмазы. – 1977. – Вып. 6. – С. 14-19.
8. Loubser J.H.N., Wik J.A. Electron spin resonance in the study of diamond // Rep. Progr. Phys. – 1978. – 41. – P. 1201-1248.
9. Новиков Н.В., Невструев Г.Ф., Ильницкая Г.Д. и др. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. - 2006. - № 5. - С. 74 – 83. и Часть 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. - 2006. - № 6. - С. 58-67.
10. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Богданов Р.К. и др. Оценка однородности высокопрочных алмазных шлифпорошков по статической прочности и термостойкости // Материалы 3-й Междунар. кнф. – Породоразрушающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ НАН Украины. – 2000. – С. 17-18.
11. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. Монография / Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Загора А.П. и др. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

© Богатырева Г. П., Богданов Р. К., Исонкин А. М., Ильницкая Г. Д., Загора А. П., Ткач В. Н., Зайцева И. Н., 2010.

Анотація

У статті представлені результати досліджень по підвищенню експлуатаційних характеристик бурового інструменту за рахунок використання в нім синтетичних алмазів з характеристиками певної якості. Показано, що зносостійкість при оснащенні бурового інструменту діамантовими шлифпорошками з високою однорідністю по міцності збільшується.

Ключові слова: буровий інструмент, синтетичні алмази, зносостійкість, шлифпорошок.

Abstract

In the present article results of researches on increase of operational characteristics of the drilling tools due to application in it of synthetic diamonds with characteristics of certain quality are presented. It is shown that wear resistance at equipment of the drilling tools diamond abrasive powder with high uniformity on durability increases.

Keywords: drilling tools, synthetic diamonds, wear resistance, abrasive powder.