

Инструмент, порошки, пасты

УДК 622.23.051.7

О. А. Заневский, С. А. Ивахненко*, Г. Д. Ильницкая,

А. П. Загора, Р. К. Богданов** (г. Киев)

А. А. Каракозов, М. С. Попова (г. Донецк)

*dep13@ism.kiev.ua

**almis28@ism.kiev.ua

Получение крупнозернистых высокопрочных шлифпорошков алмаза для применения в буровом инструменте

Исследована технология выращивания и получены крупные монокристаллические синтетические алмазы, имеющие высокую прочность, однородность по прочности и термостойкость. Разработана конструкция буровой коронки, оснащенной такими кристаллами алмаза. Приведены результаты производственных испытаний опытных буровых коронок.

Ключевые слова: монокристаллы, синтетические алмазы, прочность, термостабильность, удельная магнитная восприимчивость, однослойные алмазные буровые коронки, механическая скорость бурения.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Расширение номенклатуры эффективного алмазного породоразрушающего инструмента для бурения в породах средней твердости может быть реализовано за счет создания новых видов однослойных коронок, оснащенных крупными монокристаллами синтетических алмазов. Наибольшее распространение в практике бурения пород средней твердости получили однослойные коронки, оснащенные природными алмазами размером 40–60 шт./карат (зернистостью 1600/1250). Использование монокристаллов синтетических алмазов в буровом инструменте требует получения шлифпорошков со стабильными свойствами по прочности и термопрочности. Достигнутый в последнее время в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины прогресс в исследовании закономерностей кристаллизации алмаза при высоких давлениях и температурах позволяет осуществлять процесс выращивания в контролируемых условиях и получать образцы кристаллов с заданным дефектно-примесным составом и размерами до 10 мм и более. Это обеспечивает возможность разработки новых технологий производ-

ства высокопрочных шлифпорошков крупных (размером 1–2 мм) зернистостей, которые особенно востребованы в буровом инструменте.

В настоящей работе исследована технология выращивания высокопрочных шлифпорошков алмаза путем стимулированной спонтанной кристаллизации, оптимизации условий их выращивания и сортировки с целью получения монокристаллов алмаза с высокими прочностью и термопрочностью для применения их в буровых коронках.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Спонтанная кристаллизация в области термодинамической стабильности алмаза используется как основной метод для получения алмазных шлиф- и микропорошков [1]. Для производства этих материалов в настоящее время существует специализированная индустрия, включающая в себя производство алмазного сырья (синтез алмаза из графита в специальных аппаратах при давлениях 5,5–8,0 ГПа и температурах 1400–1800 °С), его дробление, химическую очистку, сортировку и классификацию. Промышленность выпускает шлифпорошки размером до 0,8–1,0 мм с различной степенью структурного совершенства в зависимости от величины прочности, необходимой для конкретного использования в металлообработке, камнеобработке, бурении.

Основным видом износа алмазов в процессе работы алмазного бурового породоразрушающего инструмента является их хрупкое разрушение путем скалывания отдельных выступающих частей вследствие развития микротрещин в зерне при контакте с горной породой [1].

В процессе бурения алмазной коронкой осевая нагрузка распределяется не по всей площади поверхности алмазодержащей матрицы, а перераспределяется между теми алмазами, которые выступают из поверхности матрицы на одинаковую высоту, поэтому основными причинами износа алмазных зерен является их неоднородность по зерновому составу и прочности.

Исходя из требований, предъявляемых к алмазному буровому инструменту, основными характеристиками синтетических алмазов должны быть зернистость, прочность, однородность по прочности и термопрочность. При синтезе алмазов варьирование концентрацией и составом исходных компонентов приводит к тому, что кинетика процесса изменяется в течение периода синтеза. Это отражается на изменении морфологии кристаллов алмаза как внешней, связанной с переходом от атомно-гладких до шероховатых граней поверхности, так и внутренней, выраженной в виде объемных дефектов, которые в основном связаны с присутствием в кристалле алмаза примесей и включений сплава-растворителя [2, 3]. Как правило, реальный кристалл алмаза отличается от соответствующей идеальной структуры наличием дефектов от точечных до объемных. Обычно структура реального кристаллического материала представляет собой блоки кристаллической решетки, соединенные друг с другом. В промежутках между блоками находятся трещины, посторонние включения, примеси, а в самих блоках – дислокации, вакансии и другие образования, которые снижают прочностные характеристики кристаллов как при комнатной температуре, так и после высокотемпературных воздействий [4, 5]. Включения сплава-растворителя оказывают непосредственное влияние на прочностные характеристики алмаза [6] и количественно тесно связаны с их удельной магнитной восприимчивостью χ [7]. Сохранение прочностных характеристик алмазных порошков после высокотемпературных воздействий определяют их термостабильность, которая обычно снижается при нагреве до температуры более 800–1000 °С [8]. На практике термо-

стабильность алмазов принято оценивать коэффициентом термостабильности $K_{ТС}$, который определяют как соотношение показателя прочности при статическом сжатии алмазных зерен после и до их термообработки [9]. Для синтетических алмазных шлифпорошков с размером частиц до 600–800 мкм известна корреляционная зависимость $K_{ТС}$ от χ [10]. Термостойкость синтетических алмазов размером более 1 мм и оптимизация процесса их выращивания для целевого использования в буровом породоразрушающем инструменте до выполнения настоящей работы детально не были изучены.

Как было сказано выше, основной причиной снижения прочности и особенно термопрочности кристаллов алмаза является присутствие в их составе включений сплава-растворителя. Поэтому основной задачей получения высокопрочных и термостабильных шлифпорошков алмаза является создание условий выращивания, минимизирующих количество таких включений. В ростовом объеме всегда существует разброс значений температуры, величины пересыщения растворителя углеродом, скорости роста, который приводят к существенному различию количества захваченных в процессе выращивания включений в кристаллах. Для спонтанной кристаллизации при выращивании множества алмазных частиц в одном цикле эта ситуация неизбежна и поэтому необходимо сортировать полученную продукцию с целью выделения более качественного и структурно совершенного сырья.

Целью данной работы было получение крупнозернистых высокопрочных шлифпорошков, исследование особенностей их получения, изучение технологических характеристик и определение возможности эффективного их применения в буровом инструменте.

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для выращивания монокристаллов алмаза использовали аппарат высокого давления (АВД) типа “тороид” ТС40 с диаметром полости высокого давления 40 мм.

Результаты компьютерного моделирования тепловых полей в ростовых ячейках, использованных для выращивания монокристаллов алмаза, были получены методом конечных элементов для граничных условий, которые определяли экспериментально [11, 12].

На рис. 1. приведен расчет распределения температуры для сборки контейнера и ростовой ячейки.

Исследования морфологических, прочностных магнитных характеристик качества алмазов проводили на порошках зернистостью 1600/1250. Для этого отбирали по 10 кристаллов алмаза и для каждого из них определяли удельную магнитную восприимчивость χ ($\text{м}^3/\text{кг}$), а также предел прочности на сжатие как при комнатной температуре (исходной магнитной восприимчивости и прочности), так и после высокотемпературного воздействия и рассчитывали средние значения этих показателей. Термическую обработку кристаллов при этом проводили в токе аргона при температуре 1150 °С в течение 15 мин. Термообработанные кристаллы охлаждали в токе аргона вместе с печью до температуры 250 °С. $K_{ТС}$ и χ определяли согласно разработанным ранее методикам [9, 13], показатель прочности P (Н) измеряли при статическом сжатии [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тестовые испытания, проведенные при выращивании монокристаллов алмаза с использованием разработанной ростовой ячейки, позволили получить

образцы монокристаллов алмаза размером 1–2 мм различного структурного совершенства.

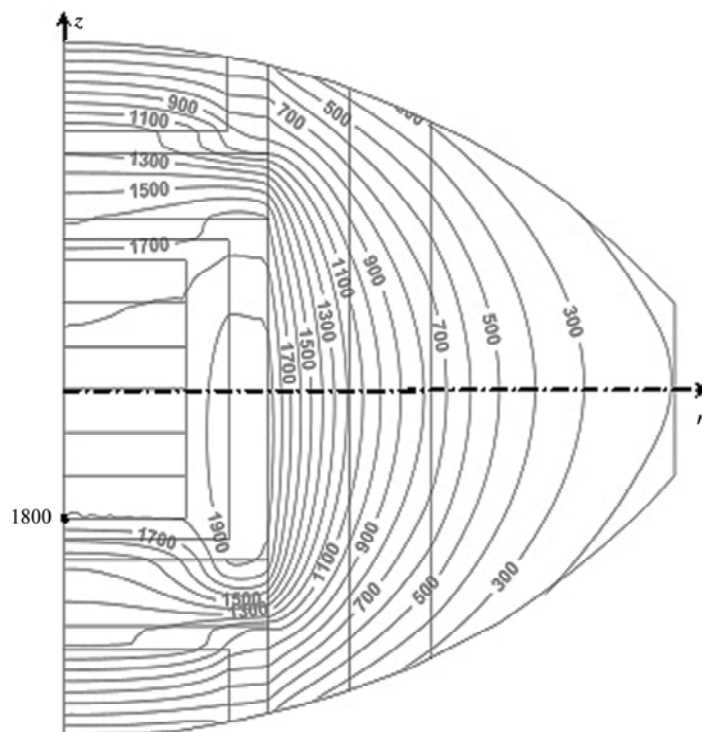


Рис. 1. Расчет распределения температуры для сборки контейнера и ростовой ячейки для АД типа “тороид” ТС40.

Раствор-расплавная кристаллизация монокристаллов алмаза выполнена с использованием растворителей на основе сплавов Fe–Co. Исследования спонтанной кристаллизации с использованием послойного расположения прессованных мелкодисперсных смесей графита и растворителя Fe–Co показали возможность выращивания монокристаллы алмаза различного структурного совершенства размером до 2 мм при температурах 1400–1500 °С. Для всех составов растворителя кристаллы при температуре выращивания 1460 °С имели кубооктаэдрический габитус и наилучшее структурное совершенство с минимальным количеством включений. Увеличение температуры до 1495 °С и выше приводит к увеличению скорости роста и захвату большего количества включений растворителя, а также увеличению развития граней октаэдра с соответствующим уменьшением развития граней куба. Однако даже при температуре 1560 °С в монокристаллах присутствуют сектора роста (100), составляющие ~ 3–5 % развития граней куба. Полученное экспериментально алмазное сырье содержало высококачественные структурно совершенные монокристаллы алмаза с отсутствием видимых включений при рассмотрении в оптическом микроскопе с увеличением $\times 56$. Их количество составляло ~ 10–15 % от общей массы сырья.

Шлифпорошки алмаза с однородными по размеру частицами получали методом стимулированного зародышеобразования. Для инициации гетерофазного образования зародышей применяли добавки мелкодисперсных материалов, которые располагались на границе контакта графита и растворителя.

Таковыми добавками были алмазные микропорошки, гексагональный нитрид бора, карбид бора и карбид кремния с размером частиц от 10 до 200 мкм. Было исследовано влияние плотности зародышеобразования на выход алмазов зернистостью 1600/1250 (~ 50 шт./карат) при использовании лабораторного технологического процесса.

Оптимизированные величины давления, температуры, продолжительности цикла выращивания позволяют получать структурно совершенные образцы монокристаллов алмаза с наибольшим выходом среднепрочной фракции. Выход высокопрочной и низкопрочной фракций соответственно в ~ 2 и ~ 4 раза меньше выхода среднепрочной фракции. Для всех фракций проведена классификация по форме, шероховатости граней и магнитной восприимчивости с целью разделения кристаллов с различным уровнем включений растворителя и, соответственно, разным структурным совершенством. Для дальнейшего применения в буровом инструменте были использованы только образцы с минимальным количеством включений и совершенной огранкой кубооктаэдрического габитуса.

Результаты измерений и расчетов физико-механических характеристик монокристаллов зернистостью 1600/1250 приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики монокристаллов алмаза зернистостью 1600/1250 в исходном состоянии при комнатной температуре и после термической обработки при температуре 1150 °С в токе аргона

Монокристалл	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$		$P, \text{ Н}$		K_{TC}
	исходная	после термообработки	исходная	после термообработки	
1	0	5,3	1630	1300	0,80
2	0	4,7	2160	1250	0,58
3	0	4,8	820	910	1,11
4	80,1	74,2	1800	480	0,27
5	52,9	60,9	2050	560	0,27
6	3,6	4,9	1740	740	0,43
7	32,0	46,9	1900	840	0,44
8	72,5	110,7	650	800	1,23
9	31,5	45,6	750	~ 0	–
10	5,0	6,9	1850	1250	0,68
			Среднее значение		
	25,0	36,5	1535	863	0,56

Физико-механические характеристики монокристаллов алмаза в исходном состоянии при комнатной температуре и после высокотемпературной обработки значительно отличаются от их средних значений (см. табл. 1). После термической обработки предел прочности на сжатие монокристаллов алмаза снижается, средний коэффициент термостабильности составляет 0,56. Термическая обработка при температуре 1150 °С приводит к повышению удельной магнитной восприимчивости всех монокристаллов. Результаты анализа магнитных и прочностных характеристик отдельных кристаллов (см. табл. 1),

показывают, что кристаллы с высокой удельной магнитной восприимчивостью (4, 5, 8 и 9) имеют прочность и коэффициент термостабильности ниже среднего значения.

Опыт применения в ИСМ НАН Украины технологии изготовления буровых коронок методом инфильтрации в газозащитной среде свидетельствует, что потеря более чем 50 % исходной прочности синтетических алмазов при спекании алмазосодержащей матрицы коронки при температуре 1150 °С обычно приводит в дальнейшем к аномальному износу коронки. Поэтому для улучшения эффективности работы бурового инструмента целесообразно использовать алмазы, диапазон значений коэффициента термостабильности которых составляет $0,4 \leq K_{ТС} \leq 1,1$.

Согласно такому условию монокристаллы алмаза 4, 5, 8 и 9 (см. табл. 1) с высокими магнитными и низкими прочностными характеристиками не следует применять при изготовлении буровых коронок.

В табл. 2 приведены физико-механические характеристики монокристаллов алмаза отвечающих условиям эффективно работы буровой коронки.

Таблица 2. Физико-механические характеристики монокристаллов алмаза зернистостью 1600/1250 при $0,4 \leq K_{ТС} \leq 1,1$

$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$		$P, \text{ Н}$		$K_{ТС}$
исходная	после термообработки	исходная	после термообработки	
0	4,7	2160	1250	0,58
0	4,8	820	910	1,11
3,6	4,9	1740	740	0,43
0	5,3	1630	1300	0,80
5,0	6,9	1850	1250	0,68
32,0	46,9	1900	840	0,44

Из табл. 2 видно, что выбранному значению $K_{ТС}$ должна соответствовать магнитная восприимчивость $\chi = (0-32) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ в исходном состоянии при комнатной температуре и $\chi = (4,7-47) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ после термообработки при температуре 1150 °С в атмосфере аргона. Такое корреляционное соответствие может служить показателем применимости монокристаллов алмаза для использования их в буровых коронках. Определение величин удельной магнитной восприимчивости можно использовать в качестве теста предварительного контроля термостабильности крупных синтетических алмазов.

Таким образом, для эффективного использования в буровом инструменте монокристаллов алмаза необходимо предварительно определять магнитную восприимчивость каждого кристалла.

Методом стимулированной спонтанной кристаллизации с использованием слоевого расположения прессованных мелкодисперсных смесей графита и растворителя на основе сплава железо–кобальт при давлениях 5,8–6,2 ГПа и температурах 1450–1480 °С были синтезированы монокристаллы алмаза, предназначенные для оснащения бурового инструмента. Шлифпорошки алмаза были выделены из продуктов синтеза путем химической обработки, сортировки и классификации сырья, полученного при высоких давлениях и температурах. Общий выход монокристаллов размером 1000–1600 мкм составлял ~ 70 % общей массы алмазного продукта. Выход отсортированных кристаллов зернистости 1600/1250 составил ~ 50 %. Для дальнейшей работы

эти кристаллы с помощью классификационного вибростола дополнительно разделили на две партии по форме (обозначенные I и II). Габитус обеих партий можно характеризовать как кубооктаэдрический, однако степень площадного развития граней куба и октаэдра для монокристаллов партии I составляла по ~ 50 %, в то время как для партии II степень развития граней октаэдра была не менее 80 %.

Монокристаллы алмаза I и II партий были разделены в магнитном поле на четыре и три фракции соответственно, для каждой из которых определяли массовый и процентный выход кристаллов алмаза, измеряли их удельную магнитную восприимчивость и рассчитывали однородность по магнитным свойствам [13, 7]. Коэффициент однородности порошка по магнитным свойствам K_χ оценивали по содержанию зерен с удельной магнитной восприимчивостью, соответствующей χ исходного порошка. Сущность метода заключается в оценке магнитных характеристик порошков сверхтвердых материалов (СТМ) определенной зернистости по их удельной магнитной восприимчивости. Метод позволяет производить расчет среднего значения удельной магнитной восприимчивости χ , проводить анализ состава порошка СТМ по χ , оценивать однородность этого порошка СТМ по χ и прогнозировать возможность разделение исходного порошка на несколько фракций с различными значениями удельной магнитной восприимчивости.

Результаты разделения монокристаллов алмаза партий I и II приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Результаты разделения монокристаллов алмаза партии I в магнитном поле

Фракция	Выход		$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$K_\chi, \%$
	карат	%		
1	1,955	7,8	327,1	43,0
2	4,2115	16,8	125,2	58,0
3	5,0075	20,0	40,4	61,0
4 (немагнитная)	13,854	55,4	6,0	68,1
Исходная	25,028	100,0	57,9	20,0

Как следует из данных табл. 3, монокристаллы алмазов партии I ($\chi = 57,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) были разделены в магнитном поле на четыре фракции, удельная магнитная восприимчивость которых сильно отличается – для фракций 1 и 4 приблизительно в 50 раз, при этом однородность по магнитным свойствам в сравнении с исходным сырьем повышается в 2,15–3,4 раза.

Таблица 4. Результаты разделения монокристаллов алмаза партии II в магнитном поле

Фракция	Выход		$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$K_\chi, \%$
	карат	%		
1	0,662	2,7	53,2	61,1
2	5,022	20,0	19,6	65,3
3 (немагнитная)	19,326	77,3	0,31	79,4
Исходная	25,010	100,00	5,6	47,3

Для партии II ($\chi = 5,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) удельная магнитная восприимчивость фракций 1 и 3 отличается более чем в 170 раз (см. табл. 4), а однородность по магнитным свойствам в сравнении с исходным сырьем повышается в 1,3 раза.

На основании анализа результатов измерения удельной магнитной восприимчивости монокристаллов алмаза удаляли кристаллы с высоким значением удельной магнитной восприимчивости (фракция 1), после чего рассчитывали выход и удельную магнитную восприимчивость оставшихся монокристаллов алмаза.

Из полученных данных следует, что удаление кристаллов с высокой удельной магнитной восприимчивостью существенно повышает однородность по магнитным свойствам алмазов партий I и II (при этом более однородными по магнитным свойствам являются алмаза партии II).

Следует отметить, что алмазы партии I с большей степенью развития граней куба, в силу особенностей секторов роста (100), по-видимому, захватывают большее количество микровключений растворителя. Поэтому магнитная восприимчивость кристаллов этой партии, характеризующая, по сути, общее содержание микровключений в кристаллах, имеет большее значение. Монокристаллы партии I менее однородны по магнитным свойствам, поэтому становятся более дефектными при термической обработке и не могут применяться для оснащения бурового инструмента.

В соответствии с оптимизированными значениями параметров, обеспечивающих заданные условия выращивания структурно совершенных высокопрочных термостойких монокристаллов алмаза размером 1–2 мм, изготовлена опытная партия шлифпорошка алмаза для испытаний в буровом инструменте. В результате классификации по размеру и сортировке по форме, степени структурного совершенства граней и содержанию металлических включений (магнитной сепарации) из полученного сырья были выделены монокристаллы алмазов зернистости 1600/1250, которые магнитной сепарацией были разделены в зависимости от содержания металлических включений, и после удаления кристаллов с высокой удельной магнитной восприимчивостью получены монокристаллы со значениями коэффициента однородности по магнитным свойствам $K_\chi = 70\text{--}80\%$.

Характеристика свойств монокристаллов алмаза зернистостей 1600/1250 и их масса приведены в табл. 5.

Таблица 5. Свойства монокристаллов алмаза зернистостью 1600/1250 (опытная партии для изготовления буровых коронок)

Зернистость	Масса, карат	P, H		K _{ТС} , %	χ , $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	K _χ , %
		исходная	после термообработки			
1600/1250	560	1535	863	56	25,0	74,0

После разработки технологического процесса получения крупных монокристаллов синтетического алмаза зернистостью 1600/1250, способных по своим физико-механическим свойствам эффективно разрушать горную породу, была создана конструкция буровой коронки, оснащенной такими монокристаллами.

При разработке конструкции буровой коронки применяли компьютерные модели различных процессов, протекающих при взаимодействии алмазных

резцов с горной породой на забое скважины. При этом каждый алмаз коронки при взаимодействии с горной породой может быть рассмотрен как отдельный элемент единой системы, в которой происходят взаимосвязанные механические, тепловые и гидравлические процессы.

Буровые коронки, оснащенные монокристаллическими синтетическими алмазами, разрабатывали на основании комплекса исследований, в процессе которых определяли:

нагрузки, действующие на каждый алмаз при взаимодействии коронки с породой;

механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе коронки с учетом действующей осевой нагрузки и крутящего момента;

поле скоростей жидкости при промывке забоя с учетом вращения коронки;

температуру на контакте алмазов с породой и температурное поле в теле коронки с учетом циркуляции промывочной жидкости на забое скважины.

Установлено, что алмазы в секторах буровой коронки должны отличаться по качеству в зависимости от типа раскладки и своего расположения в секторе. В первом рабочем ряду сектора коронки всегда нужно использовать более прочные алмазы, а для последующих рядов возможно использование алмазов меньшей прочности. В этом случае обеспечивается рациональное использование алмазного сырья при сохранении качества работы коронки. Верхний предел осевой нагрузки на коронку определяется значением разрушающей нагрузки менее прочных алмазов, т. е. алмазов, расположенных в последнем радиальном ряду сектора буровой коронки.

Для исследования температурных процессов на контакте алмазов с породой на забое скважины было проведено моделирование тепловых и гидравлических процессов, протекающих при бурении на забое скважины. Результаты моделирования показали, что алмазы первых радиальных рядов многорядных секторов буровой коронки сильнее омываются промывочной жидкостью, которая поступает в промывочный канал, и, следовательно, охлаждаются лучше, чем более отдаленные от промывочного канала алмазы вторых радиальных рядов. Поэтому алмазы второго радиального ряда каждого сектора буровой коронки подвергаются наибольшему нагреву и износу и при прочих равных условиях первыми будут выходить из строя.

Следовательно, в буровых коронках с многорядными секторами целесообразно в первых двух радиальных рядах сектора использовать более прочные алмазы, причем наиболее термостойкими должны быть алмазы второго ряда.

На основании выполненных исследований разработана конструкция однослойной коронки БСО-1 диаметром 93 мм, оснащенная термостойкими монокристаллическими синтетическими алмазами с размером зерна 1600/1250 (рис. 2). Рабочая часть буровой коронки состоит из 12 секторов, которые разделены прямыми промывочными окнами длиной 8 мм, с четырьмя радиальными рядами алмазов. Особенностью конструкции данной коронки является оснащение радиальных рядов ее рабочего торца алмазными зернами различной прочности, т. е. прочность алмазных зерен понижается от первого к последнему ряду сектора.

Для коронки методом конечных элементов дополнительно определяли механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе с учетом действующей осевой нагрузки и крутящего момента, что позволило оценить ее прочность при различных режимах бурения.



Рис. 2. Опытный образец коронки БСО-1.

Опытные образцы разработанной коронки БСО-1 диаметром 93 мм были испытаны в производственных условиях. Испытания проводили при бурении скважин установкой УКБ-4С в породах VII-IX категории по буримости с использованием одинарного колонкового снаряда. Результаты сравнительных испытаний однослойных коронок БСО-1 и однослойных 01А3 приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты испытаний буровых коронок типа БСО-1 и 01А3

Тип коронки	Количество, шт.	Средние показатели бурения	
		механическая скорость, м/ч	проходка на коронку, м
БСО-1	5	2,5	15,4
01А3	5	1,5	9,4

Как видно из табл. 6, по сравнению с серийно выпускаемой коронкой 01А3, оснащенной крупными природными алмазами, коронка БСО-1 обеспечила повышение механической скорости бурения в 1,67 раза. Проходка на коронку также увеличилась в 1,64 раза.

Полученные результаты подтвердили возможность использования различного по прочности алмазного сырья в рабочем секторе матрицы буровой коронки, что позволяет оптимизировать расход монокристаллов разных групп прочности при изготовлении инструмента [15].

ВЫВОДЫ

Разработан технологический процесс изготовления крупных монокристаллических синтетических алмазов с оптимизированными величинами давления, температуры и продолжительности цикла выращивания, позволяющий получать структурно совершенные монокристаллы алмаза с наибольшим выходом среднепрочной фракции. Выход высокопрочной и низкопрочной фракций соответственно в ~ 2 и ~ 4 раза меньше выхода среднепрочной фракции.

Установлено, что для использования в буровых коронках алмазы должны иметь высокие коэффициенты термостабильности ($K_{ТС} > 50\%$) и однородности по магнитным свойствам ($K_{\chi} > 60\text{--}70\%$). Определение удельной магнитной восприимчивости можно использовать в качестве теста предварительного контроля термостабильности крупных синтетических алмазов.

Установлено, что алмазы в каждом секторе буровой коронки должны отличаться по качеству в зависимости от типа раскладки и своего расположения в секторе. В первом рабочем ряду сектора всегда нужно использовать более прочные алмазы, а для последующих рядов возможно использование алмазов меньшей прочности. В этом случае обеспечивается рациональное использование алмазного сырья при сохранении качества работы буровой коронки.

Разработана конструкция буровой коронки БСО-1 диаметром 93 мм, оснащенная крупными монокристаллическими синтетическими алмазами, применение которой при бурении скважин в породах средней твердости позволило повысить механическую скорость бурения и проходку соответственно в 1,7 и 1,6 раза по сравнению с серийным инструментом.

Досліджено технологію вирощування і отримано крупні монокристалічні синтетичні алмази, що мають високу міцність, однорідність за міцністю і термостійкість. Розроблено конструкцію бурової коронки, оснащеної такими монокристалами алмазу. Наведені результати виробничих випробувань дослідних бурових коронок.

Ключові слова: монокристали, синтетичні алмази, міцність, термостабільність, питома магнітна сприйнятливність, одношарові алмазні бурові коронки, механічна швидкість буріння.

The results of studies on the of large single-crystal synthetic diamond growing with high strength, uniformity in strength and heat resistance. The design of the drill bit, equipped with a large single crystal synthetic diamonds. The results of industrial tests of experimental drill bits.

Keywords: single crystals, synthetic diamonds strength, thermal stability, magnetic susceptibility, single-layer diamond drill bits, mechanical drilling speed.

1. *Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Моногр. / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора и др. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.*
2. Федосеев Д. В., Дерягин Б. В. О нуклеации алмаза // Докл. АН СССР. – 1978. – **238**. – С. 91–94.
3. Wang S., Lu H., Ma F., Mu Y. Heterogeneous nucleation of diamond under high static pressure and high temperature // J. Crystal Growth. – 1996. – **162**. – P. 69–72.
4. *Физические свойства алмаза: Справ. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 85–89.*
5. Чепуров А. И., Федоров И. И., Сонин В. М. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 196 с.
6. Ильницкая 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.
7. Богатырева Г. П., Крук В. Б., Невструев Г. Ф. и др. О связи между содержанием включений в синтетических алмазах и их магнитными свойствами // Синтет. алмазы. – 1977. – Вып. 6. – С. 14–19.
8. Писаренко Г. С., Лебедев А. И. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наук. думка, 1976. – 412 с.
9. *М88 України 26.8-299:2010. Методика определения коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.*
10. Новиков Н. В., Богатырева Г. П., Ильницкая Г. Д. и др. Повышение износостойкости бурового инструмента, оснащенного синтетическими алмазами // Сверхтв. материалы. – 2009. – № 1 – С. 83–92.

11. *Lyeshchuk O.* Computational modelling of superhard materials synthesis // *Comp. Mater. Sci.* – 2010. – **49**, N 1S. – P. 85–94.
12. *Lyeshchuk O. O., Polotniak S. B., Novikov M. V.* Thermomechanical approach to the modelling of HP–HT material processing // *Int. Conf. “High Pressure Effects on Materials”*, Kyiv, ISM NASU, June 28–July 1, 2011: *Abstr’s & Prst’s.* – Kyiv: EPC ALCON, 2012. – P. 213–228.
13. *М88 Украины 90.256–2004.* Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
14. *ДСТУ 3292–95.* Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – Введ. 01.01.97.
15. *Каракозов А. А., Попова М. С., Парфенюк С. Н. и др.* Моделирование работы алмазных резцов однослойных коронок на забое и оценка влияния схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения // *Наукові праці ДонНТУ. Серія “Гірничо-геологічна”.* – 2012. – Вип. 16 (206). – С. 162–166.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины
Донецкий национальный технический ун-т

Поступила 08.08.14