

УДК 622.23.051.7

А. П. Закора¹, Р. К. Богданов¹, А. А. Каракозов², Г. Д. Ильницкая¹, кандидаты технических наук; **М. С. Попова²; С. А. Ивахненко¹**, чл.-корр. НАН Украины; **О. А. Заневский¹**, канд. хим. наук; **М. В. Супрун, Ю. П. Ущатовский, Е. М. Супрун¹**

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

²*Донецкий национальный технический университет, Украина*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БУРОВОЙ КОРОНКИ С КРУПНЫМИ СИНТЕТИЧЕСКИМИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ АЛМАЗАМИ

Показано, что разработанные в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины монокристаллические синтетические алмазы размером более 1000 мкм можно успешно использовать для оснащения бурового инструмента. Разработаны конструкция буровой коронки и схема оснащения ее рабочего торца крупными синтетическими алмазами. Приведены результаты лабораторных испытаний работоспособности опытных буровых коронок.

Ключевые слова: *синтетические алмазы, нагрузка, удельная магнитная восприимчивость, прочность, однослойные алмазные буровые коронки.*

Из всех видов алмазного инструмента, используемого в различных отраслях промышленности, алмазная буровая коронка работает в наиболее тяжелых условиях. Это обусловлено неоднородностью свойств разбуриваемых горных пород, наличием сложного сочетания знакопеременных нагрузок, характер которых в условиях забоя скважин мало изучен, и отсутствием постоянного визуального или другого вида контроля за состоянием алмазов в матрице коронки. В этой связи выбор качества алмазов и схемы его размещения в матрице буровой коронки существенно влияет на ее работоспособность.

В настоящей работе рассматриваются вопросы исследования и разработки конструкции буровой коронки, оснащенной крупными термостойкими синтетическими алмазами (СА) зернистостью 1600/1250 мкм.

При проектировании нового бурового инструмента была разработана и применена методика, позволяющая осуществлять сравнительную оценку различных раскладок алмазов

как относительно разрушения породы на забое скважины, так и нагружения каждого из алмазов при бурении.

Ранее нами была предложена и реализована расчетная модель, позволяющая определять углубку коронки при ее движении по забою, а также расчетные силы сопротивления породы, действующие на каждый алмаз, в зависимости от раскладки алмазов и ее конструктивных параметров [1].

Исследуемые схемы раскладки подразделяются на два типа по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: первый – алмазы находятся на разных линиях резания; второй – алмазы находятся на одних линиях резания.

Результаты аналитических исследований показали, что нагрузка на алмазы в секторе и линиях резания распределяется неравномерно и зависит от схемы размещения алмазов. Наибольшим нагрузкам подвержены алмазы первого рабочего ряда [2].

Следует отметить, что равномерная нагрузка на все алмазы наблюдается только в случае размещения в секторе одного рабочего ряда. Толщина снимаемого слоя породы любым монокристаллом в таких коронках всегда одинакова. Таким образом, эти коронки имеют значительный резерв увеличения осевой нагрузки, что позволяет существенно повысить механическую скорость бурения.

Для коронок с несколькими рабочими рядами в секторе наиболее рациональной конструкцией с позиций обеспечения максимума механической скорости бурения при меньшей нагруженности алмазов является коронка с раскладкой типа I. При такой раскладке алмазы первого рабочего ряда сектора нагружены равномерно. Однако эта нагрузка не менее чем в 2 раза превышает нагрузку, действующую на алмазы последующих рядов со стороны породы. Для раскладки типа II характерно неравномерное распределение нагрузки на алмазы первого рабочего ряда. Максимальная нагрузка приходится на алмазы второго радиального ряда и превышает нагрузку на алмазы третьего и последующих радиальных рядов более чем в 3 раза (по сравнению с раскладкой типа I этот показатель больше примерно на 25%). В свою очередь, неравномерность распределения нагрузки приводит к неравномерному износу алмазов и как следствие аварийной работе коронки.

Результаты исследования магнитных и механических свойств синтетических монокристаллов в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины показали, что они изменяются после высокотемпературной обработки (табл. 1).

Таблица 1. Прочностные характеристики монокристаллов зернистостью 1600/1250 мкм

Номер партии монокристаллов	Прочность $P, Н$	
	исходная	после термообработки
1	1630	1300
2	2160	1250
3	1900	840
4	1740	740

При этом отмечалась обратная корреляционная зависимость удельной магнитной восприимчивости от показателя прочности и коэффициента термостабильности СА, т. е. чем ниже удельная магнитная восприимчивость, тем выше прочность и коэффициент термостабильности используемых зерен СА [3].

С учетом этого при разработке конструкции рабочего торца однослойной буровой коронки целесообразно использовать алмазы с различной магнитной восприимчивостью. В первом рабочем ряду сектора однослойной алмазной коронки необходимо использовать алмазы из партии с меньшей магнитной восприимчивостью, т. е. более прочные, а для последующих рядов – алмазы с большей магнитной восприимчивостью. Таким образом, будет

обеспечиваться не только рациональное использование алмазного сырья, но и эффективность работы коронки.

В зависимости от допустимой нагрузки на алмазы различных радиальных рядов, предложены варианты раскладок синтетических алмазов на торце коронок, различающиеся количеством радиальных рядов (табл. 2).

При расчетах работы коронки диаметром 59 мм принимали осевую нагрузку на единственный алмаз, равную 10% разрушающего усилия, приведенного в табл. 1.

Анализ полученных результатов показал, что при армировании коронки алмазами одной партии наибольшей прочностью увеличивается диапазон регулирования осевой нагрузки на коронку и как следствие возможность повышения механической скорости бурения в 1,6–1,8 раза по сравнению с коронками, армированными менее прочными алмазами. Однако при этом увеличивается расход более качественных алмазов и стоимость коронки. В то же время использование менее прочных алмазов в раскладке позволяет рациональнее использовать алмазное сырье. Такие коронки обеспечивают лучшие показатели работы по сравнению с известными серийно выпускаемыми коронками.

Для оценки работоспособности предложенной схемы оснащения рабочего торца алмазной коронки в лабораторных условиях изготовили опытную буровую коронку диаметром 59 мм, оснащенную СА зернистостью 1600/1250 мкм. В качестве базы сравнения приняли серийные импрегнированные буровые коронки типа БС06 диаметром 59 мм, оснащенные только синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм. Испытания проводили при следующих режимах бурения:

- частота вращения 400 мин^{-1} ;
- осевая нагрузка 500–1000 даН;

Опытное бурение выполняли по диориту VIII категории буримости.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Как видно из данных табл. 3, механическая скорость бурения однослойными коронками в 1,4–1,8 раза превышает аналогичный показатель импрегнированных коронок, что свидетельствует о более эффективном разрушении породы средней крепости коронками, оснащенными СА зернистостью 1600/1250 мкм.

С учетом полученных данных разработали конструкцию однослойной буровой коронки диаметром 93 мм, оснащенной термостойкими монокристаллическими алмазами зернистостью 1600/1250 мкм и предназначенной для бурения пород

средней крепости. Особенность конструкции этой коронки состоит в оснащении радиальных рядов ее рабочего торца алмазными зернами различной прочности, т. е. начиная с первого ряда (по набегающей части сектора) по последний прочность алмазных зерен снижается. Для этого предварительно сортировали используемые алмазные зерна на партии с соответствующими значениями магнитной восприимчивости (рис. 1).

Для оценки эффективности удаления шлама из-под торца разработанной конструкции буровой коронки составили расчетную модель и осуществили исследования по установлению объема разрушенной породы при бурении.

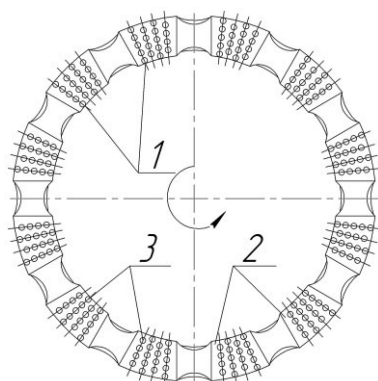


Рис. 1. Схема оснащения рабочего торца однослойной алмазной коронки диаметром 93 мм: 1 – алмазные зерна; 2 – сектора матрицы; 3 – радиальные ряды

Таблица 2. Сравнительная характеристика однослойных коронок диаметром 59 мм с разным количеством секторов

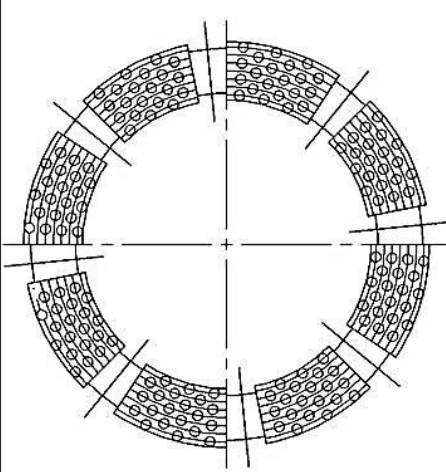
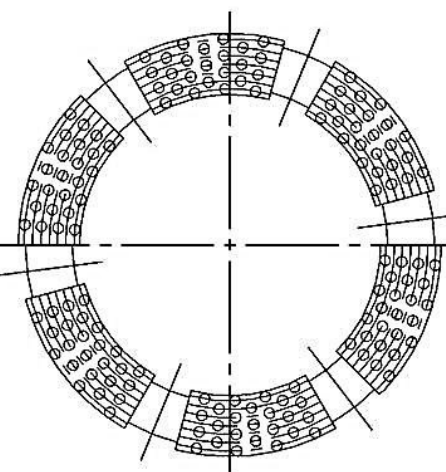
Конструкция коронки	Количество секторов	Количество алмазов	Количество радиальных рядов	Номер партии алмазов радиального ряда							Нагрузка на единственный алмаз, Н	Углубка за оборот H_c , мм	Осевая нагрузка на коронку, кН		
				1	2	3	4	5	6	7					
	8	168	6	1	1	1	1	1	1	1	1	130	0,43	21,8	
				1	1	2	2	2	2	2	2	2	125	0,42	21
				1	1	3	3	3	3	3	3	3	84	0,26	14,11
				1	1	4	4	4	4	4	4	4	74	0,24	12,43
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	130	0,37	19,5
				2	2	3	3	3	3	3	3	3	84	0,23	12,6
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1
	6	150	7	1	1	1	1	1	1	1	1	130	0,37	19,5	
				2	2	3	3	3	3	3	3	84	0,23	12,6	
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	130	0,37	19,5
				2	2	3	3	3	3	3	3	3	84	0,23	12,6
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1
				2	2	4	4	4	4	4	4	4	74	0,21	11,1

Таблица 3. Результаты сравнительных лабораторных испытаний буровых коронок

Тип коронки	Зернистость алмазов в коронке, мкм	Параметры режима бурения		Механическая скорость бурения $V_{\text{мех}}$, м/ч
		Частота вращения n , мин ⁻¹	Осевая нагрузка P , даН	
Однослойная	1600/1250	400	500	2,9
			750	5,0
			1000	6,0
Импрегнированная	315/250	400	500	2,1
			750	2,6
			1000	3,3

Суть модели состоит в следующем. Считаем, что на коронку действует осевая нагрузка $P_{\text{ос}}$. В исходном (статическом) положении эта нагрузка распределяется равномерно на каждый алмаз ($P_a = P_{\text{ос}}/n_k$, где n_k – количество алмазов в коронке). Положение каждого алмаза во время работы коронки определяется углом ее поворота φ и углубкой коронки z . Каждая линия резания коронки дополнительно характеризуется координатами поверхности забоя $y(\varphi)$ в каждой определенной точке (рис. 2). В этом случае толщина слоя породы, срезаемая алмазом в конкретной точке забоя при определенном положении коронки (рис. 2, б)

$$h_i = z - y_i, \quad (1)$$

где y_i – координата поверхности забоя перед конкретным алмазом.

Исходя из принятого условия неизменности площади внедрения алмазов в забой при постоянной осевой нагрузке имеем соотношение

$$\sum_{i=1}^{n_k} h_i = n_k h_a. \quad (2)$$

где h_a – углубка алмазов коронки в породу при статическом вдавливании (рис. 2, а), зависящая от усилия на алмаз P_a и одинаковая для всех алмазов:

$$h_a = \frac{P_a}{P_{\text{шт}} \pi R}. \quad (3)$$

где $P_{\text{шт}}$ – твердость породы по штампу; R – радиус алмаза.

При вращении коронки происходит ее периодическая углубка на величину Δ . В момент каждого разрушения породы будет выполняться следующее соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i + \Delta) = n_k h_a. \quad (4)$$

где Δ – приращение углубки коронки на каждом акте внедрения в породу.

Из уравнения (4) можно найти значение Δ , соответствующее определенному положению коронки на забое:

$$\Delta = \frac{n_k h_a - \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i)}{n_k} = h_a - \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i). \quad (5)$$

Моделируя движение коронки на забое, для каждого момента времени можно получить значение приращения ее углубки Δ , координату нижнего торца коронки z и координаты поверхности забоя $y(\varphi)$ в любой точке.

На основании предложенной модели составили программу, позволяющую определить толщину слоя породы h_i , срезаемого различными алмазами в конкретной точке забоя при вращении коронки. Толщину слоя породы, который разрушила коронка за оборот (назовем ее углубкой коронки за оборот H_o), программа определяет как сумму Δ_i .

Для выбранной конструкции коронки, показанной на рис. 3, программным моделированием получили, что при нагрузке на алмаз $P_a = 35$ Н углубка за оборот (360°) $H_o = 0,12$ мм.

По известным конструктивным размерам коронки рассчитали объем разрушенной породы при повороте коронки на 360° :

$$V_{ш} = \pi(R^2 - r^2)H_o = \pi(93^2 - 73^2)0,12 = 1251,61 \text{ мм}^3. \quad (7)$$

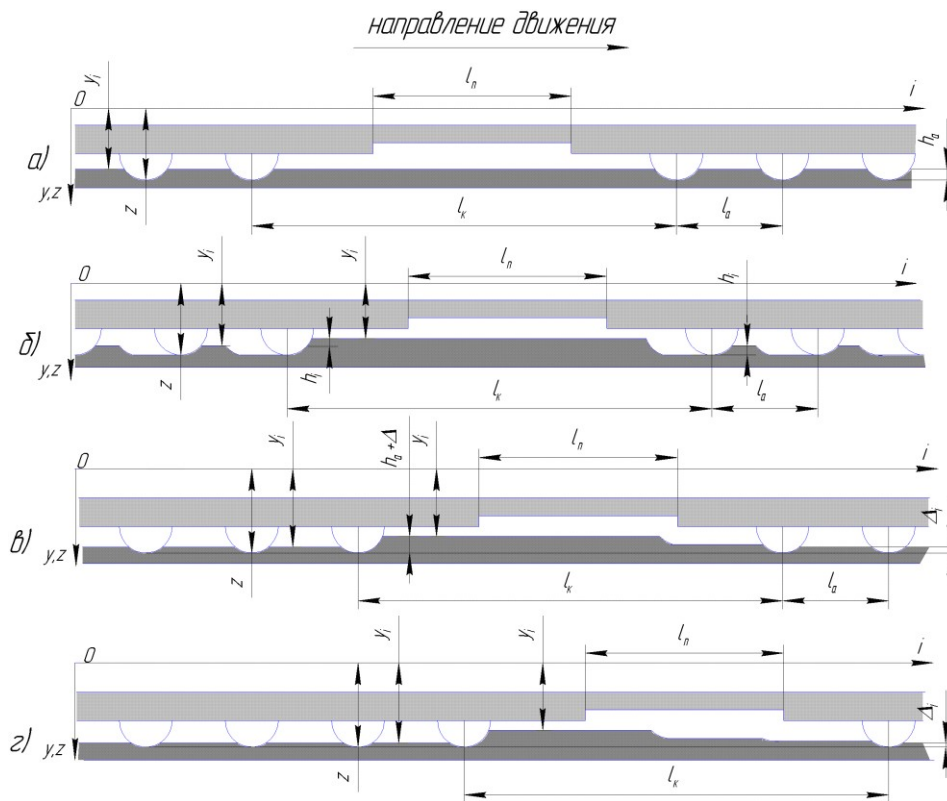


Рис. 2. Схема взаимодействия алмазов коронки одной линии резания с забоем скважины. Углубка алмазов в породе: а – первоначальная; б – при прохождении меньшего расстояния, чем расстояние между алмазами на одной линии резания (l_n); в – после прохождения расстояния l_n ; г – после прохождения расстояния $2l_n$

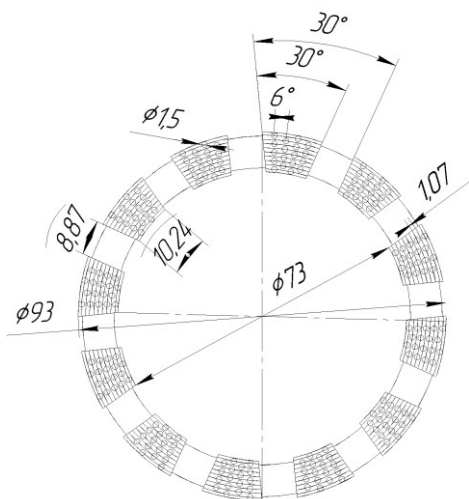


Рис. 3. Конструкция торца исследуемой коронки

По сравнению с импрегнированными коронками однослойные имеют больший выпуск алмазов и поэтому зазор между матрицей и забоем позволяет осуществлять при бурении больший объем выноса шлама из-под сектора коронки. Даже если пренебречь этим, при повороте коронки на угол ограничивающий сектор, т. е. 30° , максимальный объем шлама, который попадет в промывочное окно, составит

$$V_{ш.п.о.} = (30 \cdot 251,61) / 360 = 104,3 \text{ мм}^3. \quad (8)$$

Объем промывочного окна

$$V_{п.о.} = a \cdot b \cdot c = 6 \cdot 10 \cdot 8,85 = 531 \text{ мм}^3, \quad (9)$$

где a – высота промывочного окна; b – его длина; c – его ширина.

Соотнеся объемы шлама $V_{ш.п.о.}$ и полости промывочного окна ($V_{п.о.}$)

($V_{п.о.} = 531 \text{ мм}^3$) $V_{ш.п.о.} = 104,3 \text{ мм}^3$), приходим к выводу, что даже при максимально возможном

скоплении шлама в промывочном окне в случае правильно выбранной подачи промывочной жидкости забой будет очищаться полностью.

Выводы

1. Разработанные в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины термостойкие синтетические монокристаллические алмазы зернистостью 1600/1250 мкм можно успешно применять для оснащения однослойных буровых коронок.

2. При оснащении рабочего торца однослойной алмазной коронки в первом радиальном ряду каждого ее сектора в целях рационального использования алмазного сырья целесообразно использовать алмазы с меньшей магнитной восприимчивостью, т. е. более прочные, а для последующих рядов – с большей магнитной восприимчивостью.

3. При выборе осевой нагрузки на коронку необходимо учитывать разрушающую нагрузку менее прочных алмазов, т. е. алмазов, стоящих в последнем радиальном ряду сектора.

4. Разработанные однослойные коронки с оснащением их СА зернистостью 1600/1250 мкм позволяют повысить механическую скорость бурения в породах средней крепости до 1,8 раза по сравнению с импрегнированными коронками, оснащенными СА зернистостью 315/250 мкм.

Показано, що розроблені в ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України монокристалічні синтетичні алмази розміром понад 1000 мкм можна успішно використовувати для оснащення бурового інструменту. Розроблено конструкцію бурової коронки і схему оснащення її робочого торця великими синтетичними алмазами. Наведено результати лабораторних випробувань працездатності дослідних бурових коронок.

***Ключові слова:** синтетичні алмази, навантаження, питома магнітна сприйнятливість, міцність, одношарові алмазні бурові коронки.*

It is shown that the developed ISM single crystal synthetic diamonds larger than 1000 microns can be successfully used to equip the drilling tool. The design of the drill bit and the circuit equip its working face of large synthetic diamonds. The results of laboratory tests of performance experienced drill bits.

***Key words:** synthetic diamonds, weight, magnetic susceptibility, durability, single-layer diamond drill bits.*

Литература

1. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк, и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 203–206.
2. Исследование и рекомендации по оснащению бурового инструмента крупными синтетическими алмазами / Г. Д. Ильницкая, А. П. Загора, Р. К. Богданов, и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 56–63.
3. Исследование физико-механических характеристик крупных синтетических монокристаллов для бурового инструмента / Н. В. Новиков, А. П. Загора, Г. Д. Ильницкая и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 249–254.

Поступила 0.07.13