

УДК 622.24.051.64

А. А. Каракозов¹, М. С. Попова¹, С. Н. Парфенюк¹, Р. К. Богданов²,
А. П. Загора²

¹ Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна

² Інститут свертвєрдых матеріалов ім. В.Н. Бакуля НАН України, Київ, Україна

Результаты исследований алмазного породоразрушающего инструмента для колонкового бурения скважин на основе синтетических монокристаллов с повышенной термостойкостью

Приведен сравнительный анализ однослойных алмазных коронок с двумя и четырьмя радиальными рядами в секторе, базирующийся на результатах исследований, выполненных при разработке коронок БСО-1, оснащённых синтетическими монокристаллами зернистостью 1600/1250 мкм с повышенной термостойкостью. Показаны конструктивные особенности и преимущества коронок с двухрядной раскладкой алмазов в секторе.

Ключевые слова: анализ, алмазная коронка, раскладка алмазов.

Успехи в области синтеза алмазных монокристаллов с повышенной термостойкостью обеспечили сырьевую базу для создания новых однослойных коронок для бурения геологоразведочных скважин в породах VII-IX категории по буримости.

Следует отметить, что в последние годы этому вопросу уделялось мало внимания, поскольку интенсивно разрабатывались импрегнированные коронки для бурения в более твёрдых породах. Поэтому также замедлилось развитие теоретических разработок, являющихся основой проектирования новых конструкций однослойных коронок.

В то же время использование компьютерного моделирования позволяет более детально анализировать работу коронки на забое скважины по сравнению с использованием известных зависимостей. Авторами был разработан ряд компьютерных моделей, основанных на рассмотрении системы «коронка – забойная часть скважины». При этом каждый алмаз рассматривался как отдельный элемент единой системы, в которой происходят взаимосвязанные механические, тепловые и гидравлические процессы.

Такой подход позволяет выявить преимущества и недостатки той или иной конструкции коронки, поскольку даёт возможность более точно определить ряд параметров, характеризующих протекающие процессы:

- нагрузки, действующие на каждый алмаз при взаимодействии коронки с горной породой;
- механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента;
- поле скоростей жидкости при промывке забоя с учётом вращения коронки;
- температуру на контакте алмазов с породой и температурное поле в алмазе, матрице и теле коронки с учётом циркуляции промывочной жидкости на забое скважины.

Предложенный подход использовался при создании коронок БСО-1 (рис. 1), прошедших предварительные испытания в производственных условиях и показавших лучшие результаты по сравнению с серийными коронками 01А3: повышение механической скорости бурения в 1,67 раза и увеличение проходки на коронку в 1,64 раза.



Рис. 1. Опытный образец коронки БСО-1

Отличительной особенностью коронки БСО-1 является четырёхрядная радиальная раскладка алмазов, что, по сравнению с коронками с большим количеством рядов в секторе, позволяет снизить усилия, действующие на наиболее нагруженные алмазы, и улучшить очистку забоя от шлама, исключая возможность его скопления под сбегавшей частью сектора. При этом минимальные размеры сектора, а, следовательно, и количество радиальных рядов в нем изначально искусственно ограничивались возможностями технологии изготовления коронки. В связи с этим коронка БСО-1 представляет собой некий компромиссный вариант конструкции, испытания которой показали приемлемость используемых расчётных моделей при создании нового породоразрушающего инструмента.

Поэтому были продолжены исследования с целью создания новых эффективных однослойных алмазных коронок. В процессе этих исследований рассматривались только коронки с радиальной раскладкой, которая общепризнано считается наиболее рациональной.

Ещё в процессе работы над коронкой БСО-1, когда исследовалось влияние количества радиальных рядов на протекание забойных процессов, было установлено следующее.

Толщина слоя породы, снимаемая алмазом, зависит от его положения в секторе, количества алмазов и типа их радиальной раскладки в коронке. Нагрузка на алмазы первого и второго радиальных рядов сектора может превышать нагрузку на последующие ряды сектора в 2–5 раз, причем, чем больше рядов в секторе, тем больше эта разница. Для определённых радиальных раскладок нагрузка и на первые два ряда сектора распределяется неравномерно. Одинаковая толщина слоя породы, снимаемого каждым алмазом, характерна только для коронок с двумя радиальными рядами в секторе, при этом толщина снимаемого слоя породы равна углубке алмазов в породу при статическом вдавливании [1–3]. Следовательно, эти коронки имеют значительный резерв увеличения осевой нагрузки и повышения механической скорости бурения. При этом из-за равномерного распределения нагрузок на алмазы можно рассчитывать на их равномерный износ, что также влияет на повышение ресурса коронки.

Неравномерный нагрев алмазов сектора определяется не только забойной мощностью, реализуемой каждым алмазом и зависящей от его положения в секторе, но и особенностями циркуляции жидкости в промывочных каналах коронки и под её торцом. Наибольшая мощность реализуется алмазами первых двух радиальных рядов. Однако алмазы первого радиального ряда многорядного сектора сильнее омываются промывочной жидкостью и, следовательно, охлаждаются лучше, чем более отдаленные от промывочного канала алмазы второго радиального ряда. Поэтому алмазы второго радиального ряда каждого сектора подвергаются наибольшему нагреву и износу, и при прочих равных условиях они первыми будут выходить из строя. Использование в коронке секторов с двумя радиальными рядами позволяет обеспечить контакт алмазов каждого из рядов с жидкостью, движущейся по двум соседним промывочным каналам.

Кроме того, поскольку при большой длине сектора повышается вероятность скапливания шлама под его сбегавшей частью, то с этой точки зрения также желательно уменьшать количество радиальных рядов в секторе коронки. Поэтому уменьшение числа радиальных рядов в секторе до двух вообще исключает эту проблему и способствует более качественной очистке забоя от шлама, в том числе и за счёт увеличения числа промывочных окон.

В связи с этими предпосылками для коронок с четырёхрядными и двухрядными секторами было проведено сравнительное моделирование методом конечных элементов гидравлических и тепловых процессов, некоторые результаты которого приведены в табл. 1 и на рис. 2–3. Моделировались коронки диаметром 93 мм с одинаковым количеством алмазов в коронке – 216.

Таблица 1. Максимальная температура (°C) нагрева алмазов сектора

Количество радиальных рядов в секторе	Подача жидкости, л/мин	Частота вращения, об/мин		
		600	400	200
4	40	579	436	241
	70	513	377	189
2	40	457	132	78
	70	430	114	65

Результаты моделирования подтверждают первоначальные предположения о перспективности использования однослойных алмазных коронок с двумя рядами в секторе. Кроме равномерного распределения нагрузки на алмазные резцы и лучшей очистки забоя от шлама имеется ещё одно преимущество: при равных условиях максимальная температура нагрева алмазов коронки диаметром 93 мм с двумя радиальными рядами в секторе в 1,3-3 раза меньше чем у коронки с четырьмя радиальными рядами (табл. 1). При этом разница температур алмазов разных коронок снижается с ростом частоты вращения, оставаясь, однако, на достаточно существенном уровне (80-120°C). Несмотря на это, коронки с двухрядной раскладкой всё-таки имеют ресурс для форсирования режимов бурения, что позволит повысить механическую скорость проходки скважины.

Отличительной особенностью распределения температур в двухрядной коронке является более выраженный нагрев периферийных алмазов, обусловленный более высокими окружными скоростями резания. В связи с этим, в реальных конструкциях коронок на периферийных линиях резания рекомендуется устанавливать более термостойкие алмазы.

Учитывая возможную перспективность двухрядных коронок для внедрения в практику буровых работ, был проведен анализ их эффективности в зависимости от следующих конструктивных параметров (рис. 4а): расстояния между рядами алмазов (L_p), длины сектора (L_c), длины окна промывочного канала (L_k). В результате проведенных расчётов были определены следующие рациональные соотношения между конструктивными параметрами коронки [4]:

- Длина окна промывочного канала равна расстоянию между рядами алмазов ($L_k=L_p$);
- Длина сектора равна трем длинам окна промывочного канала ($L_c=3L_k$);
- Сумма длин сектора и окна промывочного канала находится в пределах 5-5,5 диаметров объёмных алмазов ($L_c+L_k=5 \div 5,5d_a$).

С использованием этих соотношений были разработаны конструкции алмазных коронок диаметром 59, 76 и 93 мм. Пример объёмной модели алмазной коронки диаметром 59 мм, выполненной в соответствии с приведенными рекомендациями, показан на рис. 4б.

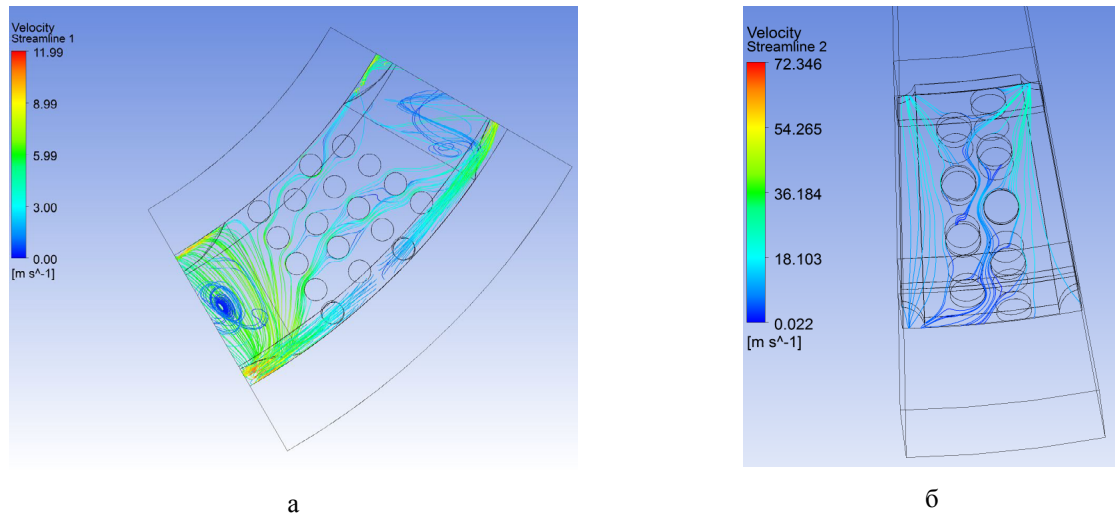


Рис. 2. Результати моделювання течення жидкості на забое: а – для коронки з чотирма радіальними рядами в секторі; б – для коронки з двома радіальними рядами в секторі.

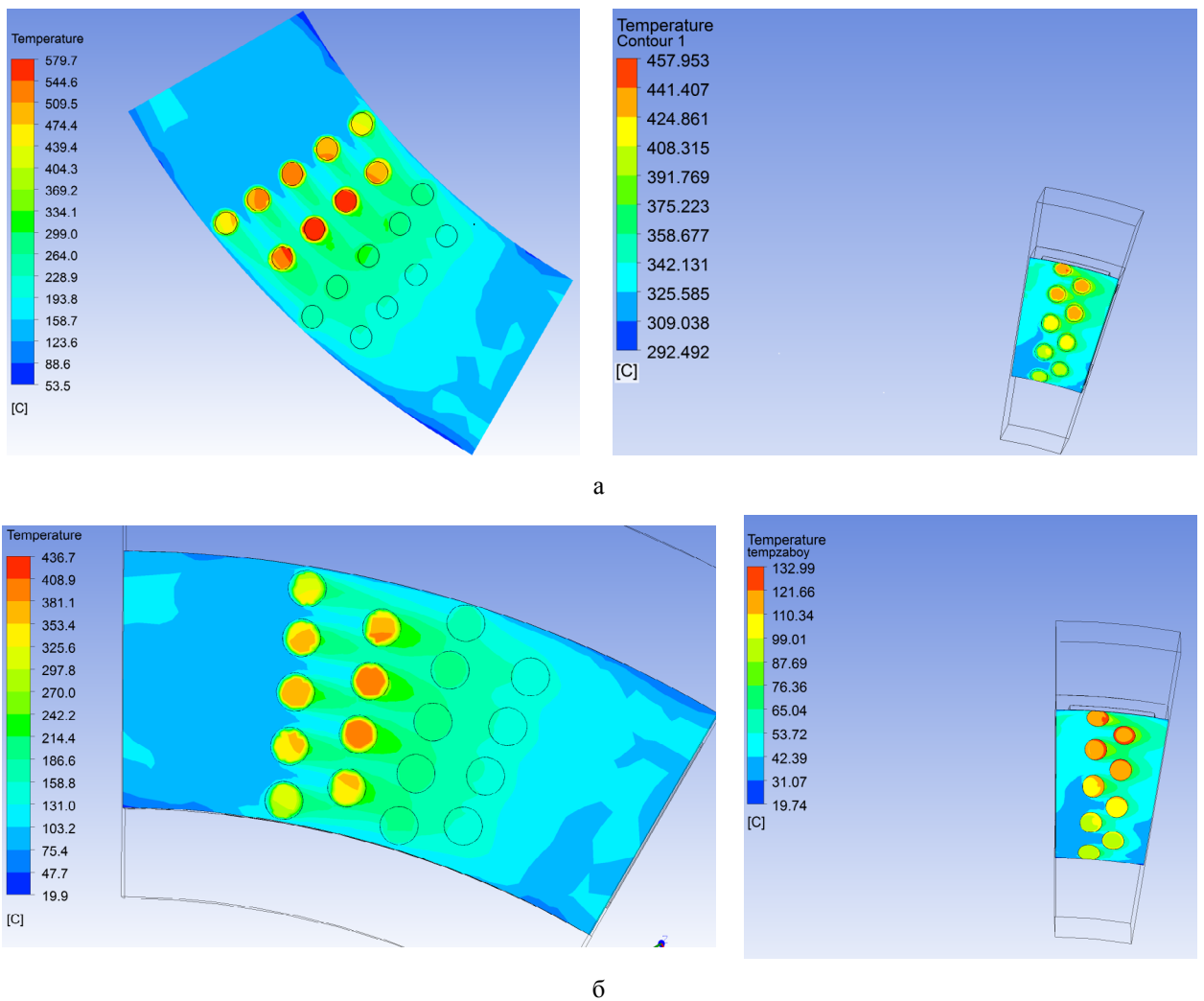


Рисунок 3. Результати моделювання теплових процесів на забое скважини для алмазних коронки з чотирма і двома радіальними рядами в секторі (подача жидкості 70 л/мин) при частоті вращення: а – 600 об/мин; б – 400 об/мин.

Выводы

1. Результаты моделирования тепловых и гидравлических процессов на забое показывают преимущество однослойных алмазных коронок с двумя радиальными рядами в секторе по сравнению с аналогичными многорядными коронками.
2. При равных условиях максимальная температура нагрева алмазов коронки диаметром 93 мм с двумя радиальными рядами в секторе в 1,3-3 раза меньше чем у коронки с четырьмя радиальными рядами, при этом разница максимальных температур алмазов разных коронок снижается с ростом частоты вращения, оставаясь, однако, на достаточно существенном уровне (80-120°C).
3. Определены рациональные соотношения между конструктивными параметрами коронки с двумя радиальными рядами алмазов в секторе, позволившие разработать конструкции коронок диаметром 59, 76 и 93 мм, технико-экономические показатели эксплуатации которых (по теоретической оценке) должны превосходить результаты, полученные для коронки БСО-1.

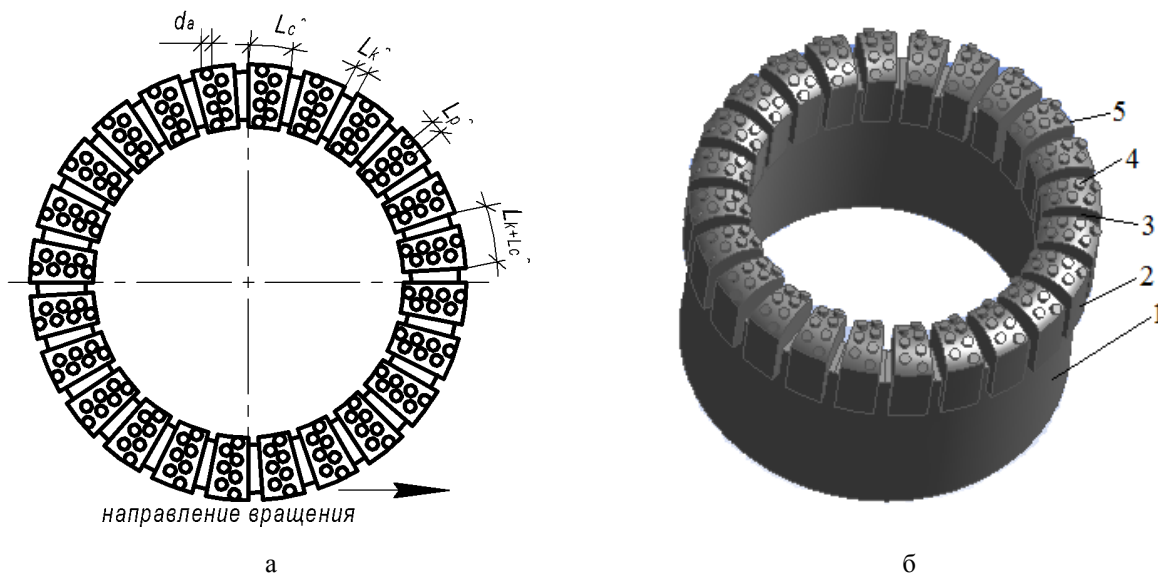


Рис. 4. Алмазная однослойная коронка с двумя радиальными рядами алмазов в секторе: а – конструкция торца коронки; б – объёмная модель коронки диаметром 59 мм (1 – корпус; 2 – матрица; 3 – промывочный канал; 4 – объёмные алмазы; 5 – сектор).

Библиографический список

1. Каракозов А.А. Моделирование работы алмазных резцов однослойных коронок на забое и оценка влияния схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения / А.А. Каракозов, М.С. Попова, С.Н. Парфенюк, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Наукові праці ДонНТУ, серія «Гірничо-геологічна». Випуск 16 (206). – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 162–166.
2. Каракозов А.А. О процессе взаимодействия алмазов с забоем скважины при работе однослойных коронок / А.А. Каракозов, М.С. Попова, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 14. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2011. – С. 78–85.
3. Каракозов А.А. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой / А.А. Каракозов, М.С. Попова, С.Н. Парфенюк, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. науч. тр. – Вып. 15, – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2012. – С. 203–206.
4. Патент на корисну модель 91720 UA, МПК E21B 7/00. Алмазна одношарова бурова коронка [Текст] / Каракозов А.А., Попова М.С., Богданов Р.К., Загора А.П. ; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет. – № u201402067 ; заявл. 28.02.14 ; опуб. 10.07.14, Бюл. № 13. – 3 с. : ил.

Надійшла до редколегії 20.09.14

А. А. Каракозов¹, М. С. Попова¹, С. Н. Парфенюк¹, Р. К. Богданов², А. П. Загора²

¹ Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна

² Інститут сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

Результати досліджень алмазного породорозрушаючого інструменту для колонкового буріння свердловин на основі синтетичних монокристалів з підвищеною термостійкістю

Наведено порівняльний аналіз одношарових алмазних коронок з двома і чотирма радіальними рядами в секторі, який базується на результатах досліджень, виконаних при розробці коронок БСО-1, оснащених синтетичними монокристалами зернистістю 1600/1250 мкм з підвищеною термостійкістю. Показані конструктивні особливості та переваги коронок з дворядною розкладкою алмазів в секторі.

Ключові слова: аналіз, алмазна коронка, розкладка алмазів.

Karakozov A.¹, Popova M.¹, Parfenyuk R.¹, Bogdanov R.², Zakora A.²

¹ Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

² Institute of superhard materials to them. VN Bakul NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The results of studies diamond rock-breaking tool for core drilling based on synthetic single crystals with high thermal stability

A comparative analysis of single-layer diamond crown with two and four radial rows in the sector, based on the results of research carried out in developing crowns SSR-1, equipped with synthetic single crystals grit 1600/1250 mm with high thermal stability. Showing structural features and advantages of the crown with double diamond layout in the sector.

Keywords: analysis, diamond drill bits, diamond layout.