

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 (ДонНТУ), Донецьк, Україна,

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

Создание однослойных алмазных коронок, оснащённых синтетическими монокристаллами

Приведены результаты разработки однослойных алмазных коронок, оснащённых синтетическими монокристаллами с повышенной термостойкостью, синтезированными в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Создание новых коронок основывалось на результатах моделирования тепловых и гидравлических процессов, а также механического нагружения. При моделировании учитывались особенности нагружения отдельных алмазов в секторе коронки при их взаимодействии с горной породой, а также влияние на температурный режим частоты вращения бурового снаряда, интенсивности подачи промывочной жидкости на забой скважины и конструктивных особенностей алмазной коронки. Результаты моделирования положены в основу разработки новых коронок, оснащённых монокристаллами зернистостью 1600/1250 мкм.

Ключевые слова: однослойная алмазная коронка, синтетические алмазные монокристаллы, моделирование работы алмазной коронки, температурный режим алмазной коронки.

Особенность современного экономического развития промышленности заключается в рациональности и интенсификации производственных процессов. Главной проблемой алмазного бурения является недолговечность дорогостоящего породоразрушающего инструмента и ограниченность технологических возможностей. В Институте сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля (ИСМ) Национальной академии наук Украины осуществлен синтез алмазных монокристаллов зернистостью 1600/1250 мкм с повышенной термостойкостью (до 1150 °С). Использование этих монокристаллов в качестве породоразрушающих элементов однослойных коронок позволяют рассчитывать на возможность устранения ряда проблем геологоразведочной отрасли.

Разработку новых коронок необходимо проводить с учётом ряда факторов, определяющихся протеканием различных процессов при взаимодействии алмазных резцов с горной породой на забое скважины. Однако имеющиеся для однослойных алмазных коронок расчётные модели различных процессов были созданы достаточно давно, поэтому в ряде случаев они имеют приближённый характер, но при современном уровне развития компьютерных средств моделирования могут быть уточнены. При этом каждый алмаз коронки при взаимодействии с горной породой может быть рассмотрен как элемент единой системы, в которой моделируются взаимосвязанные механические, тепловые и гидравлические процессы.

В процессе исследований работы однослойной алмазной коронки на забое определяются:

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

При исследовании однослойных коронок с радиальной раскладкой алмазов было выделено две схемы раскладки по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов

сектора: на разных линиях резания (I тип); на одних линиях резания (II тип). Соответствие коронки тому или иному типу определяет характер нагрузок на конкретные алмазы в зависимости от конструкции коронки [1].

Анализ результатов моделирования взаимодействия алмазных резцов с забоем показал, что в процессе бурения алмазы первых двух радиальных рядов (первого рабочего ряда) сектора срезают больший слой породы, чем другие алмазы сектора. При этом более рациональной конструкцией, обеспечивающей повышенную механическую скорость бурения при меньших нагрузках на алмазы, является коронка с раскладкой I типа. При этом алмазы первого и второго радиальных рядов сектора испытывают одинаковое сопротивление со стороны породы, а для коронок II типа характерно неравномерное распределение нагрузки на алмазы этих рядов (повышенные нагрузки на второй радиальный ряд) [1, 2, 3].

Чем больше радиальных рядов в секторе коронки, тем меньше будут задействованы в работе алмазы последних радиальных рядов этого сектора. Неравномерность распределения нагрузки ведет к преждевременному износу части алмазов, расположенных в передней части сектора, что снижает технико-экономические показатели применения данных коронок. Кроме того, при большой длине сектора повышается вероятность накопления шлама под его сбегающей частью. Поэтому следует ограничивать количество радиальных рядов в коронке, при этом в радиальных рядах, расположенных ближе к концу сектора, можно использовать алмазное сырьё, имеющее более низкие прочностные характеристики.

Таким образом, алмазы в секторе могут 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 (табл. 1). 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 стоящих в последнем радиальном ряду сектора.

Таблица 1 – Прочностные характеристики синтетических алмазных монокристаллов зернистостью 1600/1250 мкм, синтезированных в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины

Группа прочности алмазных монокристаллов	Прочность после термообработки, Н
1	1300
2	1250
3	840
4	740

Равномерная нагрузка на все алмазы коронки наблюдается только в случае размещения в каждом секторе двух радиальных рядов (одного рабочего ряда). Тогда толщина снимаемого слоя породы любым монокристаллом в таких коронках будет всегда одинакова.

Результаты моделирования тепловых и гидравлических процессов, протекающих при бурении на забое скважины, показали, что алмазы первых радиальных рядов многорядных секторов сильнее омываются промывочной жидкостью, которая поступает в промывочный канал, и, следовательно, охлаждаются лучше, чем более отдаленные от промывочного канала алмазы вторых радиальных рядов секторов (рис. 1). Алмазы второго радиального ряда каждого сектора подвергаются наибольшему нагреву, и при прочих равных условиях они первыми будут выходить из строя. Следовательно, в коронках с многорядными секторами целесообразно в качестве алмазов первых двух радиальных рядов сектора использовать более прочные алмазы, причем наиболее термостойкими должны быть алмазы второго ряда.

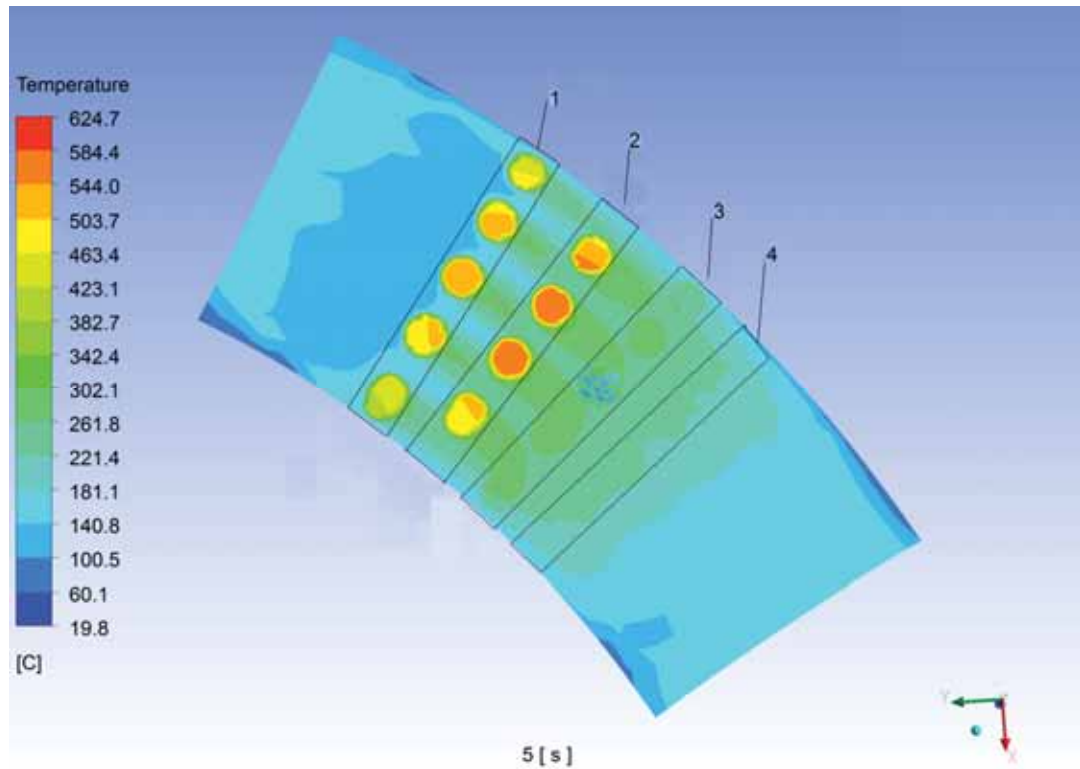
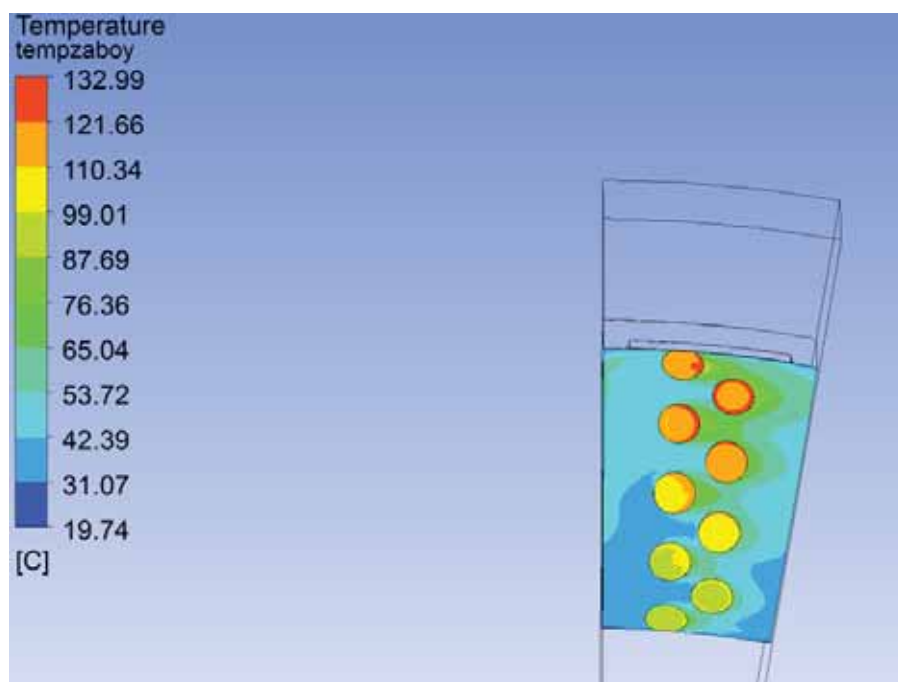


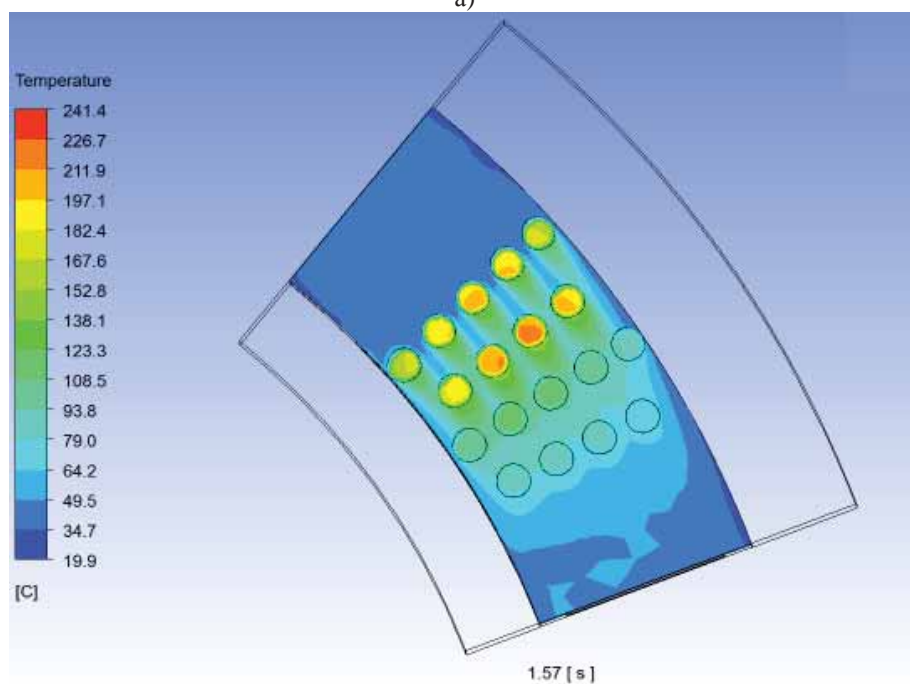
Рисунок 1 – Пример результатов моделирования распространения тепла от контакта алмаза с породой по поверхности забоя (при $P=20\text{кН}$, $n=600$ об/мин): 1 – первый радиальный ряд; 2 – второй радиальный ряд; 3 – третий радиальный ряд; 4 – четвёртый радиальный ряд.

В двухрядных алмазных коронках нагрев алмазов в радиальных рядах практически одинаков, при этом температура алмазов в рядах возрастает по направлению от центра к периферии (рис. 2 а). Охлаждение алмазов промывочной жидкостью осуществляется сильнее по сравнению с многорядными коронками за счет близкого расположения алмазов к промывочным каналам. Нагрев алмазов в коронке с двумя радиальными рядами в секторе при осевой нагрузке $P=20\text{кН}$ и частоте вращения $n=400$ об/мин в 1,5-2 раза меньше (рис. 2 а), чем в коронке с четырьмя радиальными рядами при той же осевой нагрузке и меньшей частоте вращения $n=200$ об/мин (рис. 2 б).

Результаты моделирования показали, что при частоте вращения 600 об/мин и относительно высокой осевой нагрузке на коронку в 20 кН, нагрузка на единичный алмаз составляет порядка 12,5 % от разрушающей нагрузки для монокристалла минимальной прочности (группа №4, табл.1), при этом максимальная температура при моделировании нагревания алмазов в два раза меньше критической (рис. 1). Это свидетельствует о возможности форсирования режимов бурения при использовании разрабатываемых коронок, причем как осевой нагрузки, так и частоты вращения.



а)



б)

Рисунок 2 – Распространение тепла от контакта алмаза с породой по поверхности забоя:

а – сектор с двумя радиальными рядами ($P=20$ кН; $n=400$ об/мин); б – сектор с четырьмя радиальными рядами ($P=20$ кН; $n=200$ об/мин)

Моделирование потоков жидкости в призабойной зоне позволяет определить не только температурный режим коронки, но и даёт возможность оценить эффективность очистки забоя от шлама. Примеры полученных полей скоростей промывочной жидкости показаны на рис. 3.

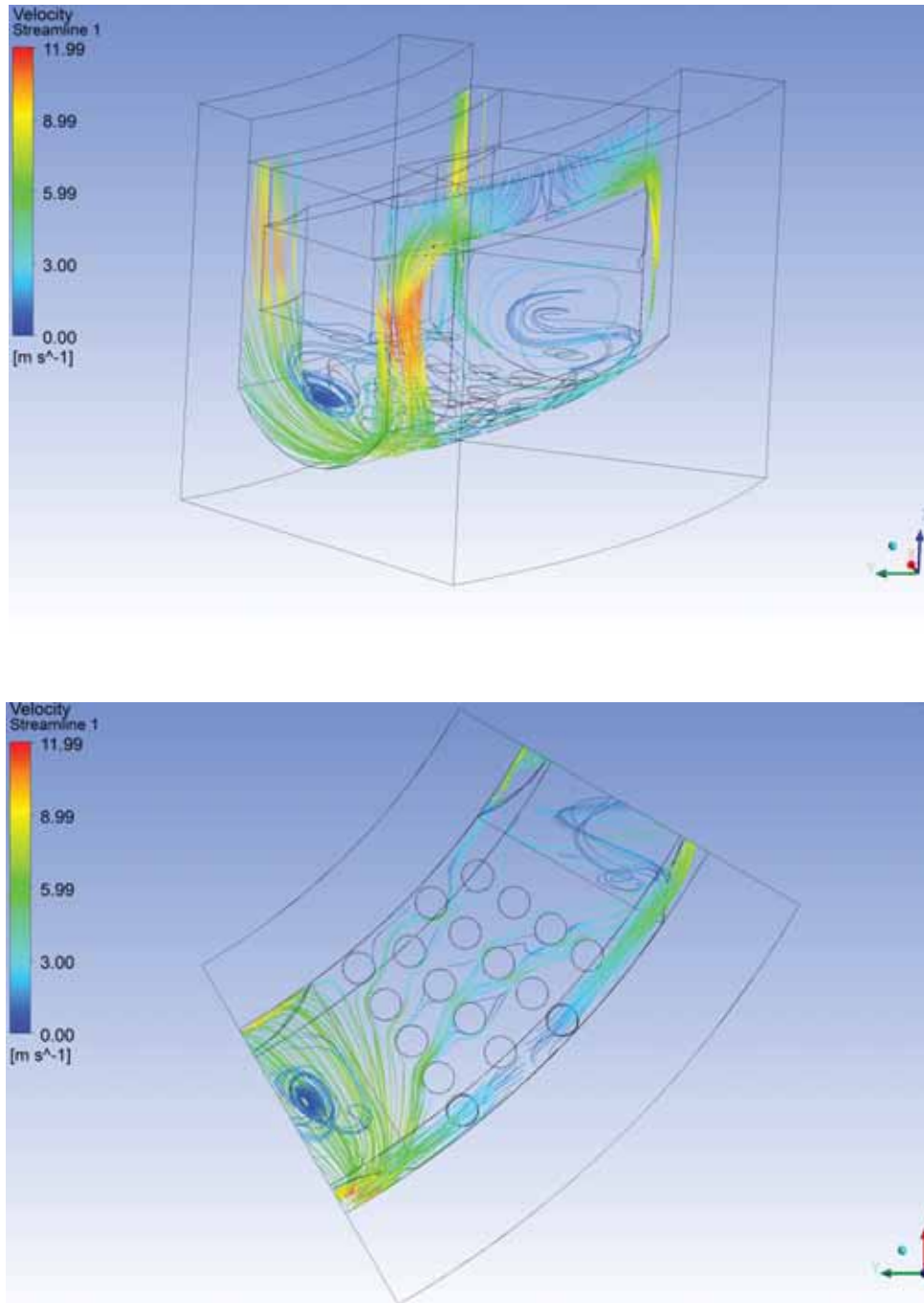


Рисунок 3 – Пример результатов моделирования течения жидкости в призабойной зоне скважины

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными для коронок с удлинённым сектором, разработанных ранее, в которых происходит скопление шлама в его сбегающей части (рис. 4). Это свидетельствует в пользу использования коронок с укороченными секторами, которые обеспечивают не только повышенную механическую скорость бурения, но и лучшую очистку забоя от шлама.



Рисунок 4 – Пример скопления шлама на сбегающей части сектора коронки

Для каждой коронки методом конечных элементов дополнительно проводится определение механических напряжений в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента (рис. 5), что позволяет оценить их прочность при различных режимах бурения.

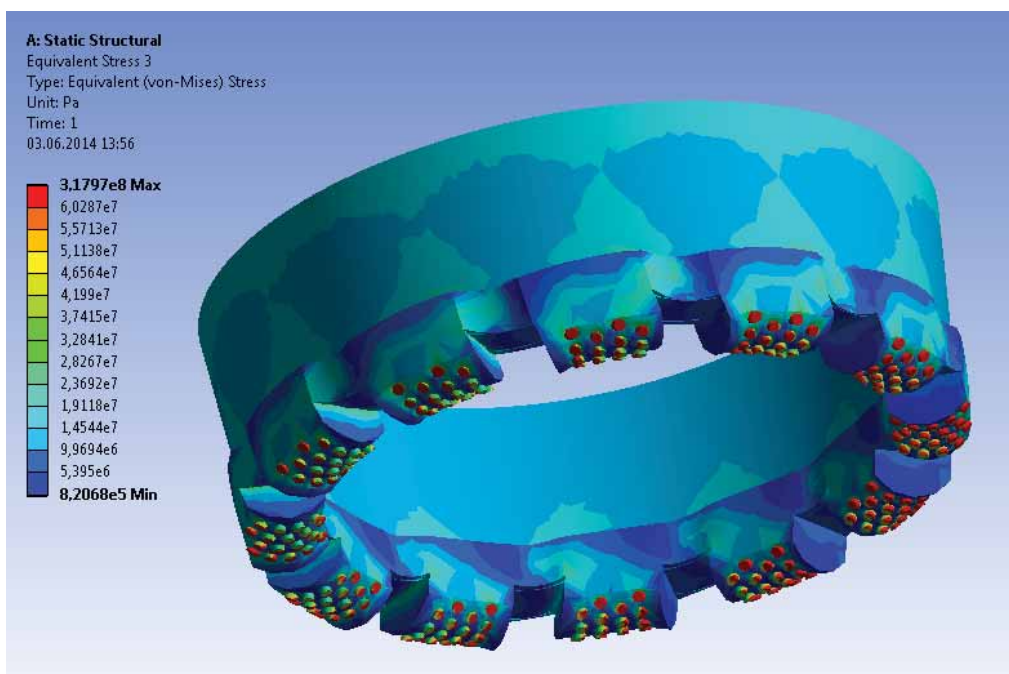


Рисунок 5 – Пример определения механических напряжений в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента.

Учитывая потребности производственных организаций, на основе результатов исследований на первом этапе была разработана и изготовлена конструкция однослойной буровой коронки диаметром 93 мм (рис. 6), оснащенной термостойкими алмазными монокристаллами с размером зерна 1600/1250 мкм.



Рисунок 6 – Опытный образец коронки диаметром 93 мм, оснащённой синтетическими алмазными монокристаллами зернистостью 1600/1250 мкм.

Рабочая часть коронки состоит из двенадцати секторов с четырьмя радиальными рядами алмазов в каждом. Сектора разделены прямыми промывочными окнами длиной 8 мм. Раскладка алмазов в секторе соответствует I типу. Особенностью конструкции данной коронки является оснащение радиальных рядов ее рабочего торца алмазными зернами различной прочности, т.е. начиная с первого ряда сектора (по набегающей части сектора) по последний ряд понижается группа прочности алмазных зерен.

Предварительные испытания коронок на стендах в лабораторных условиях показали достаточно высокие значения механической скорости бурения в породах V-VIII категорий по буримости. После чего опытные образцы коронок были переданы для испытаний в геологоразведочные организации Украины.

Параллельно с этой конструкцией разработаны также конструкции однослойных алмазных коронок диаметром 76 и 59 мм. Причём для всех указанных диаметров коронок была также разработана модификация с двумя радиальными рядами алмазов в секторе.

Конструкция разработанных коронок должна обеспечить повышение механической скорости бурения геологоразведочных скважин и ресурса породоразрушающего инструмента, оптимизировать расход алмазного сырья при его изготовлении.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. 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.

Надійшла до редколегії 11.11.13.

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

¹ Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна,

² Інститут надтвердих матеріалів (ІНМ) ім. В.Н. Бакуля НАН України, Київ, Україна

Створення одношарових алмазних коронок, які оснащені синтетичними монокристаллами

Наведені результати розробки одношарових алмазних коронок з синтетичними монокристаллами з підвищеною термостійкістю, які були синтезовані в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України. Створення нових коронок базувалося на результатах моделювання теплових і гідравлічних процесів, а також механічного навантаження. При моделюванні враховувалися особливості навантаження окремих алмазів в секторі коронки при їх взаємодії з гірничою породою, а також вплив на температурний режим частоти обертання бурового снаряда, інтенсивності подачі промивальної рідини на вибір свердловини і конструктивних особливостей алмазної коронки. Результати моделювання покладені в основу розробки нових коронок, оснащених монокристаллами зернистістю 1600/1250 мкм.

Ключові слова: одношарова алмазна коронка, синтетичні алмазні монокристали, моделювання роботи алмазної коронки, температурний режим алмазної коронки..

А. А. Karakozov¹, М. S. Popova¹, S. N. Parfenyuk¹, R. C. Bogdanov², А. P. Zakora²

¹ Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine

² Institute of superhard materials (ISM) of VN Bakul NASU, Kiev, Ukraine

Development of single-layer diamond core bits equipped with synthetic monocrystals

The results of development of single-layer diamond core bits equipped with synthetically monocrystals with high thermal stability synthesized in IMS of VN Bakul NAS of Ukraine are presented. Creating new core bits based on the results of modeling of thermal and hydraulic processes, as well as mechanical loading. Simulation reflects the specificity of loading of individual diamond of core bit sector due to their interaction with the borehole bottom, as well as the influence of rotation speed on temperature distribution in diamonds, the intensity of the flushing fluid and design features of the diamond core bit. The simulation results became a basis for the development of new design of core bits equipped with monocrystals with grain size of 1600/1250 microns.

Keywords: single-layer diamond core bit, synthetic diamond monocrystals, diamond core bit simulation, temperature distribution in diamond core bit