

КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОДНОСЛОЙНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК, ОСНАЩЁННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ АЛМАЗНЫМИ МОНОКРИСТАЛЛАМИ

А.А. Каракозов, М.С. Попова, С.Н. Парфенюк, Донецкий национальный технический университет, Украина

Р.К. Богданов, А.П. Загора, Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Приведены результаты исследований, выполненных при разработке однослойных алмазных коронок, оснащённых синтетическими монокристаллами с повышенной термостойкостью зернистостью 1600/1250 мкм. Проведено моделирование тепловых и гидравлических процессов с учётом особенности работы на забое отдельных алмазов, а также влияние на температурный режим частоты вращения бурового снаряда, интенсивности подачи промывочной жидкости и конструктивных особенностей коронки. Данные исследований использованы при разработке коронок БСО-1, прошедших предварительные испытания в производственных условиях.

Разработка новых однослойных алмазных коронок для бурения в породах средней крепости может быть реализована за счёт использования крупных синтетических монокристаллов с повышенной термостойкостью (до 1150 °С), синтезированных в Институте сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины.

Однако существующие рекомендации и расчётные модели, используемые при проектировании однослойных алмазных коронок, были разработаны достаточно давно и в ряде случаев имеют приближённый характер.

В настоящее время разработка новых однослойных коронок может быть основана на использовании современных уточнённых компьютерных моделей тепловых и гидравлических процессов при взаимодействии алмазных резов с горной породой на забое скважины. При этом каждый алмаз коронки при взаимодействии с горной породой рассматривается как отдельный элемент единой системы, в которой происходят взаимосвязанные механические, тепловые и гидравлические процессы.

Разработка однослойных алмазных коронок БСО-1 производилась на основании результатов комплекса исследований, в процессе которых определялись:

1. Нагрузки, действующие на каждый алмаз при взаимодействии коронки с горной породой;
2. Механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента;
3. Поле скоростей жидкости при промывке забоя с учётом вращения коронки;
4. Температура на контакте алмазов с породой и температурное поле в теле коронки с учётом циркуляции промывочной жидкости на забое скважины.

В процессе исследований рассматривались только коронки с радиальной раскладкой, которые общепризнано считаются наиболее эффективной.

На первом этапе определялась нагрузка на отдельные алмазы, пропорциональная слою снимаемой ими породы. Толщина слоя породы, снимаемая алмазом, зависит от его положения в секторе, количества алмазов и вида их раскладки в коронке. Поэтому коронки с радиальной раскладкой были разделены на два типа по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: на разных линиях резания (I тип) и на одних линиях резания (II тип). Более равномерно распределяется нагрузка на алмазы коронки I типа. Толщина слоя породы, снимаемая алмазами первого и второго радиального ряда одинаковая, но больше чем толщина слоя, снимаемого третьим и последующими рядами не менее чем в 2 раза, причем, чем больше рядов в секторе, тем больше эта разница. Сложнее распределяется нагрузка на алмазы в коронках II типа. В них два первых радиальных ряда нагружены не одинаково, 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 I типа этот показатель больше примерно на 25 %) [1, 2, 3].

Одинаковая же толщина слоя породы, снимаемого каждым алмазом, наблюдается лишь при использовании коронок I типа с двумя радиальными рядами в секторе [2].

Чем больше радиальных рядов в секторе коронки, тем меньше будут задействованы в работе алмазы последних радиальных рядов сектора. Неравномерность распределения нагрузки ведет к преждевременному износу части алмазов, расположенных в передней части сектора, что снижает технико-экономические показатели применения коронки. Кроме того, при большой длине сектора повышается вероятность накопления шлама под его сбегавшей 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 партий 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.

В табл. 1 показаны возможные величины толщины слоя породы, срезаемого алмазами первого и второго радиальных рядов сектора по сравнению с алмазами третьего и последующих рядов для исследуемых коронок I типа, принятых в качестве основных прототипов при создании новых коронок.

Таблица 1. Толщина слоёв породы, срезаемых при работе однослойных коронок I типа диаметром 93 мм с 324 алмазами

| Конструкция коронки | l_a , мм | Толщина слоя породы, мм | | h_1/h_2 |
|--|------------|-------------------------|--------|-----------|
| | | h_1 | h_2 | |
| 12 секторов / 6 радиальных рядов / раскладка алмазов 5-4-5-4-5-4 | 5,13 | 0,022 | 0,002 | 11 |
| 18 секторов / 4 радиальных ряда / раскладка алмазов 5-4-5-4 | 4.79 | 0,015 | 0,0019 | 7,9 |
| 36 секторов / 2 радиальных ряда / раскладка алмазов 5-4-5-4 | – | 0,0087 | 0,0087 | 1 |

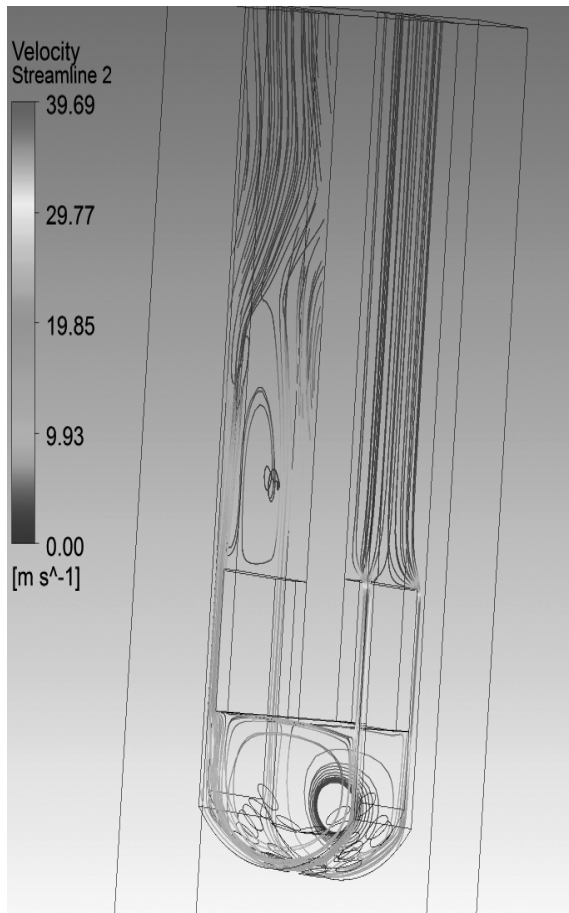
Примечание. l_a – расстояние между алмазами в секторе по линии резания; h_1 и h_2 – соответственно, толщина слоя породы, срезаемого алмазами первого и второго (и следующих) рабочего ряда при установившемся режиме разрушения породы.

Учитывая различную толщину снимаемого слоя породы и окружную скорость для каждого алмаза, можно определить забойную мощность на отдельном алмазе, которая будет различна для алмазов даже одного радиального ряда. Как следствие, алмазы и торец коронки будут неравномерно нагреваться в процессе бурения. Кроме того, на распределение температуры будет существенно влиять жидкость, циркулирующая в промывочной системе коронки.

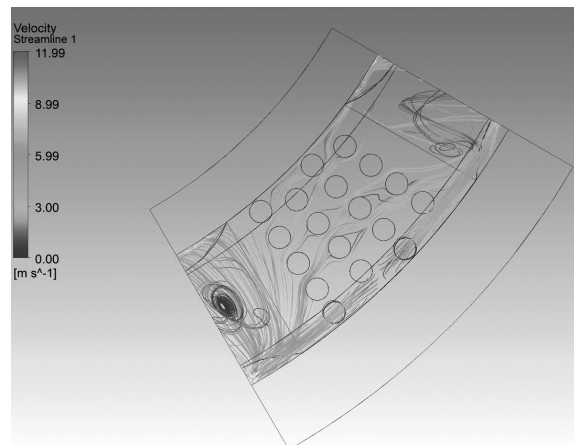
Для детального определения величины температуры на контакте алмазов с породой на забое скважины было проведено моделирование тепловых и гидравлических процессов, протекающих при бурении на забое скважины. Результаты моделирования (рис. 1) показали, что алмазы первых радиальных рядов многорядных секторов сильнее омываются жидкостью, поступающей в промывочный канал, и, следовательно, охлаждаются лучше, чем более отдаленные от промывочного канала алмазы вторых радиальных рядов. Поэтому 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

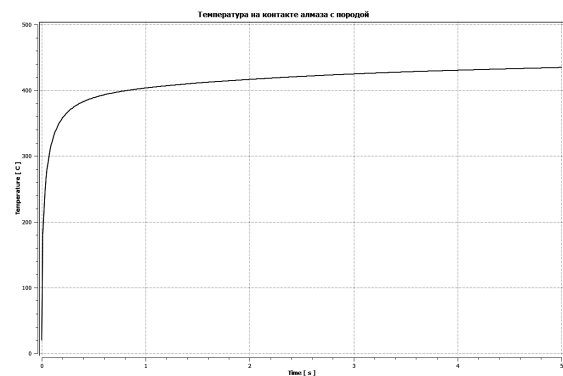
первых двух радиальных рядов сектора использовать более прочные алмазы, причем наиболее термостойкими должны быть алмазы второго ряда.



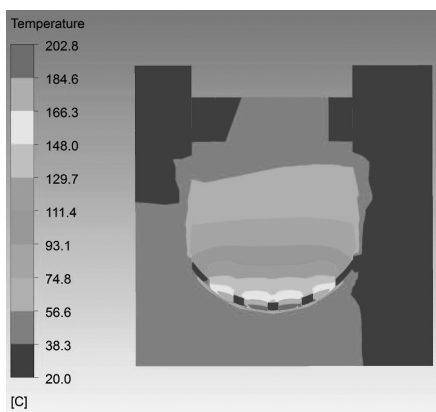
а



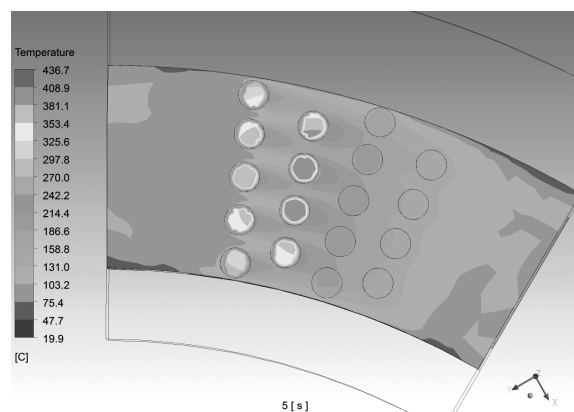
б



в



г



д

Рис. 1. Примеры результатов моделирования тепловых и гидравлических процессов, протекающих на забое скважины при работе коронки с четырьмя радиальными рядами: а – линии тока промывочной жидкости в пределах сектора коронки; б – течение жидкости на забое; в – график изменения температуры алмаза; г – температура тела коронки; д – температура алмазов коронки с четырёхрядным сектором.

Лишь алмазы коронки с двумя радиальными рядами в секторе равномерно омываются и охлаждаются промывочной жидкостью, что является одним из преимуществ данной конструкции коронки.

При одной и той же углубке за оборот температура нагрева алмазов коронки с двумя радиальными рядами в секторе в 1,3-3 раза меньше чем у коронки с четырьмя радиальными рядами (табл. 2), однако эта разница резко уменьшается с увеличением частоты вращения, практически исчезая при частотах свыше 800 об/мин.

С учётом результатов моделирования для дальнейшей конструкторской проработки были выбраны коронки с двумя и четырьмя рядами алмазов в секторе.

Таблица 2. Максимальная температура ($^{\circ}\text{C}$) нагрева алмазов сектора для различных конструкций коронки и частот вращения (при осевой нагрузке 20 кН)

| Количество радиальных рядов в секторе | Подача жидкости, л/мин | Частота вращения, об/мин | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|-----|-----|
| | | 600 | 400 | 200 |
| 4 | 40 | 579 | 436 | 241 |
| | 70 | 513 | 386 | 189 |
| 2 | 40 | 457 | 132 | 78 |
| | 70 | 430 | 114 | 65 |

На первом этапе, учитывая имеющиеся в ИСМ технологические возможности производства алмазных коронок, разработана конструкция однослойной коронки БСО-1 диаметром 93 мм, оснащенной термостойкими монокристаллическими алмазами с размером зерна 1,6/1,25 мм (рис. 2).



Рис. 2. Опытный образец коронки БСО-1.

Рабочая часть коронки состоит из двенадцати секторов, разделены прямыми промывочными окнами длиной 8 мм, с четырьмя радиальными рядами алмазов.

Особенностью конструкции данной коронки является оснащение радиальных рядов ее рабочего торца алмазными зёрнами различной прочности, т.е. прочность алмазных зёрен понижается от первого ряда к последнему ряду сектора.

Для этой конструкции коронки методом конечных элементов дополнительно определялись механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента (рис. 3), что позволило оценить её прочность при различных режимах бурения.

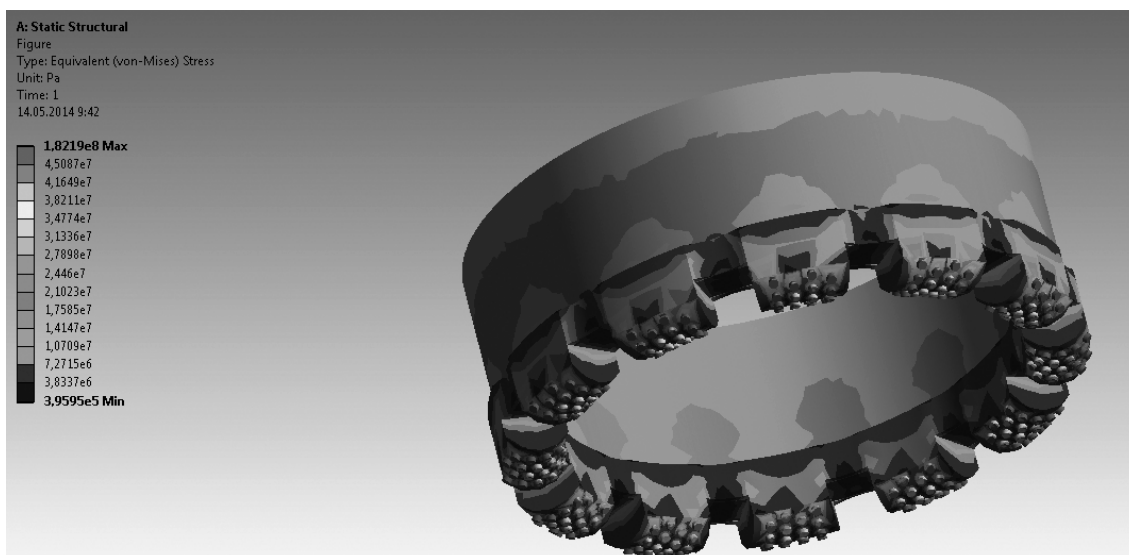


Рис. 3. Определение механических напряжений в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента.

Опытные образцы разработанной коронки БСО-1 диаметром 93 мм испытывались на объектах ГПП «Донецкгеология». Испытания проводились при бурении скважин установкой УКБ-4С в породах VII-IX категории по буримости с использованием одинарного колонкового снаряда. Результаты сравнительных испытаний коронок БСО-1 и 01А3 приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний 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 |

Результаты испытаний показали, что по сравнению с серийно выпускаемой коронкой 01А3 коронка БСО-1 обеспечила повышение механической скорости бурения в 1,67 раза. Проходка на коронку также увеличилась в 1,64 раза.

Полученные результаты также предварительно подтвердили возможность использования различного алмазного сырья в секторе, что позволяет оптимизировать расход монокристаллов разных групп прочности при изготовлении коронки [3].

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволил разработать новую конструкцию алмазных однослойных коронок. Дальнейшая разработка нового породоразрушающего инструмента с синтетическими алмазными монокристаллами будет направлена на создание коронок с двумя радиальными рядами в секторе, которые, по предварительной оценке, должны быть ещё более эффективными, чем коронки БСО-1.

Список литературы

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.