

**В.Г.ГОРЕЛИКОВ**, д-р техн. наук, профессор, *spmi@mail.wplus.net*  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**V.G.GORELIKOV**, Dr. in eng. sc., professor, *spmi@mail.wplus.net*  
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК ДЛЯ БУРЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрен анализ конструктивных параметров алмазных коронок. Отмечена особенность работы алмазных коронок при бурении трещиноватых горных пород, основные виды износа алмазов и матрицы. Даны рекомендации по совершенствованию алмазных коронок.

**Ключевые слова:** анализ, алмаз, матрица, алмазная коронка, промывочные каналы, буровой шлам, износ.

## DESIGN FEATURES OF DIAMOND CROWNS FOR DRILLING OF BREEDS WITH CRACKS ROCKS

The analysis of design data of diamond crowns is made. Feature of work of diamond crowns is noted at drilling of rocks, principal views of deterioration of diamonds and a matrix. Are given rekomendatsi on perfection of diamond crowns.

**Key words:** the analysis, diamond, a matrix, a diamond crown, channels, a chisel trifle, deterioration.

Анализ литературных данных [1, 2, 4, 6] и их обобщение показали, что на работу алмазных коронок наиболее существенное влияние оказывают такие свойства горных пород, как их твердость и трещиноватость. С увеличением степени трещиноватости пород работоспособность коронок всех существующих типов снижается. Причем влияние трещиноватости пород на работоспособность алмазной коронки в очень твердых породах проявляется гораздо сильнее, чем менее твердых. Эта закономерность объясняется особенностями механизма разрушения трещиноватых горных пород при алмазном бурении. При бурении этих пород образуется большое количество крупных частиц шлама. Для шлама, образующегося при разрушении твердых пород, как правило, выполняется условие

$$d_{\text{ш}} \leq d_{\text{в}} - d_{\text{к}}, \quad (1)$$

где  $d_{\text{ш}}$  – диаметр шлама, м;  $d_{\text{в}}$  – внутренний диаметр матрицы алмазной коронки, м;  $d_{\text{к}}$  – диаметр столбика керна, м.

При бурении трещиноватых пород, в колонковом снаряде, формируются более крупные частицы шлама: от 0,005 м до 0,01 м. В целом, размер и количество образующегося шлама, в первую очередь, зависят от внутреннего диаметра колонковой трубы, диаметра столбика керна и параметров режима бурения [1, 3]. Влияние этого шлама на механизм самозаклинивания керна в колонковой трубе зависит от количества  $\gamma$  этого шлама, размещающегося в кольцевом зазоре в единицу времени,

$$\gamma = m/St, \quad (2)$$

где  $m$  – масса шлама, кг;  $l$  – высота не сорванного столбика керна, м;  $S$  – площадь кольцевого зазора, м<sup>2</sup>;  $t$  – время нахождения шлама в кольцевом зазоре, с.

Существует критическое значение  $\gamma_{кр}$ . Если  $\gamma$  меньше критического значения, то шлам удаляется через промывочные окна алмазной коронки. Если  $\gamma$  больше критического, то шлам накапливается в кольцевом пространстве и приводит к самозаклиниванию керн. Таким образом, условия работы алмазной коронки на забое скважины при бурении трещиноватых пород являются более тяжелыми, чем при бурении плотных твердых пород. По экспериментальным данным мощность, потребляемая электроприводом бурового станка, при бурении трещиноватой породы оказывается на 15-24 % выше, чем при бурении монолитной породы. При этом дополнительная часть энергии расходуется на разрушение, скол и выкрашивание алмазов из матрицы, происходящие под воздействием крупного шлама и увеличивающихся ударных нагрузок на алмазы. Исходя из этого, рекомендуется осевую нагрузку  $P$  на коронку определять по формуле [5]

$$P = P_y \cdot F_a \cdot C, \quad (3)$$

где  $P_y$  – удельная нагрузка на единицу активной рабочей поверхности торца матрицы, Н/м<sup>2</sup>;  $F_a$  – активная рабочая поверхность торца матрицы, м<sup>2</sup>;  $C$  – коэффициент, учитывающий степень трещиноватости горных пород.

С увеличением степени трещиноватости горных пород, значения частот вращения бурового снаряда снижаются на 30-50 %. Рассмотренные особенности технологии бурения учитываются при разработке конструкции алмазных коронок (однослойных и импрегнированных), предназначенных для бурения трещиноватых горных пород [1, 3, 4]. В зависимости от конструкций матрицы все эти коронки можно разделить на две основные группы:

- коронки со стандартной толщиной матрицы;
- коронки с утолщенной матрицей.

Следует сразу отметить, что коронки с утолщенной матрицей не нашли широкого применения в практике, хотя они обладают большей износостойкостью. Это объясняется тем, что из-за большей площади торца

матрицы требуются большие осевые усилия [5]. Однослойные алмазные коронки 14АЗ, имеющие утолщенную матрицу, меньший радиус закругления торца и большее количество алмазов по внутренней кромке матрицы, предназначены для бурения малоабразивных и абразивных трещиноватых пород УШ-Х категорий по буримости. Коронки армируются дроблеными и овализованными алмазами зернистостью 20-30 шт/карат. Однако повышение механической прочности и износостойкости коронки за счет увеличения толщины ее торца не является лучшим решением, так как бурение коронкой с утолщенной матрицей приводит к увеличению объема разбуриваемой породы, увеличению энергозатрат и, в конечном счете, к снижению механической скорости бурения.

Использование коронок с утолщенной матрицей для бурения трещиноватых пород обеспечивает увеличение их ресурса относительно серийных коронок за счет снижения случаев появления трещин в секторах матрицы и сколов секторов, однако не дает преимуществ в решении проблемы повышенного износа матрицы по внутренней кромке. Кроме этого, для обеспечения требуемого осевого усилия на коронку с утолщенной матрицей необходимо прикладывать более высокие нагрузки к буровому снаряду, что негативно сказывается на прочности его элементов и приводит к увеличению аварийности. Так, для коронок с утолщенной матрицей с наружным диаметром 0,059 м осевая нагрузка составляет свыше 2000 даН, а допустимые значения осевых нагрузок при бурении с применением ЛБТН составляют 1800 даН. Поэтому при бурении коронками с утолщенной матрицей довольно часто возникают обрывы бурового снаряда.

Более эффективно для бурения трещиноватых горных пород применять коронки первой группы. Основные среди них – это коронки с секторной и со сплошной матрицей [1-4].

Коронки с секторной матрицей, можно разделить на две подгруппы:

- 1) коронки с прямоугольной формой секторов;

2) коронки со скошенным сектором в набегающей части.

Коронки с прямоугольной формой сектора (однослойные и импрегнированные) весьма эффективно работают при бурении плотных твердых пород. Оптимальный режим разрушения связывается с количеством шлама  $Q_3$ , накапливающегося в межконтактном пространстве [2].

$$Q_3 = \frac{31850PR_p K_p}{m(h_b - h_c) \left[ 1 - \frac{K\beta P(t_i)}{800} \right] P_{шт} e d_{сп}}, \quad (4)$$

где  $P$  – осевая нагрузка, Н;  $R_p$  – коэффициент, учитывающий характер разрушения горной породы, зависит от упруго-пластичных свойств горной породы;  $K_p$  – коэффициент разрыхления шлама;  $m$  – число секторов;  $h_b$  – среднее значение выпуска алмазов из матрицы, м;  $h_c$  – среднее значение толщины срезаемого слоя породы, м;  $K$  – относительная концентрация алмазов в объеме матрицы;  $\beta$  – коэффициент, определяющий содержание работоспособных зерен алмазов на поверхности инструмента;  $P(t_i)$  – вероятность появления зерен алмазов в интервале их выпуска, равно внедрению алмазов в породу;  $P_{шт}$  – твердость породы по Шрейнеру, Па;  $e$  – количество зерен алмазов, контактируемых с горной породой, шт.;  $d_{сп}$  – средневзвешенный кубический размер зерен алмазов, м<sup>3</sup>.

Для расчета оптимальной длины сектора предложена формула [2, 6]

$$L_c = Q_{ш}/200V_{мех}n(h_a - h_{ср})(D - d), \quad (5)$$

где  $Q_{ш}$  – концентрация шлама в призабойной зоне, %;  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $h_a$  – величина выступания алмазов, м;  $h_{ср}$  – средняя толщина срезаемого слоя, м;  $D, d$  – наружный и внутренний диаметр коронки, м;  $V_{мех}$  – механическая скорость бурения, м/ч;  $K$  – коэффициент разрыхления шлама горной породы.

Количество промывочных каналов определяется по формуле [2]

$$N = \frac{L_o}{L_c + \frac{Q}{2350V_{мех}hn}}, \quad (6)$$

где  $Q$  – расход промывочной жидкости, л/мин;  $h$  – высота сектора, м.

Однако при бурении трещиноватых горных пород имеет место несколько иной механизм образования шлама, при котором следует учитывать степень трещиноватости горных пород. Анализ формулы (4) показывает, чем больше в коронке секторов, тем меньше под ними будет шлама и более эффективно будет работать коронка. Однако алмазные коронки, по геометрии удовлетворяющие условию (5), довольно часто снимаются с дальнейшей эксплуатации из-за скалывания секторов. В то же время из формулы (5) следует, что с увеличением частоты вращения необходимо увеличивать длину сектора. Также следует учитывать, что при бурении в трещиноватых породах возникает самозаклинивание керна в короночном кольце, в результате чего приходится выполнять расходку бурового снаряда. Для исключения этого явления в работе [3] предложена алмазная коронка с подвижной втулкой в короночном кольце. В корпусе коронки выполнены дополнительные промывочные каналы. Внутри корпуса коронки размещена вращающаяся втулка, в которой выполнены аналогичные отверстия. Буровой шлам, попадая в пространство между столбиком керна и втулкой, замедляет ее вращение. При замедлении вращения втулки ее отверстия периодически совпадают с отверстиями в корпусе коронки и происходит выброс шлама в затрубное пространство, что предупреждает накопление шлама в коронке. Однако данная конструкция коронки не исключает скалывание секторов матрицы при ударных нагрузках, т.е. ей присущи ранее отмеченные недостатки для секторных коронок.

Для уменьшения действия ударных нагрузок на набегающую часть секторов разработаны коронки со скошенной набегающей частью сектора – алмазные коронки типа БИТ [6]. Выполнение секторов со скошенной набегающей частью позволяет уменьшить осевые нагрузки на коронку и за счет этого уменьшить ударные нагрузки.

Предложенная модернизация повысила эффективность работы коронок в трещино-

ватых породах, но и в этих коронках не устранила скалывание секторов. На наш взгляд, наибольшей износостойкостью при бурении трещиноватых горных пород обладают коронки со сплошной матрицей [4]. Коронки со сплошным алмазосодержащим слоем предназначены для бурения в умеренно абразивных породах. Они выполняются без промывочных каналов в матрице. Объемные алмазы – крупные алмазы зернистостью 25 шт/карат, т.е. промывочная система коронки обеспечивается высотой выступания объемных алмазов из тела матрицы.

При бурении такими коронками для исключения прижога бурение следует вести с расходкой бурового снаряда. Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности бурения (в первую очередь – к уменьшению механической скорости бурения). Также из-за высокого выступания алмазов из тела матрицы при бурении скважин в трещиноватых породах будет наблюдаться скалывание алмазов. Дополнительно следует отметить, что для импрегнированных коронок такая конструкция приведет к их прижогу. Известны коронки, в которых в промывочных каналах установлены вставки из легкоразрушаемого или легкоплавкого материала [1]. За счет этих вставок как бы образуется сплошная матрица или существенно снижается высота промывочных каналов. В результате стендовых исследований установлено, что вставки из олова изнашиваются шламом и выпадают. Вставки из сплавов алюминия изнашивались равномерно с износом матрицы. При этом профиль матрицы до полной ее отработки не менял свою форму. Было установлено, что толщину вставок следует подбирать по интенсивности износа матрицы. Коронки со вставками были отработаны до полного износа без появления фасок. В серийных коронках наблюдалось образование фасок. Причем в последних рейсах при бурении коронками со вставками механическая скорость не уменьшалась при постоянной нагрузке на коронку. Отсутствие фасок объясняется тем, что под торцом коронки проходит постоянно большое количество промывочной жидкости и отсутствуют гидравли-

ческие подпоры, так как площадь сечения промывочных каналов остается постоянным в течение всей отработки импрегнированной коронки.

## Выводы

1. На работу алмазных коронок наиболее существенное влияние оказывают такие свойства горных пород, как их твердость и трещиноватость. С увеличением степени трещиноватости пород работоспособность коронок всех существующих типов снижается. Причем влияние трещиноватости пород на работоспособность алмазной коронки в очень твердых породах проявляется гораздо сильнее, чем менее твердых.

2. При бурении трещиноватых горных пород алмазными коронками с секторной матрицей из-за больших ударных нагрузок рекомендуется снижать осевую нагрузку на коронку на 20-30 %, а частоту вращения – на 30-50 %. В свою очередь, это приводит к снижению технико-экономических показателей бурения.

3. При бурении трещиноватых пород в колонковом снаряде формируются более крупные частицы шлама (от 0,005 до 0,01 м). Размер и количество образующегося шлама, первую очередь, зависят от внутреннего диаметра колонковой трубы, диаметра столбика керна и параметров режима бурения.

4. Существующие конструкции алмазных коронок не обеспечивают удаление шлама, образующегося в области короночного кольца на границе с матрицей, вследствие чего возникает самозаклинивание керна и прекращение циркуляции очистного агента. Частично данная проблема решена в коронке с вращающимся внутренним кольцом и радиальными промывочными каналами, выполненными в корпусе коронки.

5. Наиболее частыми видами износа матрицы секторных алмазных коронок при бурении трещиноватых горных пород являются скалывание секторов и образование трещин в матрице. Частичное уменьшение этих форм износа за счет увеличения тол-

щины матрицы ведет к снижению механической скорости бурения и повышенным осевым нагрузкам.

6. При бурении трещиноватых пород эффективность работы алмазной коронки не целесообразно определять исходя из количества шлама, образующегося под торцом коронки, как и при бурении монолитных пород. Наличие на забое скважины трещин способствует перераспределению и удалению шлама. Основным критерием работоспособности алмазной коронки является прочность секторов матрицы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башкатов Д.П. Исследование влияния режима промывки на процесс образования фасок на алмазных импрегнированных коронках / Д.П.Башкатов, С.К.Кудайкулов // Применение синтетических алмазов в бурении: сб. науч. тр. / ВИТР. СПб, 1992. С.81-85.
2. Исонкин А.М. Влияние размера секторов коронки на показатели ее работоспособности / А.М.Исонкин, Р.К.Богданов // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр М.: МГП "Геоинформарк". 1992, Вып.11. С.45-48.
3. Кочкарев А.В. Современное представление о механизме самозаклинивания керна / А.В.Кочкарев, Д.Н.Башкатов. М.: ВИЭМС, 1987.
4. Мпезо Мавамбо. Исследование влияния конструктивных параметров алмазной коронки на ее работоспособность // Записки Горного института. СПб, 2002. Т.152. С.133-134.

5. Пономарев П.П. Алмазное бурение трещиноватых пород. Л.: Недра, 1985.

6. Чихоткин З.Ф. Влияние конструктивных особенностей промывочного канала импрегнированной коронки на разрушение горных пород / З.Ф.Чихоткин., Р.К.Богданов, А.П.Закора // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые: Межвуз. научн. сб. УГТТА.Екатеринбург, 1996. Вып.19. С.68-78.

#### REFERENCES

1. Bashkatov D.N. Research of influence of a mode of washing on process of formation of facets on diamond impregnated Crowns / D.N.Bashkatov, S.K.Kudaykulov // Application of synthetic diamonds in drilling. Saint Petersburg, 1992. P.81-85.
2. Isonkin A.M. Influence of the size of sectors of a crown on indicators of its working capacity / A.M.Isonkin's, R.K.Bogdanov // Scientific and technical achievements and best practices in area of geology and investigation of a subsoil. Moscow, 1992. Vol.11. P.45-48.
3. Kochkarev A.V. Modern idea of the mechanism of self-jamming of a core / A.V.Kochkarev, D.N.Bashkatov. Moscow, 1987.
4. Mpezo Mavambo. Research of influence of design data of a diamond crown on its working capacity // Notes of Mining Institute. Saint Petersburg, 2002. Vol.152. P.133-134.
5. Ponomarev P.P. Diamond drilling of treshchinovaty breeds. Leningrad, 1985.
6. Chikhotkin Z.F. Influence of design features of the flushing channel of an impregnated crown on destruction of rocks / Z.F.Chikhotkin, R.K.Bogdanov, A.P.Zakora // Improvement of equipment and technology of drilling of wells on firm minerals: Notes of mining institution UGTSTA. Yekaterinburg, 1996. Vol.19. P.68-78.