

УДК 622.057

Аубакиров М.Т.<sup>1</sup>, Ратов Б.Т., Федоров Б.В.<sup>2</sup>, М.Отебаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ТОО «АККА-АЛМАС», Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г.Алматы

<sup>3</sup>ТОО «КРУЗ» Казахстан, г. Жанаозен

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ

Информационно – патентный анализ технико-технологических средств алмазного бурения показывает, что в этой области большинство работ посвящены:

- оптимальному использованию или улучшению физико- механических свойств алмазов и связующего материала (металлокерамики) в практике алмазного бурения;
- изучению физико – механических процессов, возникающих при алмазном разрушении горных пород и использованию выявленных при этом положительных явлений для интенсификации процесса бурения;
- изучению физико- механических свойств горных пород и их влиянию на процесс алмазного бурения;
- разработке рациональных форм алмазного породоразрушающего инструмента;
- разработке технологии алмазного бурения.

Цель всех упомянутых исследований – повышение эффективности алмазного бурения. Одним из основных проблем, связанных с повышением эффективности алмазного бурения, является установление закономерности работы алмазов и их состояние в коронке при её работе на забое скважины.

Теоретический анализ работы алмазной коронки большинство авторов начинают с анализа работы единичного алмазного зерна, форму которого принимают в виде пирамиды, обращенной острием вниз, эллипсоида или шара. При этом за оптимальный режим работы алмазной коронки принимают тот, при котором имеет место объемное разрушение породы забоя.

Представляется, что эта точка зрения справедлива только или бурении однослойными или импрегнированными коронками, армированными крупными зёрнами алмазов, причем в условиях бурения пород, относящихся к IX и менее категориями. В случае же использования импрегнированных коронок у которых размер алмазных зёрен составляет менее 630 мкм (менее 250 шт\карат)такая, точка зрения требует корректировки. Тем более, что в крепких(выше IX категории) породах наиболее широко и эффективно применяются именно импрегнированные коронки.

Рассмотрим глубину внедрения алмазного зерна в породу для типичных условий бурения однослойными и импрегнированными коронками. Используем при этом основные параметры коронок 02ИЗ и 01АЗ диаметром 59 мм.

Глубина внедрения резца  $h$  определяется по формуле:

$$h = \frac{V}{n \cdot m}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость бурения, м\час,  $n$  – частота вращения коронки,  $c^{-1}$ ,  $m$  – среднее число алмазов по окружности коронки.

Проведем количественную и качественную оценку процесса разрушения смежных категорий (IX–X) по буримости при бурении однослойными и импрегнированными коронками. Механическая скорость бурения однослойными коронками по породам IX категории по буримости согласно [1] равна 5 м/час, а импрегнированными коронками в породах X категории по буримости – 3 м/час. (эти значения близки к максимальным)

За типичную частоту вращения с учетом максимальной приемлемой в породах IX категории – 500 мин<sup>-1</sup>, для пород X категории – 600 мин<sup>-1</sup>.

Число алмазов  $m$  расположенных в одном слое по единой окружности определяем из выражения [1]:

$$m = \frac{k*t}{c*r}, \quad (2)$$

где  $k$  – количество объемных алмазов в коронке, карат;  $t$  – зернистость алмазов;  $c$  – число слоев, по которым алмазы расположены в матрице;  $r$  – число алмазов, расположенных по одному радиусу коронки.

Последняя величина определяется по формуле:

$$r = \frac{R_H - R_B - d_0}{d_0}, \quad (3)$$

где  $R_H$  и  $R_B$  – соответственно наружный и внутренний радиусы коронки;  $d_0$  – диаметр объемных алмазов.

Для коронок 01А3  $K = 3,2$  карат,  $t = 75$  шт/карат (средняя цифра для указываемого в характеристиках интервала 60–90 шт/карат.)  $C = 1$ ,  $R_H = 29,5$  мм,  $R_B = 21$  мм,  $d_0 = 1,8$  мм (при крупности 20–30 шт/кар) Отсюда:  $r = 4,5$  шт.,  $m = 53$  и  $h = 0,0032$  мм.

Для коронок 02ИЗ  $K = 8,8$  карат,  $t = 250$  (250÷400) шт/карат  $R_H$ ,  $R_B$  и  $d_0$  те же, что и у коронок 01А3, а  $d_0 = 0,63$  мм.

Остается определить величину  $C$ . В литературе [2] указывается, что количество объемных алмазов в одном условном слое импрегнированной коронки 02ИЗ равно  $K_c = 1,3$  карат, тогда число слоев равно:  $C = \frac{K}{K_c} = \frac{8,8}{1,3} = 6,8$ .

Однако, по нашему мнению более обоснованным число условных слоев в импрегнированной коронке следует определять, исходя из того, что к одному слою принадлежат одновременно находящиеся в работе алмазы, которые при нормальном процессе разрушения начинают выпадать, когда в матрице остается половина диаметра зерна. Тогда, исходя из указанного допущения, толщина одного слоя алмазов в импрегнированной коронке  $l_c = \frac{d_0}{2}$  и тогда число условных слоев в рабочей части матрицы:

$$C = l/l_c, \quad (4)$$

где  $l$  – высота объемного алмазоносного слоя матрицы.

В принятом примере  $l = 4$  мм и тогда при  $l_c = 0,55$  мм,  $C = 8$  слоев. Полученная цифра представляется более верной и во всяком случае дает большую величину, чем вышеприведенная ( $C = 6,8$ ). В итоге получаем, что для коронки 02ИЗ  $r = 10,7$ ;  $m = 26$ ;  $h = 0,0032$  мм (совпадение цифр случайное, но порядок значений достоверен)

Очевидно, что когда размеры внедрения одного алмазного зерна составляют порядка 3 мкм, то говорить об объемном разрушении пород вряд ли имеет смысл.

Установленная величина внедрения опровергает также положение о том, что взаимодействующая с забоем часть алмазного зерна может быть представлена в виде шара или эллипсоида, достигающего максимальной глубины внедрения в единственной точке. Действительно, поскольку ширина зоны разрушения от действия эллипсоида соизмерима с глубиной его внедрения в породу, то промежутки между кольцевыми зонами разрушения на забое оказываются чрезмерно большими. В частности, в работе [3] доказывается, что обычно в  $6h$ , т.е. промежутки в 6 раз больше глубины внедрения. Тогда в нашем случае, приняв, что  $h = 3,2$  мкм получаем в 19,2 мкм (0,0192 мм). Ширина неразрушенной зоны по радиусу коронки равна:

$$a = R_H - R_d - d_n - r * b, \quad (5)$$

При принятых значениях получаем  $a = 7,43$  мм, т.е. ширина неразрушенной зоны « $a$ » многократно превышает « $r*b$ » и, следовательно, бурение практически не могло бы

осуществиться. Этот вывод не изменяется при установке алмазов в сопряженных радиальных рядах в шахматном порядке.

Принципиально иное положение возникает, если отвергнуть гипотезу о близкой к эллипсоидной форме единичного алмазного зерна и вместо этого считать, что это зерно соприкасается с забоем по поверхности, которая представляет параллельную забою плоскость, испещренную мелкими раковинками- выщерблинами, кромки которых, взаимодействуя между собой, и производят разрушение забоя. Факт наличия таких выщерблин установлен экспериментально при рассмотрении поверхности работавшего при бурении алмаза в микроскоп [3], а процесс их образования получил название фрагментарного износа. Что же касается предположения о том, что типичная рабочая поверхность алмаза чаще всего представляет собой обращенную к забою в целом и плоскую поверхность, то это доказывается условиями работы алмаза, острые выступающие над матрицей углы которого сразу после спуска коронки на забой начинают подвергаться сколам, до тех пор пока не образуются расположенные примерно «заподлицо» с поверхностью матрицы площадки. Процесс образования таких площадок, в частности, и является причиной резко ускоренного износа алмазов в период приработки коронки [2]. Площадки обычно хорошо видны в микроскоп.

Поскольку породоразрушающие кромки расположены по всей ширине площадки работающего алмазного зерна и перекрывают друг друга, а в разрушаемой породе тоже самое происходит на уровне микроструктуры, то трудно объяснимый (как это было показано выше) факт распространения зоны разрушения по всей ширине торца коронки становится очевидным.

Так как различие в высоте выступа над уровнем матрицы между кромками, внедрившимися в забой, и теми, которые не работают, определяется долями микрона, то становится ясно, что в каждый данный момент времени в работе находятся не все, а только часть режущих кромок алмазных зерен. Эта часть еще более уменьшается из-за отклонения формы забоя об идеально плоской вследствие наличия на ней небольших «ухабов» и скоплений спрессованного шлама, причем при движении резцов по окружности нагрузка скачкообразно переходит с одних режущих кромок на другие. Все это приводит к сколам, в результате которых отработанные кромки заменяются новыми, более острыми. Это явление (которое и представляет собой фрагментарный износ алмазов) обеспечивает нормальный ход процесса разрушения забоя, что особенно характерно при работе синтетических поликристаллических алмазов.

В тоже время наряду с фрагментарным имеется и другой вид износа поверхности алмазных зерен- их истирание и сглаживание кромок при контакте с породой. Этот вид износа протекает тем быстрее, чем выше частота вращения коронки, а, значит, и работа сил трения в единицу времени.

Если осевая нагрузка недостаточна, то фрагментарный износ замедляется, и тогда процесс сглаживания кромок прогрессирует. Это, в свою очередь, еще больше уменьшает вероятность сколов. Во-первых, при затуплении кромок возрастает их опорная площадь, а значит, при тех же удельных нагрузках падают соответствующие напряжения. Во-вторых, уменьшаются сами удельные напряжения, что происходит из-за стачивания кромок по высоте и выравнивания их с теми, которые ранее еще не касались забоя. Поэтому осевая нагрузка перераспределяется на большее число кромок. При отсутствии сколов и обновления режущих кромок процесс износа алмазов истиранием все более прогрессирует и за короткое время приводит к падению скорости бурения до нуля. Вследствие сглаживания и выравнивания всех режущих кромок в одной плоскости рабочие площадки алмазов приобретают характерный блеск, что позволило называть описанное явление зашлифовкой матрицы коронки.

Особенно часто это явление возникает при бурении наиболее крепких и мелкозернистых пород (роговики), так как из-за их высокой твердости процесс истирания режущих кромок алмаза идет интенсивнее.

Усилению процесса зашлифовок способствует также образующийся при бурении таких пород очень мелкий шлам, что способствует его полному удалению с забоя и, соответственно, уменьшению неравномерности движения режущих кромок по поверхности забоя.

Установка над алмазной коронкой высокочастотного гидроударника увеличивает действующие на алмазы динамические нагрузки, что приводит к повышению интенсивности фрагментарного износа и уменьшению зашлифовки алмазов.

Таким образом, главным средством борьбы с зашлифовкой алмазов является увеличение приходящихся на них осевых нагрузок.

Экспериментальными исследованиями [3] и опытом эксплуатации импрегнированных алмазных коронок отраслевой научно-исследовательской лабораторией ЭМБРС КазПТИ (в настоящее время КазНТУ) в производственных условиях доказано, что эти коронки способны выдерживать значительные осевые нагрузки (1600–2100 н/см<sup>2</sup> и более), обеспечивая при этом высокие контактные напряжения. Эти рекомендации применимы, когда бурение ведется по сильно трещиноватым или абразивным крепким породам.

Повышение нагрузки на импрегнированную алмазную коронку в определенных пределах приводит к увеличению эффективности ее работы, однако максимум допустимых осевых нагрузок ограничивается как механизмом разрушения пород, так и прочностью бурильной колонны, мощностью двигателя станка и требованием ограничения интенсивности искривления скважин.

В то же время увеличение действующих на единичное алмазное зерно удельных нагрузок (а значит, и большей величины внедрения режущих кромок и интенсификация процесса их обновления) можно достичь и без увеличения суммарной осевой нагрузки на коронку в целом, а только за счет уменьшения рабочей площади ее торца.

В настоящее время алмазные коронки изготавливают многосекторными с плоским торцом и промывочными окнами. При этом площадь торцевой части секторов относится к соответствующей площади окон как 5:1. Причина такой конструкции заключается в стремлении при одной и той же площади забоя снизить удельные нагрузки на единичный алмаз, а также увеличить длину периметра, по которому матрица крепится к короночным кольцу с целью повышения прочности инструмента.

И хотя этот довод вполне заслуживает внимания, следует стремиться к тому, чтобы при достаточной протяженности контакта матрицы с короночным кольцом площадь рабочего торца коронки была бы существенно уменьшена по сравнению с той, которая принята сейчас (например, коронки БИТ с трапецидальными секторами при плоском торце).

Многочисленными исследованиями установлено, что одно из важнейших условий алмазного бурения – охлаждение алмазов и своевременный вынос шлама. Рассмотрим эти процессы.

В литературе при исследовании образования шлама, алмазное зерно рассматривают или как резец или как некий индентор. При этом рассматривается нормальное усилие на резец и в некоторых работах – окружные и скалывающие усилия.

Нормальные силы, действующие на резец, заставляют последний внедряться в породу. В последней возникают затухающие трещины, порода сжимается и раздавливается. Очевидно, при таком механизме при вращении коронки она еще и перетирается собиранием шлама. Чем крепче порода, тем мельче шлам. Шлам по версии многих исследователей выносится промывочной жидкостью через специальные окна буровой коронки. В тоже время есть исследования и работы, которые показывают, что шлам выносится радиально из-под секторов коронки, где минимальный зазор между торцом и породой что является косвенным доказательством наличия мельчайших частиц разрушенной породы. Размеры разрушенных частиц в значительной мере зависят от физико-механических свойств породы, ее минералогического состава, макро- и микроструктуры. Как считают многие исследователи, разрушение породы может идти не только за счет достижения предела прочности породы на сжатие, но также и за счет разрушения связи кристаллов между собой. На наш взгляд, здесь имеет место и микроструктурное разрушение пород, однако под воздействием крутящего момента резец оказывает на породу режущее и скалывающее воздействие. Последнее суммируется с касательными напряжениями, возникающими при разложении нормальных усилий на зерно. Учитывал, что прочность пород на сдвиг на порядок

меньше, чем на сжатие, именно эти напряжения, суммируясь с напряжениями от крутящего момента приводят к разрушению породы. В результате, следует констатировать, что воздействие алмазного зерна реализует одновременно множество механизмов разрушения: микрорезание, резание, скалывание элементарных частиц, раздавливание, слияние и даже нежелательное шлифование в зависимости от геологотехнических условий. Реализация каждого из указанных механизмов разрушения во взаимодействии с породой определяет как размеры и качество шлама, так и условия его выноса из-под торца коронки. Последнее является весьма важным моментом процесса бурения алмазной коронкой, так как износ матрицы и обнажение алмазов происходит при соприкосновении ее с породой и шламом. В случае накопления шлама и роста его толщины под торцом коронки наступает момент, когда резцы перестают контактировать с породой забоя, и процесс разрушения последнего и удаления шлама прекращается. В этом случае повышенный износ матрицы приводит зачастую к повышению износа алмазов из-за их перегрева.

#### **Выводы**

Механизм разрушения – не однозначный процесс, зависящий как от конструкции алмазной буровой коронки, так и в значительной мере от физико-механических свойств разрушаемой породы.

#### **Литература**

1. Гразов М.Г. «Алмаз сберегающая, технология бурения» Разведка и охрана недр 1983, №4
2. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / Н.В. Соловьев, В.Ф. Чихоткин, Р.К. Богданов, А.П. Загора. – М.: ОАО «ВНИМОЭНГ», 1997.
3. Чихоткин В.Ф. Исследование техники и технологии бурения геологоразведочных скважин и разработка нового поколения алмазного породоразрушающего инструмента М.: ОАО «ВНИМОЭНГ», 1997.

*Поступила 09.07.14*

УДК 622.24

**А. А. Кожевников**, д-р техн. наук<sup>1</sup>; **А. Ю. Дреус**, канд. техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет им. О.Гончара, Украина

### **ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ БУРОВЫХ АЛМАЗОВ**

*В статье представлены результаты математического моделирования температурных полей в алмазных инструментах. Осуществляется оценка времени нагрева алмазов и градиента температуры. Этот результат является основой для анализа теплового стресса в инструменте.*

**Ключевые слова:** температурное поле, алмаз, тепловой стресс, инструмент.

#### **Введение**

Износостойкость алмазных буровых коронок напрямую зависит от температурного режима на забое скважины при бурении [1]. Действие температурного фактора проявляется в виде различных деформаций буровых алмазов: зашлифованных режущих граней, растрескиваний из-за температурных напряжений, снижения твердости и абразивности зерен. По данным различных