

УДК 622.24.05

Н. В. Новиков, акад. НАН Украины; **Р. К. Богданов**, **А. М. Исонкин**,
А. П. Загора, кандидаты технических наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК КОНСТРУКЦИИ ИСМ

Приведены результаты исследований по созданию конструкций буровых коронок, оснащенных мелкими фракциями синтетических алмазов и сверхтвердыми композиционными алмазосодержащими материалами.

Ключевые слова: буровая коронка, концентрация и зернистость алмазов, сектор коронки, форма торца матрицы.

Применительно к свойствам наиболее твердых пород с упруго-хрупким характером разрушения (IX–XI категории по буримости) в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ) разработан импрегнированный инструмент, оснащенный монокристаллическими синтетическими алмазами (СА).

Разработанный инструмент имеет ряд особенностей и характеризуется: высокой концентрацией СА в матрице, развитой промывочной системой, использованием в качестве породоразрушающих элементов новых сверхтвердых материалов.

Основным видом износа в процессе работы СА является хрупкое разрушение в виде скалывания их выступающих частей вследствие развития микротрещин в алмазе при контакте с породой [1].

С учетом характера распределения высоты выступления алмазов из тела матрицы соответствует характеру распределения осевых усилий, передаваемых на алмазы в процессе бурения, можно констатировать, что алмазы с наибольшим выступанием нагружаются в несколько раз сильнее и поэтому разрушаются. Уменьшить усилия на алмазы можно при обеспечении повышения равновысотности выступления алмазов из тела матрицы за счет применения однородных по размеру и прочности алмазов.

Значительного повышения однородности алмазных порошков по прочности и термостойкости достигают путем сортировки их на магнитных носителях за счет разделения зерен алмаза по степени дефектности.

Результаты испытаний буровых коронок, оснащенных алмазами различных марок с высокими коэффициентами однородности по прочности, термостойкости и линейным размерам, показаны на рис. 1.

Данные испытаний (рис. 1) показывают, что оснащение буровых коронок алмазами более высокой прочности способствует снижению интенсивности их изнашивания на 25–62 %.

При разработке конструкций коронок вопрос оснащенности их алмазами является одним из важнейших. Для определения оптимальной насыщенности (концентрации) алмазов в коронках провели стендовые испытания, результаты которых показаны на рис. 2. В результате анализа полученных данных выделили три диапазона концентраций. Первый диапазон – 0–70 %, при котором коронки не обеспечивают эффективного разрушения породы и показывают крайне низкую износостойкость. Второй диапазон – 70–120 %. В нем наблюдается почти линейная зависимость износостойкости коронок от концентрации алмазов. При этом обеспечиваются эффективные условия разрушения породы. Третий диапазон охватывают коронки с концентрацией выше 120 %. Износостойкость таких коронок резко снижается вследствие снижения удерживающей способности матрицы и выпадения алмазных зерен в процессе работы. С учетом технологических особенностей изготовления

буровых коронок типа БС с вольфрамсодержащей матрицей за основу приняли концентрацию алмазов в инструменте 125 %.

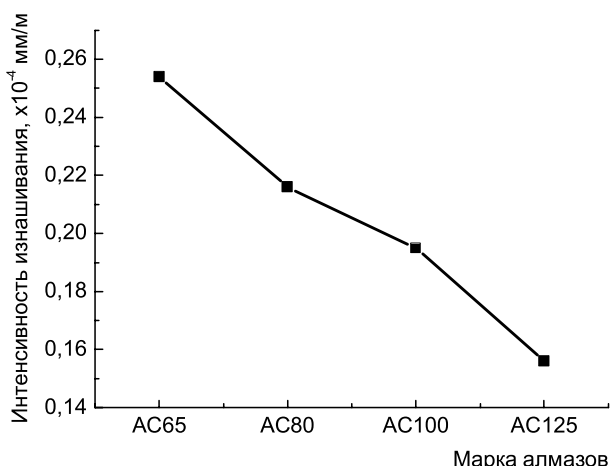


Рис. 1. Кривая интенсивности изнашивания коронок, оснащенных алмазами различных марок

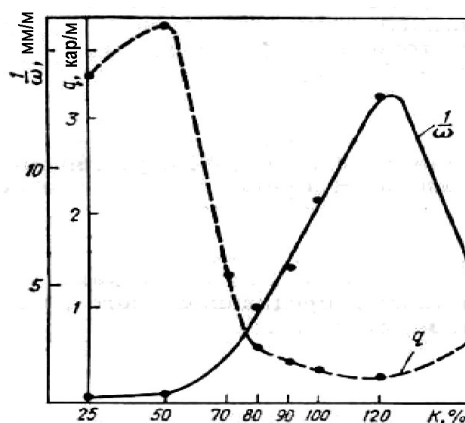


Рис. 2. Зависимости проходки на коронку и удельного расхода алмазов от их концентрации

Для повышения износостойкости коронок необходимо прежде всего повысить качество матрицы. Применение специальных адгезионно-активных к алмазу материалов с высокими механическими свойствами позволит не только увеличить насыщенность алмазами режущей части инструмента, но и повысить прочность закрепления зерен алмаза в матрице.

Были проведены исследования влияния концентрации алмазов в коронках с матрицей на основе адгезионно-активных связей на их износостойкость. Матрицы всех экспериментальных коронок типа БА изготавливали на основе разработанной в ИСМ адгезионно-активной связки МЗ-21.

Результаты исследований показаны на рис. 3.

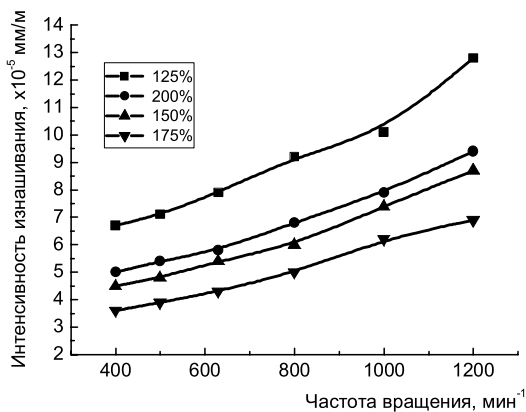


Рис. 3. Кривые интенсивности изнашивания коронок БА с различной концентрацией алмазов в матрице при разной частоте вращения и подаче за оборот 80 мкм

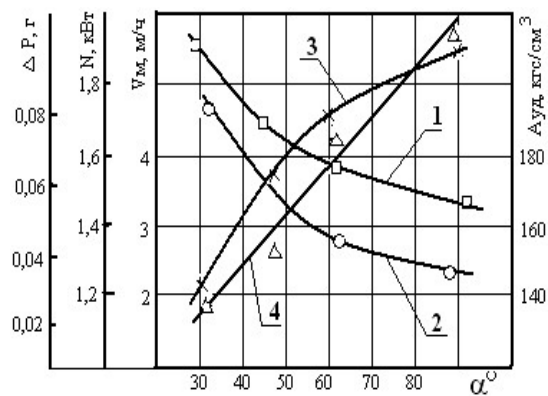


Рис. 4. Зависимость мощности бурения N (1), скорости бурения $V_{\text{мех}}$ (2), удельной работы разрушения породы $A_{\text{уд}}$ (3) и износа матрицы ΔP (4) от угла наклона рабочей поверхности α

Наименее интенсивно изнашивались на всех частотах вращения коронки с относительной концентрацией алмазов в матрице 175 и 150 %. На основании исследований в ИСМ разработали коронки типов БА-24ССК и БА-30 с концентрацией СА в матрице 150 и 175 %.

К важнейшим конструктивным геометрическим параметрам алмазной коронки относится профиль ее торца, влияющий на распределение нагрузок, эффективность удаления шлама, размещение алмазов и технологичность изготовления коронки [2].

В результате исследований установили, что одним из путей интенсификации процесса бурения импрегнированным инструментом является выполнение его породоразрушающей части в виде прямоугольной трапеции с углом наклона в сторону кернообразующей поверхности.

Зависимости мощности и скорости бурения, удельной работы разрушения породы и износа матрицы от угла наклона ее рабочей поверхности показаны на рис. 4. Приведенные данные свидетельствуют о более эффективном разрушении горной породы коронками с малыми углами α , при низкой удельной потребляемой энергии.

Наряду с этим в ИСМ выполнили исследования по созданию инструмента с равноизносостойким профилем рабочей поверхности. Сначала рассмотрели буровую коронку с плоской рабочей поверхностью (рис. 5, а).

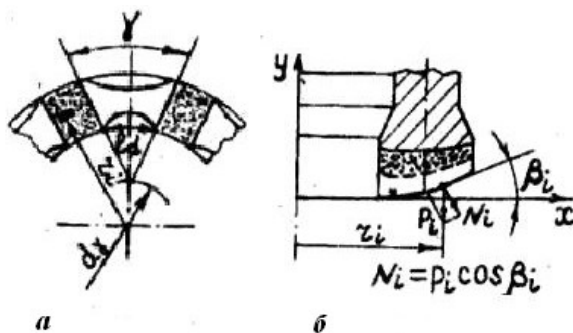


Рис. 5. Схемы рабочего профиля коронки с плоской рабочей поверхностью (а) и с равноизносостойкой рабочей поверхностью (б)

Равномерное изнашивание данной коронки будет в том случае, если работа трения участков площадью dS , находящихся на внутреннем и наружном диаметрах будет постоянной и независимой от их расстояния от оси вращения инструмента.

Как показали результаты исследования, это наблюдается при угле между соседними секторами, равным

$$\alpha = 2\arctg(l_d/d),$$

где l_d – ширина промывочного канала по окружности на внутреннем диаметре; d – внутренний диаметр коронки.

В результате исследований установили, что давление на элементарных участках поверхности постоянно при угле между соседними секторами в коронке

$$\gamma = 2\arctg \left[\frac{D \sin \left(\frac{\pi D - \pi d + m l_d}{m D} \right) - l_d}{D - d} \right] \quad (2)$$

где D – наружный диаметр коронки; m – количество секторов.

Рассмотренные положения являются необходимым, но не достаточным условием для создания инструмента с гарантированной равномерной интенсивностью изнашивания. Равная износостойкость коронки с углом между соседними секторами γ , очевидно, будет в том случае, если работа трения на элементарном участке поверхности коронки также будет постоянной и не будет зависеть от расстояния участка до оси вращения:

$$A_i = 2\pi r_i f N_i = \text{const}, \quad (3)$$

где: f – коэффициент трения; N_i – нормальное усилие на i -м участке; r – радиус i -го участка.

Так как угол γ обеспечивает $N_i = \text{const}$, чтобы выполнялось условие (3), необходимо с увеличением r_i уменьшать N_i . Исходя из этого, условие (3) может быть выполнено только при криволинейном профиле рабочей поверхности матрицы буровой коронки, т. е. когда между N_i и p_i , будет существовать функциональная связь $N_i = p_i \cos \beta_i$, где p_i – усилие на i -м элементарном участке, β_i – угол между касательной к профилю в i -й его точке и миделевой плоскостью (рис. 5, б). Тогда $A = 2\pi r_i f p_i \cos \beta_i = \text{const}$ или $r_i \cos \beta_i = \text{const} = C$.

Таким образом, работа трения будет обеспечивать постоянную интенсивность изнашивания буровой коронки в произвольной точке ее рабочей поверхности только в том случае, если произведение радиуса к рассматриваемой точке на косинус угла между касательной в этой точке и плоскостью, перпендикулярной к оси вращения коронки, будет

равняться половине ее внутреннего диаметра. На основании исследований разработали алмазные буровые коронки типа БСЗ6.

Рассмотренные профили имеют один весомый недостаток, а именно: по внешнему или внутреннему диаметру они имеют вершину угла, которая является концентратором напряжений в процессе бурения и интенсивно изнашивается. Это приводит в лучшем случае к ее округлению или же возможному катастрофическому износу матрицы коронки в этом месте профиля. Разработанные в ИСМ вставки из сверхтвёрдого композиционного алмазосодержащего материала (СКАМ) твесал позволили создать новый тип алмазных импрегнированных коронок с комбинированной матрицей, оснащенной СА и конструктивными элементами из СКАМ высокой износостойкости в местах повышенного износа.

Формула для определения оптимального количества вставок твесала для обеспечения равномерного изнашивания алмазосодержащей матрицы буровой коронки имеет вид

$$n_{\text{мв}} = \frac{kI_{\text{мв}}S_{\text{ам}}(m_i - 1)}{S_{\text{мв}}(I_{\text{ам}} - kI_{\text{мв}})}, \quad (4)$$

где $I_{\text{мв}}$ – интенсивность изнашивания твесала, $S_{\text{ам}}$ – площадь поверхности кольца матрицы, m_i – коэффициент превышения нормальной нагрузки на более нагруженной поверхности изнашивания матрицы, $S_{\text{мв}}$ – площадь поверхности кольца матрицы, занимаемая вставками твесала, $I_{\text{ам}}$ – интенсивность изнашивания композита матрицы.

Значение коэффициента k в этом выражении зависит от показателей прочности, зернистости и концентрации СА в твесале.

Результаты экспериментальных исследований износостойкости буровых коронок диаметром 59 мм при различных вариантах оснащения рабочего торца приведены в таблице.

Влияние количества вставок твесала на работу буровой коронки диаметром 59 мм с различной формой профиля рабочей поверхности

Количество		Средняя проходка на коронку, м	Количество рейсов	Средняя проходка за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Причина снятия коронки с обработки
вставок твесала	отработанных коронок					
0	5	9,0	3	3,0	3,2	Канавки по наружному диаметру
2 (через три сектора)	5	15,0	5	3,0	3,0	
4 (через сектор) расчетное	5	22,0	5	4,4	2,8	Полная обработка матрицы коронки
8 (в каждом секторе)	5	12,0	4	3,0	1,5	Канавка по внутреннему диаметру

Как свидетельствуют полученные данные, у коронок с различным количеством вставок твесала в вершине рабочего торца матрица изнашивается по-разному. Рабочий торец матрицы коронки с четырьмя вставками твесала, рассчитанными по формуле (4), в течение обработки коронки изнашивался равномерно.

С учетом изложенного можно констатировать возможность регулирования износостойкости алмазосодержащей матрицы буровой коронки путем размещения в ней оптимального количества вставок твесала.

На основании результатов исследований разработали буровые коронки с комбинированными матрицами типов БС04, БС05, БС06 для бурения скважин в горных породах IX–XI категории буримости одинарными колонковыми снарядами.

Под действием осевой нагрузки и крутящего момента алмазы в секторах коронки внедряются в породу и разрушают ее. Глубина внедрения алмазов в породу всегда меньше величины их выступания из тела матрицы, в связи с чем между торцом секторов и породой возникает зазор, в который попадают частицы разрушенной породы. При длинных секторах в их задней по ходу вращения коронки части наблюдаются цвета побежалости и другие признаки прижога, вызванные скоплением шлама. Для обеспечения нормальных условий разрушения породы мелкими алмазами и эффективного удаления шлама необходимо уменьшить длину рабочих элементов и создать развитую промывочную систему с большим количеством промывочных каналов.

Установлено, что отношение длины сектора к длине промывочного канала должно составлять 3:1. При этом количество секторов следует выбирать в соответствии с соотношением $n = \pi D/a$, где n – количество секторов; D – диаметр коронки, мм; $a = 19+1,5$ мм. По этому принципу разработали конструкцию коронок типа БС01.

Количество скапливаемого под секторами шлама распределяется неравномерно и увеличивается от нуля в начале сектора до $h = 2h_{cp}$ в его конце, причем чем длиннее сектор, тем больше высота h_{cp} шламовой прослойки под его торцом (рис. 6, а). При уменьшении длины сектора пропорционально уменьшается высота шламовой прослойки h_{cp} под ним (рис. 6, б), что облегчает удаление шлама из зоны разрушения породы.

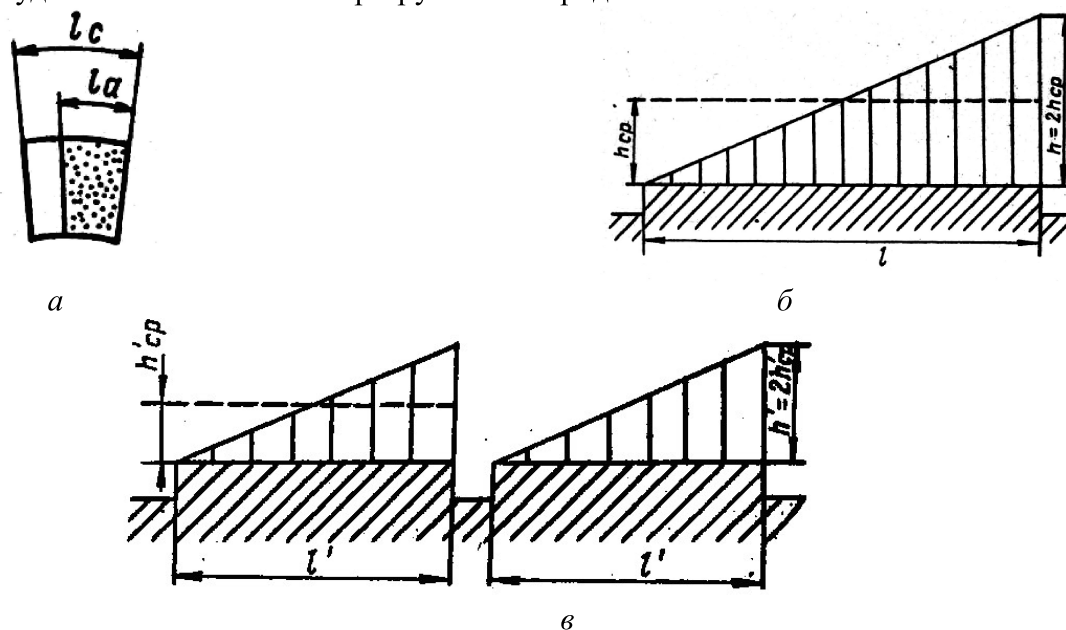


Рис. 6. Схемы размещения шлама под сектором коронки

Установлено, что в целях повышения эффективности работы за счет улучшения очистки забоя от шлама суммарная длина промывочного канала и сектора должна составлять 7,5–8,5 мм, при этом отношение длины промывочного канала к длине сектора должно составлять 0,5–1,0. На основании данных исследований разработали конструкцию коронок типа БС33.

Широкое промышленное внедрение разработанного породоразрушающего инструмента в различных регионах Украины и странах СНГ выявило его возможности, позволило повысить показатели алмазного бурения и расширило области применения монокристаллических СА и сверхтвердых материалов.

Создание в ИСМ новых коронок, оснащенных СА и сверхтвердыми материалами, усовершенствование технологии их применения и повышение качества СА и сверхтвердых

материалов обеспечили дальнейшее развитие алмазного бурения, расширение областей применения и повышение его эффективности.

Наведено результати досліджень по створенню конструкцій бурових коронок, оснащених дрібними фракціями синтетичних алмазів і надтвердими композиційними алмазовмісними матеріалами.

Ключові слова: бурова коронка, концентрація і зернистість алмазів, сектор коронки, форма торця матриці.

The results of researches are resulted on creation of constructions of drilling tools, equipped shallow factions of synthetic diamonds and superhard composition containing diamond materials.

Key words: drilling tools, concentration and grittiness of diamonds, sector of drilling tools, form of butt end of matrix.

Литература

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В. Н. Бакуля, – К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.
2. Оницин В. П. Оценка распределения давлений под торцом импрегнированных коронок // ОНТИ ВИТР. – 1964. – № 46. с. 61–65.

Поступила 20.06.12

УДК 622.244.4.06

А. И. Вдовиченко, член-корр АТН Украины

Союз буровиков Украины

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ

На основании углубленного анализа опубликованных результатов отечественных научно-производственных экспериментов с достижением рекордных показателей при использовании эмульсионных промывочных жидкостей с повышенными смазочными свойствами уточнены отдельные закономерности влияния поверхностно-активных веществ на процесс алмазного бурения, которые могут быть использованы в новых разработках.

Ключевые слова: алмазное бурение, поверхностно-активные вещества, стойкость алмазного инструмента.

В течение 100 лет с момента изобретения алмазной коронки (1862 г.) ее широкое использование в колонковом бурении сдерживалось растущей стоимостью природных алмазов. Применение с 1899 г более дешевого дробового бурения, а с 1923 г твердых сплавов еще более ограничило область эффективного использования алмазов в колонковом бурении.

И только с появлением в начале 30-х годов прошлого века мелкоалмазных коронок получило развитие алмазное бурение. Фирма «Антон Смит» (Нью-Йорк) в то время выпустила три типа мелкоалмазных коронок: Ascolait из высокосортных бортсов, закрепленных в твердом сплаве; Castolait из светлых алмазов, закрепленных в бронзе и Nicolait из алмазов, закрепленных в специальном твердом сплаве. Эти коронки диаметром 26 мм использовали при бурении шпуров на глубину до 15 м в твердых породах со скоростью вращения 2000–4000 об/мин, обеспечивая очень высокую производительность. Такого же