

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 %.

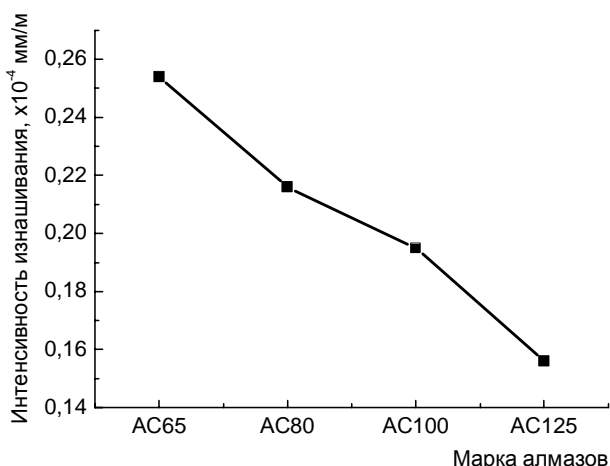


Рис. 1. Кривая интенсивности изнашивания коронок, оснащенных алмазами различных марок

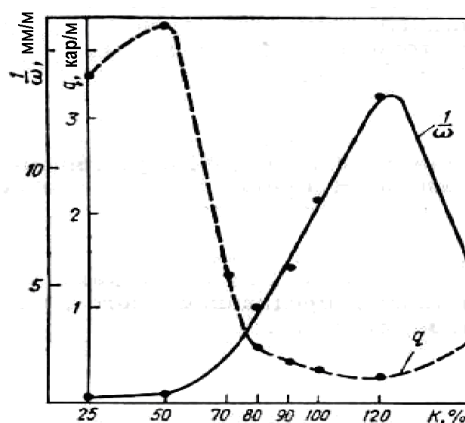


Рис. 2. Зависимости проходки на коронку и удельного расхода алмазов от их концентрации

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.

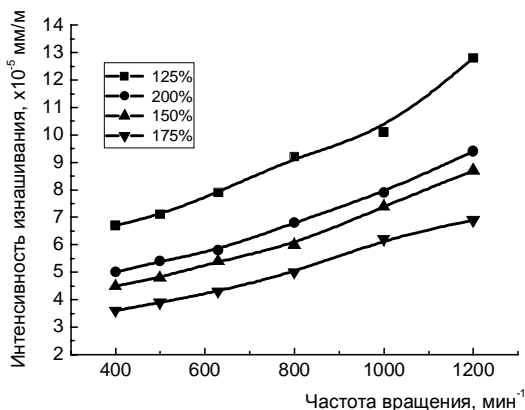


Рис. 3. Кривые интенсивности изнашивания коронок БА с различной концентрацией алмазов в матрице при разной частоте вращения и подаче за оборот 80 мкм

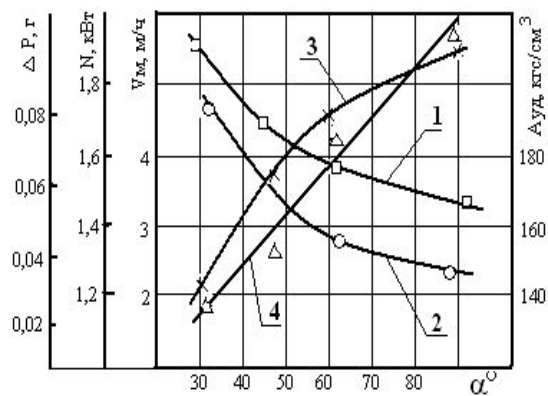


Рис. 4. Зависимость мощности бурения  $N$  (1), скорости бурения  $V_{mex}$  (2), удельной работы разрушения породы  $A_{уд}$  (3) и износа матрицы  $\Delta P$  (4) от угла наклона рабочей поверхности  $\alpha$

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  $\alpha$ , 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).

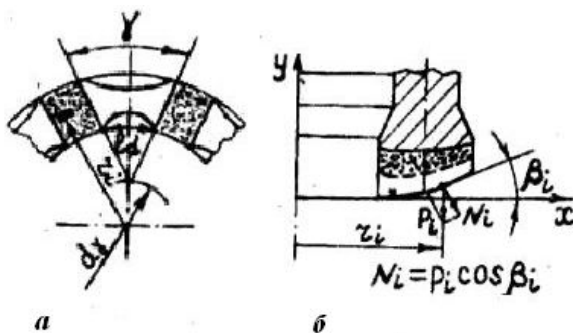


Рис. 5. Схемы рабочего профиля коронки с плоской рабочей поверхностью (а) и с равноизносостойкой рабочей поверхностью (б)

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

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

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  $\gamma$ , 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  $\gamma$  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,  $\beta_i$  – 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

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

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,  $S_{\text{имв}}$  – 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.

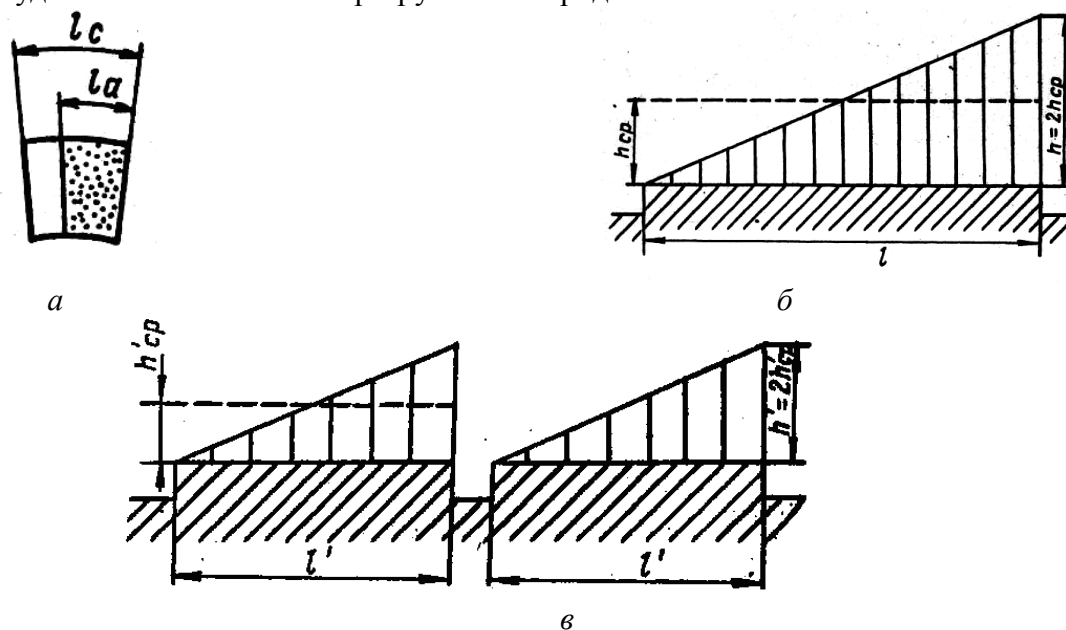


Рис. 6. Схемы размещения шлама под сектором коронки

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