

Совокупный анализ результатов расчета по первому и второму этапам показывает следующее.

При отсутствии в почве пропила (рис. 1, а) эквивалентные напряжения имеют максимум на контуре выработки и концентрируются у переходной части от стенок к почве. Там же концентрируются и максимальные сдвиговые напряжения (рис. 1, б).

Наличие пропила (рис. 2, а) приводит к тому, что максимумы эквивалентных напряжений перемещаются от контура выработки вглубь массива (в почву), на забой пропила, при этом, как видно из рисунка, контур выработки, особенно почва, разгружаются от напряжений. Аналогичное перераспределение происходит и с касательными напряжениями (рис. 2, б).

Общие уровни эквивалентных и касательных (сдвиговых) напряжений в почве выработки снизился на 22% и 23% соответственно.

Следует отметить, что полученные результаты касаются только случая одиночного вертикального пропила определенных размеров. Для обоснования технологических параметров данного способа в условиях конкретной выработки, таких, например, как длина и ширина пропилов, их количество, расположение и наклон относительно плоскости почвы и продольной оси выработки, наличие и тип заполнителя и других, требуются дополнительные численные исследования, которые и проводятся в настоящее время.

**Выводы.** Таким образом, наличие пропила в почве выработки снижает концентрацию напряжений в почве выработки и в целом оказывает положительное влияние на ее общую устойчивость. Однако, для обоснованного применения данного способа в условиях конкретной выработки, необходимо проведение комплекса экспериментов по выбору его технологических параметров, оптимальных для конкретных условий, а также применения численных алгоритмов, позволяющих учесть существенную физическую нелинейность окружающих выработку пород, которая имеет место при упругопластическом деформировании приконтурного массива.

### Библиографический список

1. **Кара В.В., Заславский И.Ю., Зорин Г.Л.** Состояние и ремонт горных выработок на угольных шахтах Украинской ССР // Шахтное и подземное строительство, 1988. — №6. — С.22–25.
2. **Шашенко А.Н.** Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 1988. — 507 с.
3. **Роенко А.Н.** Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин разработки: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 1995. — 426 с.
4. **Шашенко А.Н., Роенко А.Н.** Устойчивость почвы горных выработок, пройденных в слоистом породном массиве // Изв. ВУЗов. Горный журнал., 1994. — №2. — С.31–33.

© *Мартовицкий А.В., Шашенко А.Н., Ганеев С.Н., 2005*

УДК 622.244

Кандидаты техн. наук БОГДАНОВ Р.К., ЗАКОРА А.П., ИСОНКИН А.М. (ИСМ НАН Украины, г. Киев)

### АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ БУРЕНИЯ В ПОРОДАХ СРЕДНЕЙ ТВЕРДОСТИ

Практика бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые показывает, что не может существовать один универсальный породоразрушающий

инструмент, способный обеспечить высокие результаты при бурении в породах с различными физико-механическими свойствами.

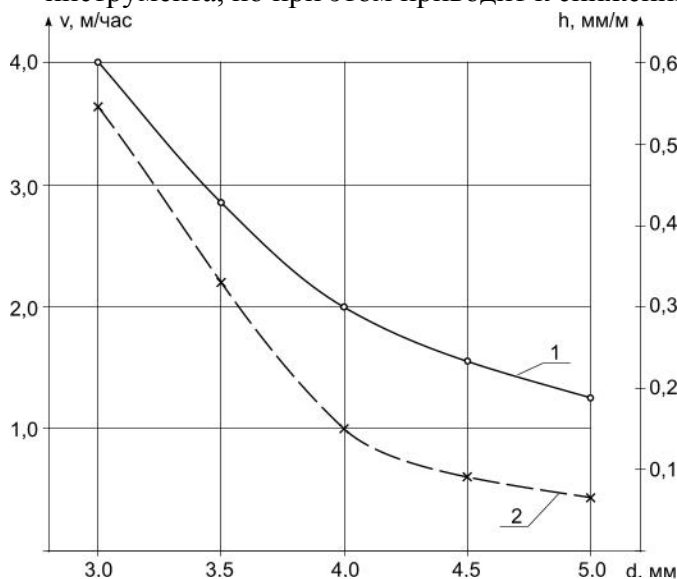
Применительно к конкретным категориям пород разрабатываются инструменты, оснащенные определенными сверхтвердыми материалами. Так, для бурения мягких пород (I–V категория по буримости) используется инструмент, оснащенный твердосплавными элементами. Для бурения пород средней твердости (VI–VIII категория по буримости) используется инструмент, оснащенный крупными природными и поликристаллическими синтетическими алмазами. В твердых породах (IX–XI категория по буримости) используется инструмент, оснащенный мелкими природными и высокопрочными монокристаллическими синтетическими алмазами.

В Институте сверхтвердых материалов имени В.Н.Бакуля (ИСМ) разработана большая гамма бурового инструмента, оснащенного высокопрочными синтетическими монокристаллическими алмазами, предназначенного для бурения скважин в твердых породах. В то же время инструмент для бурения в породах средней твердости в ИСМ не разрабатывался в силу отсутствия сверхтвердых материалов с физико-механическими свойствами, обеспечивающими эффективное разрушение таких пород.

С разработкой в ИСМ алмазного композиционного термостойкого материала (АКТМ) появилась возможность выполнять работы по созданию инструмента для бурения скважин в породах средней твердости [1].

За основу конструкции нового типа инструмента была принята конструкция коронки резового типа. В качестве породоразрушающих элементов использовался АКТМ в виде цилиндров.

При разработке конструкции коронки с резцами (вставками) АКТМ важное значение имеет угол резания вставок, количество и схема их размещения по рабочей части коронки. По мере уменьшения угла резания процесс разрушения породы происходит более эффективно, увеличивается глубина резания, образуется более крупный шлам. В результате механическая скорость бурения увеличивается. Вместе с тем, при уменьшении угла резания резец (вставка) АКТМ становится более чувствительным к ударным нагрузкам, возникающим при бурении в трещиноватых породах. Увеличение угла резания способствует повышению надежности работы вставок АКТМ в твердых породах и росту ресурса инструмента, но при этом приводит к снижению механической скорости бурения.



**Рис. 1.** Изменение механической скорости бурения (1) и интенсивности изнашивания инструмента (2) в зависимости от диаметра вставок АКТМ

Немаловажным элементом конструкции коронки является число вставок на породоразрушающей части инструмента. При увеличении их количества снижается эффективность очистки забоя от шлама, что отрицательно сказывается на механической скорости бурения. С увеличением количества вставок уменьшается величина удельной нагрузки на единичную вставку, что также приводит к снижению механической скорости бурения.

Для установления оптимального размера вставок АКТМ, необходимого для оснащения бурового инструмента, были изготовлены коронки из вставок диаметром от 3 до 5 мм и проведены их исследования при бурении блока габбро в стендовых условиях.

Результаты испытаний приведены на рис. 1.

Как видим, с изменением диаметра вставки износостойкость инструмента и механическая скорость бурения им изменяется. Так, с изменением диаметра вставки от 3 до 5 мм при постоянных режимах бурения интенсивность изнашивания инструмента уменьшается в 7 раз, а механическая скорость бурения — в 3 раза.

Снижение показателей работоспособности инструмента с повышением диаметра вставки при постоянных режимах бурения связано, на наш взгляд, с перераспределением удельных нагрузок на вставку. С увеличением размера вставки удельная нагрузка на нее уменьшается и, как следствие, снижаются показатели бурения. С уменьшением размера вставки от 3 до 4 мм снижение показателей бурения происходит более интенсивно, чем в диапазоне от 4 до 5 мм. Поэтому наиболее оптимальный размер вставки для буровых коронок должен быть в пределах от 4 до 5 мм.

Исходя из соображений технологии изготовления вставок и возможностей применения более высоких удельных нагрузок было решено использовать для оснащения коронок вставки размером 4 мм.

Принимая во внимание размеры вставок, промывочных пазов и площади торца инструмента была разработана конструкция коронки типа БТ-19 диаметром 76 мм.

Конструкция буровой коронки представляет собой четырех секторную матрицу, закрепленную в процессе пропитки связующим сплавом на стальном корпусе. В каждом секторе матрицы буровой коронки располагается по три цилиндрических режущих элемента диаметром 4 мм под отрицательным углом  $20^\circ$  к поверхности матрицы, которые, в свою очередь, равномерно распределены по торцу матрицы под углом  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  и  $60^\circ$  от оси промывочного канала по концентрическим окружностям от скважинообразующей до кернообразующей поверхности коронки. Такая схема обеспечивает полное перекрытие забоя скважины.

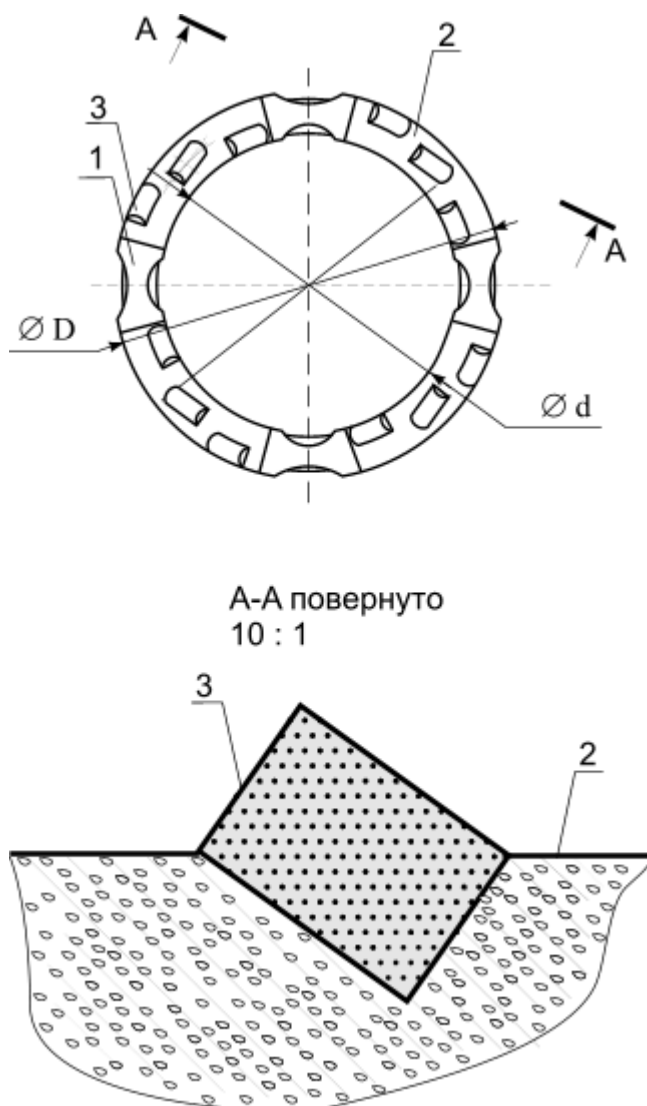
Наружная и внутренняя поверхности матрицы коронки оснащены элементами твеса, обеспечивающими калибровку поверхности скважины.

Промывочная система алмазной коронки — это совокупность конструктивных элементов, обеспечивающих прохождение промывочной жидкости через коронку, ее охлаждение и вынос шлама из-под торца коронки во время бурения. Чем больше шлама образуется в процессе бурения, тем больше должна быть пропускная способность промывочной системы коронки.

Значительная часть промывочной жидкости проходит через промывочные каналы, которые прорезаны в теле короночной матрицы и разделяют ее на отдельные секторы. От их числа, сечения и формы в основном зависит очистка забоя. Оптимальное значение суммарного сечения всех промывочных каналов в коронке неодинаково для коронок различных конструкций. Например, в коронках, которые предназначены для бурения мягких пород, дающих при разрушении много липкого шлама, сечение каждого промывочного канала должно быть как можно большим.

Накопленный в ИСМ опыт конструирования и применения алмазных буровых коронок показывает, что применительно к физико-механическим свойствам горных пород размер и количество промывочных каналов в коронке отличаются друг от друга, но общая их площадь для каждого диаметра инструмента должна быть практически одинаковой. Так, для коронки типа БС20 диаметром 76 мм размер канала равен 5 мм и при их количестве 16 общая площадь каналов составляет  $7,2 \text{ см}^2$ . Принимая во внимание, что коронки типа БТ-19 диаметром 76 мм будут работать в более мягких породах, чем коронки типа БС20 диаметром 76 мм, то размер канала должен быть больше, при одинаковой общей площади. Исходя из этого, размер канала в коронках БТ-19 диаметром 76 мм увеличен до 20 мм вместо 5 мм, как в коронках БС20 диаметром 76 мм, а их количество уменьшено с 16 до 4.

С целью уменьшения вероятности образования канавок по наружному и внутреннему диаметрам матрица заполнена по всему объему высокопрочными синтетическими алмазами марки АС 160Т (рис.2).



**Рис. 2.** Буровая коронка  $\varnothing 76$  мм из АКТМ: 1 — промывочный паз; 2 — слой матрицы, оснащенный монокристаллическим синтетическим алмазом; 3 — вставки АКТМ

Механизм работы такой конструкции коронки заключается в следующем. Выступающие над алмазоносным слоем режущие вставки АКТМ создают в разбуриваемом массиве горной породы зону предразрушения, ширина которой в 1,2–1,8 раза превышает ширину внедренной части вставки. Образовавшиеся в этой зоне макро- и микротрещины значительно ослабляют породу, а кристаллы алмаза в алмазоносном слое, работая по предразрушенной зоне, значительно легче завершают процесс разрушения.

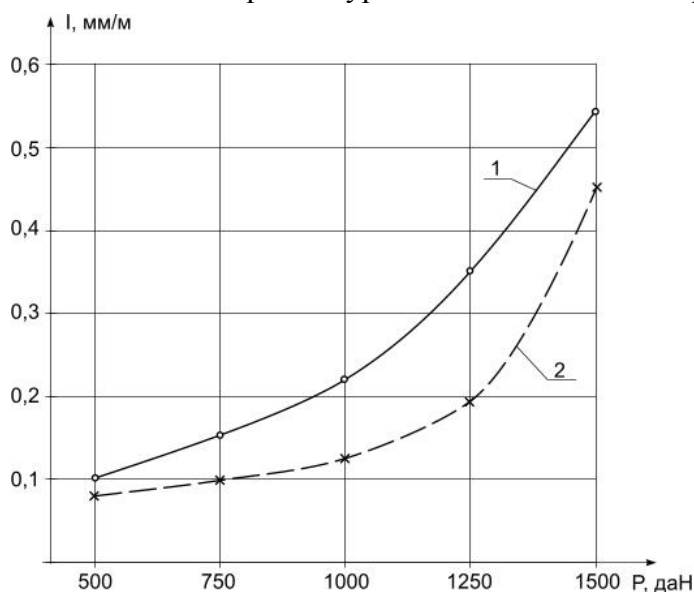
Размер кристаллов алмаза в слое и размер вставок должны находиться в определенном соотношении. Если это соотношение будет меньше оптимального, то образовавшиеся в процессе предразрушения породы частицы шлама будут иметь больший размер по сравнению с кристаллами алмаза в слое и коронка будет застревать на этих частицах вплоть до их переизмельчения в размер, при котором они смогут проходить между выступающими из слоя кристаллами алмаза и вымываться промывочной жидко-

стью на поверхность скважины. На процесс переизмельчения будут расходоваться дополнительные затраты мощности, скорость бурения будет падать и эффективность бурения понизится.

В случае, когда соотношение размеров вставок и кристаллов алмаза в слое больше оптимального, частицы шлама будут значительно меньше величины выступания кристаллов алмаза из слоя, и поэтому будут полностью выноситься промывочной жидкостью из-под торца, что недостаточно для нормального износа матрицы и обнажения кристаллов алмаза, находящихся в слое. Такой процесс будет приводить к постепенной заполировке алмазов слоя и, как следствие, к прекращению процесса разрушения породы. Работа коронки в этих условиях будет малоэффективной, так как необходимо будет затрачивать и время на дополнительный процесс обнажения кристаллов алмаза.

При оптимальном соотношении размера кристаллов алмаза в слое и вставок АКТМ частицы шлама, находясь в постоянном контакте с матрицей, изнашивают ее на необходимую для непрерывного обнажения кристаллов алмаза величину. Шлам имеет возможность проходить в зазоре между ними и бурение происходит без дополнительных на то затрат мощности и времени.

Правильно выбранные параметры режима бурения породоразрушающим инструментом обеспечивают достижение высоких показателей бурения. Оптимальными режимными параметрами считаются такие, при которых обеспечивается максимальная механическая скорость бурения и минимальный при этом износ инструмента.



**Рис.3.** Изменение интенсивности изнашивания инструмента в зависимости от осевой нагрузки: 1 — коронка БТ; 2 — коронка БС01

1250 даН (в 2,5 раза) интенсивность изнашивания коронок типа БТ увеличивается в 3,5 раза, а коронок типа БС — в 2,5 раза. В интервале увеличения нагрузки от 1250 даН до 1500 даН интенсивность изнашивания коронок типа БС возрастает более интенсивно, чем коронок БТ. Объяснить это, на наш взгляд, можно тем, что при таких нагрузках в мелкоалмазной коронке типа БС зазор между матрицей и забоем скважины становится весьма малым и шлам начинает накапливаться под торцом инструмента и дополнительно воздействует на материал матрицы, увеличивая его износ.

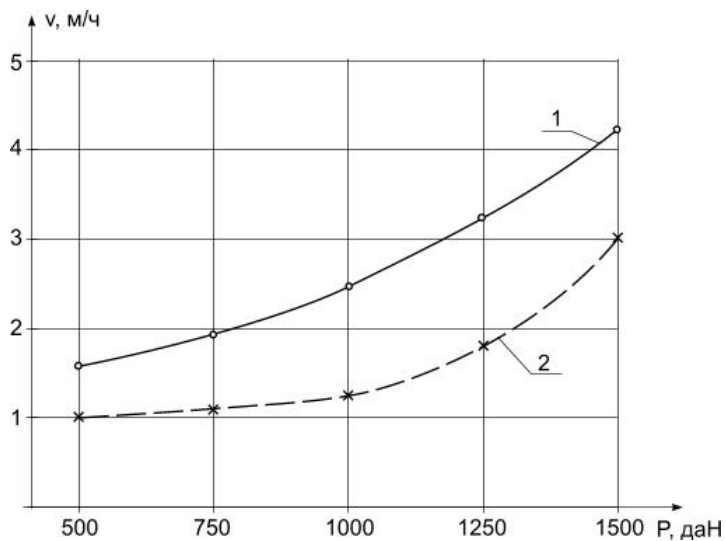
Характер изменения механической скорости бурения от нагрузки соответствует характеру изменения интенсивности изнашивания от нагрузки. Однако, механическая скорость бурения коронками БТ выше, чем коронками БС при нагрузке 500 даН на 80%

Для проведения лабораторных испытаний были изготовлены образцы коронок типа БТ и БС. Коронки типа БС необходимы для сравнения показателей работоспособности коронок из АКТМ (БТ) и монокристаллических синтетических алмазов (БС).

Первоначально были проведены исследования зависимости интенсивности изнашивания коронок от осевой нагрузки при бурении габбро. Замер величины износа инструмента производился микрометром через каждые 0,4 м. Результаты испытаний представлены на рис.3.

Как видим, интенсивность изнашивания коронок типа БТ и БС неоднозначна. Так, с увеличением осевой нагрузки от 500 даН до

и при нагрузке 1500 даН — на 40%. Причем, как и в первом случае, максимальные значения механической скорости бурения коронок при нагрузке 1000 даН отличаются между собой до 200% (рис.4).

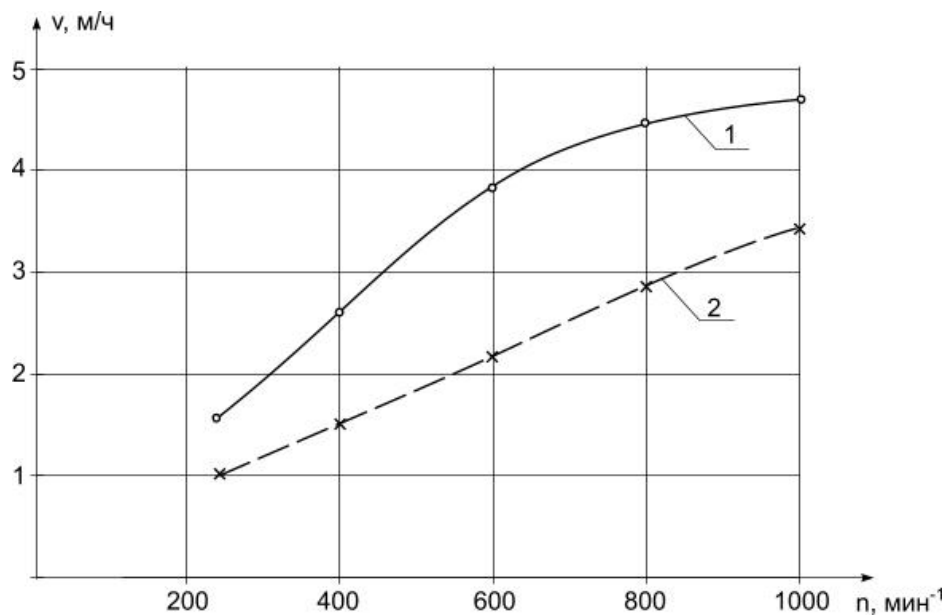


**Рис.4.** Изменение механической скорости бурения инструментом в зависимости от осевой нагрузки: 1 — коронка БТ; 2 — коронка БС01

Таким образом, нагрузка 1000 даН для коронок, оснащенных АКТМ, является оптимальной.

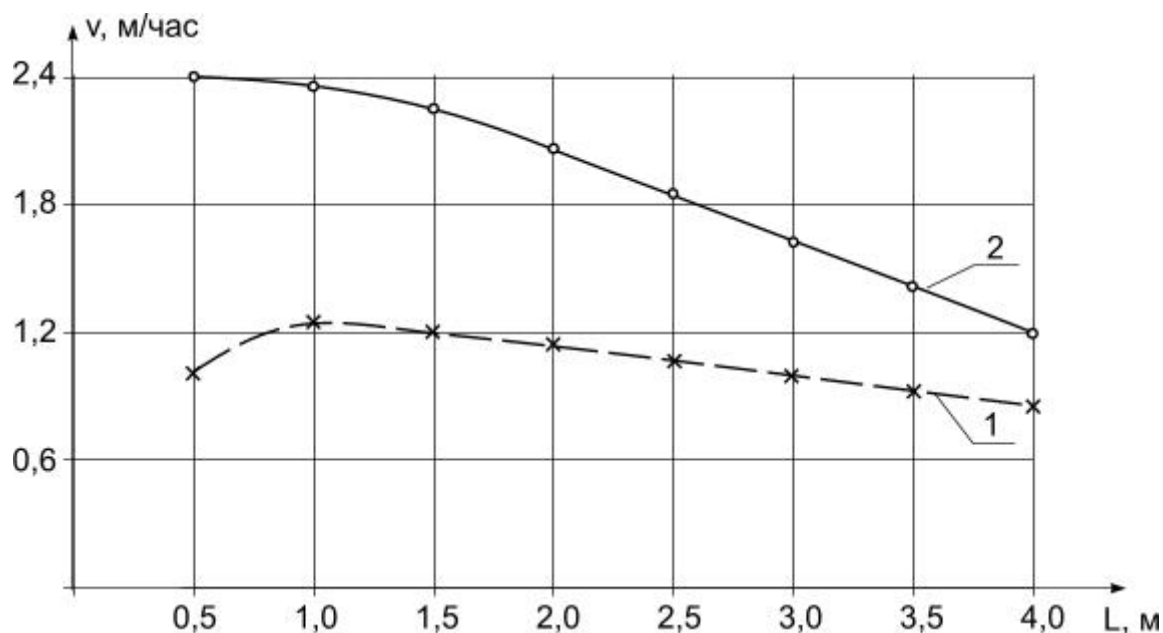
Влияние частоты вращения на механическую скорость бурения представлено на рис.5.

С увеличением частоты вращения механическая скорость бурения возрастает. Причем, механическая скорость бурения коронками типа БТ превышает механическую скорость бурения коронками типа БС в 1,7 раза при значениях частоты вращения до  $630 \text{ мин}^{-1}$ , а затем это соотношение начинает уменьшаться и при частоте вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  составляет уже 1,3 раза.



**Рис.5.** Изменение механической скорости бурения коронками в зависимости от частоты вращения инструмента: 1 — коронка БТ; 2 — коронка БС01.

Принимая во внимание, что испытания проводились при постоянной осевой нагрузке можно предположить, что падение скорости бурения коронками типа БТ по отношению к коронкам типа БС при частоте вращения свыше  $630 \text{ мин}^{-1}$  происходит за счет притупления вставок АКТМ. Это подтверждается и зависимостями, приведенными на рис.6.



**Рис.6.** Изменение механической скорости бурения коронками от величины проходки при постоянных режимах бурения ( $P=600$  даН;  $n=400$  мин<sup>-1</sup>): 1 — импрегнированная коронка типа БС01; 2 — коронка типа БТ

Как видим, при постоянных режимах механическая скорость бурения коронками типа БТ в интервале проходки от 1 до 4 м уменьшается значительно быстрее, чем у коронок типа БС. Так, при проходке одного метра соотношение скоростей бурения коронками типа БТ к коронкам типа БС составляет 2,4, а при проходке четырех метров это соотношение уже равно 1,3. Вызвано это, как уже говорилось выше, более быстрым затуплением коронок типа БТ. Для поддержания высоких скоростей бурения коронками типа БТ на протяжении всего периода эксплуатации необходимо постепенно увеличивать нагрузку по мере затупления элементов АКТМ.

Производственные испытания коронок проводились в ДПП «Центрукргеология» при бурении плановых скважин в перемежающихся по твердости породах, представленных, в основном, песчаниками, габбро и выветрелыми гранитами. Глубина скважин составляла до 600 м. Бурение осуществлялось станком СКТО-65. Диапазон частоты вращения шпинделя станка находится в пределах 87–800 мин<sup>-1</sup>, что позволяет регулировать ее в зависимости от конкретных геологотехнических условий эксплуатации. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

**Табл. 1.** Результаты сравнительных производственных испытаний коронок типа БТ, оснащенных вставками АКТМ-А, и коронок БС20

Тип инструмента	Кол-во, шт.	Режимы бурения		Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Средняя проходка, м
		Нагрузка, даН	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>		
БТ	10	1000 – 1500	340 – 576	3,35	36,4
БС20	20			1,8	22,3

Из таблицы видно, что коронки БТ, оснащенные вставками АКТМ-А, превышают по проходке коронки БС20 в 1,6 раза и по механической скорости бурения — в 1,9 раза.

Таким образом, анализируя результаты представленных исследований, можно сделать вывод, что разработанные в ИСМ буровые коронки на основе АКТМ являются высокоэффективным породоразрушающим инструментом, способным повысить в 1,6

раза износостойкость и в 1,9 раза механическую скорость при бурении геологоразведочных скважин в породах средней твердости.

### Библиографический список

1. **Сверхтвердые** материалы, получение и применение. Монография в 6 томах/ Под общей ред. Н.В. Новикова. Том 1. Синтез алмаза и подобных материалов / Отв. Ред. А.А. Шульженко. — Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2003. — 320 с.

© Богданов Р.К., Загора А.П., Исонкин А.М., 2005

УДК 622.244

Кандидаты техн. наук ИСОНКИН А.М., БОГДАНОВ Р.К. (ИСМ НАН Украины, г.Киев)

### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ИЗНОСА СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ В ИМПРЕГНИРОВАННЫХ БУРОВЫХ КОРОНАХ

В процессе бурения геологоразведочных скважин алмазным буровым инструментом под воздействием абразивных частиц породы (шлама) зерна алмазов постоянно обнажаются из матрицы и изнашиваются. Характер видов износа по мнению разных исследователей различен. Так, М.Сил считает, что износ алмазов вызывается тепловыми процессами, приводящими к графитизации алмаза [1]. Лоладзе Т.Н., Бокучава Т.В., а также Тараканов С.И. рассматривают износ алмазов как сочетание нескольких процессов и выделяют адгезионный, абразивный и диффузионный виды износа в процессе трения, а также хрупкое разрушение в виде микро- и макроскалывания. При этом преобладание одного из указанных видов износа определяется качеством обрабатываемого материала и режимом работы алмазного инструмента. [2, 3]

При бурении особую опасность для разрушения алмаза представляет тангенциальная составляющая осевой нагрузки, так как предел прочности алмаза на изгиб значительно ниже предела его прочности на сжатие ( $\sigma_{и} = 200-500 \text{ Н/мм}^2$  и  $\sigma_{сж} = 1500-2000 \text{ Н/мм}^2$ ). Опасность разрушения повышается также вследствие циклического динамического характера приложения нагрузки. Согласно результатам проведенных исследований, критическая тангенциальная составляющая нагрузки в 30–40 раз меньше, чем при статическом испытании алмазов на изгиб [4].

Достижение высоких механических скоростей бурения возможно только при экстремальных условиях работы породоразрушающего инструмента, характеризующихся высокими окружными скоростями и контактными нагрузками.

С ростом окружных скоростей и контактных нагрузок происходит повышение температуры в зоне контакта породоразрушающего инструмента с горной породой. Измерения температуры на контактной поверхности алмазной буровой коронки показали, что наиболее значительные ее значения (в пределах  $1000^\circ\text{C}$  и более) возникают непосредственно в зоне контакта алмазов с горной породой [5]. При этом градиент температуры по алмазу и материалу матрицы достаточно велик, а область развития высоких температур не превышает величины 1 мм.

В контактирующих с горной породой составляющих элементах матрицы под действием больших контактных усилий и интенсивных тепловых процессов возникают структурные изменения и остаточные напряжения, существенно изменяющие прочностные характеристики рабочего слоя буровой коронки [6].

Сложность механизма абразивного изнашивания алмазного бурового инструмента при контакте с горной породой заключается в том, что процессы деформирова-