

ЭФФЕКТИВНЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин, Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля Национальной академии наук, Украина*

Рассмотрены вопросы эффективного использования различных алмазосодержащих композиционных сверхтвердых материалов для оснащения бурового породоразрушающего инструмента. Приведены результаты исследований его износостойкости и работоспособности при бурении геологоразведочных скважин в различных геолого-технических условиях.

В настоящее время основным способом разведки новых месторождений твердых полезных ископаемых является бурение скважин в горных породах инструментом, оснащенным различными сверхтвердыми материалами (СТМ).

В мировой практике геологоразведочного бурения, начиная с 70-х годов прошлого столетия, произошли существенные изменения в вопросах оснащения его СТМ. Так, большинство ведущих фирм США, Англии, Швеции, Японии и других стран перешли на оснащение бурового инструмента синтетическими алмазами (СА) вместо применявшихся ранее в нем природных алмазов.

В нашей стране и за рубежом современная тенденция развития алмазного бурения при разведке месторождений твердых полезных ископаемых заключается во все более широкое использование СА и СТМ, созданных на их основе.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Применительно к конкретным категориям пород разрабатываются инструменты, оснащенные определенными СТМ. 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 СА. В твердых породах (IX—XII категория по буримости) используется инструмент, оснащенный мелкими природными и высокопрочными монокристаллическими СА.

Несмотря на большой объем выполненных работ, существующий инструмент не всегда обеспечивает требуемые технико-экономические показатели бурения.

Повышение технико-экономических показателей бурения инструментом из СТМ предполагает выполнение ряда перспективных направлений исследований, таких как:

- 1) применение новых видов СТМ, в том числе на основе СА;
- 2) разработка новых и модернизация существующих конструкций породоразрушающего инструмента.

Целью данной статьи является изучение перспектив повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин инструментом из сверхтвердых материалов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальные исследования проводились на специальном стенде, представляющем собой модернизированный радиально-сверлильный станок модели 2Н58 с мощностью двигателя основного привода 13 кВт, дополнительно оснащенный гидравлической системой плавного регулирования величины осевой нагрузки на коронку и системой промывки скважины [1].

Фиксируемые параметры:

- осевая нагрузка с точностью 50 даН;

- мощность потребляемой энергии с точностью до 0,1 кВт;
- углубка при бурении с точностью до 1 мм;
- время бурения с точностью до 0,1 с.

В качестве горной породы для испытаний износостойкости инструмента выбран коростышевский гранит X категории буримости, характеризующийся стабильными свойствами, высокой твердостью и относительно малой абразивностью.

Основные физико-механические свойства гранита: твердость по штампу $P_{ш}=237$ даН/мм²; абразивность – 43; объединенный показатель буримости $\rho_m=34,2-51,2$.

Бурение осуществлялось в блоке гранита при суммарной проходке скважин длиной 2 метра.

Интенсивность изнашивания I определялась как отношение линейного износа h_i к величине проходки на инструмент L

$$I = \frac{h_i}{L}, \text{ мкм/м}$$

Удельная объёмная работа разрушения, являющаяся комплексным показателем работы породоразрушающего инструмента, определялась на основании показаний мощности, регистрируемой ваттметром, по формуле

$$A_{уд} = \frac{14628 * 10^7 N_б}{\pi(D^2 - d^2)V_m}$$

где: $N_б$ – мощность при бурении, кВт; D и d – соответственно наружный и внутренний диаметры коронки, см; V_m – механическая скорость бурения, м/час.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для условий бурения наиболее твердых пород с упруго-хрупким характером разрушения (IX–XI категории по буримости) в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля Академии наук Украины (ИСМ) разработан импрегнированный инструмент, оснащенный монокристаллическими СА (рис. 1).

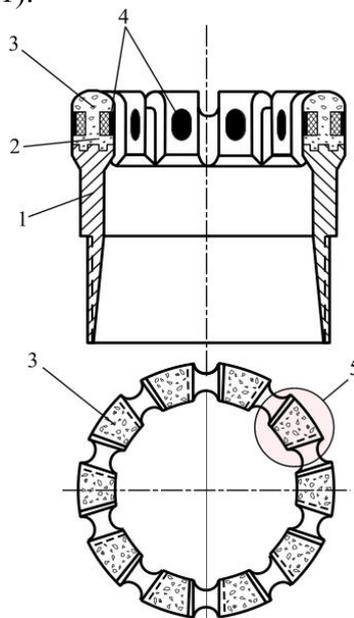


Рис. 1. Алмазная буровая импрегнированная коронка: 1 – корпус; 2 – матрица импрегнированная СА; 3 – СА; 4 – калибрующие элементы; 5 – сектор коронки

Разработанный инструмент имеет ряд особенностей и характеризуется: высокой концентрацией СА в матрице, развитой промывочной системой, оптимальной формой профиля породоразрушающей части матрицы коронки.

При разработке конструкций коронок вопрос оснащённости их алмазами является одним из важнейших. Для определения оптимальной концентрации алмазов в коронках с вольфрамсодержащей матрицей провели стендовые испытания, результаты которых показаны на рис. 2.

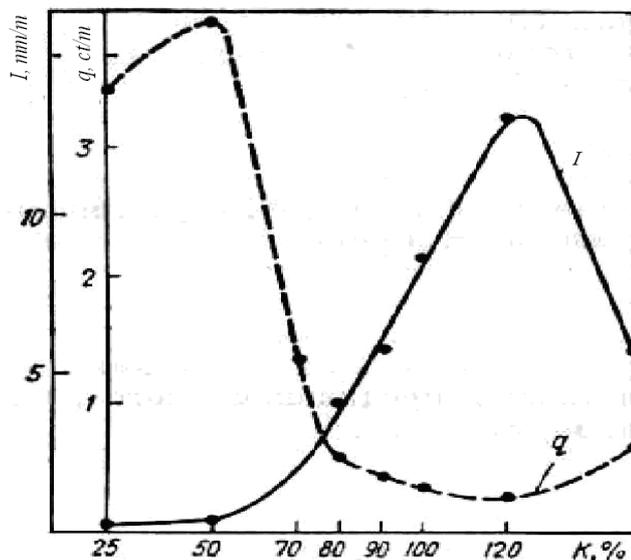


Рис. 2. Зависимости интенсивности изнашивания коронки I и удельного расхода алмазов q от их концентрации в матрице

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 таких коронок за основу приняли концентрацию алмазов в инструменте 125 %.

К не менее важным 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 с определенным углом наклона в сторону кернообразующей поверхности (рис. 3).

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.

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, поэтому 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.

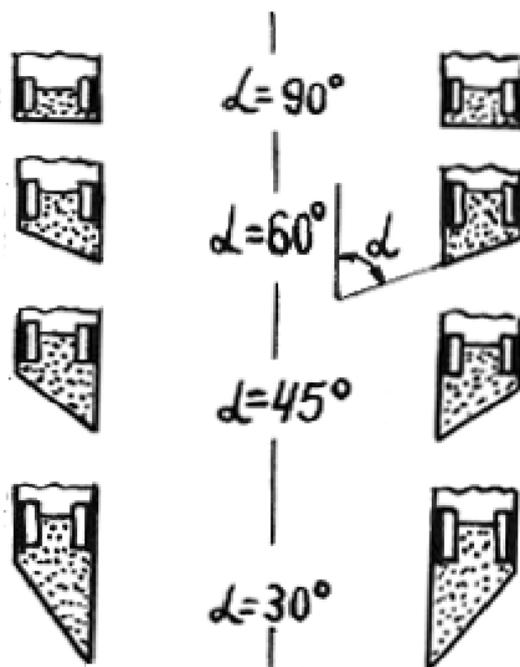


Рис. 3. Схемы породоразрушающей части коронки с различными углами наклона рабочего профиля

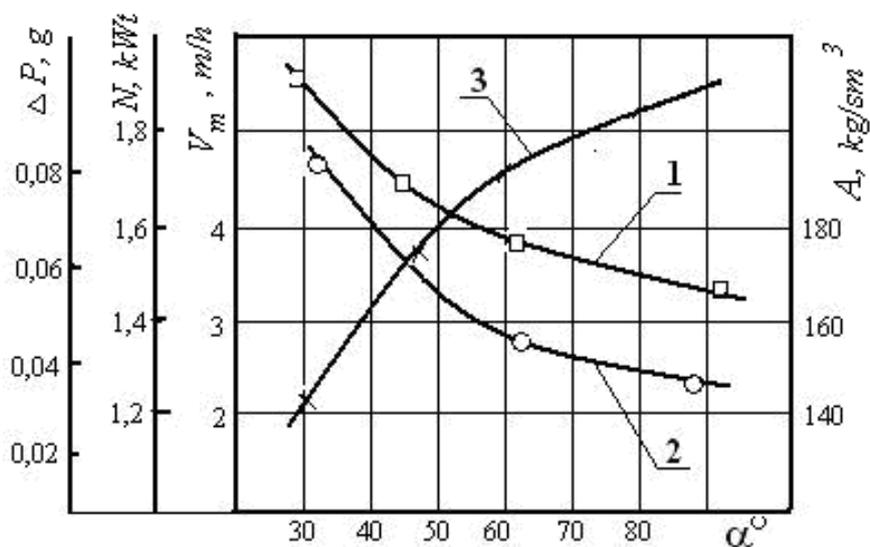


Рис. 4. Зависимость мощности бурения N (1), скорости бурения $V_{мех}$ (2), удельной работы разрушения породы A (3) от угла наклона рабочей поверхности α

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 (рис. 5).

Результаты исследования работоспособности буровых коронок в зависимости от длины сектора представлены в табл. 1.

Таблица 1. Работоспособность буровых коронок в зависимости от длины сектора

Показатели	Тип буровой коронки	
	БС33	БС01
Длина сектора коронки, мм	8	13
Количество отработанных коронок, шт.	5	5
Содержание алмазов в коронке, карат	17,40	18,30
Средняя проходка на коронку, м	17,90	10,90
Средняя механическая скорость бурения, м/ч	2,30	1,90
Износ коронки на 1 м бурения, мм	0,223	0,367
Интенсивность изнашивания на 1 м пути трения коронки, мм ($\times 10^{-4}$)	0,937	1,272
Удельный расход алмазов, карат/м	0,97	1,68

Для пород средней твердости с упруго-пластичным и высоко пластичным характером разрушения (VI – VIII категории по буримости) разработан инструмент на основе алмазного композиционного термостойкого материала (АКТМ), породоразрушающие элементы которого способны внедряться в породу и разрушать ее более эффективно, чем существующие типы инструмента, оснащенные крупными природными или поликристаллическими синтетическими алмазами (коронки типа БТ).

Материал АКТМ разработан на основе алмаза и карбида кремния.

Ряд авторов считает, что определяющим фактором при разрушении породы алмазами является процесс скалывания. Вместе с тем они не отрицают возможности сочетания процессов скалывания с резанием и истиранием [3-5].

При бурении пород средней твердости, в силу их физико-механических свойств, предпочтение следует отдавать процессам макро- и микрорезания. Это будет возможно в том случае, если породоразрушающие элементы (например, АКТМ) будут выступать над поверхностью матрицы коронки и иметь возможность внедряться в породу.

Исходя из этого, было принято решение элементы АКТМ в виде цилиндров устанавливать в матрице под углом к поверхности резания. Кроме того, во избежание образования кольцевых канавок по внутренней и наружной поверхностям и повышения тем самым износостойкости матрицы, она, в свою очередь, оснащается высокопрочными синтетическими алмазами. Проведенные конструкторско-технологические исследования по созданию коронок, оснащенных цилиндрическими элементами из АКТМ, позволили разработать конструкцию буровой коронки диаметром 76 мм типа БТ19 (рис. 6), особенностью которой является использование вставок АКТМ в алмазном импрегнированном слое.

Результаты производственных испытаний, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что коронки БТ19, оснащенные вставками АКТМ, превышают по износостойкости коронки БС20 (серийно выпускаемые ИСМ) в 1,6 раза и по механической скорости бурения — в 1,9 раза.

инструмента резцового типа на основе алмазно-твердосплавных пластин (АТП).

На механизм работы и износа инструмента из АТП нет единых взглядов. Однако проведенные в этой области исследования позволяют выделить основные закономерности, помогающие осуществить выбор и разработку оптимального инструмента для различных условий.

Механизм работы алмазного резца в пластичной породе существенно отличается от механизма работы алмазной импрегнированной коронки. При внедрении резца в пластичную породу выкол не образуется. В начале в ней идут упругие, а затем остаточные пластические деформации. Глубина и ширина разрушаемой зоны совпадает с глубиной и шириной внедряемого алмазного резца. Отделяемые путем сдвига частицы пластичных пород из-за малой внутренней энергии при сжатии уплотняются и образуют наросты. В связи с образованием нароста и трением породы о породу увеличивается сила трения, которая также повышается на торцевой и боковых поверхностях резца из-за упругих деформаций и упругого восстановления поверхности резания. Площадь контакта увеличивается с накоплением породы перед алмазным резцом. Для предотвращения воздействия накапливаемой породы на торец коронки и предупреждения прижога необходимо большее

выступление резца. Величина выступления, примерно, в $15 \div 25$ раз должна превышать расчетную величину съема на резец.



Рис. 5. Буровая коронка типа BC33



Рис. 6. Буровая коронка типа BT19 диаметром 76 мм.

Таблица 2. Результаты сравнительных производственных испытаний коронок BT19, оснащенных вставками АКТМ, и коронок BC20

Тип инструмента	Кол-во, шт.	Режимы бурения		Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Средняя проходка, м
		осевая нагрузка, даН	частота вращения, мин ⁻¹		
BT19	10	1000-1500	340-576	3,35	36,4
BC20	20			1,8	22,3

Для бурения мягких пород и частично средних в ИСМ разработан целый комплекс. На основании выполненных исследований в ИСМ разработан ряд конструкций бурового инструмента (рис. 7-8). Они предназначены для бескернового бурения скважин в породах осадочного комплекса V–IX категории буримости ($\rho_m = 4,5 \div 34,2$).

Инструмент, оснащенный АТП, получил широкое распространение при бурении дегазационных скважин в условиях Донбасса.

Угольные месторождения Донбасса характеризуются сложнейшими горно-геологическими условиями разработки пластов малой мощности, значительной глубиной залегания, высокой газообильностью и склонностью многих пластов к газодинамическим явлениям – внезапным выбросам угля и газа, горным ударам. При этом с увеличением глубины ведения горных работ и, как следствие, повышением горного давления, увеличением температуры и выбросоопасности пластов, а также с необходимостью концентрации горных работ и увеличением темпов подвигания линии очистных забоев, возникают задачи и проблемы, которые необходимо решать безотлагательно. Это вопросы дегазации, вентиляции, разработка новых технологий и способов ведения горных работ на больших глубинах. В условиях неблагоприятной динамики травматизма от внезапных выбросов, взрывов газа и пыли особую значимость приобретает разработка средств для борьбы с газом на выемочных участках как средство повышения безопасности труда, увеличения темпов подготовки и отработки угольных пластов. Одним из эффективных направлений по борьбе с газодинамическими явлениями является предварительная дегазация угольных пластов за счет бурения подземных скважин и скважин, пробуренных с поверхности. При этом, как показывает зарубежный и передовой отечественный

опыт, наиболее полная дегазация угольного пласта обеспечивается при бурении скважин в кровле и почве на длину 300 м и более, что требует создания и применения высокопроизводительного оборудования и износостойкого породоразрушающего инструмента.

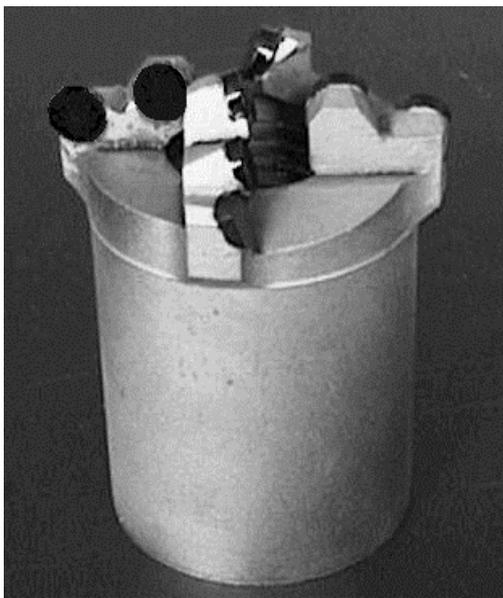


Рис. 7. Долото типа БП22 диаметром 93 мм.



Рис. 8. Пикобур диаметром 132 мм

С учетом результатов исследований раз-работана конструкция бурового долота ИСМ АП 121,7-4 для бурения дегазационных скважин.

Производственные испытания опытных образцов долот были проведены на объектах АП "Шахта им. А.Ф. Засядько". Бурение дегазационных скважин длиной до 150 метров проводилось по алевролитам и абразивным трещиноватым песчаникам с пределом проч-ности одноосному сжатию до 120 МПа. Опытными долотами ИСМ пробурено 370 м скважин. Средняя проходка на долото составила 120 м, механическая скорость бурения 0,34 м/мин. При этом показатели увеличились по сравнению с серийными трёхшарошечными долотами.

ВЫВОДЫ

Инструмент конструкции ИСМ НАН Украины, оснащенный различными сверхтвердыми материалами на основе СА, может успешно применяться при бурении скважин во всех горных породах от V до XII категории по буримости. При этом их показатели бурения превосходят показатели серийно выпускаемого инструмента, применяемого в аналогичных геолого-технических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении. Под ред. В.Н. Бакуля, К., "Наукова думка", 1978, 232 с.
2. Оницин В.П. Оценка распределения давлений под торцом импрегнированных коронок // ОНТИ ВИТР. – 1964. – № 46. с. 61–65.
3. Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Загора А.П., Исонкин А.М. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении - Донецк. -Норд-Пресс, 2007. - 244 с.
4. Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П., Пешалов Ю.А. Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения, М., Недра, 1973, 240 с.
5. Соловьев Н.В., Чихоткин В.Ф., Богданов Р.К. и др. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях. М., ОАО "ВНИИОЭНГ, 1997, 330 с.