

УДК 622.24.05:621.921.34:621.921.34–413

А. П. Загора, Л. Ф. Стасюк, Р. К. Богданов, кандидаты технических наук,
А. А. Шульженко, член-корр. НАН Украины, **М. В. Супрун; В. Г. Гаргин, А. Н. Соколов,**
Г. Д. Ильницкая, кандидаты технических наук

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БУРОВОЙ КОРОНКИ, ОСНАЩЕННОЙ ГИБРИДНЫМИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Показано, что гибридные алмазно-твердосплавные пластины можно успешно использовать в буровом инструменте. Разработана конструкция буровой коронки, оснащенная гибридными алмазно-твердосплавными пластинами. Приведены результаты лабораторных испытаний коронок, оснащенных такими гибридными пластинами.

Ключевые слова: алмазно-твердосплавные пластины, CVD-алмаз, буровая коронка, горная порода, шлам, износостойкость.

Введение

Создание в восьмидесятых годах прошлого века алмазного бурового инструмента, оснащенного режущими элементами из поликристаллических алмазов и алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), позволило расширить объемы использования алмазных коронок при бурении геологоразведочных скважин. Значительно превышая показатели твердосплавных коронок по проходке, они успешно конкурируют с ними по механической скорости бурения. Это привело к тому, что по всему миру доля алмазного породоразрушающего инструмента в общем объеме бурения достигла 80%, а инструмента, оснащенного АТП в общем объеме использования алмазного инструмента – около 60%. Это обусловлено тем, что большинство разработчиков АТП активно работают над созданием термостойких элементов, способных бурить скважины не только в мягких породах, но и средней твердости и твердых, где показатели бурения алмазными коронками существенно превышают показатели бурения коронками, оснащенными твердосплавными режущими элементами.

Применение АТП эффективно при бурении скважин в породах с упруго-пластическими свойствами (IV–VII категорий по буримости). По сравнению с твердосплавным инструментом при использовании АТП скорость бурения повышается до 1,5 раз, а стойкость – до 15 раз.

Режущая кромка «традиционной» пластины АТП в процессе работы притупляется, энергоемкость разрушения горной породы постепенно повышается, так как увеличивается площадь контакта с забоем горной породы. При этом существенно снижается механическая скорость бурения. Для поддержания постоянной механической скорости бурения на практике обычно интенсивнее повышают осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, что, в свою очередь, приводит к увеличению износа пластин АТП.

Обычно для уменьшения износа режущей кромки АТП увеличивают ее высоту и повышают термостабильность пластины. Кроме того, для использования в условиях бурения скважин в твердых и трещиноватых породах на поверхность АТП наносят демпфирующее двухслойное покрытие. Указанные технические решения в некоторой степени уменьшают износ пластин АТП, но это не приводит к ощутимому повышению скорости бурения.

Для повышения эффективности и работоспособности бурения геологоразведочных скважин, особенно в условиях интенсивного износа (твердые, абразивные породы VII–IX категорий по буримости), возникает целесообразность разработки породоразрушающего инструмента режущего типа на основе нового алмазного поликристаллического гибридного материала в виде гибридных АТП, который положительно зарекомендовал себя при точении керна коростышевского гранита XI категории по буримости [1].

Гибридные сверхтвердые материалы сочетают положительные свойства алмаза, синтезированного методом НРНТ, и CVD-алмаза, полученного методом химического газофазного осаждения. Одним из таких материалов является разработанный коллективами Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины и Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН новый гибридный поликристаллический материал (гибридайт) [2–4], полученный

путем армирования алмазного поликристаллического композита АКТМ [5] поликристаллическим CVD-алмазом BlackDiamond [6].

В работе [1], посвященной созданию гибридной АТП, установлено, что армирование в условиях высокого давления и высокой температуры алмазного слоя элементами CVD-алмаза способствует повышению его твердости на 40%.

Результаты сравнительного испытания на износостойкость гибридных АТП, армированных элементами CVD-алмаза размерами $0,5 \times 0,5 \times 4,0$ и $0,3 \times 1,0 \times 4,0$ мм показали, что наиболее износостойки при точении коростышевского гранита АТП, оснащенные CVD-алмазом с явно выраженной столбчатой структурой.

Цель настоящей работы – исследовать работоспособность коронки, оснащенной гибридными АТП при бурении твердых пород.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования взяли буровую коронку, армированную гибридными АТП. В поликристаллическом алмазном слое АТП размещены элементы CVD-алмаза размером $0,5 \times 0,5 \times 4,0$ мм с явно выраженной столбчатой структурой. В качестве исходного материала для алмазного поликристаллического слоя использовали алмазные микропорошки АСМ 60/40.

Спекали гибридные АТП в аппарате высокого давления типа «тороид» при давлении 7,7 ГПа и температуре 1800 °С.

Для сравнительных лабораторных испытаний разработали и изготовили шести резовую буровую коронку типа БП-24 диаметром 76 мм, оснастив ее гибридными АТП, установленными под отрицательным углом резания 20° (рис. 1).

Объектом сравнения выбрали шести резовую буровую коронку типа БП-02 диаметром 76 мм, оснащенную серийными АТП, также установленными под отрицательным углом резания 20°. Особенность конструкции буровой коронки БП-24, защищенной патентом Украины [7], состоит в последовательном чередовании углов поворота армированной элементами CVD-алмаза износостойкой поверхности АТП в скважино- и кернаобразующем направлениях с углом поворота 5°.

Гибридные АТП, используемые в данной конструкции коронки, оснастили двумя и тремя элементами CVD-алмаза и для полного перекрытия забоя при бурении их также последовательно чередовали при закреплении в корпусе коронки (рис. 2).



Рис. 1. Общий вид буровой коронки типа БП-24, оснащенной гибридными АТП

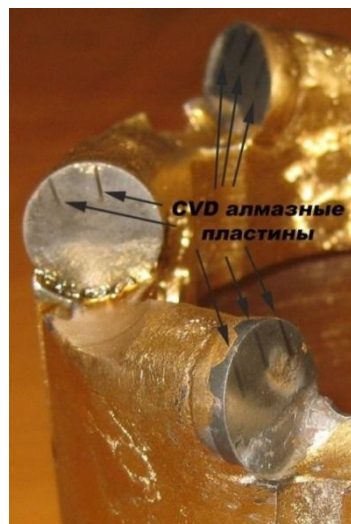


Рис. 2. Последовательное чередование гибридных АТП в оснащении буровой коронки типа БП-24

Сравнительные испытания проводили на специальном буровом стенде, представляющем собой модернизированный радиально-сверлильный станок модели 2Н58 с двигателем основного привода мощностью 13 кВт, дополнительно оснащенный гидравлической системой подачи и системой промывки скважины.

Измеряли износ породоразрушающего инструмента по высоте после бурения специальным приспособлением – измерительной стойкой с индикаторной головкой DIGICO10 (рис. 3),

позволяющей производить измерения с точностью до 1 мкм. При этом за счет дополнительного оснащения вертикальной призмой измерительной стойки породоразрушающий инструмент можно фиксировать при каждом последующем измерении в одном положении по соответствующим меткам.

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; продолжительность бурения – с точностью до 0,1 с.

В качестве горной породы для испытания износостойкости инструмента выбрали торезский песчаник IX категории по буримости (твердость по штампу Рш = 2,90 ГПа), характеризующийся стабильными свойствами, высокой твердостью и высокой абразивностью – 35 мг.



Рис. 3. Общий вид специального приспособления для измерения износа породоразрушающего инструмента по высоте

Режимы бурения коронками были выбраны близкими к используемым на практике, а именно: частота вращения – 400 мин⁻¹; осевая нагрузка – 750, 1000 и 1250 даН. Проходка на каждом режиме бурения – 0,6 м.

С целью оценки эффективности разрушения горной породы каждой из коронок, проводился отбор шлама, образующегося в процессе бурения.

Крупность шлама песчаника оценивали ситовым методом с помощью набора сит диаметром 120 мм с поддоном, крышкой и с сетками согласно ГОСТ 6613-86. При этом размер ячеек сит составил 200–40 мкм, что позволяло разделять шлам по фракциям от +200 до – 40 мкм.

Набор сит помещали и закрепляли в вибрационной установке, где рассеивали шлам в течение 10±1 мин.

При рассеиве тонких фракций шлама (менее 40 мкм) для устранения залипания ячеек сит в каждое сито помещали дополнительно по два–три твердосплавных шарика размером 8–10 мм.

Шлам, оставшийся после отсева на ситах и в поддоне, начиная с верхнего сита последовательно высыпали из сит и взвешивали.

Массовую долю каждой фракции шлама оценивали по формуле:

$$\gamma_{\phi} = \frac{M_{\phi}}{M} \cdot 100\%$$

где γ_{ϕ} – содержание шлама отдельной фракции (оставшегося на сите), %; M_{ϕ} – масса шлама отдельной фракции (оставшегося на сите), г; M – масса всего подвергнувшегося севу шлама, г.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты сравнительных лабораторных испытаний работоспособности буровых коронок БП-02 и БП-24 представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сравнительных лабораторных испытаний работоспособности буровых коронок

Тип коронки	Осевая нагрузка Р, даН	Механическая скорость бурения V _{мех} , м/ч	Средний износ АТП по высоте Δh _{ср} , мкм
БП-02	750	4,20	0,182
	1000	4,80	0,204
	1250	5,40	0,244
БП-24	750	4,80	0,150
	1000	5,40	0,187
	1250	6,24	0,219

Как следует из результатов сравнительных испытаний, показатели коронки типа БП-24 на всех режимах бурения превышают показатели коронки типа БП-02, по механической скорости бурения – на 12,5–15,5%, при этом средний износ АТП по высоте меньше на 9–21%.

Следует отметить, что наряду с наблюдаемым равномерным износом алмазоносного слоя гибридных АТП по рабочему торцу буровой коронки БП-24 (рис. 4 а), при достаточном увеличении можно заметить очевидное выступание вершины элемента CVD-алмаза над торцевой кромкой режущего слоя АТП (рис. 4 б).

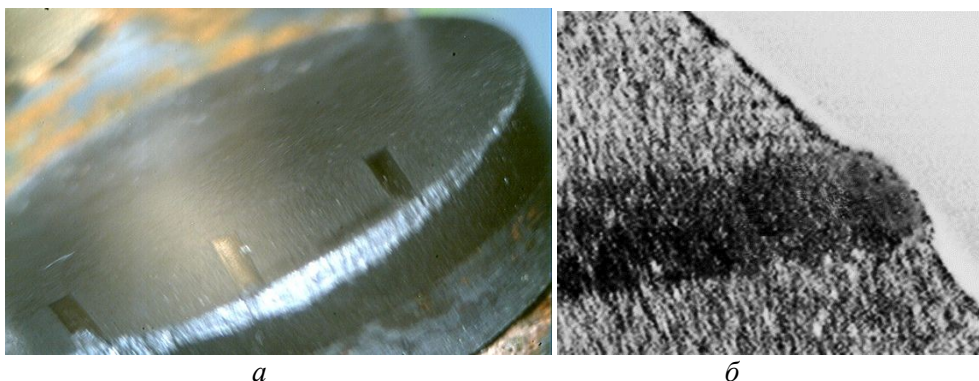


Рис. 4. Вид торцевой кромки гибридного АТП: а – общий; б – при увеличении

Указанный факт свидетельствует о том, что более твердые и износостойкие элементы CVD алмаза в гибридных АТП в процессе бурения постепенно обнажаются и выступают из менее твердого и износостойкого материала режущей кромки алмазоносного слоя, принимая на себя более высокие контактные нагрузки и создавая в массиве буримой горной породы зону предразрушения, состоящую из сети макро- и микротрещин. Предразрушение породы сопровождается малыми затратами мощности за счет образования ступенчатой формы зоны предразрушения в течение всего периода работы инструмента. Менее твердый материал алмазоносного слоя режущих АТП, проходя вслед по забою, разрушает уже ослабленную сеть макро- и микротрещин породы и крупные частицы шлама, непосредственно завершая разрушение породы.

Приведенные результаты доказывают более высокую работоспособность инструмента, оснащенного гибридными АТП, по сравнению с инструментом, оснащенный серийными АТП.

Результаты рассева шлама, отделившегося при бурении песчаника буровыми коронками типа БП-24 и БП-02, оснащенными АТП соответственно гибридными и серийными, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты рассева шлама песчаника по фракциям

Зернистость частиц шлама, мкм	Содержание частиц в шламе, %, для буровой коронки		Превышение размера частиц в шламе при бурении песчаника гибридными АТП
	БП-02	БП-24	
+250	1,68	2,54	1,50
250/200	2,05	3,08	1,50
200/160	3,12	4,06	1,30
160/125	8,06	14,00	1,20
125/100	16,63	19,96	1,20
100/80	19,75	23,70	1,20
80/63	5,46	10,00	1,83
63/50	17,65	10,12	0,80
50/40	15,60	7,80	0,50
– 40	10,00	4,74	0,47
Всего	100	100,0	–

Как видим, при разрушении песчаника буровой коронкой, оснащенной серийными АТП, основной размер частиц шлама составляют зерна размером от 125/100 до 50/40 мкм (15,6–19,75%), а при работе буровой коронкой, оснащенной гибридными АТП, наблюдается смещение процентного содержания основного размера частиц шлама в сторону их увеличения – от 160/125 до 63/50 мкм (10,00–23,70%).

Следует особо отметить, что при разрушении песчаника буровыми коронками, оснащенными гибридными АТП, крупного шлама (от +250 мкм до 80/63 мкм) в процентном соотношении больше в 1,2–1,83 раза, чем при работе буровыми коронками, оснащенными серийными АТП.

В результате ранее выполненных исследований установлено [8], что увеличение размеров частиц шлама при бурении сопровождается уменьшением работы, затрачиваемой на разрушение породы. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о более эффективном разрушении породы буровыми коронками типа БП-24, оснащенными гибридными АТП, по сравнению с буровыми коронками, оснащенными серийными АТП, так как при этом от массива горной породы отделяются частицы шлама более крупного размера и в большем объеме.

Выводы

1. Разработана конструкция буровой коронки типа БП-24, оснащенная гибридными АТП, бурение которой сопровождается малыми затратами мощности за счет образования ступенчатой формы зоны предразрушения.

2. При бурении скважин в песчанике коронками, оснащенными гибридными АТП, образуется более крупный шлам по сравнению с коронками, оснащенными серийными АТП, что свидетельствует о более эффективном разрушении ими горной породы.

3. В результате сравнительных лабораторных испытаний установлено, что механическая скорость бурения коронками типа БП-24 по сравнению с коронками типа БП-02 повышается до 15,5%. При этом их износ по высоте меньше износа коронок типа БП-02 от 9 до 21% в зависимости от параметров режима бурения.

Показано, що гібридні алмазно-твердосплавні пластини можна успішно використовувати в буровому інструменті. Розроблено конструкцію бурової коронки, оснащеної гібридними алмазно-твердосплавними пластинами. Наведено результати лабораторних випробувань коронок, оснащених такими гібридними пластинами.

Ключові слова: алмазно-твердосплавні пластини, CVD-алмаз, бурова коронка, гірська порода, шлам, зносостійкість.

RESEARCH PERFORMANCE DRILL BIT EQUIPPED WITH A HYBRID PLATES PDC

It is shown that the hybrid plate PDC can be successfully used in a drilling tool. The design of the drill bit fitted with hybrid plates PDC. The results of laboratory tests crowns equipped with hybrid plates PDC.

Key words: PDC, CVD diamond, drill bit, rock, sludge, wear resistance.

Литература

4. Гибридная алмазно-твердосплавная пластина / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, Л. И. Александрова и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – Вып. 17. – С. 232–240.
5. Новый гибридный ультратвердый материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 5. – С. 3–14.
6. Пат. № 89732 Україна МПК С04 В 35/00. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 25.02.2010, Бюл. № 4.
7. Свідоцтво України на знак для товарів і послуг № 158183. – Гібридайт. – Опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
8. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189–196.
9. Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond / V. Ralchenko, L. Nistor, E. Pleuler et. al. // Diamond and Related Mater. – 2003. – 12. – N 10–11. – P. 1964–1970.
10. Пат. № 104239 Україна МПК E21B 10/46. Бурова коронка / Р. К. Богданов, А. П. Загора, О. О. Шульженко та ін. – Опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
11. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении : Монография / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин. – Донецк : Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

Поступила 07.07.15