

УДК 622.24.051.64

**А. П. Загора, Р. К. Богданов, А.М. Исонкин**, кандидаты технических наук,  
**А. А. Шульженко**, член-корр. НАН Украины,  
**В. Г. Гаргин**, кандидат технических наук

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

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД АЛМАЗНЫМИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ БУРЕНИИ**

*In this paper a detail investigation is presented for estimating the rock cutting efficiency of the drilling bits equipped with Tvesal and PDCM (АПКМ) inserts. The relationship has been established between roughness parameters of a bottom hole and the mechanical drilling speed.*

В институте сверхтвердых материалов (ИСМ) НАН Украины разработан комплекс бурового импрегнированного инструмента типа БС на основе синтетических монокристаллических алмазов, эффективность которого в породах IX –XI категорий по буримости превышает эффективность работы серийного инструмента, оснащенного природными алмазами. Этому способствовало широкое применение вставок композиционного алмазосодержащего материала твесал в конструкциях рабочего торца буровых коронок (БС06, БС16, БС18 и БС23). Большой опыт эксплуатации этого инструмента показал, что вставки твесала, обладающие большей износостойкостью, чем материал матрицы, позволяют не только защитить наиболее подверженные интенсивному износу области рабочего торца матрицы, но и повысить эффективность работы инструмента за счет участия их в процессе разрушения горной породы [1].

С разработкой новых поликристаллических материалов на основе алмаза появилась возможность создания в ИСМ НАН Украины новых типов породоразрушающего инструмента не только за счет его конструктивных особенностей, но и комбинированного оснащения его синтетическими алмазами и поликристаллическими материалами, в частности АПКМ. Дальнейшее расширение номенклатуры АПКМ, а также соответствующие исследования позволили создать конструкцию коронки типа БТ20 с комбинированным оснащением импрегнированной матрицы для бурения скважин в твердых породах [2]. Объемный слой матрицы этой коронки оснащен монокристаллическими синтетическими алмазами, а клиновидная вершина секторов ее рабочего торца дополнительно оснащена вставками АПКМ диаметром 1,3 – 1,9 мм.

В ИСМ НАН Украины выполнен комплекс исследований по изучению влияния вставок композиционных алмазосодержащих материалов на работоспособность буровых импрегнированных коронок [3; 4], однако не было детально исследована эффективность разрушения ими горных пород. В данном случае под эффективностью разрушения горных пород принимаем сочетание высокой механической скорости бурения инструментом с максимальной шероховатостью микропрофиля забоя скважины.

Как известно [5], механическая скорость бурения при всех прочих равных показателях оценивается шероховатостью забоя скважины:

$$V_{\text{мех}} = \frac{0,12 P_{\text{ос}} \eta k_p n_{\text{бор}} n \sqrt{R_z (2 R_{\text{ал}} - R_z)}}{p_{\text{ш}} \pi R_{\text{ал}} n_s S_k \xi_a (D_{\text{н}} - D_{\text{вн}})},$$

где:  $V_{\text{мех}}$  – механическая скорость бурения, мм/мин;  $P_{\text{ос}}$  – осевая нагрузка на буровую коронку, даН;  $\eta = f(\alpha)$  – функция, учитывающая степень влияния эффекта Ребиндера при разрушении разрушаемой горной породы;  $k_p$  – коэффициент разрыхления породы;  $n_{\text{бор}}$  – количество борозд, необходимое для полного поражения забоя скважины;  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $R_z$  – средняя высота микронеровностей (шероховатость) поверхности забоя от воздействия алмазной коронки, мм;  $R_{\text{ал}}$  – радиус алмазного зерна, взаимодействующего с породой, мм;  $p_{\text{ш}}$  – твердость горной породы (по Шрейнеру Л.А.), даН/мм<sup>2</sup>;  $n_s$  – число алмазов на единице площади, шт/мм<sup>2</sup>;  $S_k$  – площадь рабочего торца коронки, мм<sup>2</sup>;  $\xi_a$  – коэффициент, учитывающий доленое количество алмазов, активно участвующих в разрушении горной породы;  $D_{\text{н}}$  и  $D_{\text{вн}}$  – диаметр коронки, соответственно наружный и внутренний, мм.

Как видим, механическая скорость бурения и шероховатость забоя скважины взаимосвязаны.

Цель настоящей работы – оценить эффективность разрушения твердых горных пород алмазными композиционными материалами, входящими в конструкцию импрегнированных коронок по шероховатости микропрофиля забоя скважины.

Эффективность разрушения забоя твердой горной породы алмазными композиционными термостойкими материалами изучали по разработанной в ИСМ НАН Украины методике изучения микропрофиля поверхности забоя, сформированного при алмазном бурении [6], дополненной новым оборудованием и программным обеспечением.

Указанная методика состоит в следующем. Из плит горных пород толщиной 50 - 60 мм с помощью специальной оправки опытной коронкой выбуриваются керны. Оправка гарантирует концентричность линий резания на забое горной породы, что необходимо для получения в дальнейшем результатов математического обсчета профиля поверхности забоя с высокой точностью. Полученные образцы кернов со сформированным в процессе бурения забоем направляются для дальнейшего исследования в систему измерения шероховатости поверхности.

Принцип работы системы измерения шероховатости поверхности заключается в следующем. Дифференциальный сигнал о профиле поверхности снимается с выхода самописца профилометра и по кабелю подается на дифференциальный вход АЦП, где обрабатывается ПЭВМ с помощью специально разработанной программы расчета параметров микропрофиля поверхности SURF для Windows XP. Эта программа позволяет измерить микрогеометрию поверхности образца буримой горной породы, рассчитать параметры шероховатости и результат расчета графически (в режиме реального времени) отобразить на экране монитора или вывести на принтер в виде протокола.

Конструкция буровых коронок типа БТ20 предполагает размещение вставок АПКМ заподлицо с плоской частью клиновидной вершины секторов ее рабочего торца. Схема оснащения рабочего торца опытной коронки типа БТ20 диаметром 59 мм приведена на рис.1.

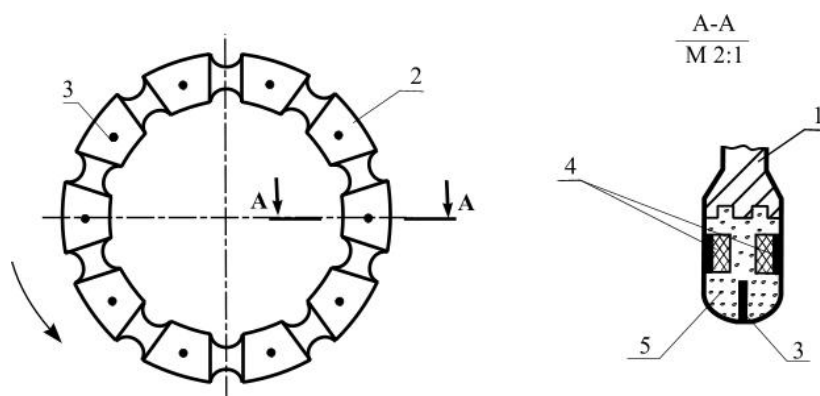


Рис.1. Схема оснащения рабочего торца опытной коронки типа БТ20 вставками АПКМ диаметрами 1,3, 1,9 мм или вставками твесала размером 3×4 мм: 1 – корпус коронки; 2 – алмазосодержащая матрица; 3 – вставки АПКМ или вставки твесала; 4 – подрезные вставки твесала; 5 – алмазы

Было изготовлено четыре типа инструмента с различным оснащением объемного слоя рабочего торца импрегнированной матрицы:

- коронка без оснащения вставками (№ 1);
- в центральной части каждого сектора устанавливалась вставка АПКМ диаметром 1,3 мм (№ 2);
- в центральной части каждого сектора устанавливалась вставка АПКМ диаметром 1,9 мм (№ 3);
- в центральной части каждого сектора устанавливалась вставка твесала размером 3×4 мм (№ 4).
- Для выбурки кернов, необходимых для исследования, в настоящей методике использовали буровой стенд на базе радиально-сверлильного станка модели 2Н58.
- Параметры режима бурения были приняты следующие:
- частота вращения – 630 мин<sup>-1</sup>;
- осевая нагрузка – 1000 даН.

В качестве объекта исследований применяли плиты из коростышевского гранита.

Согласно ГОСТ 2789-82 вычисляли все основные и дополнительные высотные параметры шероховатости поверхности забоя, а также статистические параметры профиля. Однако для оценки разрушающей способности опытного бурового инструмента делалась выборка результатов измерений следующих параметров микропрофиля поверхности забоя:

- $R_a$  – среднее абсолютное отклонение профиля;
- $R_z$  – отклонение профиля по десяти точкам;
- $R_{max}$  – расстояние между наивысшей и наименьшей точками профилограммы;
- $S_m$  – средний шаг неровностей по средней линии.

Результаты исследования шероховатости микропрофиля поверхности забоя ГОСТ 25142-82, полученные в процессе бурения, приведены в таблице.

### Результаты измерения параметров шероховатости микропрофиля поверхности забоя, полученные в процессе бурения

Номер коронки	Характеристика коронки	$R_a$ , мм	$R_z$ , мм	$R_{max}$ , мм	$S_m$ , мм
1	Без вставок	1,143	4,438	6,656	350,94
2	Со вставками АПКМ $\varnothing$ 1,3 мм	1,978	6,599	11,278	503,64
3	Со вставками АПКМ $\varnothing$ 1,9 мм	1,756	5,262	7,333	465,69
4	Со вставками твесала	1,425	4,867	7,024	420,48

Как видим, значения шероховатости забоя коростышевского гранита у всех четырех коронок разные. Наибольшее значение  $R_z$  у коронки № 2, наименьшее – у коронки № 1. Такая же картина отмечается и по другим параметрам шероховатости.

Таким образом, при использовании для оснащения рабочего торца коронки вставок твесала или АПКМ шероховатость микропрофиля поверхности забоя имеет тенденцию к увеличению, что как указывалось ранее [1], свидетельствует об участии этих вставок в процессе разрушения горной породы в качестве дополнительного индентора. Отличие же шероховатости при бурении коронками, оснащенными твесалом и АПКМ, объясняется следующим.

В случае использования вставок твесала для оснащения объемного слоя рабочего торца комбинированной матрицы структура материала вставки аналогична структуре материала матрицы коронки, а именно: матрица и вставки твесала оснащены одинаковыми синтетическими монокристаллическими алмазами, при этом алмазы во вставках благодаря технологии спекания твесала закреплены лучше, чем в матрице коронки. При бурении осевая нагрузка перераспределяется между всеми выходящими на поверхность рабочего торца алмазными зернами как матрицы, так и вставок. Поэтому в зоне расположения вставок твесала на рабочем торце коронки шероховатость микропрофиля забоя выше, чем при отсутствии этих вставок.

При использовании вставок АПКМ для оснащения объемного слоя рабочего торца комбинированной матрицы сохраняется тенденция к увеличению шероховатости микропрофиля поверхности забоя относительно полученной при бурении матрицей коронки без вставок. Однако такое увеличение существеннее, чем при использовании твесала, что объясняется поликристаллической структурой материала АПКМ. В данном случае вставка АПКМ работает относительно алмазов матрицы как отдельно взятое крупное алмазное зерно.

Нами были проведены исследования по установлению взаимосвязи шероховатости забоя скважины и механической скорости бурения коронками, оснащенными вставками АПКМ.

Результаты изменения механической скорости бурения от проходки приведены на рис.2.

С увеличением проходки механическая скорость бурения опытными коронками снижается. Большой механической скоростью бурения (в рассматриваемых пределах проходки) обладают коронки № 2. У коронки № 3 в рассматриваемых пределах проходки отмечается более медленное снижение механической скорости бурения.

Анализируя данные таблицы и сопоставив их с данными рис. 2, приходим к выводу, что при повышении механической скорости бурения  $R_z$  увеличивается. С увеличением проходки механическая скорость бурения снижается, что объясняется заполировкой алмазов. Наиболее стабильна механическая скорость бурения при использовании коронок № 3.

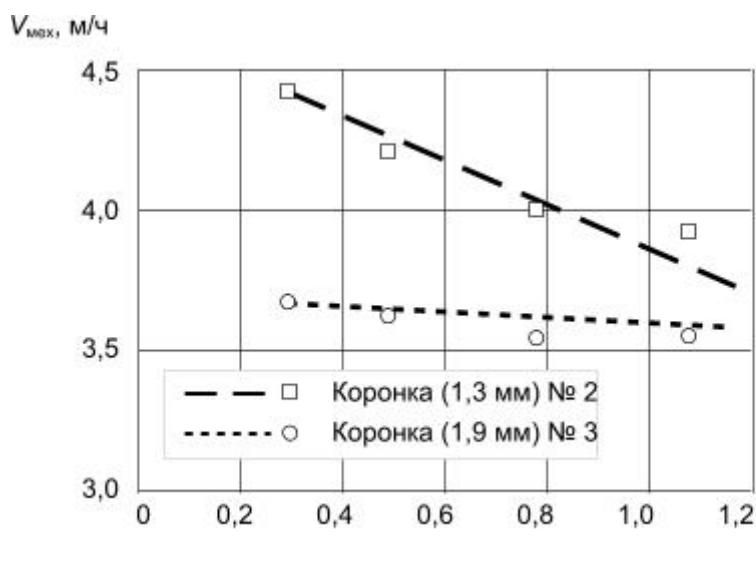


Рис. 2. Зависимости механической скорости бурения коронками от проходки

Очевидно, полученный результат можно объяснить тем, что площадь контакта вставок коронки № 3 больше площади контакта вставок коронки № 2 и в пределах испытаний данный фактор приводит к более надежной защите синтетических алмазов матрицы от износа.

### Выводы

- Тип и размер породоразрушающих элементов буровой импрегнированной коронки влияет на шероховатость забоя скважины.
- Вставки АПКМ значительно влияют на шероховатость забоя скважины, нежели вставки твесала.
- Практически доказано, что шероховатость микропрофиля поверхности забоя твердых горных пород взаимосвязана с механической скоростью бурения их коронками, оснащенными вставками АПКМ в комбинации с синтетическими монокристаллическими алмазами. С повышением механической скорости бурения шероховатость микропрофиля забоя увеличивается и вследствие этого повышается эффективность разрушения породы буровым инструментом.

### Литература

1. Загора А.П. Влияние вставки твесала, размещенной в торце матрицы импрегнированной коронки, на процесс разрушения горных пород // Синтетические сверхтвердые материалы в буровом инструменте: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ АН УССР, 1988. – С. 65-70.
2. Богданов Р. К., Дутка В. А., Загора А.П. К вопросу оснащения твердыми материалами инструмента для бурения скважин в породах средней твердости // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 78-82.
3. 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.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189-196.
4. Новый сверхтвердый материал в буровом инструменте / Р.К. Богданов, А.А. Шульженко, А.П. Загора и др. // Сверхтвердые материалы. – 2007. - № 1. – С. 73-82.
  5. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Моногр./ П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
  6. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях: Моногр./ Н.В. Соловьев, В.Ф. Чихоткин, Р.К. Богданов, А.П. Загора - М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1997. - 332 с.

*Поступила 19.06.08*