

INFLUENCE OF STRUCTURE OF HYBRID SUPER HARD MATERIAL ON THE PERFORMANCE OF DRILLING TOOL

The results of laboratory tests of the wear rate elements of a hybrid super hard material (hybridayt) depending on the brand of CVD-diamond, its size and composition of the diamond shell around it.

It is shown that after the heat treatment, depending on the brand of CVD-diamond, its size and composition of the diamond shell around it can occur as an increase in the wear hybridayt and reduction.

The results of the production tests of drill bits equipped elements of hybridayt with different composition of the diamond shell of diamond composition heat-resistant material.

Key words: wear rate, diamond composition heat-resistant material, diamond shell, CVD-diamond, hybridayt, drill bit.

Литература

1. Эффективность разрушения горных пород элементами из гибридного алмазного поликристаллического материала / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, А. П. Загора и др. // Инструмент.світ. – 2012. – № 1. – С. 8–11.
2. Пат. на корисну модель № 45291 Україна МПК С04 В 35/5831, С04 В 35/80. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 10.11.09; Бюл. № 21.
3. Пат. № 89732 Україна МПК С04 В 35/00. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 25.02.10; Бюл. № 4.
4. Пат. № 2413699 Россия МПК С04 В 35/528, С04 В 35/5835. Сверхтвердый материал / Е. Е. Ашкинази, В. Г. Ральченко, В. И. Конов и др. – Опубл. 10.03.11; Бюл. № 7.
5. Свідоцтво України на знак для товарів і послуг № 158183. – Гібридайт. – Опубл. 10.07.12; Бюл. № 13.
6. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: монография / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин. – Донецк : Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
7. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, Р. К. Богданов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 214–223.

Поступила 19.05.16

УДК 622.24 (085)

А. М. Исонкин, канд. техн. наук

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

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ БУРОВЫМИ КОРОНКАМИ

Оценено влияние параметров микрогеометрии рабочей поверхности алмазной буровой коронки, получаемых в зависимости от прочности применяемых синтетических алмазов, на показатели, характеризующие процесс разрушения горной породы: энергоёмкость разрушения горной породы и гранулометрический состав образующегося шлама.

Ключевые слова: синтетические алмазы, прочность, удельная поверхность, интенсивность изнашивания, импрегнированная буровая коронка.

Введение

При всех видах механического разрушения твердых тел, в том числе и горных пород при бурении, физическая природа тела остается неизменной, а изменяется только площадь

поверхности получаемых при этом продуктов разрушения. Дисперсность образующихся частиц шлама оказывает решающее влияние на затраты энергии при разрушении горной породы. Это связано с тем, что площадь вновь образуемых их поверхностей при каждой последующей стадии дробления увеличивается по сравнению с предыдущей, а суммарная работа по закону Риттингера с повышением дисперсности растет по степенному закону [1].

Работу разрушения горной породы можно представить как сумму работ образования новых поверхностей: рабочей поверхности торца коронки, поверхности забоя скважины и получаемых при этом частиц шлама.

В случае, когда при бурении в шламе горных пород преобладает мелкая фракция частиц, очевидно, что с энергетической точки зрения процесс разрушения малоэффективен, поскольку большое количество энергии затрачивается на образование значительной по величине новой поверхности.

Полностью избежать наличия мелких фракций частиц шлама при бурении невозможно, так как их образование является закономерным следствием разновысотности алмазов на рабочем торце алмазной коронки.

С энергетической точки зрения следует стремиться к тому, чтобы количество мелких фракций частиц шлама в продуктах разрушения горных пород при бурении скважин стремилось к минимуму.

Использование более прочных марок синтетических алмазов позволяет увеличить высоту их выступания из матрицы, а толщина среза на единичный алмаз может увеличиваться и приводить к увеличению шероховатости горной породы на забое скважины и размеров образующихся при этом частиц шлама [2, 3].

Вероятнее всего при установившемся процессе бурения с постоянной механической скоростью бурения (фиксированными частотой вращения инструмента и его углубки за оборот) параметры микрогеометрии рабочего торца алмазной коронки во времени существенно не изменяются вследствие высокой износостойкости композиционного алмазосодержащего материала матрицы.

С учетом изложенного оценивали эффективность использования подводимой к коронке энергии на основе данных о гранулометрическом составе и удельной поверхности образующихся частиц шлама и интенсивности изнашивания инструмента в зависимости от прочности используемых алмазов.

С этой целью провели экспериментальные исследования разрушения коростышевского гранита X категории буримости импрегнированными буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами различной прочности.

Методика исследования

Шлам отбирали с помощью устройства пакерного типа в процессе бурения скважин в коростышевском граните X категории буримости при принудительной механической подаче инструмента, обеспечиваемой специальным буровым стендом на базе радиально-сверлильного станка модели 2Н-55 [4]. В качестве промывочной жидкости использовали техническую воду с расходом 15 дм³/мин.

Гранулометрический состав шлама анализировали с помощью гранулометра модели 715 в диапазоне 0–196·10⁻⁶ м [5].

Удельную поверхность шлама измеряли прибором «Акусорб-2100» фирмы «Культреникс» (Франция) с использованием адсорбции азота при низкой температуре согласно принципу БЭТ [6].

Износостойкость коронок оценивали по интенсивности изнашивания – отношению линейного износа алмазосодержащего слоя матрицы к величине углубки скважины, эффективность разрушения горной породы – по удельной объемной работе разрушения (отношению общей работы разрушения к объему разрушенной породы).

В качестве параметра, оценивающего микрогеометрию рабочей поверхности матрицы буровой коронки, приняли высоту выступания алмазов, которую определяли по методике, приведенной в [5].

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе оценивали гранулометрический состав шлама разрушаемой горной породы и влияние прочностных характеристик ее частиц на степень их воздействия на рабочую поверхность буровой коронки.

Установили, что гранулометрический состав шлама коростышевского гранита подчинялся диффузионному немонотонному закону распределения, согласно которому функция плотности вероятности размеров приведена на рис. 1 и выражена зависимостью

$$P(x) = \frac{1}{x\eta\varepsilon} \exp\left[\frac{-(x-\varepsilon)^2}{2\eta^2\varepsilon^2x}\right] = \frac{1}{0,346x\sqrt{6,28x}} \exp\left[\frac{-(x-12,22)^2}{35,78x}\right] \quad (1)$$

где x , η , ε – параметры распределения.

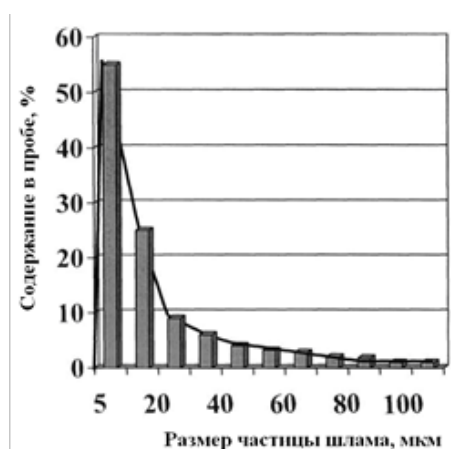


Рис. 1. Кривая распределения частиц шлама коростышевского гранита при его разрушении буровыми коронками, оснащенными алмазами АС125 зернистостью 250/200 мкм

В проанализированных пробах преобладали мелкие по размерам зерен фракции шлама. Количество частиц размером 1–15 мкм составляло около 70% общего количества частиц в пробе. При этом с повышением зернистости частиц шлама их доля очень быстро уменьшалась и для частиц размером более 50 мкм не превышала 6%.

На основе полученного закона распределения с учетом размера зазора между поверхностями рабочего торца коронки и забоем скважины, который неразрывно связан с высотой выступания алмазов из матрицы, установили количество частиц шлама горной породы, активно участвующих в деформировании и изнашивании матрицы буровых коронок.

Долю частиц шлама, способных активно воздействовать на материал матрицы, определяли по формуле

$$N_{\text{шл}} = \int_{D_{\text{min}}}^{D_{\text{max}}} P(D_{\text{шл}}) dD_{\text{шл}}, \quad (2)$$

где D_{max} – максимальный размер частиц шлама; D_{min} – минимальный размер частиц шлама, соизмеримый с размером зазора Δ между матрицей и забоем скважины; $P(D_{\text{шл}})$ – плотность вероятности размеров частиц шлама, выраженная вероятностным законом распределения (1).

С уменьшением зазора между матрицей коронки и забоем скважины, связанным с износом вершин алмазов из-за их низкой прочности или повышением осевой нагрузки, вызывающей увеличение углубления алмазов в горную породу, доля частиц шлама, активно участвующих в деформировании материала матрицы, быстро увеличивается. С учетом данных рис. 1 с уменьшением зазора с 50 до 40 мкм, т.е. на 20%, доля активно

воздействующих частиц увеличивается в среднем в 2 раза. При аналогичном уменьшении зазора с 50 до 30 мкм, т.е. на 40%, доля таких частиц увеличивается уже в 4,2 раза.

На износ рабочей поверхности инструмента значительно влияет не только гранулометрический состав, но и прочность частиц шлама.

Разрушение поверхностного слоя материала матрицы частицами шлама складывается из множества повреждений его микрообъемов, которые имеют вид выдавленных царапин (рис. 2).



Рис. 2. Характерный вид износа материала матрицы алмазной буровой коронки

Для определения условий взаимодействия частиц шлама с материалом матрицы и контактного напряжения в системе «буровая коронка – шлам – забой скважины» использовали метод, развитый Михиным Е. М., согласно которому при определении нормального напряжения на площадке контакта сферы с плоскостью касательным напряжением можно пренебречь и допустимо использовать отношения осесимметричной деформации [7].

Допустив, что частицы шлама имеют вид сферы, деформируемый объем материала матрицы выразим через

безразмерную характеристику $h_b/R_{ш}$, где h_b – глубина внедрения частицы в материал матрицы, $R_{ш}$ – радиус этой частицы.

С учетом того, что частицы шлама минерального происхождения не упрочняются при механическом воздействии и им свойственен характер хрупкого разрушения, предельная величина их внедрения $h_{пред}$ ограничивается условиями их прочности, и в момент разрушения (дробления) будет иметь наибольшее значение h_p . В момент предельного внедрения частицы шлама с учетом ее прочности $h_b = h_{пред} = h_p$.

Поскольку одним из наиболее распространенных твердых и обладающих высокой абразивной способностью порообразующих минералов является кварц, рассмотрим характер деформаций, возникающих на поверхности материала матрицы при внедрении в нее частиц кварца.

Механические свойства частицы охарактеризуем условным напряжением при разрушении $\sigma_{ш}$. При этом в зависимости от размера частиц кварца $\sigma_{ш} = 400\text{--}700$ МПа [8].

В соответствии с тем, что у наиболее широко применяемых в производственных условиях коронок матрицы выполнены на основе связок твердостью 25–32 HRC₃ (2550–2900 МПа), для предельных условий

$$\left(\frac{h_b}{R_{ш}}\right) = 0,5 \frac{\sigma_{ш}}{HB} = \frac{700}{2 \times 2550} = 0,14 < \left(\frac{H_b}{R}\right)_2, \quad (3)$$

где $\left(\frac{H_b}{R}\right)_2$ – критерий перехода от пластического деформирования к микрорезу-нию; H_b – глубина внедрения, мм; R – радиус сферического индентора, мм.

В соответствии с классификацией, приведенной в [9], величина $\left(\frac{H_b}{R}\right)_2$ служит характеристикой нарушения фрикционных связей и оценкой характера преобладающих деформаций при внедрении частицы шлама в материал матрицы, согласно которой из выражения (3) следует, что гидроабразивный износ поверхности матрицы коронки происходит в большей степени в результате пластического оттеснения (передеформирования) материала матрицы из-за упруго-пластических деформаций. Это

свидетельствует о том, что частица шлама разрушится раньше, чем будут достигнуты условия, необходимые для осуществления микрорезания ею материала матрицы.

Согласно модели, приведенной в [7] и с достаточной достоверностью отражающей реальные следы износа материала матрицы (рис. 1), в процессе приложения нормальной нагрузки к частице шлама как реакции со стороны забоя скважины, она будет углубляться в материал матрицы на глубину

$$h_B = 0,4D_{\text{ш}}^2 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ш}}}{c\sigma_s}}, \quad (4)$$

где $D_{\text{ш}}$ – диаметр частицы шлама; $c\sigma_s = HB$ – твердость материала матрицы по Бринелю; c – коэффициент, учитывающий повышение несущей способности контакта частицы шлама с материалом матрицы из-за дополнительных действующих перпендикулярно напряжений; σ_s – предел текучести материала матрицы.

Представив соотношение $\frac{\sigma_{\text{ш}}}{c\sigma_s} = K_{\sigma}$ как материаловедческий показатель, характеризующий сопротивляемость материала матрицы внедрению в него единичной абразивной частицы шлама, определим предельную

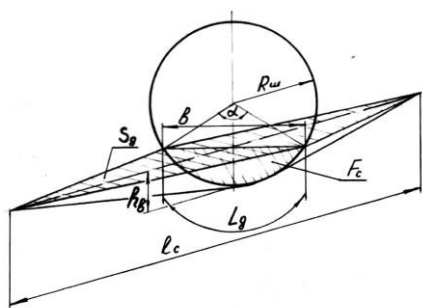


Рис. 3. Схема контактирования частицы шлама с материалом матрицы

глубину деформирования ею материала матрицы в случае ее разрушения. Двигаясь при расклинивании в зазоре между поверхностями забоя скважины и рабочего торца коронки, частица шлама деформирует некоторый объем материала матрицы.

Согласно рис. 3 приведенное деформирование h_d материала матрицы по высоте

$$h_a = \frac{V_a}{S_a} = \frac{2F_c}{3b_c l_c} = \frac{[D_f l_a - b_c(D_f - 2h_a)]}{6b_c}, \quad (5)$$

где V_d – объем деформированного и оттесненного материала матрицы; S_d – площадь следа деформации на рабочем торце коронки; F_c – площадь поперечного сечения следа деформации; b_c – ширина следа контакта; l_c – длина следа деформации; l_d – длина дуги контакта частицы шлама с поверхностью матрицы;

$$b_c = \sqrt{2h_a(D_f - h_a)} \quad l_a = 8,73 \times 10^{-3} D_f \alpha^\circ \quad \alpha^\circ = 2\arcsin\left(\frac{b_c}{D_f}\right); \quad (6)$$

где: α° – центральный угол, ограничивающий дугу контакта l_d .

После преобразований (5) с учетом (6) выражение для определения предельной глубины деформирования материала матрицы в случае разрушения частицы шлама при ее расклинивании будет иметь вид

$$h_a = \frac{D_f}{6} \left\{ \frac{17,45 \times 10^{-3} \arcsin\left[\sqrt{K_\sigma(1-0,25K_\sigma)}\right] - \sqrt{K_\sigma(1-0,25K_\sigma)}(1-0,5K_\sigma)}{\sqrt{K_\sigma} \sqrt{(1-K_\sigma)}} \right\}. \quad (7)$$

Из анализа зависимости (7) следует, что глубина деформирования материала матрицы в значительной степени обусловлена геометрическими размерами и прочностными характеристиками частиц шлама и материала матрицы.

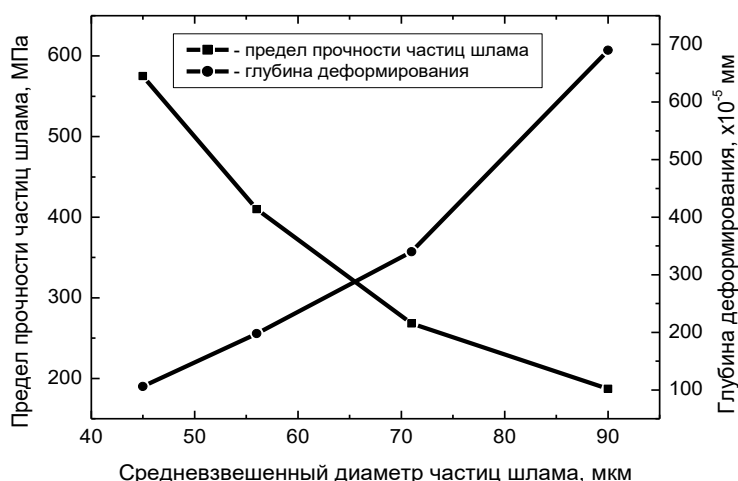


Рис. 4. Зависимости предела прочности частиц шлама и глубины деформирования ими матрицы коронки от размера их зерен

Зависимости предела прочности частиц шлама и глубины деформирования ими матрицы коронки от размера их зерен показаны на рис. 4.

Проанализировав представленные данные, приходим к выводу, что с увеличением размера частиц шлама их предел прочности на сжатие снижается, а глубина деформирования ими матрицы увеличивается. Однако с увеличением глубины деформирования материала матрицы при расклинивании между рабочим торцом коронки и забоем скважины крупных частиц шлама их доля

резко снижается вследствие их дробления.

Подтверждается это преобладанием мелких частиц, что снижает вероятность их дальнейшего активного участия в деформировании матрицы и приводит к пассивному выносу из зазора между матрицей коронки и забоем скважины промывочной жидкостью.

Результаты анализа износостойкости буровых коронок (см. таблицу), свидетельствуют, что с повышением прочности используемых для их оснащения синтетических алмазов, увеличивается средняя высота их выступания из матрицы.

Результаты лабораторных испытаний коронок, оснащенных синтетическими алмазами различной прочностью зернистостью 250/200 мкм, при бурении коростышевского гранита со скоростью вращения 800 мин^{-1} и углубкой за оборот 60 мкм

Марка алмаза	Статическая / динамическая прочность алмазов, не менее, Н	Средняя высота выступания алмазов из матрицы, мкм	Интенсивность изнашивания коронки, мм/м	Объемная работа разрушения, кДж/см ³	Удельная поверхность частиц шлама, м ² /г
АС65	63/83	56,4	0,254	2,941	10,22
АС80	78/95	62,7	0,216	2,554	9,46
АС100	92/116	67,2	0,195	2,127	7,87
АС125	115/130	72,4	0,156	2,047	6,54

В свою очередь с повышением этого показателя снижается вероятность расклинивания и степень воздействия крупных частиц шлама на рабочий торец коронки при их дроблении. Подтверждением образования больших по размеру фракций является уменьшение удельной поверхности частиц шлама. Одновременное снижение объемной работы разрушения свидетельствует о более эффективном использовании подводимой к забою скважины энергии, приводящем к снижению интенсивности изнашивания инструмента.

Выводы

Износ сопряжения «матрица коронки – горная порода» связан с интенсивным дроблением и переизмельчением частиц шлама минерального происхождения, не упрочняющихся при механическом воздействии и имеющих характер хрупкого разрушения.

Гидроабразивный износ поверхности матрицы коронки происходит в большей степени вследствие пластического оттеснения (передеформирования) материала матрицы из-за упруго-пластических деформаций. Это свидетельствует о том, что частицы шлама разрушатся раньше, чем будут достигнуты условия, необходимые для осуществления микрорезания ими материала матрицы.

При бурении алмазными коронками образуется шлам горной породы различной зернистости, в котором преобладают мелкие фракции. При этом для незначительной доли частиц шлама крупного размера, соизмеримого с высотой выступания алмазов, высока степень вероятности расклиниваться между забоем скважины и рабочим торцом коронки и активно деформировать мягкий материал матрицы. Снижение предела прочности на сжатие частиц шлама с увеличением их размера способствует дроблению образующихся при разрушении горной породы крупных частиц шлама при их расклинивании между рабочим торцом коронки и забоем скважины и снижению вероятности их дальнейшего активного участия в деформировании матрицы.

Определяющую роль в снижении абразивного воздействия частиц шлама играют прочностные параметры материала матрицы буровой коронки и высота выступания алмазов над ее рабочей поверхностью.

Оцінено вплив параметрів мікрогеометрії робочої поверхні алмазної бурової коронки, які одержують залежно від міцності застосовуваних синтетичних алмазів, на показники, що характеризують процес руйнування гірської породи: енергоємність руйнування гірської породи і гранулометричний склад шламу, що утворюється.

Ключові слова: синтетичні алмази, міцність, питома поверхня, інтенсивність зношування, імпрегнована бурова коронка.

INFLUENCE OF DURABILITY OF SYNTHETIC DIAMONDS ON EFFICIENCY OF DESTRUCTION OF MOUNTAIN ROCK DRILL BITS

The influence of parameters microgeometry working surface diamond drill bit obtained depending on the durability applies synthetic diamonds on the indicators characterizing the process of destruction rock: the energy intensity of destruction rock and granules-metric composition of the resulting sludge.

Key words: synthetic diamonds, destruction, specific surface area, wear rate, impregnated drill bit.

Литература

1. Спивак А. И., Попов А. Н. Разрушение горных пород при бурении — М. Недра, 1979. — 239 с.
2. Исонкин А. М., Богданов Р. К., Закора А. П. Эффективность разрушения горной породы буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами разной прочности // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч.тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 21–24
3. Закора А. П. Разработка коронок с равноизносостойким профилем комбинированной матрицы для бурения скважин в монолитных и слаботрешиноватых породах : дис... канд. техн. наук : 05.15.14. –М., 1991. – 168 с.
4. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / под ред. В. Н. Бакуля. — К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.
5. Исонкин А. М. Исследование взаимодействия с горной породой безвольфрамовых матриц буровых коронок, оснащенных синтетическими алмазами, с целью

- повышения эффективности их применения: дис... канд. техн. наук : 05.15.14. – М., 1993. – 176 с.
6. Исонкин А. М., Богданов Р. К., Гвяздовская В.Л. Исследование удельной поверхности бурового шлама в зависимости от конструктивных особенностей алмазных коронок и параметров режима бурения // Породоразрушающий инструмент, оснащенный синтетическими сверхтвердыми материалами: сб. науч. тр. — К., 1988. – С. 54–59
 7. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Камбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
 8. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. – М. : Наука, 1970. – 252 с.
 9. Справочник по трибологии / под ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 398 с.

Поступила 05.04.16

УДК 622.24.051, 622'156

О. П. Виноградова, канд. техн. наук, **Р. С. Шмегера**, **М. В. Супрун**

Институт надтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ РУЙНУВАННЯ АЛМАЗОВМІСНОЇ МАТРИЦІ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ЗМІНІ ЇЇ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

Досліджено характер зношування матриці породоруйнівних елементів алмазовмісного бурового інструменту при руйнуванні ним порід середньої міцності. Встановлено хвильовий послідовно-періодичний характер відколювання частинок матеріалу матриці від її робочої поверхні. Запропоновано критерій оцінки інтенсивності зношування матриці, що включає геометричні параметри мікробиойн, що утворюють борозенки на поверхні матриці породоруйнівних елементів.

Ключові слова: руйнування, алмазовмісна матриця, гірська порода, бурова коронка.

Вступ

Багаторічний досвід алмазного буріння показує, що ефективність застосування породоруйнівного інструменту, в значній мірі, залежить від ступеня відповідності зносостійкості матриці абразивним властивостям гірської породи [1]. Частинки породи, що утворюються в процесі руйнування гірської породи, перебувають між зв'язкою і вибоєм у водному середовищі і представляють собою гідроабразивну масу [2]. Основною причиною руйнування матриці є дія на неї абразивного шламу гірської породи [1]. Матриця породоруйнівного інструменту зношується або контртілом (гірською породою, або третім елементом, що розташовується між ними (частинкою шламу) [13, 14].

При дослідженні величини динамічного заглиблення одиничного алмазного зерна марки АСВ в зразок з твердого сплаву Т15К6 автори [3] встановили, що при заданих подачах 1 і 6 мкм фактична глибина руйнування зразка складала 4 і 11 мкм, відповідно, що підтверджує крихкий характер відколювання одиничних мікрофрагментів твердого сплаву.

При використанні електронного растрового мікроскопу «СAMSKAN–4DV» знос робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту у вигляді вдавлених подряпин спостерігав О. М. Ісонкін [4].

Ісонкіним О. М. [5] встановлена можливість управління рельєфом робочої поверхні породоруйнівного інструмента при бурінні імпрегнованими буровими коронками типу БС–01 діаметром 46 мм, оснащеними синтетичними алмазами різної міцності марок АС65, АС80, АС100, АС125 зернистістю 250/200 мкм та 315/250 мкм граніту Коростишівського родовища. В якості параметра, що оцінює мікрогеометрію робочої поверхні коронки було прийнято висоту