

Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, Р. К. Богданов,
Г. Д. Ильницкая, А. М. Исонкин (г. Киев)

Влияние прочностных характеристик алмазных шлифпорошков на работоспособность бурового инструмента

Представлены результаты исследования влияния прочностных характеристик (прочности, однородности по прочности, термостабильности) алмазных порошков на износ импрегнированных буровых коронок и энергетические затраты при разрушении ими горной породы. Экспериментально подтверждено влияние прочностных характеристик зерен порошков на работоспособность бурового инструмента. Проведенные производственные испытания показали, что с увеличением прочностных характеристик алмазов средняя проходка на коронку и механическая скорость бурения возрастают.

Ключевые слова: алмазные шлифпорошки, буровой инструмент, прочность, однородность по прочности, термостабильность, импрегнированная буровая коронка, проходка на коронку, механическая скорость бурения.

Введение. В мировой практике основным способом разведки новых месторождений твердых полезных ископаемых является геологоразведочное бурение. Повышение эффективности процесса разрушения горных пород при геологоразведочном бурении достигается за счет применения новых материалов в буровом инструменте, разработки новых видов его конструкций, применения рациональных режимов бурения.

Поскольку в процессе работы импрегнированной буровой коронки основным видом износа синтетических алмазов является хрупкое разрушение отдельных выступающих частей алмазных зерен, работоспособность бурового инструмента во многом зависит от их качества [1].

В процессе бурения с использованием импрегнированного алмазного инструмента осевая нагрузка перераспределяется между алмазами, наиболее выступающими из ее поверхности. Учитывая, что характер распределения высоты выступления алмазов из тела матрицы соответствует характеру распределения осевых усилий, передаваемых на них в процессе бурения, алмазы с наибольшими высотами выступления нагружаются в десятки раз больше, что способствует повышению вероятности скалывания их вершин, контактирующих с горной породой.

Снижение вероятности скалывания вершин алмазов и их разрушения при бурении горной породы возможно за счет применения зерен алмазов однородных по размерам и прочности.

Взаимосвязь износа рабочей поверхности породоразрушающего инструмента с расположенными на ней алмазами и степени разрушения ими горной породы наиболее полно проявляется через энергетические затраты протекающего при этом процесса.

Основным энергетическим показателем процесса бурения горных пород является объемная работа разрушения, под которой понимают отношение

затраченной в процессе бурения работы к объему разрушенной породы. Величина объемной работы разрушения характеризует энергоемкость процесса разрушения. Минимальные значения объемной работы разрушения соответствуют наилучшему использованию энергии, подводимой к забою скважины [2].

Одним из путей повышения эффективности использования подводимой энергии является усовершенствование конструкции породоразрушающего инструмента и использование при изготовлении импрегнированных буровых коронок высокопрочных алмазных шлифпорошков с высокой термостабильностью и однородностью по прочности.

Для подтверждения этого был проведен комплекс исследований по установлению влияния прочностных характеристик алмазных зерен на износ импрегнированных коронок и энергетические затраты при бурении ими горной породы.

Методика эксперимента и исходные материалы. Эксперименты по изучению прочностных характеристик алмазных зерен на износостойкость инструмента и энергоемкость разрушения горной породы были проведены в процессе бурения коронками БС-54 диаметром 76 мм коростышевского гранита со следующими основными физико-механическими свойствами: твердость по штампу $P_{ш} = 237$ даН/мм²; абразивность — 43; объединенный показатель буримости $\rho_m = 34,2—51,2$.

Для обеспечения чистоты экспериментов все коронки конструктивно и технологически выполняли одинаковыми — двенадцатисекторными с плоским рабочим торцом и высотой алмазосносного слоя 6 мм. Матрица всех опытных коронок была выполнена на основе вольфрамо-кобальтовой смеси ВК6 с пропиткой медью.

В качестве исходного материала для получения высокопрочных шлифпорошков алмаза однородных по прочности использовали алмазы марки АС160Т зернистости 455/400 и 355/300 мкм. Шлифпорошки алмазов двух зернистостей с помощью адгезионно-магнитной сортировки были разделены по дефектности поверхности на шесть продуктов [3, 4]. В полученных шлифпорошках определяли прочностные характеристики в виде значений статической прочности, которую определяли по разрушающей нагрузке P_p , Н [5, 6]. Термостабильность шлифпорошков оценивали по коэффициенту термостабильности $K_{тс}$ [7]. После разделения шлифпорошков по прочности для каждого из шести полученных продуктов рассчитывали коэффициент однородности по прочности $K_{одн.пр.}$ [8]. Эксплуатационные характеристики бурового инструмента оценивали по интенсивности его изнашивания I , мм/м, и удельной работе разрушения A , Дж/м³, при бурении коростышевского гранита [9].

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований были изготовлены шесть групп опытных коронок с использованием алмазов с разными прочностными характеристиками. Отработку этого инструмента производили на частотах вращения в диапазоне 400—800 мин⁻¹. Достигаемые в ходе испытаний механические скорости бурения в пределах 1,5—4,8 м/ч соответствовали аналогичному показателю в производственных условиях. За счет поддержания постоянной углубки за оборот механическая скорость бурения была одинакова в рамках одного цикла опытов для всех шести групп экспериментальных коронок. Углубка коронки за один оборот на величину, превышающую 125 мкм на, стадии предварительного цикла экспериментов приводила к переходу процесса бурения в “критический” режим, характеризующийся рез-

ким скачкообразным повышением затрачиваемой при бурении мощности и интенсивности изнашивания. Это не позволяло объективно оценить влияние конструктивных особенностей коронки на показатели их работоспособности [10].

Учитывая это и руководствуясь вторым постулатом динамики изнашивания [11], определяющим, что при постоянстве внешних условий работы инструмента закон динамики его изнашивания не зависит от абсолютного значения нагрузок, абразивности твердых частиц, масштабного и других факторов, исследования износостойкости буровых коронок проводили с поддержанием “нормального” режима бурения.

Результаты исследований интенсивности изнашивания и удельной работы разрушения гранита коронками БС-54 приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, *а* повышение прочности алмазов в 1,35 раза приводит к снижению интенсивности изнашивания коронок в 1,52—1,81 раза. При увеличении частоты вращения от 400 до 800 мин⁻¹ достигается снижение удельной работы разрушения в среднем в 1,38 раза и в 1,29—1,35 раза при повышении прочности алмазов (см. рис. 1, *б*).

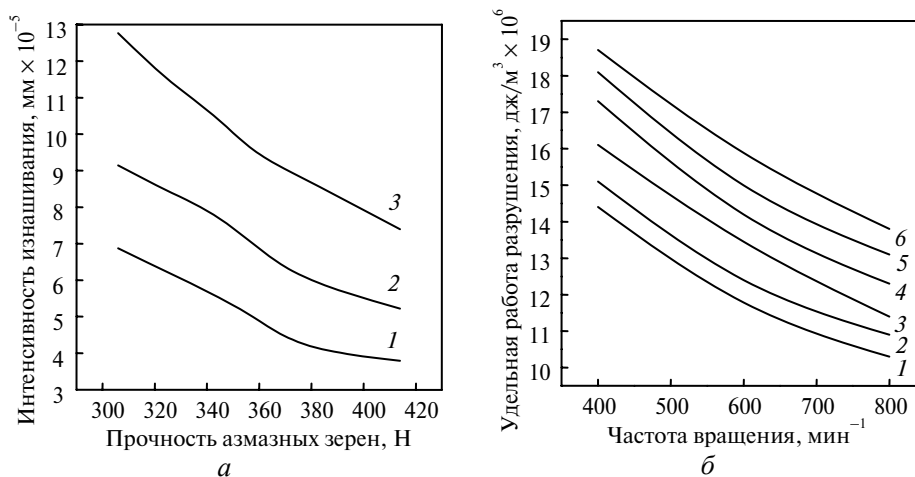


Рис. 1. Зависимость интенсивности изнашивания коронок БС-54 от прочности алмазных зерен (*а*) при частоте вращения 400 (1), 600 (2), 800 (3) мин⁻¹ и удельной работы разрушения от частоты вращения (*б*) для продуктов сортировки 1—6 с прочностью соответственно $P = 414$ (1), 375 (2), 358 (3), 342 (4), 325 (5), 305 (6) Н.

Данные, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что наименьшую величину интенсивности изнашивания, т. е. наибольшую износостойкость на всех частотах вращения бурового инструмента имеют коронки, оснащенные наиболее прочными зернами алмазов. На высоких частотах вращения с ростом прочности алмазов интенсивность изнашивания снижается в большей степени, чем при низкой частоте вращения. При этом удельная работа разрушения гранита коронками на всех частотах вращения имеет устойчивую тенденцию к снижению с ростом прочности алмазов.

На рис. 2 показано изменение интенсивности изнашивания и удельной работы разрушения гранита коронками БС-54 в зависимости от величины коэффициента поверхностной активности K_a , характеризующего степень дефектности поверхности алмазных зерен.

Как следует из рис. 2, с повышением дефектности поверхности алмазных зерен и, как следствие, повышением вероятности их разрушения, происходит рост интенсивности изнашивания коронок и удельной работы разрушения ими горной породы.

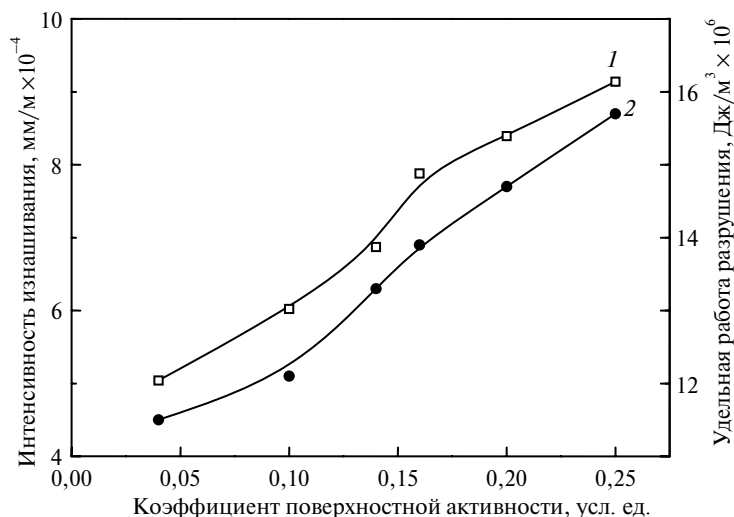


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания (1) и удельной работы разрушения (2) коронок БС-54 от коэффициента поверхностной активности алмазов при частоте вращения 600 мин^{-1} и углубке за оборот 63 мкм .

Для синтетических алмазов существенную роль играет их термостойкость после изготовления инструмента, существенно зависящая от наличия в них примесей металлов-растворителей [9].

В связи с этим было проведено сопоставление данных по износостойкости инструмента и удельной работы разрушения породы с величинами термостабильности порошков алмаза, используемых при оснащении буровых коронок БС-54 (рис. 3).

Как видим, с увеличением термостабильности алмазных порошков наблюдается снижение затрат энергии при разрушении горной породы и, как следствие, степени износа коронок. Сопоставление с данными, представленными на рис. 1, б, показывает, что при снижении термостабильности алмазов наблюдается повышение уровня нерационального использования подводимой к инструменту энергии.

При этом значительная доля подводимой к инструменту энергии идет не на разрушение горной породы, а затрачивается на преодоление возрастающих сил трения матрицы о горную породу. Это обусловлено в данном случае более интенсивным износом алмазов, что приводит к снижению высоты их выступания из матрицы, уменьшению зазора между матрицей коронки и забоем скважины и, как следствие, к ее быстрому износу за счет повышения степени воздействия шлама горной породы на матрицу коронки.

С целью подтверждения теоретических положений и результатов лабораторных исследований были проведены производственные испытания двух опытных партий импрегнированных буровых коронок БС-06 диаметром 76 мм , оснащенных алмазными порошками с разными прочностными характеристиками.

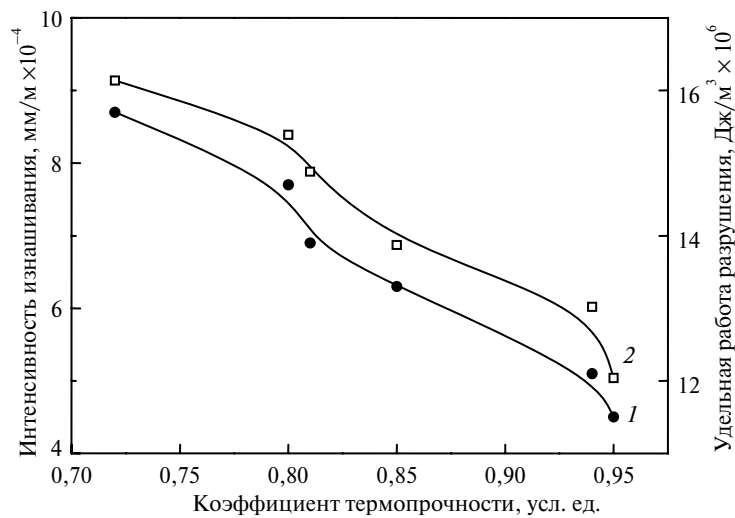


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания (1) и удельной работы разрушения (2) коронок БС-54 от коэффициента термопрочности алмазов при частоте вращения 600 мин⁻¹ и углубке за оборот 63 мкм.

Испытания проводили при бурении плановых скважин, геологический разрез которых был сложен породами X категории буримости: сланцами биотит-серицитовыми кварцевыми слабополосчатыми, амфиболитами тримолит-биотитовыми и биотит-кварцевыми. Бурение осуществляли с использованием буровых станков СКБ-5 с поддержанием следующих режимов бурения: частота вращения — 257—407 мин⁻¹, осевая нагрузка — 1000—1200 даН, расход промывочной жидкости — 70 дм³/мин. В качестве охлаждающей жидкости использовали техническую воду.

Представленные на рис. 4 гистограммы характеризуют изменение механической скорости бурения и проходки на коронку в производственных условиях при оснащении их исходными по прочности алмазами и алмазами после сортировки с разными прочностными характеристиками (продукт 1, 3 и 6).

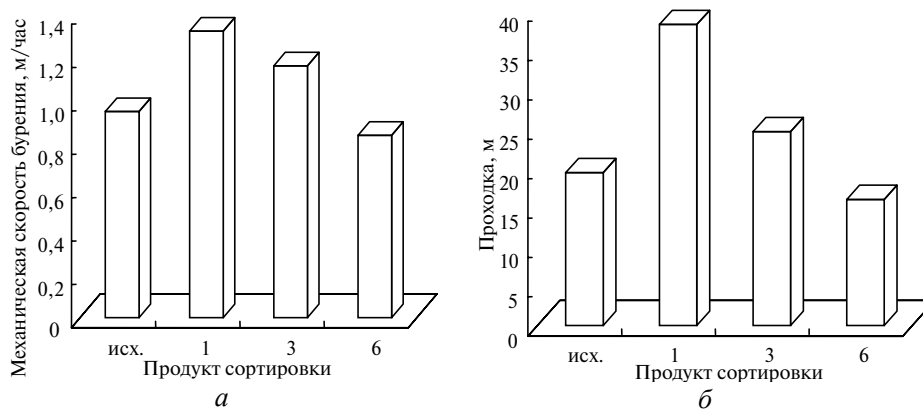


Рис. 4. Изменение механической скорости бурения (а) и проходки коронок (б) при их оснащении исходными алмазами ($P_p = 343$ Н) и алмазами продуктов сортировки 1, 3, 6 (см. рис. 1).

Как следует из рис. 4, с ростом прочностных характеристик алмазов, используемых для оснащения коронок БС-06, возрастает механическая ско-

рость бурения от 0,95 м/ч (исходные алмазы) до 1,32 м/ч (алмазы продукта 1), т. е. в 1,39 раза, и проходка на коронку — в 1,86 раза.

Таким образом, производственные испытания подтвердили, что для повышения износостойкости буровых импрегнированных коронок и механической скорости бурения ими горной породы целесообразно использовать синтетические алмазы с высокими прочностными характеристиками и высокой термостабильностью.

Выводы

Обосновано и экспериментально подтверждено существенное влияние прочностных характеристик зерен порошков марок АС100—АС400 на работоспособность (износостойкость при различных режимах бурения, энергоемкость разрушения горной породы, механическую скорость бурения) бурового инструмента.

Производственные испытания бурового инструмента подтвердили целесообразность и эффективность использования высокопрочных термостабильных алмазных порошков с разной однородностью по прочности для оснащения буровых импрегнированных коронок.

1. *Исонкин А. М., Богданов Р. К., Загора 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. — Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. — Вып. 9. — С. 21—24.
2. *Спивак А. И.* Механика горных пород. — М.: Недра, 1967. — 192 с.
3. *Ильницкая Г. Д., Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф.* Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. — Киев: ИСМ НАН Украины, 2005. — С. 63—71.
4. *Пат. 25515 Україна, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 № 200703803.* Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен / М. В. Новіков, Г. П. Богатирьова, Г. Д. Ільницька, Г. Ф. Невструєв. — Заявл. 05.04.2007; Опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
5. *ДСТУ 3292—95.* Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. — Введ. 01.01.96. — Киев: Госстандарт Украины, 1995. — 71 с.
6. *ТУ У 28.4-05417344-075—2003.* Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. — Введ. 01.09.03. — Киев: Госстандарт Украины, 2003. — 10 с.
7. *СТП 28.5-05417377.* Метод определения коэффициента термостойкости шлифпорошков сверхтвердых материалов. Стандарт предприятия. — Введ. 01.05.2005. — Киев: ИСМ НАН Украины, 2004. — 11 с.
8. *Богатырева Г. П., Куц В. И., Ильницкая Г. Д. и др.* Оценка прочностных характеристик алмазных порошков для бурового инструмента // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. — Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. — Вып. 75. — С. 26—41.
9. *Зыбинский П. В., Богданов Р. К., Загора А. П. и др.* Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Моногр. — Донецк: Норд-Пресс, 2007. — 244 с.
10. *Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении* / Под ред. В. Н. Бакуля. — Киев: Наук. думка, 1978. — 232 с.
11. *Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 1* / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение, 1989. — 400 с.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 02.10.09