

2. Разработаны способы, позволяющие уменьшить коэффициент трения алмазных частиц при их компактировании за счет очистки и нанесения углеродного покрытия. Исследована структура углеродной связки.
3. Разработаны способ и технологические режимы компактирования алмазов для АТП с помощью углеродной матрицы, а также принципиальная схема и макет установки для компактирования.
4. Исследования показали, что износ АТП, полученных с применением новых способов и технологий, на 20–35 % меньше по сравнению с износом стандартных АТП. Выход качественных пластин увеличивается на 10–30 %.
5. При использовании породоразрушающего инструмента, оснащенного АТП, существенно повышается производительность буровой техники, расширяется область ее применения, снижается трудоемкость и повышается безопасность проведения горных выработок.

Литература

1. Спосіб виготовлення алмазно-твердосплавних пластин / М. В. Новіков, Ю. І. Нікітін, В. Г. Полторацький та ін. Пат. на винахід, Україна. 20172. 25.12.97.
2. Способ изготовления алмазных вставок для обрабатываемого инструмента / В. Н. Баккуль, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. А. с. № 671121 СССР, 07.03.79 г.
3. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Издательство Мир, 1979. – 568 с.
4. Целенаправленное получение композиционных алмазных материалов с углеродной связкой и дифференцированными свойствами / Н. В. Новиков, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. // Сверхтвердые матер. – 1995. – № 3. – С. 13–19
5. Сер. А. Физико-математические и технические науки / Модель ненасыщенного алмазоподобного углерода / А. Е. Лысенко, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. // Докл. АН УССР. – 1989. – С. 60–64
6. СТП 28.5–05417377-100-2003. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. – К.: Изд-во ИСМ НАН Украины, 2003. – 10 с.
7. Смекаленков С. В., Красник В. Г. Область применения резцов вращательного бурения, оснащенных алмазно-твердосплавными пластинами // Уголь Украины. – 1996. – № 1. – С. 21–22

Поступила 21.05.10

УДК 622.024

В. И. Бугаков, д-р техн. наук; **А. А. Поздняков**, канд. техн. наук

Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, г. Троицк, Россия

РАЗРАБОТКА БУРОВЫХ КОРОНОК АРМИРОВАННЫХ АЛМАЗАМИ АРК-4

Rational designs of prospecting drilling bits KCK were developed and experimental batches of bits were made at high pressures (1,5 GPa and temperature 1050 °C). Bench tests of the developed bits KCK reinforced by diamonds APK-4, have shown high operational characteristics at drilling of rocks VIII-IX categories of drillability. The design procedure of an optimum design of drilling bits KCK depending on parameters of drilling and the size of grain APK-4 for rocks VIII-IX categories of drillability is offered.

Алмазный инструмент изготавливают из синтетических поликристаллических алмазов типа карбонадо (АСПК) с применением высокого давления [1,2]. Эти алмазы отличаются высокой твердостью, прочностью, абразивной стойкостью. Продуктом дробления алмазов

АСПК является алмазный шлифпорошок АРК-4, который можно применять для изготовления буровых коронок, шлифовального и отрезного инструмента.

Цель настоящей работы – на основе применения алмазов АРК-4 создать рациональные конфигурации геологоразведочных буровых коронок с высокими потребительскими характеристиками для бурения высокопрочных горных пород.

На первом этапе работы изготовили партию коронок КСК диаметром 59 мм для стендовых испытаний (рис. 1).

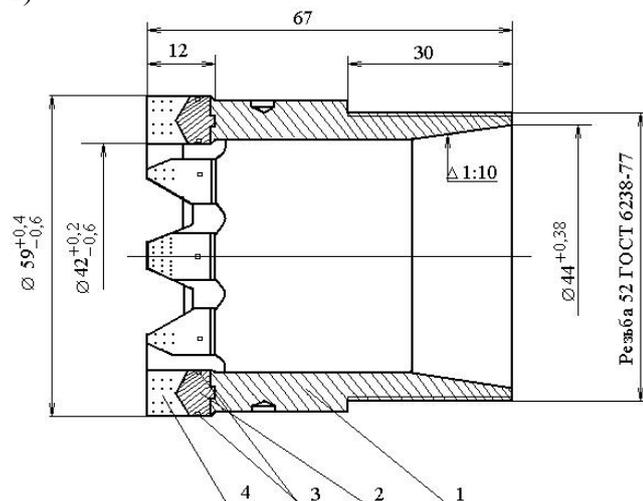


Рис.1. Коронки КСК-59: 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – алмазы подрезные, 4 – алмазы объемные

При изготовлении коронок использовали алмазы АРК-4 фракций 1600/1250–630/500 в объемном слое с концентрацией 50–100 %. В качестве подрезного алмаза использовали фракцию АРК-4 2000/1600.

Для исследований использовали ранее разработанную в Институте физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН технологию изготовления коронок при высоком давлении и температуре. Сначала прессовали нагреватель профильного типа из графитокатлинитовой шихты (с вкладышами под промывочные окна), укладывали подрезные алмазы по определенной схеме, засыпали в каждый алмазосодержащий сегмент навеску гранулированной алмазной шихты, засыпали шихту специального припоя, вставляли корпус коронки и прессовали сборку на прессе с усилием 400 кН. После прессования сборку алмазной коронки извлекали из пресс-формы и производили сборку ячейки камеры высокого давления для спекания коронки методом горячего прессования. После горячего прессования при давлении 1,5 ГПа и температуре 1000 °С проводили механическую обработку заготовки для придания ей окончательных размеров. Чтобы упростить технологию сборки коронки, а главное – распределить алмазы в объемном слое, разработали технологию грануляции алмазов АРК-4 в специально сконструированных грануляторах. Процесс грануляции заключался в изготовлении однородных гранул, состоящих из частиц алмаза АРК-4 и нанесенного на них слоя связки. При применении грануляции появляется возможность целенаправленно вводить различные добавки в прилегающую к алмазным зернам область матрицы. Таким образом можно управлять износостойкостью этих областей, вводя крупку релита и другие абразивные материалы без ослабления прочностных свойств основной части матрицы алмазного инструмента. Операция предварительной грануляции алмазов при изготовлении буровых коронок имеет большое значение [3, 4]. В настоящей работе процесс грануляции проводили отдельно для каждой коронки в целях точного соблюдения установленной концентрации алмазов в объемном слое. Связка представляла собой смесь металлического порошка никеля ПНК-0Т4 с твердым сплавом ВК15 или боридами титана (хрома). Твердость связки изменяли от 20 до 35 НРС_Э. Одновременно со спеканием металлокерамическую матрицу крепили к стальному корпусу посредством пайки по специальной технологии [5].

Опытные коронки испытывали на стенде, оборудованном буровым станком модели СБА-500 с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. Бурение проводили по блокам лабрадорита и габбро VIII-IX категорий буримости.

В результате стендовых испытаний опытных буровых коронок установили, что при бурении указанных горных пород этот инструмент обладает высокой износостойкостью и производительностью. Расход алмазов объемного слоя составил 0,3–0,375 карат на 1 м бурения. Механическая скорость бурения – 10–15 см/мин. Высокая прочность конструкции коронок обеспечивала их надежность на форсированных режимах бурения при осевой нагрузке до 20 кН и частоте вращения до 1250 об./мин. Зависимости механической скорости бурения $V_{\text{мех}}$ от осевой нагрузки при различной частоте вращения инструмента и зернистости объемных алмазов опытных коронок приведены на рис. 2.

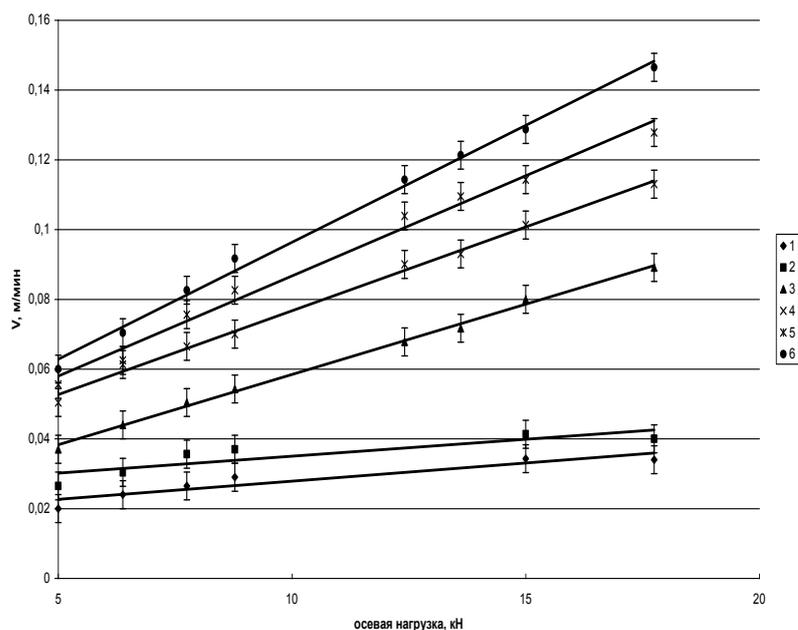


Рис. 2. Зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки при различной частоте вращения инструмента и зернистости объемных алмазов опытных коронок: 1 – 450 об./мин, 630/500; 2 – 600 об./мин, 630/500; 3 – 450 об./мин, 1000/800; 4 – 450 об./мин, 1600/1250; 5 – 1250 об./мин, 1000/800; 6 – 600 об./мин, 1600/1250

Из данных рис. 2, следует, что повышение частоты вращения коронки, увеличение осевой нагрузки и зернистости алмазов АРК-4 приводит к повышению скорости бурения. В свою очередь, повышение осевой нагрузки приводит к увеличению удельной нагрузки на алмазные зерна, обеспечивая их более глубокое внедрение в горную породу. Поскольку удельная прочность алмазов АРК-4 практически не зависит от их размера, возможно использовать крупные фракции алмазных порошков. Скорость проходки при увеличении фракции алмазов с 630/500 до 1600/1250 повышается в 3–4 раза при бурении пород VIII–IX категории буримости.

Результаты испытаний коронок КСК показали, что при увеличении осевой нагрузки до 20 кН сохраняется тенденция повышения скорости бурения (рис. 2). Из анализа рабочего слоя коронок следует, что, несмотря на значительные выступы объемных алмазов из матрицы, они не разрушаются, т. е. оптимальная осевая нагрузка, обеспечивающая объемное разрушение породы, для используемых алмазов АРК-4 не достигнута. Оптимальная осевая нагрузка на коронки диаметром 59 мм, особенно 76 и 93 мм, значительно превышает прочность бурового снаряда. Поскольку увеличить общее осевое давление на коронку невозможно, повысить скорость бурения можно путем повышения удельного давления на отдельные алмазные зерна рабочего слоя коронки так, чтобы на контакте алмаз – порода создалась удельная нагрузка, достаточная для объемного разрушения породы. Повышение удельного давления на отдельное

алмазное зерно достигается уменьшением количества алмазных зерен, контактирующих с породой в каждый конкретный момент времени. Рабочая поверхность коронки состоит из алмазосодержащих секторов и промывочных каналов. Изменяя соотношение их размеров, можно изменить количество алмазов непосредственно контактирующих с горной породой. В основе расчета размера алмазосодержащего сектора лежит предположение, что контактное напряжение должно составлять $\sigma_k = (0,6-0,9) P_{ш}$ для активации процесса объемного разрушения породы. Здесь $P_{ш}$ – твердость породы по штампу, определенная методом Л. И. Шрейнера. Для пород VI–XIII категорий буримости $P_{ш} = 1,0-8,0$ ГПа. В то же время максимальное контактное напряжение не должно превышать предел прочности алмазного зерна $\sigma = 4,5-5,0$ ГПа. Этот параметр находится в пределах объемного разрушения большинства горных пород и должен быть принят в качестве предельно допустимого контактного напряжения. Для проверки этого предположения изготовили коронки КСК диаметром 76 мм с алмазами АРК-4 зернистостью 1600/1250 и 2000/1600 (количество секторов – 6, длина секторов – 4, 6, 8, и 12 мм). Бурение проводили на стенде по блокам габбро-норита VIII категории буримости, $P_{ш} = 3,5-4,0$ ГПа, осевое усилие – 15 кН. Результаты бурения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты бурения коронками с различной площадью контакта

Длина сектора, мм	Крупность алмазов, мкм					Механическая скорость, см/мин	Длина рейса, м
	1600/1250	2000/1600	1600/1250	2000/1600	1600/1250		
	Площадь контакта, мм ²		Удельное напряжение, ГПа				
4	2,94	3,12	5,10	4,80	15,95	1,5	
6	3,42	3,62	4,38	4,14	10,20	2,65	
8	3,90	4,12	3,84	4,54	9,00	5,73	
12	4,83	5,12	3,10	2,92	7,13	5,48	

Из данных табл. 1, следует, что уменьшение площади контакта в 1,6 раза приводит к повышению удельного напряжения в 1,6 раза, механической скорости – в 2,2 раза. Условиям объемного разрушения удовлетворяют коронки с площадью контакта 3,5–3,9 мм². Эти коронки показали наилучшие результаты при бурении. Указанное значение площади контакта приняли в качестве оптимальной при расчете различных типоразмеров коронок. Контактная площадь зависит от крупности алмазов и их количества в контактном слое. При постоянной площади контакта количество алмазов должно изменяться в зависимости от площади контакта отдельного алмаза, определяемой его крупностью. В соответствии с размерами алмазов и их количеством, приходящимся на один сектор, рассчитывается размер этого сектора. Из конструктивных размеров коронки определяются размеры алмазосодержащих секторов (l_c) и промывочных каналов (l_k). Согласно размерам секторов определяется их количество при постоянной площади контакта, так как общая площадь секторов должна оставаться постоянной.

Отношение l_c к l_k определяется выражением

$$l_c/l_k = 1/(AD^2/K); l_c = \pi D/(1+AD^2/K)n, \quad (1)$$

где: D – диаметр коронки, мм; K – крупность алмазов, мкм; n – число секторов, шт.; A – коэффициент, характеризующий отношение l_c/l_k при минимальном диаметре коронки и максимальной крупности алмазов.

Коэффициент A определяется следующим образом. При изменении диаметра коронки D_B и крупности армирующих алмазов K_B числовое значение этого соотношения будет меняться пропорционально квадрату диаметров D_B^2/D_0^2 и крупности алмазов $K_{МАКС}/K_B$:

$$l_c/l_k = 1/(A_0 D_B^2 K_{МАКС}/D_0^2 K_B), \quad (2)$$

где: D_0 – минимальный диаметр применяемых коронок, $D_0 = 36$ мм; $K_{МАКС}$ – максимальная крупность алмазов, $K_{МАКС} = 2000/1600$, мкм; D_B – выбранный диаметр коронок, мм; K_B – вы-

бранный размер (крупность) алмазов, мкм; A_0 – соотношение размеров сектора и промывочного канала при минимальном диаметре коронки в 36 мм.

Для коронки диаметром 36х22 мм при заданном количестве секторов 4 и максимальной крупности алмазов 2000/1600 (среднее значение 1800) расчетная длина по окружности алмазосодержащего сектора составляет $l_c = 12,37$ мм, промывочного канала – $l_k = 15,9$ мм. Начальное соотношение при различном количестве секторов $l_c/l_k = 1/1,28$; $A_0 = 1,28$. Так как величина $K_{\text{МАКС}}$ и D_0 постоянны, $A_1 = (1800/36^2) \cdot 1,28$. Тогда $A = 1,28 \cdot 1,39 = 1,8$. При вращательно-ударном бурении нагрузка на коронку повышается наложением ударных импульсов. Отсюда и площадь контакта увеличивается, соответственно величина A снижается до 0,9.

Расчетные значения длины секторов и промывочных каналов для коронок, армированных алмазами крупностью 2000/1600 мкм, предназначенных для вращательного бурения, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные размеры коронок, армированных алмазами АРК-4 2000/1600

Количество секторов	Диаметр коронки, мм	Длина сектора l_c , мм	Длина канала l_k , мм	Площадь контакта S_k , мм ²	Соотношение l_k/l_c
2	59	19,82	72,85	3,67	3,67
	76	16,82	102,56	3,31	6,1
	93	14,42	131,7	3,34	9,13
4	59	9,91	36,42	3,67	3,67
	76	8,41	52,28	3,31	6,1
	93	7,21	65,83	3,34	9,13
6	59	6,61	24,28	3,67	3,67
	76	5,61	34,19	3,31	6,1
	93	4,81	43,89	3,34	9,13
8	59	4,96	18,21	3,67	3,67
	76	4,21	25,64	3,31	6,1
	93	3,61	32,91	3,34	9,13
10	59	3,96	14,57	3,67	3,67
	76	3,36	20,51	3,31	6,1
	93	2,88	26,33	3,31	9,13

Расчет при использовании алмазов другой крупности выполняется аналогичным образом. Во всех случаях величина площади контакта алмазов с породой остается постоянной независимо от количества секторов и крупности алмазов в пределах, достаточных для объемного разрушения породы.

Площадь контакта алмазов с породой рассчитывается по формуле

$$S_k = (D-d)l_c S_a n / 2\pi K^2, \quad (3)$$

где: S_a – площадь контакта одного алмаза, мм².

Выводы

1. Разработаны рациональные конструкции геологоразведочных буровых коронок КСК и изготовлены опытные партии коронок при высоком давлении (1,5 ГПа и температуре 1050 °С). Результаты стендовых испытаний разработанных буровых коронок КСК, армированных алмазами АРК-4, показали высокие эксплуатационные характеристики этих коронок при бурении горных пород VIII-IX категорий буримости.

2. Предложена методика расчета оптимальной конструкции буровой коронки КСК в зависимости от параметров бурения и размеров зерен АРК-4 для горных пород VIII-IX категорий буримости.

Литература

1. Бугаков В. И., Коняев Ю. С. Высокоэффективный алмазный инструмент, изготовленный по оригинальной технологии с применением высоких давлений и температур, новых связей и алмазных материалов // Сверхтвердые матер. – 2001. – № 6. – С. 23–27.
2. Бугаков В. И., Коняев Ю. С. Буровые коронки из синтетических поликристаллических алмазов для геологоразведочного бурения, изготовленные по новой технологии с применением давлений до 1,5 ГПа. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Тез. докл. V междунар. конф. ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – К., 2002. – С. 25–26.
3. Лебедев В. С., Стихов Л. В., Арифиллин С. А. Алмазные буровые коронки с гранулированными алмазами и наполнителями. // Новые направления развития алмазной обработки: Труды ВНИИАлмаза. – М., 1981. – С. 62–71.
4. Burckhardt S. New technique for granulating diamond and metal powders. //IDR. – 1997. – № 6. – Р. 121–122.
5. Разработка припоя для пайки алмазосодержащего слоя к стальному корпусу при изготовлении алмазного породоразрушающего инструмента / В. И. Бугаков, А. В. Елютин, А. И. Лаптев и др. // Материаловедение. – 2003. – № 12. – С. 48–52.

Поступила 31.05.10

УДК 622.243

О. И. Калиниченко, д-р техн. наук, **А. В. Хохуля**, **С. Н. Парфенюк**,
Е. В. Кошеверова

Донецкий национальный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕСКОЛОННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Conditions of formation of a wellbore at the combined soil destruction are considered. The technical solution which increases reliability of transportation of particles of sand on a wellbore is presented.

Прогрессивным направлением повышения производительности и рентабельности бурения инженерно-геологических скважин на шельфе, является развитие и широкое использование новой технологической схемы бесколлонной проходки скважин глубиной до 50 м. Эта схема реализуется с помощью погружного гидроударного бурового снаряда (ПБС-127) и предусматривает использование в течение рейса двух способов разрушения пород на забое: с отбором керна за счет частотно-ударного погружения бурового снаряда в осадки, и без отбора керна за счет размыва пород на заданном или пройденном без крепления интервале при неработающем гидроударном механизме [1].

Снаряд ПБС-127 представляет собой структурный синтез гидроударного бурового снаряда и двух пусковых узлов для дистанционного изменения способа бурения в процессе рейса. При этом верхним пусковым узлом (ВПУ) производится запуск гидроударника на фазе отбора керна, а нижним пусковым узлом (НПУ) создаются условия для работы ПБС-127 в режиме гидромониторного размыва пород при неработающем гидроударнике. Наиболее проблемным интервалом в технологическом цикле проходки скважин является фаза перехода с режима интенсивного гидромониторного разрушения пород на забое при максимальном расходе жидкости Q_{max} , на режим промывки с пониженной подачей жидкости $Q_{ном}$, соответствующей номинальному расходу для эффективной работы гидроударника. Очевидно, в это время в скважине