

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ ДОЛОТ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ АЛМАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Бугаков В.И.¹, д.т.н., зам. директора (bugakovv@hppi.troitsk.ru)

Лаптев А.И.², д.т.н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательской
лаборатории сверхтвердых материалов (НИЛ СТМ) (laptev@misis.ru)

¹ Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН

(142190, Россия, Москва, Троицк, Калужское шоссе, 14)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Разработана оригинальная технология изготовления алмазных буровых долот диаметром до 212 мм при давлениях до 1,5 ГПа и температурах до 1250 °С, включающая спекание в тепло-электроизолирующей оболочке с электронагревателями в стальной камере высокого давления в течение 120 мин. При изготовлении долот методом спекания под высоким давлением в стальной камере высокого давления (КВД) установлено, что процесс спекания является производительным, оснастка для него может быть применена многократно. Разработана и изготовлена КВД типа цилиндр-поршень с рабочим диаметром до 280 мм. При изготовлении долот может быть использован как стальной корпус для напрессовки на него матричного материала с алмазами, так и целиком порошковый корпус с алмазами или отверстиями для последующего закрепления алмазов пайкой или механическим способом. Изготовлены долота с модельными режущими элементами из поликристаллических алмазов типа карбонадо, проверены их эксплуатационные свойства. При бурении блока мрамора при нагрузке до 50 кН и числе оборотов 355 об/мин была достигнута механическая скорость до 20 м/ч. Установлено, что разработанная технология позволяет сохранить режущие свойства алмазов типа карбонадо, по термостойкости являющихся аналогами алмазно-твердосплавных композитов РСД. Прочностные показатели долота обеспечивают возможность его эксплуатации при самых напряженных силовых режимах бурения, металлокерамическая матрица обеспечивает надежное закрепление режущих элементов алмазных композитов АСПК, является износостойкой и обладает высокой прочностью. Данная технология является энергосберегающей, экологически чистой и производительной. Она может быть применена для изготовления металлокерамического износостойкого, коррозионностойкого корпуса долота с последующим закреплением в нем режущих алмазных элементов методом пайки или механическим закреплением с использованием алмазных композиционных материалов типа РСД с различной термостойкостью.

Ключевые слова: алмазный композит, АСПК, АТП, РСД, КВД, спекание, связка алмазного инструмента, буровой инструмент, алмазные долота PDC.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-36-42

В настоящее время буровые работы на нефть и газ на 80 % обеспечиваются алмазными долотами. В качестве режущих элементов, как правило, используются алмазно-твердосплавные композиты типа РСД [1 – 6]. Алмазные долота, в основном, представляют собой стальной корпус с впаянными режущими элементами. Для повышения абразивной стойкости корпуса его покрывают износостойкими покрытиями различными методами. Алмазно-твердосплавные композиты РСД обладают высокой прочностью, режущей способностью, твер-

достью и трещиностойкостью. Недостатком данных композитов является их невысокая термостойкость, нагрев РСД более 700 °С приводит к снижению их работоспособности. Поэтому при пайке применяются припои на серебряной основе, которые имеют температуру пайки не выше 700 °С, хорошую теплопроводность, но невысокие прочностные и упругие свойства. Пониженная термостойкость РСД является следствием химического состава и способа получения РСД, которые изготавливают методом НРНТ (при высоких давлениях и температурах) [7 – 10] спеканием алмазных порошков на подложке из твердого сплава карбид вольфрама-кобальтовой группы. В процессе спекания кобальт из твердого сплава поступает в зону алмазного порошка, его наличие положительно сказывается на процессе спекания алмазного порошка в монолитную массу. В то же время кобальт является катализатором превращения графита в алмаз в условиях термодинамической стабильности алмаза, а также катализатором обратного превращения алмаза в графит в условиях термодина-

* Авторы выражают благодарность бывшим сотрудникам ИФВД РАН Коняеву Ю.С. и Довбне А.В. за участие в работе по разработке технологии спекания алмазного инструмента при высоких давлениях.

Данная работа выполнена в рамках федерального целевого проекта программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.» по теме «Разработка технологии изготовления высокоэффективных долот горизонтального и наклонного бурения для нефтегазовой отрасли» при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерства образования и науки РФ. Соглашение № 14.581.21.0012 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI58115X0012).

мической стабильности графита, т. е. при нагреве при атмосферном давлении. Кроме этого, коэффициент термического расширения кобальта в несколько раз превышает коэффициент термического расширения алмаза и твердосплавной подложки, поэтому при пайке происходит образование термонапряжений в контактной области твердосплавной подложки – алмазный слой, что приводит к образованию зародышевых трещин и отслоению алмазного слоя от твердосплавной подложки. Для предотвращения отслоения алмазного слоя проводят удаление кобальта из алмазного слоя методами химического травления [11 – 14]. Однако этот метод малопроизводителен, требует защиты от вытравливания кобальта твердосплавной подложки, так как снижение содержания кобальта в твердосплавной подложке приводит к образованию повышенной пористости и снижению ее прочностных свойств. Аналогом РСД из композиционных алмазных материалов является алмазный поликристаллический композиционный материал типа «карбонадо» (АПКМ типа АСПК), получаемый синтезом из графита в присутствии металлов-катализаторов [15 – 16]. Для сохранения физико-механических свойств АСПК была разработана технология изготовления алмазного инструмента (буровых коронок, шлифголовок, сегментов, резцов и др.) при высоких давлениях до 1,5 ГПа и температурах до 1250 °С [17]. Применение высоких давлений полностью сохраняет свойства АСПК до температур 1050 – 1100 °С, что позволяет применять для изготовления инструмента прочные металлокерамические связки, в том числе и твердосплавные [18]. Появление твердосплавных смесей с наноразмерными частицами карбида вольфрама и кобальта позволило уменьшить температуру спекания твердых сплавов до 1100 °С [19 – 20], т. е. при относительно невысоких температурах можно изготовить целиком твердосплавные долота с алмазными режущими элементами.

Целью настоящей работы являлась разработка технологии изготовления алмазных буровых долот при высоких давлениях и высоких температурах (НРНТ). Поставленная цель решалась через разработку камеры высокого давления (КВД) с рабочим диаметром 280 мм для спекания долот диаметром 212 мм для гидравлического пресса высокого давления усилием 50 МН. В качестве алмазных режущих элементов использовали алмазные композиты АСПК размерами: диаметр 4 мм, высота 4 мм. Дополнительным преимуществом данного вида КВД для проведения горячего прессования является простота и дешевизна ее эксплуатации, надежность в работе, возможность широкого тиражирования, поскольку для ее изготовления используются традиционные конструкционные стали.

Назначение КВД состоит в удержании в рабочей зоне высокого давления, создаваемого в его цилиндрической части. Конструкция КВД должна обеспечивать устойчивую работу при многократном нагружении без

пластических деформаций на цилиндрической поверхности. Это необходимо для удовлетворения жестких требований, предъявляемых к размерам прессуемых изделий. Поэтому при расчете конструкции КВД необходимо обеспечить нагружение каждого его элемента в упругой области напряжений во всем диапазоне давлений, применяемых при спекании. Поскольку применяемые реально давления составляли 1,0 – 1,5 ГПа, обеспечивать надежную работу с помощью стального однослойного цилиндра не представлялось возможным. В связи с этим для расчета принимали многослойный вариант стальной камеры.

Задача расчета многослойной КВД состояла в определении по заданной величине рабочего давления оптимального количества и размеров колец, а также посадочных натягов между ними. Параллельно производили выбор соответствующих материалов для изготовления колец.

Расчет многослойных КВД базировался на использовании известных формул Ляме для нагруженных изнутри цилиндров. При расчете КВД величина высокого давления была принята равной 1,3 ГПа, размер наружного диаметра определялся размером загрузочного окна пресса и равнялся 890 мм. Для изготовления внутренних колец была использована сталь 40ХСН2М-ФВ, обладающая высокой прочностью до 450 – 500 °С, средних колец – ст. 3ХВ4СФ и наружных колец – ст. 5ХНВ. Схема разработанной КВД для создания высоких давлений при изготовлении долот диаметром 212 мм представлена на рис. 1.

Установка для горячего прессования была разработана и смонтирована на базе гидравлического пресса

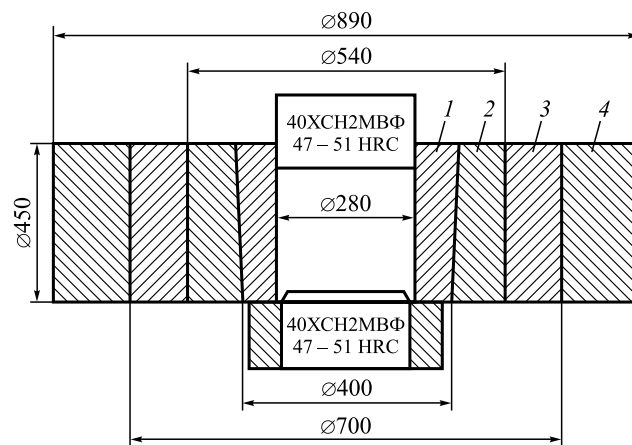


Рис. 1. Схема камеры высокого давления с диаметром рабочей зоны 280 мм:

1 – кольцо внутреннее 40ХСН2МФ, 47 – 51 HRC; 2 – кольцо среднее 3ХВ4СФ, 45 – 48 HRC; 3 – кольцо наружное 5ХНВ, 44 – 46 HRC; 4 – обойма, 5ХНВ, 42 – 45 HRC

Fig. 1. Scheme of the pressure chamber with the working area of 280 mm in diameter:

1 – inner ring of 40KhSN2MF, 47 – 51 HRC; 2 – ring average of 3KhV4SF, 45 – 48 HRC; 3 – external ring of 5KhNV, 44 – 46 HRC; 4 – holder of 5KhNV, 42 – 45 HRC

усилием 5000 тс (50 МН). Схема установки представлена на рис. 2.

Буровые долота имеют крупные габариты и сложную форму по сравнению с буровыми коронками. Их спекание под высоким давлением представляет значительные сложности на стадиях аппаратуры высокого давления. При спекании долот под высоким давлением необходимо обеспечить равномерность пропрессовки матричного металлокерамического порошка и деформаций окружающего материала КВД. Также сложной проблемой является создание однородного температурного поля по всему объему металлокерамической матрицы во время выдержки под давлением. На рис. 3 представлена схема сборки ячейки КВД для спекания долота.

При сборке долота перед спеканием целые заготовки АСПК в количестве 650 шт. (примерно 500 карат) размещали по определенной схеме по внутренней поверхности графитовой пресс-формы 2 с предварительно закрепленными в ней графитовыми вкладышами 3, служащими для формирования промывочных каналов. В целях снижения деформаций графитовой пресс-фор-

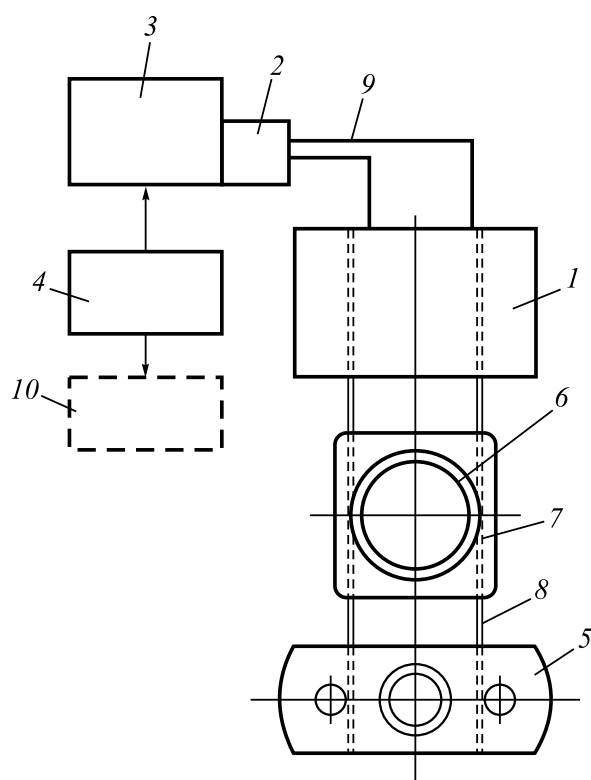


Рис. 2. Схема установки для создания высокого давления:
1 – гидравлический пресс усилием 5000 тс; 2 – силовой трансформатор сварочного типа; 3 – регулировочный трансформатор; 4 – пульт управления; 5 – распрессовочный гидравлический пресс усилием 100 тс; 6 – камера высокого давления; 7 – тележка; 8 – рельсы; 9 – электрические шины; 10 – насосная станция

Fig. 2. Scheme of apparatus for high pressure creating:
1 – hydraulic press with the force of 5000 t.f.; 2 – power transformer; 3 – control transformer; 4 – control unit; 5 – unloading hydraulic press with the force of 100 t.f.; 6 – high-pressure chamber; 7 – truck; 8 – rails; 9 – power bus; 10 – pumping station

мы и повышения их равномерности, а также обеспечения равномерности нагрева спекаемой матрицы и уменьшения габаритных размеров КВД, толщина графитовой пресс-формы была максимально уменьшена и уравнена по всему сечению. Одновременно, для обеспечения снижения общей усадки матричного металлокерамического слоя 4 при спекании и соблюдения требуемых размеров долота, была уменьшена его толщина по сравнению с обычной конструкцией алмазных долот. Для устранения искажения поверхности матрицы при ее усадке стальной корпус долота 5 выполнен по форме, максимально приближенной к форме долота. Для прочного механического соединения металлокерамической матрицы к стальному корпусу в нем были выполнены специальные выточки и канавки. Графитовые нагреватели для обеспечения равномерного разогрева долота выполнены составными: из токоподводящей 8 и тепловыделяющей 9 частей. Первая имеет трубчатую форму,

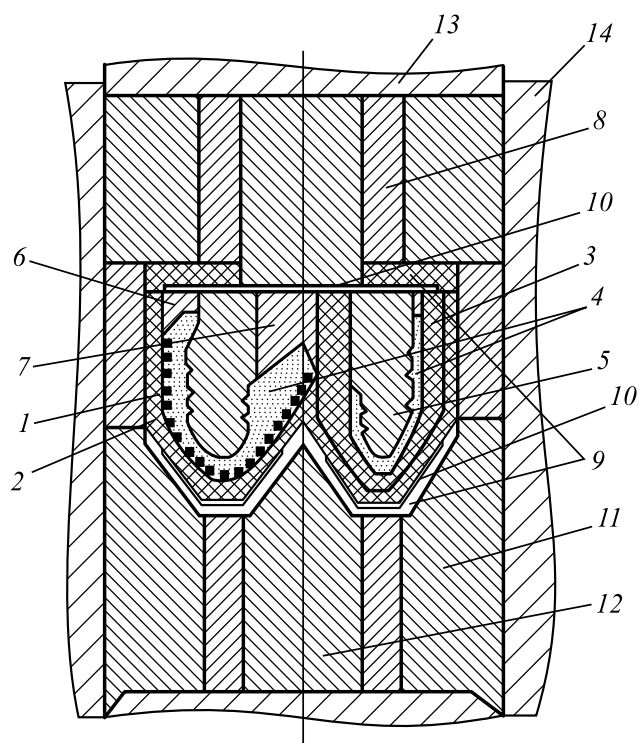


Рис. 3. Схема сборки КВД для горячего прессования алмазных долот:

1 – алмазы АСПК; 2 – графитовая пресс-форма; 3 – графитовые вкладыши; 4 – металлокерамическая матрица; 5 – стальной корпус долота; 6, 7 – стальные подпрессовочные пуансоны; 8 – графитовые токоподводящие нагреватели; 9 – графитовые тепловыделяющие нагреватели; 10 – электроизоляционные асбестовые прокладки (толщина 0,3 – 0,5 мм); 11 – пиррофиллитовые оболочки; 12 – пиррофиллитовые вкладыши; 13 – пуансоны; 14 – КВД

Fig. 3. Scheme of the pressure chamber assembly for hot pressing of diamond bits:

1 – PCD diamonds; 2 – graphite mold; 3 – graphite inserts; 4 – metal-ceramic matrix; 5 – steel body of the bit; 6, 7 – steel punches; 8 – current-carrying graphite heaters; 9 – graphite fuel heaters; 10 – asbestos insulating gaskets (thickness 0.3 – 0.5 mm); 11 – pyrophyllite shell; 12 – pyrophyllite liners; 13 – punches; 14 – pressure chamber

а вторая пластинчатую, причем ее толщина уменьшается в радиальном направлении от центра. Теплозащита стального контейнера и поршней от горячей зоны КВД осуществляется с помощью керамических оболочек 11 и вкладышей 12, изготовленных из прессованного порошка пиррофиллита с наружным диаметром 280 мм, поскольку внутренний диаметр контейнера КВД был ограничен 280 мм по техническим характеристикам применяемого прессового оборудования. В соответствии с объемом и удельной массой определяется количество металлокерамического матричного порошка и производится его разделение на доли, необходимые для формирования его торцевой, периферийной и центральной частей. Установкой верхнего нагревателя и теплоизолирующей оболочки завершали сборку камеры. Сверху на нее опускали поршень и аппарат на тележке вводили в гидравлический пресс, за счет осевого усилия которого в КВД создавали давление до 1,3 ГПа.

Разогрев зоны спекания производили постоянным током, вырабатываемым генератором типа НД 5000/10 000 А и подводили к нагревателям через шины к поршню и опоре КВД.

Режим спекания состоял в пятиминутном вводе электрической мощности до 25 кВт и последующей ее выдержке до достижения в зоне спекания температуры порядка 950 – 1000 °С, контролируемой по показаниям введенной в нее термопары. При этом, как следует из показаний термопары, рост температуры происходил с затухающей скоростью и время прогрева зоны спекания до 950 °С составляло 45 мин. Температурный режим представлен на рис. 4.

После достижения указанной температуры произво-

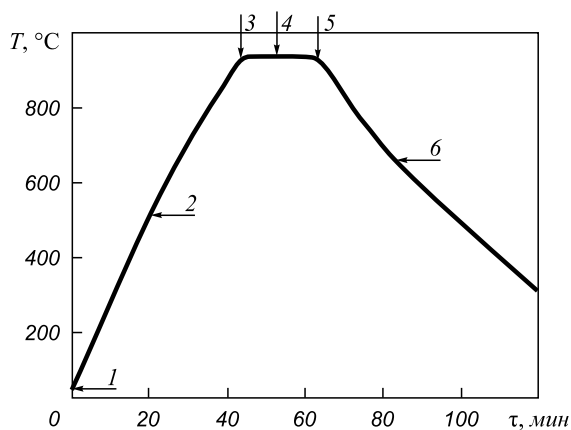


Рис. 4. Диаграмма температурного режима при спекании долот под высоким давлением:

1 – ввод электрической мощности; 2 – нагрев при 25 кВт; 3 – снижение электрической мощности до 12 кВт; 4 – выдержка при 12 кВт; 5 – снятие электрической мощности; 6 – охлаждение реакционной зоны под давлением

Fig. 4. Diagram of temperature mode during bits sintering under high pressure:

1 – input of electrical power; 2 – heating at 25 kW; 3 – reduction of electric power up to 12 kW; 4 – exposure at 12 kW; 5 – removal of electrical power; 6 – cooling of the reaction zone under pressure

дили сброс электрической мощности и останавливали генератор. Из-за высокой массы и хорошей теплоизоляции охлаждение долота происходит медленно. В течение часа температура снижается лишь до 300 °С, что исключает опасность развития термонапряжений в его матрице. При температуре около 300 °С производили снятие осевой нагрузки, распрессовывали КВД и извлекали из нее спеченное долото. Фотография спеченного долота приведена на рис. 5.

При визуальном обследовании установлено, что сколов или трещин в металлокерамической матрице или на границе ее со стальным корпусом не наблюдалось. Приведенные данные свидетельствуют, что режим спекания долот является удовлетворительным. Показания термопар, одновременно введенных в КВД во время спекания, указывают на различие не более 40 °С при температуре 950 °С, что является вполне удовлетворительным.

Испытания долота проводили на опытном стенде, оснащенном комплексом показывающей и самозаписывающей аппаратуры.

При бурении блока мрамора при нагрузке до 50 кН и числе оборотов 355 об/мин была достигнута механическая скорость до 20 м/ч. После проходки одного метра заметного износа, сколов и других дефектов режущих элементов АСПК обнаружено не было. При этом из-за некоторой неравномерности первоначального расположения режущих элементов АСПК по высоте, в работе участвовало около 10 % из общего числа. В дальнейшем испытания проводили на блоке

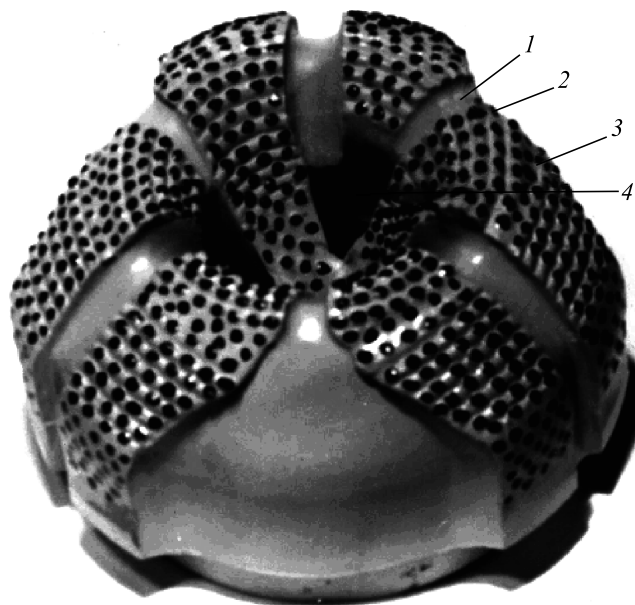


Рис. 5. Алмазное долото, полученное методом спекания под высоким давлением:

1 – корпус долота; 2 – режущий элемент АСПК; 3 – матрица; 4 – отверстие для бурового раствора

Fig. 5. Diamond bit obtained with high pressure sintering method: 1 – bit's body; 2 – cutting PCD element; 3 – matrix; 4 – hole for the drilling fluid

окварцованного песчаника, относящегося к X – XII категории буримости.

В процессе бурения окварцованного песчаника имел место заметный износ режущих элементов АСПК. При этом было отмечено, что в отличие от износа природных алмазов путем микро- и макровыкрашивания, он носил чисто абразивный характер с образованием по торцу режущих элементов плоских площадок с гладкой поверхностью и был аналогичен ранее отмеченному износу режущих элементов АСПК в буровых коронках. По мере частичного износа первоначально выступающих режущих элементов АСПК, все большее количество их включалось в работу, увеличивая тем самым суммарную площадь контакта с буримой породой. При этом наблюдалось резкое падение механической скорости бурения. Так, если в начале бурения блока окварцованного песчаника она составляла 1,8 м/ч при нагрузке 50 кН и скорости вращения 355 об/мин, то после проходки в нем 1 м механическая скорость упала при том же режиме бурения до 1 м/ч. При этом количество контактирующих с породой режущих элементов увеличилось с 10 до 25 %. Увеличение нагрузки до 100 кН и повышение числа оборотов до 470 об/мин привело к увеличению скорости бурения до 3 м/ч. В результате бурения и дальнейшего увеличения числа контактирующих с породой режущих элементов АСПК продолжался процесс снижения механической скорости бурения. После проходки в 1,5 м она снизилась до 1 м/ч. Число вступивших в работу режущих элементов АСПК составило при этом около 30 % от их общего количества, а максимальный износ не превышал 15 – 20 %.

Поскольку установленный на стенде буровой станок не позволяет в еще большей мере увеличить нагрузку, стендовые испытания долота на этом были прекращены. Учитывая, что промышленное буровое оборудование имеет осевое усилие до 100 – 120 кН, применение долот с таким содержанием режущих элементов АСПК при бурении пород сверхвысокой твердости не рационально. Использование разработанных долот с применением меньшего количества режущих элементов АСПК возможно при бурении пород до IX категории буримости.

Выводы. При изготовлении долот методом спекания под высоким давлением в стальной КВД установлено, что процесс спекания является производительным, оснастка для него может быть применена многократно. Прочностные показатели долота обеспечивают возможность его эксплуатации при самых напряженных силовых режимах бурения. Металлокерамическая матрица создает надежное закрепление режущих элементов АСПК, является износостойкой и обладает высокой прочностью. Учитывая высокую стойкость и стоимость буровых долот цельноспеченного типа, накопленный опыт и имеющееся уникальное прессовое оборудование, включающее уникальный пресс усилием 500 МН, представляется перспективным продол-

жать работы по изготовлению долот с использованием алмазных композиционных материалов типа PCD с различной термостойкостью. Также технология может быть применена для изготовления металлокерамического износостойкого, коррозионностойкого корпуса долота с последующим закреплением в нем режущих алмазных элементов методом пайки или механическим закреплением. Разработанная технология является энергосберегающей, экологически чистой и производительной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессон А., Берр Б., Диллард С. и др. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот // Нефтегазовое обозрение. 2002. Т. 7. № 1. С. 4 – 31.
2. Hungerford F., Ren T. Poly-crystalline diamond drill bit development. In 14th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia. 2014. P. 293 – 300.
3. Scott D., Stockeydr D., Digiovanni A. Engineered geometries for PDC cutters extends the life and performance of PDC drill bits // Finer Points Superabrasive Industry Review. 2015. Summer. P. 19 – 20.
4. Шарипов А.Н., Мингазов Р.Р. Долота для бурения по твердым породам // Бурение и нефть. 2012. № 12. С. 46 – 48.
5. Трушкин О.Б., Попов А.Н. Выбор долот PDC в соответствии с твердостью и абразивностью горных пород // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 6. С. 34 – 38.
6. García-Marro F., Mestra A., Kanyanta V. etc. Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD) // Diamond & Related Materials. 2016. Vol. 65. P. 131 – 136.
7. Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigpen M. The current state of PDC bit technology // World Oil. 2010. September Issue. P. 41 – 46.
8. Scott D. The history and impact of synthetic diamond cutters and diamond enhanced inserts on the oil and gas industry // Industrial Diamond Review. 2006. No. 1. P. 48 – 55.
9. Сергейчев К.Ф. Алмазные CVD-покрытия режущих инструментов (обзор) // Успехи прикладной физики. 2015. Т. 3. № 4. С. 342 – 376.
10. Sexton T.N., Cooley C.H. Polycrystalline diamond thrust bearings for down-hole oil and gas drilling tools // Wear. 2009. Vol. 267. P. 1041 – 1045.
11. Pat. 20140352228 US. Method of processing polycrystalline diamond material / Humphrey Samkelo Lungisani Sithebe, Andrew Ndlovu. 2014.
12. Pat. 20120152064 US. Protective system and chemical agents for leaching polycrystalline diamond elements / Ram L. Ladi, Carl Edward Wells, Bhupinder Kumar Kataria, Stephen W. Almond. 2012.
13. Pat. 7757791 US. Cutting elements formed from ultra hard materials having an enhanced construction / John Daniel Belnap, Stewart N. Middlemiss. 2010.
14. Yahiaoui M., Gerbaud L., Paris J.-Y. etc. A study on PDC drill bits quality // Wear. 2013. Vol. 298–299. P. 32 – 41.
15. Елютин А.В., Лаптев А.И., Манухин А.В. и др. Синтез поликристаллических алмазов «карбонадо» из пиррографита // Доклады РАН. 2001. Т. 378. № 6. С. 1 – 6.
16. Лаптев А.И. Классификация синтетических поликристаллических алмазов «Баллас» и «карбонадо» // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 1. С. 51 – 55.
17. 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 материалы. 2001. № 6. С. 54 – 63.

18. Довбня А.В., Бугаков В.И., Коняев Ю.С. Высокоэффективное бурение горных пород высокой твердости коронками на основе АСПК // Алмазы и сверхтвердые материалы. 1982. № 3. С. 7–8.
19. Бугаков В.И., Елютин А.В., Караваев К.М. и др. Новый тип связок на основе никеля, легированного дибаридами титана и хрома, для алмазного камнеразрушающего инструмента // Изв. вуз. Цветная металлургия. 1998. № 5. С. 61–68.
20. Зайцев А.А., Вершинников В.И., Панов В.С. и др. Влияние технологических параметров спекания на структуру и свойства твердого сплава ВК5 из СВС- порошка карбида вольфрама //

Изв. вуз. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2013. № 3. С. 21–27.

21. Zaytsev A.A., Borovinskaya I.P., Vershinnikov V.I. etc. Near-nano and coarse-grain WC powders obtained by the self-propagating high-temperature synthesis and cemented carbides on their basis. Part I. Structure, composition and properties of WC powders // Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2015. Vol. 50. P. 146–151.

Поступила 23 мая 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. VOL. 60. No. 1, pp. 36–42.

MANUFACTURING TECHNOLOGY OF DRILL BITS UNDER HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE WITH THE APPLICATION OF NEW DIAMOND MATERIALS

V.I. Bugakov¹, A.I. Laptev²

¹ Institute for High Pressure Physics of RAS, Moscow, Russia

² National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

Abstract. An original manufacturing technology of diamond drill bits with up to 212 mm at pressures up to 1.5 GPa and temperatures up to 1250 °C was developed. The bits were produced by sintering in a heat insulating jacket, an electrical insulating casing with electrical heaters in a steel high pressure cell for 120 min. In the manufacture of drill bits by sintering under high pressure in steel HPC it was found that the sintering process is productive and apparatus for it can be used repeatedly. It can be used steel casing for pressing the diamond matrix material on it. The whole body can be made of diamond powder or holes for fixing of diamonds by the subsequent soldering or by mechanical method. The authors have developed and manufactured a piston-cylinder type of HPC with a working diameter up to 280 mm by a high-pressure chamber. Also they have made a bit of model cutting elements such as polycrystalline carbonado diamonds and have tested their performance properties. When drilling of marble unit at load of 50 kN and the revolutions number of 355 rev/min the mechanical speed was reached up to 20 m/h. It was found that the developed technology allows to keep cutting properties such as carbonado diamonds have, which are analogues of PCD for thermal stability. Strength bit performance allows its operation under the most intense power drilling modes; metal-ceramic matrix provides a reliable fastening of the cutting elements. Carbonado is wear resistant and has high strength. This technology is energy efficient, environmentally friendly and productive, as the technology can be used for the manufacture of metal-ceramic wear-resistant, corrosion-resistant casing bit and then fixing it in the diamond cutting elements by soldering, or mechanical fastening, using a diamond composite materials of PCD types with different thermal stability.

Keywords: diamond composite, synthetic carbonado, PCD, HPHT Cell, sintering, bunch of diamond tools, drilling tools, diamond PDC bit.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-36-42

REFERENCES

1. Besson A., Berr B., Dillard S., Dreik E., Aivi B., Aivi K., Smit R., Uotson G. A new look at cutting elements of drill bits. *Neftegazovoe obozrenie*. 2002, vol. 7, no. 1, pp. 4–31. (In Russ.).
2. Hungerford F., Ren T. Poly-crystalline Diamond Drill Bit Development. In: *14th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia*, 2014, pp. 293–300.
3. Scott D., Stockeydr D., Digiovanni A. Engineered geometries for PDC cutters extends the life and performance of PDC drill bits.

In: *Finer Points Superabrasive Industry Review*. 2015, Summer, pp. 19–20.

4. Sharipov A.N., Mingazov R.R. Drill bits for hard rock drilling. *Burenie i nefi'*. 2012, no. 12, pp. 46–48. (In Russ.).
5. Trushkin O.B., Popov A.N. Selection of PDC bits in accordance with the hardness and abrasive of rocks. *Territoriya "NEFTEGAZ"*. 2015, no. 6, pp. 34–38. (In Russ.).
6. García-Marro F., Mestra A., Kanyanta V., K. Mawaja, Ozbayraktar S., Llanes L. Contact damage and residual strength in polycrystalline diamond (PCD). *Diamond & Related Materials*. 2016, vol. 65, pp. 131–136.
7. Bellin F., Dourfaye A., King W., Thigpen M. The current state of PDC bit technology. *World Oil*. 2010, September Issue, pp. 41–46.
8. Scott D. The history and impact of synthetic diamond cutters and diamond enhanced inserts on the oil and gas industry. *Industrial Diamond Review*. 2006, no. 1, pp. 48–55.
9. Sergeichev K.F. CVD-diamond coating of cutting tools (review). *Uspekhi prikladnoi fiziki*. 2015, vol. 3, no. 4, pp. 342–376. (In Russ.).
10. Sexton T.N., Cooley C.H. Polycrystalline diamond thrust bearings for down-hole oil and gas drilling tools. *Wear*. 2009, vol. 267, pp. 1041–1045.
11. Humphrey Samkelo Lungisani Sithebe, Andrew Ndlovu. *Method of processing polycrystalline diamond material*. Patent no. 20140352228 (US). 2014.
12. Ram L. Ladi, Carl Edward Wells, Bhupinder Kumar Kataria, Stephen W. Almond. *Protective system and chemical agents for leaching polycrystalline diamond elements*. Patent no. 20120152064 (US). 2012.
13. John Daniel Belnap, Stewart N. Middlemiss. *Cutting elements formed from ultra hard materials having an enhanced construction*. Patent no. 7757791 (US). 2010.
14. Yahiaoui M., Gerbaud L., Paris J.-Y., Denape J., Dourfaye A. A study on PDC drill bits quality. *Wear*. 2013, vol. 298–299, pp. 32–41.
15. Elyutin A.V., Laptev A.I., Manukhin A.V., Sannikov D.S., Kryukova L.M. Synthesis polycrystal diamonds 'carbonado' from pyrographite. *Doklady Akademii Nauk*. 2001, vol. 378, no. 6, pp. 769–785.
16. Laptev A.I. The classification of synthetic polycrystalline diamond "Ballas" AND "Carbonado". *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2014, no. 1, pp. 51–55. (In Russ.).
17. Bugakov V.I., Konyaev Yu.S. High-performance diamond tools manufactured by the original technology with the use of high pressures and temperatures, the new matrix of diamond materials. *Sverkhтвердые материалы*. 2001, no. 6, pp. 54–63. (In Russ.).
18. Dovbnya A.V., Bugakov V.I., Konyaev Yu.S. Highly efficient drilling of rocks of high hardness by carbonado-based crowns. *Almazы i sverkhтвердые материалы*. 1982, no. 3, pp. 7–8. (In Russ.).
19. Bugakov V.I., Elyutin A.V., Karavaev K.M., Laptev A.I., Polushin N.I. A new type of matrices, based on nickel doped by dibarids of titanium and chromium, for diamond tools. *Izvestiya VUZov. Tsvetnaya metallurgiya*. 1998, no. 5, pp. 61–68. (In Russ.).

20. Zaitsev A.A., Vershinnikov V.I., Panov V.S., Levashov E.A., Borovinskaya I.P., Konyashin I.Yu., Rupasov S.I., Patsera E.I., Shumenko V.N., Zamulaeva E.I. Influence of production parameters of sintering on the structure and properties of VK5 hard alloy made of tungsten carbide SHS powder. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2014, vol. 55, no. 6, pp. 699–705.
21. Zaytsev A.A., Borovinskaya I.P., Vershinnikov V.I., Konyashin I.Yu., Patsera E.I., Levashov E.A., Ries B. Near-nano and coarse-grain WC powders obtained by the self-propagating high-temperature synthesis and cemented carbides on their basis. Part I: structure, composition and properties of WC powders. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2015, vol. 50, pp. 146–151.

Acknowledgements. The authors thank Y.S. Konyaeva and A.V. Dovbnya for participation in the work on the development of the diamond tool sintering technology at high pressures. This work was performed within the framework of the federal target program of the project

“Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014–2020” on the theme “Development of technology for the manufacture of high-performance bits and horizontal directional drilling for oil and gas industry” agreement no. 14.581.21.0012 (the unique identifier of the agreement is RFME-FI58115X0012) with the financial support for applied researches by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Information about the authors:

V.I. Bugakov, Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director
(bugakovv@hppi.troitsk.ru)

A.I. Laptev, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Laboratory
“Superhard Materials” (laptev@misis.ru)

Received May 23, 2016
