Научная статья
Original article
УДК 622.248.64

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

CURRENT STATUS OF MANUFACTURING TECHNOLOGY OF DIAMOND TOOLS FOR DRILLING EXPLORATION WELLS

Подоляк Алексей Витальевич, кандидат технических наук, буровой мастер ООО «Восточная буровая компания», Россия, г. Санкт-Петербург
Цимбалистый Дмитрий Петрович, Ведущий инженер ООО «МУЛЬТИПРИНТ 3Д», Россия, г. Санкт-Петербург

Podolyak Alexey Vitalievich, candidate of technical sciences, drilling foreman of Vostochnaya Burovaya Kompaniya LLC, Russia, St. Petersburg
Zimbalisty Dmitry Petrovich, Leading engineer of LLC "MULTIPRINT 3D", Russia, St. Petersburg

Аннотация: На территории Российской Федерации ежегодно ведутся работы, связанные с поиском и разведкой твёрдых полезных ископаемых с использованием бурения скважин с отбором геологических проб по всей протяжённости, в основном, снарядами со съёмным керноприёмником, в объёме порядка 3,5 млн. погонных метров в год. Несмотря на это, скорость бурения и ресурс отечественного алмазного бурового инструмента отстаёт от зарубежного при бурении в твёрдых и очень твёрдых горных породах более,

чем в два раза. Приведены основные положения современной отечественной технологии изготовления алмазных буровых коронок. Отражены основные проблемы качества алмазного инструмента и тенденции в изменении свойств матриц. Указаны основные причины отсутствия матриц типов 9-15 отечественных производителей. Представлены основные выводы и рекомендации по изменению свойств матриц геологоразведочного сортамента.

Annotation: On the territory of the Russian Federation, work is carried out annually related to the search and exploration of solid minerals via diamond core drilling with the selection of geological samples along the entire length, mainly using wireline systems, in the amount of about 3.5 million running meters per year. Despite this, the drilling speed and resource of domestic diamond drilling tools lag behind foreign ones when drilling in hard and very hard rocks by more than two times. The main provisions of the modern domestic technology for the manufacture of diamond drill bits are given. The main problems of the quality of diamond tools and trends in changing the properties of matrices are reflected. The main reasons for the absence of matrices of types 9-15 of domestic manufacturers are indicated. The main conclusions and recommendations for changing the properties of exploration matrix matrices are presented.

Ключевые слова: алмазный инструмент, алмазное бурение с отбором керна

Keywords: diamond tools, diamond core drilling

Бурение скважин является основным и наиболее достоверным методом опробования горных пород при разведке полезных ископаемых. При этом, наиболее эффективным способом сооружения скважин в твёрдых горных породах является колонковое бурение с отбором керна одинарными, двойными колонковыми и снарядами со съёмными керноприёмниками (ССК) с использованием алмазного породоразрушающего инструмента.

В последнее время наблюдается расширение области применения алмазного бурения геологоразведочных скважин, что сопровождается увеличением протяженности их стволов и охватывает широкий диапазон пересекаемых горных пород. Данные причины обуславливают тщательный подбор типа породроразрущающего инструмента и высокие требования к его качеству.

При бурении в твёрдых и очень твёрдых горных породах и в условиях осложнённых геологических разрезов (IX-XII категории по буримости (ОСТ 41-89) ресурс алмазных коронок как отечественных, так и зарубежных производителей, может снижаться до порядка 30 м. В то время как при бурении в породах средней твёрдости проходка на коронку достигает 400-500 м. Очевидно, что такие показатели проходки на коронку в твёрдых породах ведут к значительному удорожанию себестоимости проведения буровых работ, а заинтересованность буровых компаний, работающих в условиях осложнённых геологических разрезов, в надёжном инструменте по доступной цене крайне высока.

Ресурс алмазных коронок как отечественного, так и зарубежного производства при бурении в твёрдых и очень твёрдых горных породах значительно снижается, по сравнению с бурением в породах средней твёрдости, и не всегда превышает 30-50 метров. В то время как при бурении в породах средней твёрдости проходка на коронку достигает 400-500 м. Объёмы бурения в твёрдых и очень твёрдых горных породах составляют около 70% от алмазного бурения в РФ. Из них около 60% производится снарядами со съёмными керноприёмниками (ССК) [1]. Учитывая тот факт, что зарубежные аналоги имеют недостатки как по ценовой категории, так и по качеству, а на территории РФ технология изготовления алмазных буровых коронок не менялась более 35 лет, на сегодняшний день крайне высока необходимость в исследованиях, направленных на совершенствование алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей, прежде всего для бурения снарядами ССК.

К основным разработчикам и поставщикам алмазного породоразрушающего инструмента для бурения геологоразведочных скважин на твёрдые полезные ископаемые одинарными, двойными колонковыми снарядами и снарядами со съёмным керноприёмником можно отнести: «Борт Лонгир» (США-Канада), «Эпирок» (Швеция), Фордиа», (Канада), «ТерекАлмаз», «ЭЗТАБ», «Тульское НИГП» и др.

На сегодняшний день изготовление алмазного инструмента для бурения скважин производится посредством большой доли ручного труда: установка подрезных алмазов, прессование и горячая допрессовка матрицы. Все эти операции требуют точности проведения работ, влияющей на качество готового продукта [3].

На Рисунке 1 представлена общая схема изготовления алмазной буровой коронки. Подобная технология применяется, в частности, на производстве компании «ЭЗТАБ». Отличие в производстве компании «ТерекАлмаз» заключается лишь в использовании печей проходного типа.

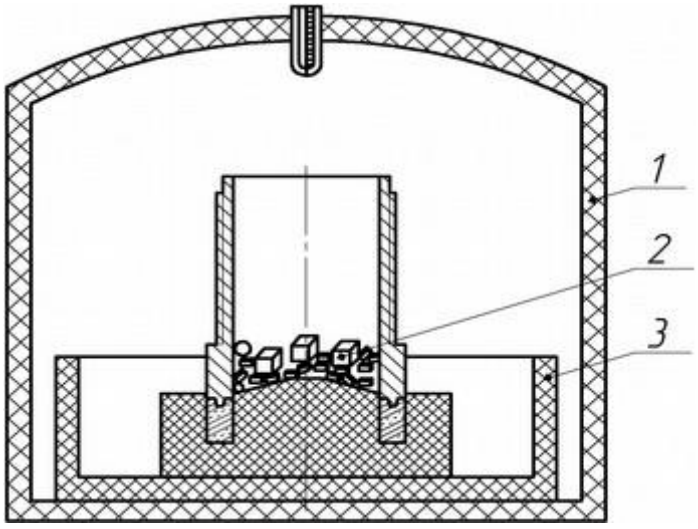

Рисунок 1. Схема изготовления алмазной коронки в муфельной печи:

1 — муфель печи; 2 — частицы меди; 3 — графитовая лодочка.

В качестве основных материалов, используемых при изготовлении коронок используются алмазы, твёрдосплавные порошки, медь для пропитки, сталь для изготовления корпуса и др.

Процесс изготовления алмазной буровой коронки производится следующим образом (см. Рисунок 1). Изготавливают стальной корпус буровой коронки и разовую графитовую пресс-форму, согласно размерам и форме матрицы. В изготовленную пресс-форму укладывают алмазы и загружают шихту, после чего матрицу формуют, а сверху устанавливают стальной корпус коронки, затем производят прессование. Медь помещается в корпус коронки на поверхность графитовой формы. Спекание матрицы осуществляется с пропиткой медью в печах в среде кислородовымещающих газов.

Использование разовой графитовой пресс-формы является важным технологическим приёмом, поскольку в ней происходит формование матрицы с алмазами, прессование и пропитка в печи, что исключает смещение и нарушение расположения алмазов в матрице.

Неравномерная пропитка обусловлена сравнительно низкой смачиваемостью медью смеси твердосплавных порошков, что не обеспечивает равномерную пропитку матрицы по всему её объёму. Низкая жидкотекучесть в 35 см по ГОСТ 16438-70 влияет на способность меди как пропиточного материала заполнять систему пор, образуемую шихтой. Неравномерная пропитка матрицы приводит к выбраковке коронки, так как отрицательно сказывается на равномерности (монолитности) матричной композиции. Если матрица не спеклась равномерно по всему её объёму, это серьезно снижает ресурс коронки. Отработка коронки всегда происходит слоями и при соприкосновении непропитанного слоя с разрушающими её породами происходит ускоренный износ матрицы.

Помимо этого, температурные режимы спекания с использованием меди (особенно без создания надёжной бескислородной среды, что на практике часто) являются критическими для алмазных зёрен и приводят к потере их

прочностных свойств, а также приводят к разупрочнению композиции матрицы за счёт прохождения перитектической реакции в системе Cu-Co.

В целом, ресурс коронки зависит от множества факторов [3,4]. В основном ресурс коронок (с точки зрения изготовления) зависит от состава матричной композиции, качества спекания матрицы и равномерности пропитки, качества спекания (спаивания) матрицы с корпусом коронки и геометрическими параметрами после механической обработки

Следует отметить следующие основные недостатки коронок, изготовленных по данной технологии:

1. Применяя описанную технологию изготовления алмазного породоразрушающего инструмента, имеется возможность изготовления диапазона матриц с твёрдостью только типов 1-8 (из 15) принятой номенклатуры матриц геологоразведочного сортамента «Международной ассоциации производителей алмазного бурового инструмента» (DCDMA) и изготавливаемых, на сегодняшний день большинством зарубежных фирм (Epirok, Hayden, Fordia и др.).

2. Имеется наличие микротрещин и графитизации в поверхностном слое зёрен алмазов, что значительно снижает ресурс коронок, так как алмаз является истирающе-режущим элементом. Причиной графитизации на практике может служить отсутствие или недостаточное соблюдение условий создания бескислородной среды при создании критической для алмаза температуры (более 1150 °С). Наличие системы микротрещин приводит к повышенному износу алмазов в процессе бурения, а графитизация приводит к отслоению нанесенной плёнки плакированных алмазов и, как следствие, преждевременному выпаданию алмазов из матрицы.

3. Наличие дефектов спекания на границе «корпус-матрица», что обусловлено сравнительно низкой жидкотекучестью меди и слабыми адгезионными свойствами системы «медь-сталь» при использовании описанного метода спекания данных материалов, и выражается преждевременным отрывом секторов матрицы коронки от её корпуса.

4. Низкая равномерность пропитки, обусловленная сравнительно низкой жидкотекучестью меди и, как следствие, возможным наличием пор и каверн в отдельных областях матрицы вплоть до 93 %, что приводит к браку при производстве в количестве от 3 до 5 % и является существенным, учитывая приведённую ниже себестоимость используемых материалов.

В целом следует отметить, что эффективность работы матрицы коронки и её ресурс при бурении зависит не только от качественно изготовленной матрицы, но и от состояния самих алмазов после спекания. При спекании коронок с нагревом в муфельной печи с использованием меди в качестве пропиточного материала касательно состояния алмазов можно дополнительно описать следующую особенность: время термического воздействия на изготавливаемую матрицу составляет 1,5 часа, при этом температура плавления меди составляет 1083^0C. Для придания жидкотекучести меди (в пределах её вышеуказанных свойств) и обеспечения пропитывания пустот каркаса матрицы, создаваемых загруженной в графитовую форму шихтой, температуру в камере повышают до 1180-1240 ^{0}C. Такое продолжительное термическое воздействие негативно сказывается на состоянии алмазов. Возникает разрушение поверхностного слоя с образованием микротрещин и его графитизация. Но, как известно, наличие в спеченных твердых сплавах свободного углерода (графита) снижает их прочностные характеристики [6]. Наличие микротрещин в зернах алмазов приводит к повышенному износу таких зёрен в процессе эксплуатации инструмента. При изготовлении алмазного инструмента методом порошковой металлургии, высокотемпературный режим пропитки и спекания алмазной части инструмента расплавом меди 1150-1200^0C резко снижает прочность сцепления покрытия с алмазом.

Таким образом, подбор режимных параметров сводится к установлению баланса между созданием жидкотекучести пропиточного материала, с одной стороны, и критическим воздействием на прочностные свойства алмазов, с другой. Для обеспечения качественной пропитки матрицы при известных

используемых для этого материалов требуется достижение температуры в камере печи до значений, являющихся критическими для зёрен алмазов и, как следствие, снижение их прочностных характеристик. Для обеспечения износостойкости алмазов требуется снижение температуры спекания, но при этом, используя известный пропиточный материал на основе меди, значительно снижается равномерное её распределение по всему объёму матрицы вплоть до 10% непропитанных областей, что приводит к преждевременной потере алмазов из матрицы коронки в процессе бурения и снижает её ресурс.

Стоит отметить попытки «ТулНИГП» по изменению свойств матриц и подбора подходящих материалов, не приведших, однако, к положительным результатам на практике по причине отсутствия комплексного подхода к изменению технологии изготовления в целом, основанной на регулировании свойств как шихты, так и пропиточного материала [3,5]. Что касается технологий, применяемых зарубежными производителями, то, спекание коронок иностранными компаниями происходит по комбинированной технологии при использовании как муфельных, так и индукционных печей. Вместе с тем, в качестве пропитки зарубежными производителями также применяются составы на основе меди.

Второй теоретической задачей, стоящей перед разработчиками алмазного породоразрушающего инструмента для бурения скважин и имеющей своей целью оптимизацию производства и повышение эффективности работы коронки на забое, является изучение расположения зёрен алмазов на контакте с породой и их размер с точки зрения теории разрушения горных пород.

Несмотря на то, что процесс работы коронки на забое скважины изучен достаточно хорошо, требуется уделить дополнительное внимание изучению процесса взаимодействия коронки при изменённом составе композиции матрицы и этому на сегодняшний день не уделялось должного внимания.

Решение двух теоретических вопросов, а именно математическое моделирование свойств матрицы, с одной стороны, и количество, и размер зёрен алмазов в её составе, с другой, приводит к комплексному подходу изучения работы алмазной коронки на забое и повышению эффективности её работы с возможностью прогнозирования как свойств состава композиции, так и её ресурса.

Таким образом, в связи с выявленными недостатками существующей отечественной технологии, необходим ряд мер, направленных на изменение состава шихты и пропиточного материала с целью повышения ресурса алмазных коронок и механической скорости бурения за счёт сохраненния прочностных свойств алмазов, надёжного их удержания в теле матрицы, а также возможности расширения диапазона матриц, соответствующего международным аналогам.

Список литературы

1. Афанасьев и др. Справочник по бурению геологоразведочных скважин, СПб, ООО «Недра».,2000 г. 712 с.
2. Д.Н. Башкатов. Планирование эксперимента в разведочном бурении. – М.: Недра, 1980. - 181с.
3. Будюков Ю.Е., Власюк В.И, Спирин В.И. «Алмазный породоразрушающий инструмент» - Тула: ИПП «Гриф и К», 2005. - 288 с.
4. Игнатов В.И. Организация и проведение эксперимента в бурении. – М.: Недра, 1980. - 101 с.
5. Кубасов В.В., Будюков Ю.Е. Зависимость работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента от смачиваемости алмаза металлом связки. Инновационные наукоемкие технологии: тезисы докладов междунар. науч.-технич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. - Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2014. – с. 6-10.

6. Трощенко В.Г., Александрова Л.И., Лошак М.Г. Влияние технологических факторов на прочность и долговечность твердых сплавов//Порошковая металлургия. 1970. N 9.-С. 40-45.

Bibliography

1. Afanasiev et al. Handbook for drilling exploration wells, St. Petersburg, Nedra LLC, 2000. 712 p.
2. D.N. Bashkatov. Planning an experiment in exploratory drilling. - M.: Nedra, 1980. - 181s.
3. Budyukov Yu.E., Vlasyuk V.I., Spirin V.I. "Diamond rock cutting tool" - Tula: IPP "Grif and K", 2005. - 288 p.
4. Ignatov V.I. Organization and conduct of an experiment in drilling. - M.: Nedra, 1980. - 101 p.
5. Kubasov V.V., Budyukov Yu.E. Dependence of the performance of a diamond rock cutting tool on the wettability of diamond by the binder metal. Innovative science-intensive technologies: abstracts of reports of the international. scientific and technical conferences under the general ed. V.M. Panarina. - Tula: Publishing House "Innovative Technologies", 2014. - p. 6-10.
6. Troshchenko V.G., Aleksandrova L.I., Loshak M.G. Influence of technological factors on the strength and durability of hard alloys//Powder metallurgy. 1970. N 9.-S. 40-45.

© Подоляк А.В., Цимбалистый Д.П., 2021 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №3/2022

Для цитирования: Подоляк А.В., Цимбалистый Д.П. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №3/2022