

УДК 622.23.054.8

А. А. Мартюшова, аспирант

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", Россия

Телефон: +7-926-141-80-34, E-mail: nastya.martyushova@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦОВ АЛМАЗНЫХ ДОЛОТ

В статье представлен сравнительный анализ конструктивных особенностей резцов алмазных буровых долот, рассмотрена специфика их применения в различных горно-геологических условиях. Обозначены направления совершенствования бурового инструмента с алмазными вставками с целью повышения эффективности процесса бурения.

Ключевые слова: бурение, горная порода, буровые долота, алмазные резцы, бикомпонентные вставки, конструктивные особенности, эксплуатационные характеристики.

A. A. Martyushova

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DESIGN OF DIAMOND CHISEL CUTTERS

The article presents a comparative analysis of the design features of diamond drill bit cutters, considers the specifics of their use in various mining and geological conditions. The directions of improvement of the drilling tool with diamond inserts in order to increase the efficiency of the drilling process are indicated.

Keywords: drilling, rock, drill bits, diamond tools, bicomponent inserts design features, operational characteristics.

Введение

Алмазные долота в современное время приобрели большую популярность, среди бурового инструмента, благодаря своим эксплуатационным характеристикам. При выборе места для скважины, не всегда точно известно, через какой ряд пород будет она проходить, именно поэтому чаще всего на практике в качестве инструмента используют алмазные долота. Конструкция алмазного инструмента рассчитана на среднюю твердость породы, но также учтена возможность использования инструмента в случае, когда твердые породы чередуются с мягкими. Срок службы алмазных долот в 3-5 раз больше шарошечных и лопастных при (идентичных нагрузках на инструмент.

Долото состоит из алмазных режущих элементов, именно они и гарантируют разрушение пород разной крепости. Эффективность алмазного долота находится в зависимости от свойств используемых материалов и их качества. По количеству и типу расположения алмазов различают одно – и многослойные алмазные долота. Так же есть классификация долот, которая строится с учетом позиционирования алмазов: радиальные, спиральные, ступенчатые.

Несмотря на высокую стойкость алмазных долот и ряд преимуществ, которыми они обладают, существуют некоторые сложности в использовании данного инструмента. К примеру, если в процессе бурения на пути инструмента встретиться металлический объект или же очень твердая порода, то долото может выйти из строя по причине скола, либо в результате выпадения алмазного резца из корпуса долота. Наряду с этим, некачественная промывка режущей части инструмента может также привести к выводу его из строя, или к снижению эффективности бурения.

Резцы долот являются исполнительным органом инструмента. Разрушение породы происходит режуще-истирающим способом, при котором наблюдается процесс самозатачивания резцов. Самозатачивание связано напрямую с конструкцией инструмента, используемых материалов и технологии изготовления. Исходя из этого, можно

сказать, что анализ конструктивных особенностей алмазных резцов важен для улучшения технических и эксплуатационных свойств инструмента.

Устройство алмазного долота

Алмазное долото состоит из хвостовика, корпуса и резцов. Хвостовик долот изготавливается из высококачественной стали, типы размеров определяются стандартным рядом по ГОСТ и ISO. Стойкость и функциональные характеристики алмазных долот находятся в прямой зависимости от физико-механических свойств и крепости породы. Исходя из данных условий существуют три вида конструкции корпуса инструмента – матричный, бицентричный и корпус из высококачественной легированной стали

Матричное и бицентричное основание долота изготавливаются также из высококачественной стали, но имеются отличительные особенности в технологии, а именно, их получают спеканием матрицы и хвостовика. Бицентричный корпус имеет несимметричную форму [1] и применяются только для бурения скважин под хвостовик. Все виды конструкций инструмента имеют как преимущества, так и недостатки относительно друг друга, например, по методу крепления резцов.

Установка резцов в посадочные отверстия, высверленные заранее в стальном корпусе, происходит посредством нагревания корпуса инструмента до температуры 440°C с последующим медленным охлаждением. Соответственно при нагревании отверстия расширяются, при охлаждении – сжимаются, при этом задавая позицию и ориентацию резцам.

Закрепление резца в матричном корпусе долота более трудоемко. Посадочные карманы под резцы, расположенные на матрице, производятся в процессе формовки при помощи установки вспомогательных графитовых вкладышей, которые после отливки корпуса удаляются машинной обработкой [2]. Процесс установки резцов в матрицу можно разделить на несколько этапов. Первый этап заключается в тщательной очистке опор резцов и основания отверстия до размещения припоя. Следующий этап - накладка флюса на соединительную часть резцов, для предотвращения нейтрализации продуктов окисления, а также равномерного размещения припоя по конструкции резца. Окисление металлов может помешать проведению пайки и разрушить целостность элементов. Третий этап является основным, так как режущие элементы устанавливаются при помощи специального пружинного приспособления в подготовленные карманы, а в последующем впаиваются в матрицу долота при помощи простого припоя. Последующий этап термообработки заключается в нагревании матрицы в восстановительной среде до 700°C для формирования связи между гранями резца и отверстий матрицы [3]. Охлаждение до нормальной температуры следует проводить на воздухе для застывания припоя и удаления фиксирующих приспособлений.

Резцы долота на твердосплавной базе покрываются слоем поликристаллического алмаза [3]. Толщина покрытия зависит от назначения и типа размера алмазного долота, и может варьироваться от 0,5 до 5 мм. Изнашивание твердосплавной основы быстрее покрытия резца позволяет режущей части инструмента оставаться как можно больше острым (эффект самозатачивания).

Основные требования, предъявляемые к режущей части алмазных долот

Для предупреждения разрушения алмазно-твердосплавных резцов необходимо исключить в алмазном слое растягивающие напряжения. Поэтому резцы имеют тупой угол резания ($90^\circ + \alpha$) [4]. Для ограничения глубины внедрения и, соответственно, пере-

грузки резцов сзади могут устанавливаться опорные элементы, например, зубки из твердого сплава (рис. 1).

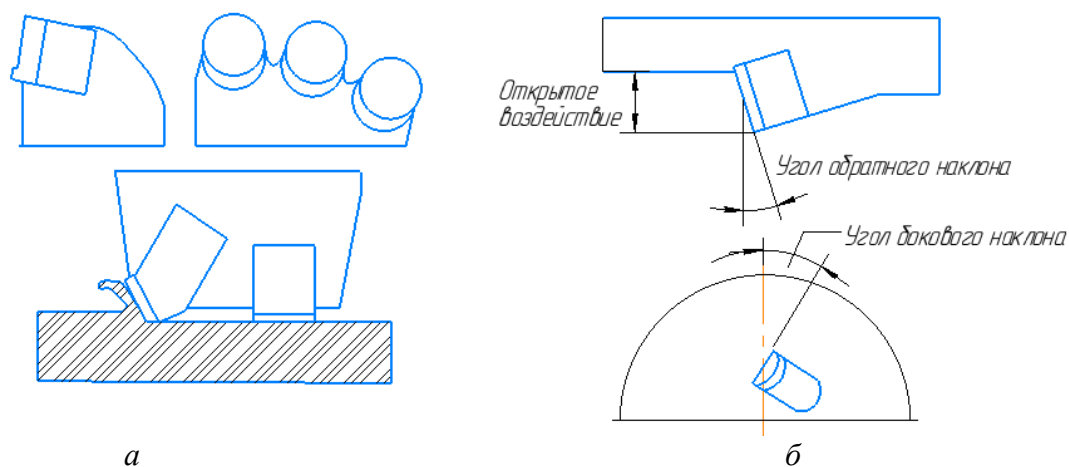


Рисунок 1. Расположение (а) и геометрические характеристики (б) установки резцов PDC-долот.

После сборки долота и оснащения лопастей резцами долото балансируется на специальном стенде с целью минимизации его вибрации в процессе разрушения горной породы и, соответственно, увеличения скорости бурения и надежности долота [3].

Сравнительный анализ резцов алмазных долот

Резцы алмазных долот различаются по геометрическим формам и назначению. Наибольшую распространенность получили PDC резцы, которые могут быть выполнены треугольной и круглой формы, также применение нашли и резцы с термостойкими (HOT) и горячепрессованными (GHI) вставками.

PDC резец – это бикомпонентный резец, который получают путем спекания слоя поликристаллических алмазов (PolyCrystalline Diamond Compact = PDC), на подложке из карбида вольфрама при высокой температуре и под значительным давлением. При таких условиях спекания слой PDC прочно закрепляется на подложке, образуется практически цельная абсолютно плотная конструкция.

PDC резцы для буровых долот – новое и очень перспективное направление для российского рынка, поскольку нет ни одного российского предприятия, которое производило бы такую продукцию [5]. Все предприятия, производящие буровые долота, закупают данные резцы либо в США, Японии, либо в Китае.

Основу резца круглой формы составляет твердый сплав, покрываемый слоем поликристаллического алмаза толщиной от 0,5 до 0,7 мм (рис. 2а). Прочность на изгиб у твердого сплава значительно больше прочности поликристаллического алмаза [3], это позволяет эффективно достигать необходимых характеристик для выработки пород. Диаметральный размер резца варьируется от 12,7 до 50,8 мм.

Диффузионная сварка является эффективным методом установки и крепления к державке резца треугольной формы, в результате чего образуется элемент вооружения в виде зубка (рис. 2б). При этом резцы треугольной формы используют при установке единичного резца в пограничной зоне лопасти долота, либо в виде комплекса из нескольких резцов, образующих мозаичный массив режущих элементов (рис. 2в), в соот-

ветствии с требованиями оптимальных геометрических параметров вооружения долот для разрушения твердой породы.

Несмотря на преимущества PDC резцов, у них существует ряд недостатков, например, большая температурная зависимость, так при температуре свыше 700°C PDC-резцы начинают разрушаться.

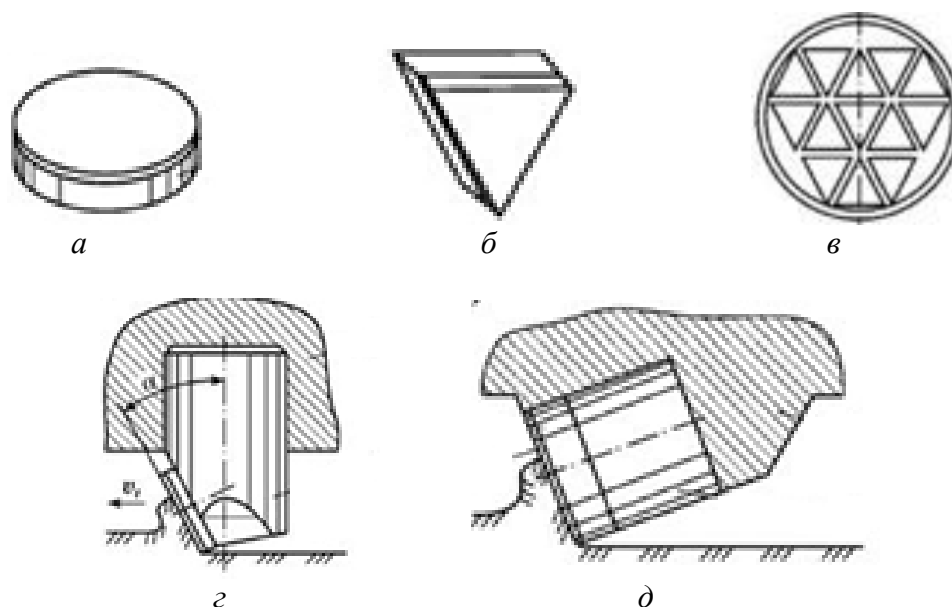


Рисунок 2. Резцы алмазных долот: *a* – алмазно-твердосплавная пластинка круглой формы, *б* – резцы треугольной формы, *в* – матричный комплекс резцов, *г*, *д* – схемы крепления резцов и взаимодействия с горной породой

НОТ резцы являются конкурентами PDC резцов, но из-за сложной технологии их изготовления и дороговизны, PDC резцы пока нашли большее распространение. Термостойкие вставки НОТ проходят ряд термических операций, тем самым позволяют эффективно работать при высоких температурах. Специальная обработка позволяет режущей части резцов увеличивать устойчивость к абразивному износу, при этом оставаться острыми дольше, относительно PDC резцов.

Отличительной характеристикой НОТ резцов является износостойкость, которая превышает обычную практически в 5 раз [3] и тем самым повышает надежность и долговечность элемента. Данный ресурс инструмента позволяет проходить смешанные типы пород за минимальное время. Острые края режущей части резца, повышенная износостойкость способствуют бурению на длинные расстояния без замены инструмента и увеличению механической скорости.

Изначально повышение долговечности резцов достигали за счет повышения твердости, но в ущерб сопротивляемости материала ударным нагрузкам. В дальнейшем, применение специальной термообработки резцов НОТ и использование материалов, малочувствительных к термическим воздействиям, позволили увеличить долговечность и стойкость вставок, а также сопротивляемость скалыванию режущей кромки за счет оптимизации распределения остаточных напряжений.

Горячепрессованные вставки GHI включают специальную комбинацию кристаллов алмаза и матричного порошка карбида вольфрама, которая подбирается в зависимости от свойств пород, встречающихся в конкретной задаче бурения [6].

Процесс гранулирования, реализуемый на определенном этапе технологии изготовления вставок, способствует равномерному распределению поликристаллических алмазов в матрице, что увеличивает долговечность вставок ГНН и позволяет в течение более длительных промежутков времени вести проходку с большей скоростью.

Таким образом, вставки ГНН представляют собой миниатюрные шлифкруги, благодаря чему значительно снижается глубина подрезания породы при каждом обороте инструмента. При этом в процессе бурения имеет место процесс самозатачивание резцов, т. е. постоянное обновление режущих кромок резцов. Наряду с этим, вставки, выступая над поверхностью корпуса, обеспечивают защиту торцевой части инструмента, тем самым улучшают условия теплообмена режущих кромок, что позволяет увеличить скорость бурения. Использование для вставок различных связок и алмазов позволяет осуществлять эффективное бурение в разных геологических условиях.

Ранее рассмотренные резцы имели простую геометрическую форму (пирамида, цилиндр). Вместе с тем существуют резцы с более сложной оригинальной формой в виде гребня или клина (Ахе) (рис. 3, а), которые успешно комбинируют режущее действие резца PDC и дробящее действие твердосплавного зубка из карбида вольфрама. Такие резцы располагают по всему профилю долота, что значительно повышает эффективность бурения и теплоотдачу, сопротивляемость нагрузкам. прежде всего, за счет увеличения толщины алмазного слоя, комбинации разноразмерных гранул поликристаллических алмазов и оптимизации применяемых материалов.

Вооружение долот включает и использование конической формы вставок резцов (рис. 3, б). Отличительной особенностью таких вставок является их расположение и численность [7]. Количество конических вставок на инструмент приходится до двух штук, чаще всего применяют одну, расположенную в центре долота для создания значительной узконаправленной нагрузки для более эффективного разрушения породы. Это приводит к увеличению ресурса долота и скорости проходки в достаточно широком спектре геологических структур и интервале эксплуатационных параметров. На конических резцах толщина алмазоносного слоя практически в два раза больше толщины покрытия, благодаря чему они обладают высокой ударной прочностью и повышенной сопротивляемостью абразивному износу. Поэтому срок службы конических вставок значительно превосходит срок службы долот PDC.



Рисунок 3. Резцы алмазных долот гребнеобразной (а) и конической (б) формы

Заключение

Алмазное долото в настоящее время является наиболее востребованным буровым инструментом. Эффективность эксплуатации инструмента, его стойкость находятся в прямой зависимости от свойств используемых материалов, их качества, технологии

изготовления и конструктивного исполнения резцов. К режущей части алмазных долот предъявляют ряд требований, из которых важными являются термоустойчивость, высокое сопротивление ударным нагрузкам и абразивная стойкость.

Проведенный сравнительный анализ конструктивных особенностей и эксплуатационных характеристик различных видов алмазных долот показал, что самым востребованным инструментом является долото с бикомпонентными вставками из твердого сплава в различном сочетании с поликристаллическими алмазными гранулами. Вместе с тем, несмотря на разнообразие конструктивного и технологического исполнения алмазных резцов, способов их крепления к корпусу, оптимальные варианты инструмента пока не найдены. Это определяет необходимость проведения научно-исследовательских работ в направлении повышения эксплуатационных характеристик алмазного бурового инструмента за счет усовершенствования конструкции режущей части, технологии их изготовления и повышения износостойкости применяемого вооружения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богомолов, Р. М. Буровое долото с алмазными резцами. / Р. М. Богомолов, А. М. Гринев, Д. Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море – 2019. – № 12. – С. 28-34.
2. Kochegarova, N. A. Drilling with PDC-type diamond bits / Kochegarova, N. A. Pankratova Ya.S. // ADVANCED RESEARCH: PROBLEMS AND NEW APPROACHES. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2021. – С. 157-160.
3. Балаба, В. И. Буровой породоразрушающий инструмент Учебное пособие для вузов / В.И. Балаба, Н. К. Бикбулатов, Г. Н. Вышегородцева и др. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2013. – 251 с.: ил.
4. Марамзин, А. В. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые / А. В. Марамзин, Г. А. Блинов // Технология работ. – Л.: «Недра», 1977. – 248 с.
5. Богомолов, Р. М. Буровое алмазное долото с защитой промывочных насадок / Р. М. Богомолов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. – Т. 20. – № 4-2(84). – С. 183-185.
6. Недыхалов, М. Повышение стойкости алмазного вооружения долот PDC. / М. Недыхайлов, Р. М. Богомолов // Ашировские чтения. – 2020. – Т. 1. № 1 (12). – С. 272-275.
7. Богомолов, Р. М. Буровое долото с разноориентированным алмазными резцами / Р. М. Богомолов, А. Н. Гринев, Д. Ю. Сериков // Сфера. Нефть и Газ. – 2019. – № 5 (73). – С. 42-49.

Поступила в редколлегию 18.04.2021 г.