

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕСУРСА PDC-ДОЛОТА НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Чкиря А.¹, Мартюшова А.А.²

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва;

²АО «Метрогипротранс», Москва

Ключевые слова: PDC-долото, ресурс, качество изготовления, точность соединений, технологичность конструкции, пайка резцов, автоматизация сборки.

Аннотация. В статье представлены пути решения задачи обеспечения высокого ресурса PDC-долота на основе достижения стабильных показателей качества инструмента в процессе его изготовления. Обозначены основные требования к конструкции инструмента для его изготовления в условиях автоматизированного производства. Выполнен анализ технологичности конструкции PDC-долота, на основе которого обоснована целесообразность механообработки сложного профиля корпуса инструмента на станках с ЧПУ и автоматизации процесса пайки резцов в гнезда лопастей долота. В частности, качественная оценка технологичности сборной конструкции инструмента подтверждает целесообразность совершенствования технологии пайки резцов с использованием специализированных ориентирующих устройств и приспособленных к автоматизированной сборке методов пайки. Рассмотрены применяемые на практике способы пайки резцов, отмечены их достоинства и недостатки, а также основные направления совершенствования данного процесса, что позволит обеспечить стабильное качество пайки и высокие эксплуатационные свойства многочисленных режущих элементов при минимизации влияния на данный процесс человеческого фактора. С этой целью взамен применяемой капиллярной пайки режущих элементов предлагается контактно-реактивная с использованием индукционного нагрева и эффективных методов формирования слоя припоя на сопрягаемых поверхностях деталей.

ENSURING THE RESOURCE OF THE PDC CHISEL BASED ON THE IMPROVEMENT OF THE DRILLING TOOL ASSEMBLY TECHNOLOGY

Chkiryа A.¹, Martyushova A.A.²

¹National Research Technological University "MISIS", Moscow;

²Joint-stock Company «Metrogiprottrans», Moscow

Keywords: PDC chisel, resource, manufacturing quality, precision of joints, manufacturability of construction, soldering of cutters, automation of assembly.

Abstract. The article presents ways to solve the problem of ensuring a high resource of a PDC chisel based on the achievement of tool quality indicators during its manufacture. The basic requirements for the design of a tool for its manufacture in automated production conditions are outlined. An analysis of the manufacturability of the PDC chisel design has been performed, on the basis of which the expediency of machining a complex-profile tool body on CNC machines and automating the soldering process of cutters into the sockets of the chisel blades has been substantiated. In particular, a qualitative assessment of the manufacturability of the assembled tool design confirms the expediency of improving the technology of soldering cutters using specialized orienting devices and soldering methods adapted for automated assembly. The methods of soldering cutters used in practice are considered, their advantages and disadvantages are noted, as well as the main directions for improving this process, which will ensure stable soldering quality and high-performance properties of numerous cutting elements while minimizing the influence of the human factor on this process. To this end, instead of the capillary soldering of cutting elements used, a contact-reactive soldering is proposed using induction heating and effective methods of forming a solder layer on the mating surfaces of the parts.

Введение

В настоящее время наиболее востребованным породоразрушающим инструментом является буровое долото, оснащённое PDC-резцами (*polycrystalline diamond compact*) (рис. 1). Благодаря уникальным режущим свойствам применяемых для резцов поликристаллических алмазов, при помощи такого инструмента в горной и нефтегазовой промышленности осуществляют бурение скважин различного назначения [1-3]. В некоторых горно-геологических условиях, например, при бурении скважин в смешанных грунтах или

наклонной траектории, данный инструмент является незаменимым, так как использование алмазных режущих элементов гарантирует разрушение пород разной крепости [4, 5]. Эти инструменты по многим параметрам превосходят сложные трехшарошечные долота и в ближайшей перспективе могут вытеснить их в том числе, благодаря своей ремонтпригодности [6].

Расширение географии и увеличение объемов добычи полезных ископаемых неизбежно повышает не только спрос на данный инструмент, но и требования надежности и долговечности, учитывая высокую стоимость PDC-долота. В связи с этим ведущими компаниями-разработчиками бурового инструмента непрерывно проводятся работы по совершенствованию конструкции и материалов режущей части долот, а также способов крепления резцов к корпусу инструмента, методов упрочнения лопастей корпуса [7-9]. Но, несмотря на высокий уровень проводимых изысканий, определенная часть отказов долот пока еще связана с потерей вооружения, износом и поломками элементов корпуса. Все это указывает на актуальность задачи совершенствования как конструкции инструмента, так и технологии его производства с целью повышения качества и ресурса PDC-долот.

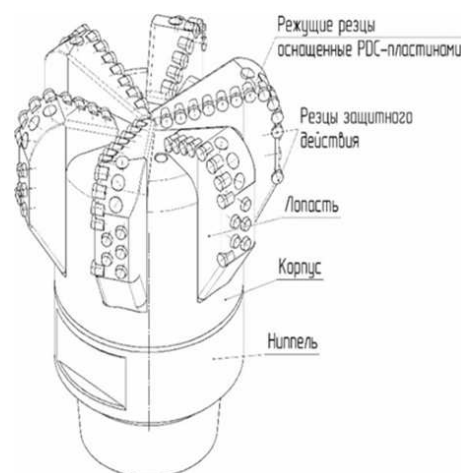


Рис. 1. Общий вид бурового долота с PDC-резцами

Особенности технологии изготовления долот

Принимая во внимание современный уровень конкуренции на международном рынке горного инструмента, массовый спрос PDC-долот, а также потребность в развитии российского производственного сектора, в настоящее время назрела необходимость в создании собственных передовых технологий их изготовления в условиях автоматизированных производств, обеспечивающих высокое и стабильное качество PDC-долот, требуемый комплекс эксплуатационных характеристик [10, 11].

Очевидно, что ресурс технического изделия, в первую очередь, обеспечивается качеством изготовления, одним из важнейших показателей которого является достигаемая при изготовлении точность соединений. Отечественные производители зачастую дополнительно выполняют на предприятиях упрочняющую наплавку лопастей непосредственно перед пайкой резцов и сборкой корпуса с ниппелем [12]. При этом они отмечают, что несоблюдение в силу различных обстоятельств точности расположения и позиционирования резцов относительно конструкторских баз инструмента может привести к нарушению фактического допуска на рабочий диаметр и, следовательно, к необходимости выполнения дополнительных пригоночных работ, что значительно увеличивает трудоемкость изготовления долота и впоследствии негативно сказывается на работоспособности инструмента.

Технологический процесс изготовления PDC-долота прогрессивной конструкции условно можно разделить на 4 основных этапа:

- 1) заготовительный;
- 2) механическая обработка корпуса и ниппеля;
- 3) пайка PDC-резцов в гнезда корпуса;
- 4) сборка корпуса с ниппелем.

Используемый в современном долоте монолитный корпус характеризуется сложной пространственной конструкцией. В отличие от ранее применяемых корпусов из комбинированных заготовок, которые предполагали отдельное изготовление цилиндрической части корпуса и лопастей с последующим соединением их сваркой, корпуса прогрессивной конструкции изготавливают с использованием высокопроизводительного металлорежущего оборудования с ЧПУ при минимально возможном числе установов. Применение современных обрабатывающих центров и прогрессивного режущего

инструмента позволяет значительно снизить трудоемкость механообработки сложнопрофильного корпуса долота, обеспечить требуемые параметры размерной точности и относительного положения поверхностей, практически исключая влияние человека на формируемые параметры точности.

Между тем, достаточно трудоемкий процесс пайки многочисленных PDC-резцов к корпусу все еще осуществляется вручную. Таким образом, на данном этапе формируются показатели качества инструмента и его эксплуатационные свойства.

Очевидно, что в условиях серийного производства использование ручного труда не позволяет получить стабильное качество пайки для всех резцов, даже при условии выполнения данной операции высококвалифицированными работниками. Низкий уровень автоматизации сборочных операций в горном машиностроении в целом и, в частности, при пайке PDC-резцов, во многом обусловлен отсутствием специализированных сборочных роботов, а также отсутствием рекомендаций по совершенствованию технологии пайки PDC-резцов для условий автоматизированного производства [10,13]. Принимая во внимание тенденции развития отечественного горного машиностроения в направлении автоматизации производства, возникает необходимость в модернизации и процесса пайки PDC-резцов к корпусу с учетом конструкторско-технологических особенностей инструмента.

Качественная оценка технологичности конструкции долота

Совершенствование технологии изготовления изделия должно быть обосновано, прежде всего, с позиции производственной технологичности, которая, как известно, характеризует совокупность свойств конструкции изделия, позволяющих изготовить его наиболее эффективным способом с минимальными затратами времени, труда и средств. При этом оценку технологичности принято проводить по качественным и количественным показателям [14] как для сборочной единицы, т.е. изделия в целом, так и отдельных деталей.

Качественная оценка технологичности предшествует выполнению количественной, определяя ее целесообразность. При этом анализ проводят по ряду признаков или показателей, характеризующих приспособленность изделия к изготовлению в конкретных производственных условиях. Так, применительно к PDC-долотам, требования к технологичности конструкции корпуса инструмента, при его изготовлении в условиях автоматизированного производства на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, оценивается возможностью обработки детали с минимальным числом операций и установов, при использовании высокопроизводительных режимов обработки [14, 15]. При этом конструкция монолитного корпуса (рис. 2) отвечает требованиям жесткости, имеет симметричную форму и удобные базовые поверхности. Значительное число глухих отверстий под резцы, ориентированных под различным углом к базовым поверхностям детали, можно отнести к повторяющимся элементам простой формы, диаметры, которых соответствуют нормальному ряду размеров. Линейные и угловые размеры исполнительных поверхностей на корпусе задают и обеспечивают координатным методом, система простановки размеров соответствует особенностям обработки на станках с ЧПУ. Соответственно, по качественным показателям конструкция корпуса для механической обработки в условиях автоматизированного производства является технологичной.

Выполняя качественную оценку алмазного долота как многоэлементной сборочной единицы, необходимо выявить также соответствие его конструкции требованиям автоматизированной сборки по ряду следующих критериев [14, 15]:

- наличию минимального числа сопрягаемых деталей;

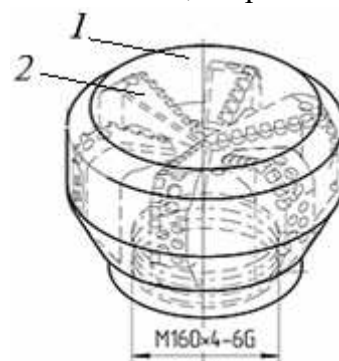


Рис. 2. Совмещенный общий вид цельнометаллической заготовки корпуса долота после комплексной токарной (1) и фрезерной обработки (2) на станках с ЧПУ

- достижению точности замыкающих звеньев размерных цепей методом полной взаимозаменяемости;
- наличию установочных баз и баз для ориентации деталей;
- возможности доступа сборочного инструмента в зону обработки;
- уровню унификации элементов собираемых деталей и сопряжений;
- минимизации числа направлений движений, выполняемых при сборке;
- наличию на сопрягаемых поверхностях центрирующих элементов;
- рациональной компоновке изделия, позволяющей установку комплектующих деталей при помощи простых движений.

Практически, по всем вышеприведенным требованиям конструкция долота является технологичной за исключением первого, шестого и восьмого.

Предложения по совершенствованию технологии сборки долота

В лопасти долота вдоль кромочной линии устанавливается значительное число алмазных резцов, имеющих разную ориентацию относительно базовых поверхностей инструмента. Это осложняет автоматизацию пайки режущих элементов, так как требует не только создания специального оборудования и устройств для их ориентации и установки, но и решения вопроса подготовки сопрягаемых поверхностей под пайку и реализации самого процесса. В большей степени это касается выбора наиболее рационального метода введения припоя и адаптация его к условиям автоматизированной сборки.

Первую задачу можно решить следующим образом. Если условно разбить корпус на равные части по числу одинаковых лопастей, то возможности автоматизированной сборки существенно возрастают. Все лопасти имеют идентичную конструкцию, одинаковое число и расположение PDC-резцов. Поэтому достаточно решить вопрос по автоматизации пайки резцов к одной лопасти, а затем, путем делительного вращения (поворота) корпуса, выводить на требуемую сборочную позицию следующую лопасть и таким образом осуществлять последовательно автоматизированную установку – позиционирование-пайку всех остальных резцов. При этом сокращается число одновременно устанавливаемых для пайки деталей, уменьшается число направлений движений и упрощается траектория перемещения сборочного устройства, повышается коэффициент повторяемости целенаправленных движений. Таким образом, обеспечиваются отмеченные выше требования технологичности конструкции.

Вторую задачу, связанную с адаптацией процесса пайки к условиям автоматизированного производства, возможно решить на основе выбора наиболее приспособленного к этим требованиям вида пайки, т.е. способов нанесения припоя на сопрягаемые поверхности элементов и их нагрева, исходя из условий достижения идентичности показателей качества пайки и эксплуатационных характеристик резцов. Для этого проанализируем существующие в практике производства бурового инструмента способы пайки.

В настоящее время используются 3 технологии пайки резцов, каждая из которых имеет преимущества и недостатки [16]:

- 1) пайка погружением в расплавленный припой;
- 2) газопламенная пайка;
- 3) индукционная пайка.

Первый способ применяется для пайки резцов к корпусу коронок для колонкового бурения. Паяемые поверхности после предварительной обработки и флюсования погружаются в ванну с расплавленным припоем. Таким образом, обеспечивается гарантированное покрытие припоем всей площади контакта под пайку, а также возможен точный контроль температуры пайки. Данный способ отличается стабильным качеством пайки и высоким уровнем автоматизации процесса. Вместе с тем, основной его недостаток состоит в отсутствии возможности контроля позиционирования резцов в гнездах. Смещение резцов нарушает требуемую точность их установки, что в свою очередь может привести к неравномерному нагружению резцов на различных лопастях, возникновению в месте крепления к лопасти зон с концентрацией критических напряжений и спровоцировать отрыв резца от гнезда.

Газопламенная пайка – наиболее распространенная, благодаря простоте используемого оборудования; осуществляется вручную. Применяется для изготовления и ремонта лопастных алмазных долот, позволяет визуально контролировать процесс пайки, а также точность установки резца. Недостатки метода обусловлены капиллярным способом подачи припоя в технологический зазор, при котором возможно образования непропая, в особенности для «глухого» соединения, и сложностью контроля температуры нагрева деталей.

Индукционная пайка является менее распространенной, так как требует использования дорогостоящего оборудования. Режимы ТВЧ позволяют достаточно точно определить глубину нагрева соединяемых элементов [16, 17]. Этот способ бесконтактного нагрева легко поддается автоматизации. Однако, используемый здесь капиллярный метод ввода припоя, как и в предыдущем случае, не позволяет в полной мере контролировать полноту покрытия припоем паяемых поверхностей.

Из вышеприведенного анализа вытекает, что капиллярная пайка не обеспечивает стабильного высокого качества соединения резцов с корпусом и практически исключает возможность автоматизации данной операции. В связи с этим представляется целесообразным использовать для резцов контактно-реактивную пайку, где в качестве припоя можно использовать технологические покрытия, предварительно сформированные на поверхностях паяемых деталей, а нагрев под пайку осуществлять при помощи индуктора, либо выполнять пайку электросопротивлением.

Заключение

В работе обоснована необходимость и целесообразность автоматизации процесса пайки резцов к корпусу инструмента с целью достижения стабильного качества долота и равного ресурса режущих элементов. Для достижения поставленной цели требуется решение ряда важных научно-технических задач, в частности, требуется:

- обоснование эффективного для автоматизированного производства метода пайки и способа нанесения припоя на сопрягаемые поверхности резца и гнезда корпуса;
- создание конструкции приспособления для одновременной пайки группы резцов к лопасти при соблюдении точности их позиционирования;
- разработка технологии автоматизированной пайки PDC-резцов к корпусу долота, обеспечивающей высокое качество сборки соединения.

Список литературы

1. Борисов К.И. Современные способы оценки эффективности разрушения горных пород резанием-скалыванием долотами типа PDC // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, №6. – С. 103-121.
2. Бакиев Р.Т., Пятницкий А.С. Применение PDC долот ONYX при бурении карбонатных и солевых отложений Ярактинского НГКМ в Иркутской области // Инженерная практика. – 2011. – №10. – С. 8-9.
3. Нескормных В.В., Попова М.С., Баочанг Л. Разрушение горных пород при бурении скважин алмазным буровым инструментом: монография. – Красноярск: СФУ, 2020. – 268 с.
4. Богомолов Р.М., Гринев А.М., Сериков Д.Ю. Буровое долото с алмазными резцами // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – №12. – С. 28-34.
5. Богомолов Р.М., Гринев А.Н., Сериков Д.Ю. Буровое долото с разноориентированным алмазными резцами // Сфера. Нефть и Газ. – 2019. – №5(73). – С. 42-49.
6. Рахимов А.А., Эшонкулов К.Э., Жураев Ш.Н. Сравнительный анализ отработки алмазных и шарошечных долот // Вестник науки и образования. – 2021. – №17-3(120). – С. 17-20.
7. Недыхалов М., Богомолов Р.М. Повышение стойкости алмазного вооружения долот PDC // Ашировские чтения. – 2020. – Т. 1, №1(12). – С. 272-275.
8. Третьяк А.Я., Попов В.В., Гроссу А.Н., Борисов К.А. Инновационные подходы к конструированию высокоэффективного породоразрушающего инструмента // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №8 – С. 225-230.
9. Кочегарова Н.А., Панкратова Я.С. Бурение алмазными долотами типа PDC // Advanced Research: Problems and New Approaches: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. – С. 157-160.
10. Мартюшова А.А., Нгуен Тхэ Винь, Мнацаканян В.У. Проработка условий собираемости при автоматической установке ниппеля в корпус долота // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – №19. – С. 180-184. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-180-184.

11. Мартюшова А.А., Хазанова О.В., Новикова А.Д. Формирование позиционной точности соединения nipple – корпус алмазного долота // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №16. – С. 127-132. – doi.org/10.26160/2658-3305-2022-16-127-132.
12. Патент №2377384 РФ. Буровое долото с поликристаллическими алмазными элементами // И.Н. Некрасов, Р.Н. Богомолов, А.Г. Ищук, М.В. Гавриленко, Л.В. Морозов, М.М. Мухаметшин. – Заявка №2008115011 от 16.04.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. №36.
13. Варганов М.В., Чан Чунг Та. Сборочное производство: проблемы и решения // Станкоинструмент. – 2020. – №2. – С. 22-28.
14. Холодкова А.Г., Максимович Б.Д. Автоматизация проектирования технологических процессов автоматической сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – №4. – С.14-18.
15. Попов А.М. Моделирование сборочной технологичности конструкции изделий в интегрированных САПР // Вестник ДГТУ. – 2012. – №1(62), вып. 1. – С. 99-109.
16. Третьяк А.А. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными алмазно-твердосплавными пластинами. Монография. – Новочеркасск: Изд. дом. "Политехник", 2016. – 300 с.
17. Стефанив Б.В. Особенности индукционной пайки алмазотвердосплавных резцов с лопастью корпуса составного бурового долота // Автоматическая сварка. – 2013. – №8(724). – С. 50-54.

References

1. Borisov K.I. Modern methods of assessing the effectiveness of rock destruction by cutting and chipping with PDC-type chisels // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2022, vol. 333, no. 6, pp. 103-121.
2. Bakiev R.T., Pyatnitsky A.S. The use of ONYX PDC chisels in drilling carbonate and salt deposits of the Yarakinskoye NGKM in the Irkutsk region // Engineering practice. 2011, no. 10, pp. 8-9.
3. Neskromnykh V.V., Popova M.S., Baochang L. Destruction of rocks during drilling of wells with a diamond drilling tool: monograph. – Krasnoyarsk: SFU, 2020. – 268 p.
4. Bogomolov R.M., Grinev A.M., Serikov D.Yu. Drilling chisel with diamond cutters // Construction of oil and gas wells on land and at sea. 2019, no. 12, pp. 28-34.
5. Bogomolov R.M., Grinev A.N., Serikov D.Yu. Drilling chisel with differently oriented diamond cutters // Sphere. Oil and Gas. 2019, no. 5(73), pp. 42-49.
6. Rakhimov A.A., Eshonkulov K.E., Zhuraev Sh.N. Comparative analysis of diamond and sharoshechnye chisel mining // Bulletin of Science and Education. 2021, no. 17-3(120), pp. 17-20.
7. Nedykhalov M., Bogomolov R.M. Increasing the durability of diamond weapons of PDC chisels // Ashirov readings. 2020, vol. 1, no. 1(12), pp. 272-275.
8. Tretyak A.Ya., Popov V.V., Grossu A.N., Borisov K.A. Innovative approaches to the design of highly efficient rock-crushing tools // Mining information and Analytical Bulletin. 2017, no. 8, pp. 225-230.
9. Kochegarova N.A., Pankratova Ya.S. Drilling with PDC-type diamond bits // Advanced Research: Problems and New Approaches: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. – Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science", 2021. – P. 157-160.
10. Martyushova A.A., Nguyen The Vinh, Mnatsakanyan V.U. Working out the conditions of assemblability during automatic installation of the nipple in the chisel body // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 19, pp. 180-184. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-180-184.
11. Martyushova A.A., Khazanova O.V., Novikova A.D. Formation of positional accuracy of the nipple – body connection of a diamond chisel // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 16, pp. 127-132. doi.org/10.26160/2658-3305-2022-16-127-132.
12. Patent No. 2377384 RU. Drilling bit with polycrystalline diamond elements // I.N. Nekrasov, R.N. Bogomolov, A.G. Ishchuk, M.V. Gavrilenko, L.V. Morozov, M.M. Mukhametshin. – Appl. 2008115011 from 16.04.2008; publ. 27.12.2009, Bul. no. 36.
13. Vartanov M. V., Chang Chung Ta. Assembly production: problems and solutions // Machine tool. 2020, no. 2, pp. 22-28.
14. Kholodkova A.G., Maksimovich B.D. Automation of design of technological processes of automatic assembly // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. 2004, no. 4, pp.14-18.
15. Popov A.M. Modeling of assembly manufacturability of product design in integrated CAD systems // Bulletin of DSTU. 2012, no. 1(62), iss. 1, pp. 99-109.
16. Tretyak A.A. Technology of drilling wells with crowns reinforced with diamond-carbide diamond-carbide plates. Monograph. – Novocherkassk: Publ. house "Polytechnic", 2016. – 300 p.
17. Stefaniv B.V. Features of induction soldering of diamond-carbide cutters with a blade of a composite drill bit body // Automatic Welding. 2013, no. 8(724), pp. 50-54.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Чкиря Артур – аспирант	Chkiryа Artur – postgraduate student
Мартюшова Анастасия Алексеевна – кандидат технических наук, ведущий инженер	Martyushova Anastasia Alekseevna – candidate of technical sciences, leading engineer
artvik@bk.ru	

Получена 10.04.2026