

ПРОРАБОТКА УСЛОВИЙ СОБИРАЕМОСТИ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ НИППЕЛЯ В КОРПУС ДОЛОТА

Мартюшова А.А., Нгуен Тхэ Винь, Мнацаканын В.У.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва

Ключевые слова: алмазное долото, технологичность конструкции, маршрут изготовления, автоматическая сборка, резьбовое соединение, вектор положения, линейные и угловые смещения, зазор, пассивная адаптация, точность позиционирования.

Аннотация. Показана целесообразность автоматизации процесса сборки при производстве алмазных долот. Определены условия собираемости ниппеля с корпусом алмазного долота при автоматической сборке соединения, что создает предпосылки для разработки автоматической сборочной операции с целью повышения производительности и снижения трудоёмкости изготовления бурового инструмента в условиях многономенклатурного производства. Отмечены основные причины и факторы, сдерживающие автоматизацию процесса сборки на предприятиях горного машиностроения, в том числе и при производстве горного инструмента. Для ниппеля и отверстия корпуса долота, представленных как вал и отверстие соответственно, предложены выражения, позволяющие рассчитать численные значения отклонений центра вала относительно центра отверстия, возникающих в результате линейных смещений вала в направлении двух координатных осей и относительных поворотов. Это позволило выявить требования к технологичности конструкции деталей рассматриваемого соединения и исходные данные для определения точности позиционирования конечных звеньев применяемых сборочных машин или сборочного робота.

WORKING OUT THE CONDITIONS OF ASSEMBLING DURING AUTOMATIC INSTALLATION OF THE NIPPLE IN THE CHISEL BODY

Martyushova A.A., Nguyen Thi Vinh, Mnatsakanyan V.U.

National Research Technological University «MISIS», Moscow

Keywords: diamond chisel, design manufacturability, manufacturing route, automatic assembly, threaded connection, position vector, linear and angular displacements, gap, passive adaptation, positioning accuracy.

Abstract. The expediency of automating the assembly process in the production of diamond bits is shown. The conditions for assembling a nipple with a diamond bit body during automatic assembly of the joint are determined, which creates prerequisites for the development of an automatic assembly operation in order to increase productivity and reduce the complexity of manufacturing drilling tools in conditions of multi-nomenclature production, the main reasons and factors hindering the automation of the assembly process at mining engineering enterprises, including in the production of mining tools, are noted. For the nipple and the hole of the bit body, represented as a shaft and a hole, respectively, expressions are proposed that allow calculating the numerical values of the deviations of the shaft center relative to the center of the hole resulting from linear displacements of the shaft in the direction of two coordinate axes and relative rotations. This made it possible to identify the requirements for the manufacturability of the design of the parts of the connection in question and the initial data for determining the positioning accuracy of the final links of the assembly machines or assembly robot used.

Введение

Алмазные долота отличаются большим разнообразием конструкций и имеют высокую стоимость. Они являются наиболее востребованным горным инструментом, так как позволяют проводить выработку пород различной крепости в вертикальном, наклонно-поворотном направлении на глубину до 5000 м. Несмотря на существующее многообразие [1-3], алмазные долота имеют схожие конструкторско-технологические признаки, благодаря чему представляется возможным изготавливать их с применением типовых технологических процессов.

Маршрут изготовления долота (рис. 1) включает следующие основные этапы: изготовление полого корпуса 1, к которому сваркой приваривают предварительно обработанные лопасти 2 с припаянными алмазоносными зубками 3 и запрессованными защитными резцами 4. При этом используются различные процессы сварки, пайки и методы

порошковой металлургии [4-6], что значительно увеличивает трудоёмкость сборки алмазных долот, которая в ряде случаев составляет до 60% от общей трудоёмкости изготовления изделий. На заключительном этапе производства готовый корпус в сборе соединяют с ниппелем 5 при помощи метрической резьбы P с последующей фиксацией полученного соединения по торцевому стыку сварочным швом C и, таким образом, обеспечивают окончательные параметры точности относительного положения корпуса и ниппеля, оказывающие большое влияние на работоспособность инструмента [7].

Известно, что повышение технического уровня и качества горных машин, а также породоразрушающего инструмента может быть достигнуто путем комплексной автоматизации и цифровизации основных этапов производственного процесса их изготовления. В последние годы на предприятиях машиностроительного комплекса, в том числе горного машиностроения, широко используются автоматизированные системы конструкторско-технологической подготовки производства (АСКТПП), для выполнения механической обработки деталей применяются металлорежущее оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) и промышленные роботы, выполняющие на станках автоматическую установку и снятие заготовок. Вместе с тем в сборочном производстве уровень автоматизации сборочных операций пока невысок и не превышает 10 % [8, 9]. Сложность автоматизации сборочных операций обусловлена рядом причин, к основным из которых относятся [10, 11]: недостаточное развитие теории и технологии автоматизации сборки; разнообразие выполняемых сборочных операций; сложность создания сборочного оборудования для многономенклатурного производства и его высокая стоимость; нетехнологичность конструкций машин; необходимость точной взаимной ориентации деталей соединений и др. Приведенные факторы, собственно, и определяют актуальные направления научно-исследовательских работ в области автоматизации сборочных процессов, в том числе и производстве горного инструмента.

Методика оценки условий автоматической собираемости соединения ниппеля – корпус долота

Одним из основных этапов проектирования автоматической сборочной операции является оценка выполнимости условий собираемости. Это означает обеспечение требуемого соотношения параметров относительного положения и движения сопрягаемых деталей, при которых выполняется их автоматическое соединение. В общем случае для описания и обоснования условий соединения различных деталей, например, типа «вал-втулка» данные параметры выявляют из составляющих двух векторов [12]:

1) вектора положения системы координат поверхности присоединяемой детали относительно поверхности базовой детали

$$\Delta_k = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_\lambda, \Delta_\beta, \Delta_\gamma),$$

где $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_\lambda, \Delta_\beta, \Delta_\gamma$ составляющие линейных смещений и поворотов координатной системы поверхности присоединяемой детали (вала) относительно поверхности базовой детали (отверстия втулки);

2) вектора линейных и угловых относительных перемещений соединяемых деталей (см. рис. 2):

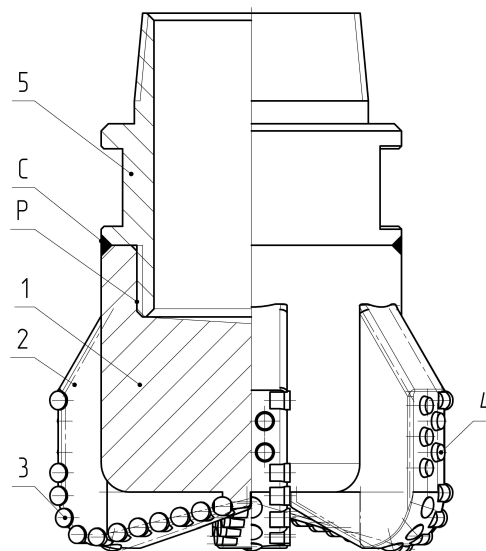


Рис. 1. Алмазное долото: 1 – корпус долота; 2 – лопасти; 3 – режущие зубки с алмазоносным слоем; 4 – резцы защитного действия; 5 – ниппель; P – резьбовое соединение; C – сварочный шов

$$\eta = (a, b, c, \lambda, \beta, \gamma), \quad (1)$$

где $a, b, c, \lambda, \beta, \gamma$ – характеризуют соответственно линейные и угловые перемещения присоединяемой детали относительно координатных осей базовой детали.

Более трудоемкой является автоматическая сборка резьбовых соединений и в данном случае соединения ниппеля с отверстием в сборном корпусе долота. Вектор относительных перемещений устанавливаемого ниппеля, который, в данном случае, выполняет функцию винта, имеет вид

$$\eta = (\Delta a, \Delta b, c, \Delta \lambda, \Delta \beta, \gamma). \quad (2)$$

Из анализа компонентов вектора (2) вытекает, что наряду с продольным перемещением c ниппеля вдоль оси отверстия, требуется сообщить ему вращение на угол γ для попадания в нитку резьбы, в результате чего будет выполнено автоматическое навинчивание. Малые смещения $(\Delta a, \Delta b)$ и повороты $(\Delta \lambda, \Delta \beta)$, совершаемые путем пассивной адаптации, обеспечивают самоцентрирование ниппеля в резьбовом отверстии.

Рассмотрим этот вопрос подробнее (рис. 2), представляя устанавливаемый ниппель в виде вала (система $X_B Y_B Z_B$), помещаемого в отверстие корпуса (система $x_0 y_0 z_0$). Для гарантированного автоматического соединения деталей необходимо обеспечить совмещение центра торца вала d_B с центром отверстия корпуса D_0 , при этом допустимое смещение центра торца вала не должно превышать половины наименьшего зазора в соединении $0,5 S_{HM}$:

$$\Delta_c + \Delta_{II} \leq 0,5 \cdot S_{HM}, \quad (3)$$

где Δ_c и Δ_{II} – отклонения центра вала, обусловленные его линейными смещениями и поворотами относительно отверстия; S_{HM} – наименьший зазор, равный $S_{HM} = D_0 - d_B$.

Таким образом, отклонения центра вала Δ_c, Δ_{II} , возникающие в результате линейных смещений в направлении двух координатных осей $o_0 x_0$ и $o_0 y_0$, Δ_x, Δ_y и относительных поворотов $\Delta_\lambda, \Delta_\beta$ вокруг этих же осей, определяются выражениями:

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = \Delta_{x,y} \cdot \sqrt{2}; \quad \Delta_{II} = Z \cdot \Delta_\phi = Z \cdot \sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta} \cdot \sqrt{2}, \quad (4)$$

где Z – длина резьбовой поверхности ниппеля.

Принимая во внимание (4), выражение (3), определяющее условие собираемости рассматриваемого соединения, принимает вид:

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z \sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{HM}, \quad (5)$$

и при $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_{x,y}$ и $\Delta_\lambda = \Delta_\beta = \Delta_{\lambda,\beta}$ получим:

$$\sqrt{2} \cdot (\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,5 \cdot S_{HM} \quad \text{или} \quad (\Delta_{x,y} + Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta}) \leq 0,35 \cdot S_{HM}. \quad (6)$$

В соответствии с этим при равном ограничении линейных и угловых параметров $(\Delta_{x,y} = Z \cdot \Delta_{\lambda,\beta})$, требования к точности относительного положения устанавливаемого в отверстие корпуса ниппеля составят:

$$\begin{aligned} \pm \Delta_x &= 0,17 \cdot S_{HM}; & \pm \Delta_y &= 0,17 \cdot S_{HM}; \\ \pm \Delta_\lambda &= 0,17 \cdot S_{HM} / Z; & \pm \Delta_\beta &= 0,17 \cdot S_{HM} / Z. \end{aligned}$$

Для расширения условий собираемости на соединяемых цилиндрических поверхностях ниппеля и корпуса должны быть предусмотрены фаски, которые при малых пассивных перемещениях ниппеля относительно корпуса, позволяют осуществить самоустановку ниппеля в отверстие корпуса.

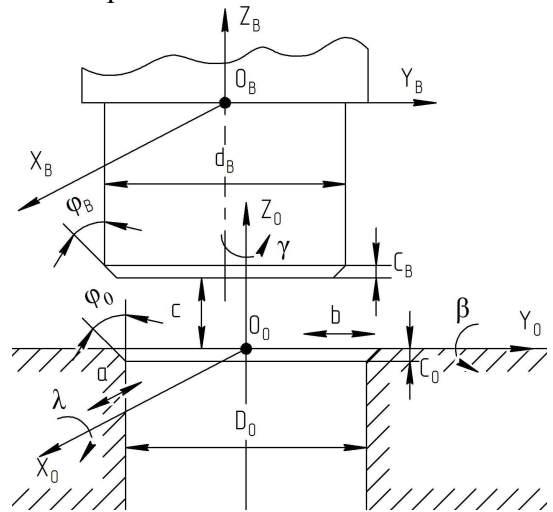


Рис. 2. Установка ниппеля в отверстие корпуса

Тонкая саморегулировка в пределах образующих поверхностей двух фасок осуществляет пассивную адаптацию, которая обеспечивает решение задач автоматической сборки. Расширение условий собираемости в данном случае адекватно увеличению зазора S_{nm} на величину:

$$P = C_o \cdot tg\varphi_o + C_e \cdot tg\varphi_e, \quad (7)$$

где C_o, C_e и φ_o, φ_e соответственно ширина и углы наклона фасок в отверстии корпуса и на торце ниппеля.

С учетом (7) условие собираемости (5) принимает вид:

$$\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} + Z\sqrt{\Delta_\lambda^2 + \Delta_\beta^2} \leq S_{nm} + C_o \cdot tg\varphi_o + C_e \cdot tg\varphi_e, \quad (8)$$

В соответствии с этим допускаемые расширенные параметры точности положения устанавливаемого ниппеля можно рассчитать по формулам:

$$\text{– линейные} \quad \pm \Delta_x = 0,17(S_{nm} + P); \quad \pm \Delta_y = 0,17 \cdot (S_{nm} + P); \quad (9)$$

$$\text{– угловые} \quad \pm \Delta_\lambda = 0,17(S_{nm} + P)/Z; \quad \pm \Delta_\beta = 0,17(S_{nm} + P)/Z. \quad (10)$$

Полученные значения $(\pm \Delta_x, \pm \Delta_y)$ и $(\pm \Delta_\lambda, \pm \Delta_\beta)$ являются исходными данными для определения точности позиционирования конечных звеньев применяемой сборочной машины или сборочного робота [12].

Результаты расчета

Согласно требованиям ГОСТ 16093-2004 величина зазора в рассматриваемом резьбовом соединении М160х4-6G/6g ниппеля и корпуса долота должна быть в пределах $S = 0,12 \dots 0,705$ мм. В соответствии с этим согласно (7) расширение условий собираемости при $S_{nm} = 0,12$, при ширине фасок $C_o = C_e = 3$ мм и при одинаковом угле фасок 45° $tg\varphi_o = tg\varphi_e = 1$ составит:

$$P = 3 \cdot tg\varphi_o + 3 \cdot tg\varphi_e = 6 \text{ мм}.$$

Тогда допускаемые расширенные параметры точности положения устанавливаемого ниппеля согласно (11, 12) составят:

$$\text{– линейные} \quad \pm \Delta_x = \pm \Delta_y = 0,17(S_{nm} + 6) = 1,04 \text{ мм};$$

$$\text{– угловые (при } Z=50) \quad \pm \Delta_\lambda = \pm \Delta_\beta = 0,17(S_{nm} + 6)/50 = 0,2 \text{ (что означает } 12^\circ).$$

При ширине фасок $C_o = C_e = 4$ мм расширение параметров составит:

$$\text{– линейные} \quad \pm \Delta_x = \pm \Delta_y = 0,17(S_{nm} + 8) = 1,38;$$

$$\text{– угловые при (} Z=50) \quad \pm \Delta_\lambda = \pm \Delta_\beta = 0,17(S_{nm} + 8)/50 = 0,3 \text{ (что означает } 17^\circ).$$

Таким образом, при увеличении правильно рассчитанных размеров фасок происходит расширение условий собираемости рассматриваемого соединения, что обеспечивает качественную сборку при автоматической установке ниппеля в корпус.

Заключение

Разработке технологических операций автоматической сборки изделий должен предшествовать анализ условий собираемости соединений, на основе которого выявляют требования к технологичности соединяемых деталей узла и точности автоматического сборочного оборудования. В данном случае для расширения условий собираемости резьбового соединения ниппель-корпус алмазного долота выявлена целесообразность увеличения направляющих фасок на сопрягаемых поверхностях деталей. Так, при увеличении ширины фасок с 3 до 4 мм линейные параметры точности положения устанавливаемого ниппеля изменяются с 1,04 до 1,38 мм, угловые (при $Z=50$) – с 12° до 17° , что обеспечивает расширение условия автоматической собираемости данного узла. Полученные результаты расчета позволяют определить исходные данные для определения точности позиционирования конечных звеньев, применяемых для сборочных операций сборочных машин или сборочного робота.

Список литературы

1. Калинин А.Г., Ганджумян Р.А., Мессер А.Г. Справочник инженера-технолога по бурению глубоких скважин. – М.: Недра, 2005. – 724 с.
2. Богомолов Р. М., Носов Н.В. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений (1914-2014 гг.). Вторая часть. – М.: Инновационное Машиностроение, 2015. – 427 с.
3. Марамзин А.В., Блинов Г.А. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые. Технология работ. – Л.: Недра, 1977. – 248 с.
4. Стефанив Б.В. Разработка технологии пайки алмазно-твердосплавных резцов // Автоматическая сварка. – 2013. – №2/1013. – С. 37-42.
5. Стефанив Б.В. Особенности индукционной пайки алмазно-твердосплавных резцов с лопастью корпуса составного бурового долота // Автоматическая сварка. – 2013. – №8/1013. – С. 50-55.
6. Бугаков В.И., Лаптев А.И. Технология изготовления буровых долот при высоких давлениях и температурах с применением новых алмазных материалов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 36-42.
7. Борисов М.А. Обеспечение соосности резьбосварных соединений буровых алмазных долот на основе структурно упорядоченной сборки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Самара: Самарский государственный технический университет / ОАО «Волгабурмаш», 2008 – 154 с.
8. Холодкова А.Г., Кристаль М.Г., Штриков Б.Л. Технология автоматической сборки. – М. Машиностроение, 2010. – 560 с.
9. Варганов М.В., Чан Чунг Та. Сборочное производство: проблемы и решения // Станкоинструмент. – 2020. – №2. – С. 22-29.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. Васильева А.С., Кутина А. А.; 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 818 с.
11. Безъязычный В. Ф., Семенов А. Н. Научные и методические основы сборки. Состояние теории // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – №4. – С. 3-7.
12. Мнацаканян В.У. Технология машиностроения: учебник / под ред. В.А. Тимирязева. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – 524 с.

References

1. Kalinin A.G., Ganjumyan R.A., Messer A.G. Handbook of an engineer-technologist for drilling deep wells. – M.: Nedra, 2005. – 724 p.
2. Bogomolov R.M., Nosov N.V. Drilling tool. Encyclopedia of Inventions (1914-2014). The second part. – M.: Innovative Mechanical Engineering, 2015. – 427 p.
3. Maramzin A.V., Blinov G.A. Diamond drilling for solid minerals. Technology of works. – L.: Nedra, 1977. – 248p.
4. Stefaniv B.V. Development of technology for soldering diamond-carbide cutters // Automatic welding. 2013, no. 2/1013, pp. 37-42.
5. Stefaniv B.V. Features of induction soldering of diamond-carbide cutters with a blade of a composite drill bit body // Automatic welding. 2013, no. 8/1013, pp. 50-55.
6. Bugakov V.I., Laptev A.I. Technology of manufacturing drill bits at high pressures and temperatures with the use of new diamond materials // News of universities. Ferrous metallurgy. 2017, vol. 60, no. 1, pp. 36-42.
7. Borisov M.A. Ensuring the alignment of thread-welded joints of diamond drill bits based on structurally ordered assembly: diss. ... cand. of tech. sc.: 05.02.08. – Samara: Samara State Technical University / JSC Volgaburmash, 2008 – 154 p.
8. Kholodkova A.G., Kristal M.G., Shtrikov B.L. Technology of automatic assembly. – M. Mechanical Engineering, 2010. – 560 p.
9. Vartanov M.V., Chan Chung Ta. Assembly production: problems and solutions // Machine tool. 2020, no. 2, pp. 22-29.
10. Handbook of a machine-building technologist. In 2 vols. Vol. 2 / Ed. Vasilyev A.S., Kutin A.A.; 6th ed., reprint and additional – M.: Innovative Mechanical Engineering, 2018. – 818 p.
11. Bezyazychniy V.F., Semenov A.N. Scientific and methodological foundations of assembly. The state of theory // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2004, no. 4, pp. 3-7.
12. Mnatsakanyan V.U. Technology of mechanical engineering: textbook / edited by V.A. Timiryazev. – Vladimir: Publ. house of VISU, 2013. – 524 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Мартышова Анастасия Алексеевна – аспирант	Martyusheva Anastasiya Alekseevna – postgraduate student
Нгуен Тхэ Винь – аспирант	Nguyen The Vinh – postgraduate student
Мнацаканян Виктория Умедовна – доктор технических наук, профессор nastya.martyushova@mail.ru	Mnatsakanyan Victoria Umedovna – doctor of technical sciences, professor

Получена 06.04.2023