

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.92

doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-15-20

ТЕХНОЛОГИЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Валентин Александрович Яшков✉

Муromский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых»,
Муrom, Россия
zirjd@mail.ru

Аннотация

Цель исследования: построение информационного графа работы абразивного инструмента с радиально подвижными блоками при шлифовании нецилиндрических поверхностей.

Задача: пластинчатый насос предназначен для перекачивания жидкостей кашицеобразного типа с твёрдыми частицами, который обладает высокой мощностью всасывания. Однако изготовление корпуса насоса усложняется из-за его эллипсоидной формы, что требует применения сложной оснастки и снижения режимов резания для предотвращения температурных дефектов поверхностного слоя.

Применение сборного шлифовального инструмента позволяет решить несколько технологических проблем: отказаться от кинематически сложных приспособлений, обеспечить подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОТ) в зону обработки и более полно использовать абразивный материал. Абразивные блоки прижимаются к обрабатываемой поверхности под действием центробежных сил, что позволяет сохранить предварительно полученную эллипсоидную форму корпуса насоса.

Методы исследования базируются на фундаментальных положениях системного подхода и формализации.

Ссылка для цитирования:

Яшков В.А. Технология финишной обработки нецилиндрических поверхностей / Яшков В.А // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 5. – С. 15-20. doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-15-20.

Original article

Open Access Article

THE TECHNOLOGY OF FINISHING NON-CYLINDRICAL SURFACES

Valentin Aleksandrovich Yashkov✉

Murom Branch of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Murom, Vladimir region, Russia
zirjd@mail.ru

Abstract

The study objective is to construct an information graph of the operation of an abrasive tool with

radially movable blocks when grinding non-cylindrical surfaces.

Цель исследования: построение информационного графа работы абразивного инструмента с радиально подвижными блоками при шлифовании нецилиндрических поверхностей.

Задача: пластинчатый насос предназначен для перекачивания жидкостей кашицеобразного типа с твёрдыми частицами, который обладает высокой мощностью всасывания. Однако изготовление корпуса насоса усложняется из-за его эллипсоидной формы, что требует применения сложной оснастки и снижения режимов резания для предотвращения температурных дефектов поверхностного слоя.

Применение сборного шлифовального инструмента позволяет решить несколько технологических проблем: отказаться от кинематически сложных приспособлений или станков с числовым программным управлением.

Ключевые слова: шлифование, поверхности, абразивный круг, сегменты, графовая модель.

The task is the following: the vane pump is designed for pumping slurry liquids of various types with solid particles, which has a high suction power. However, the manufacture of the pump body is complicated due to its ellipsoid shape, which requires the use of complex tooling and reduced cutting speeds to prevent temperature defects in the surface layer.

The use of an assembled grinding tool makes it possible to solve several engineering problems: to abandon kinematically complex devices, to ensure the supply of lubricating and cooling fluid to the machining area and to use the abrasive material more effectively. The abrasive blocks are pressed against the treated surface under the action of centrifugal forces, which makes it possible to preserve the previously obtained ellipsoid shape of the pump body.

The research methods are based on the fundamental principles of system approach and formalization.

The scientific novelty of the study is finding

Reference for citing:

Yashkov V.A. The technology of finishing non-cylindrical surfaces. Transport Engineering. 2025;5:15-20. doi: 10.30987/2782-5957-2025-5-15-20.

Введение

В современных условиях производства оборудования для перекачивания разнородных рабочих сред, включая кашицеобразные субстанции, содержащие абразивные частицы и нерастворимые примеси, широкое применение находят пластинчатые (шиберные) насосы. Данные насосы характеризуются простотой и надежностью конструктивного исполнения, а также обладают высокой всасывающей способностью, низким уровнем шума и минимальными пульсациями [1, 2]. На рис. 1 представлена типовая схема конструкции шиберного насоса [3].

Конструктивные особенности насосов данного класса основываются на трёх базовых структурных элементах: корпусе, роторном узле и системе лопастных элементов. В соответствии с кинематическим принципом функционирования выделяют два типа агрегатов: насосы однократного и двукратного действия [4]. Несмотря на демонстрацию двукратными системами повышенной удельной производительности и операционной эффективности, их промышленное внедрение лимитировано технологическими сложностями формообразования сложноконтурных поверхностей корпусных элементов эллипсоидной гео-

метрии, что обуславливает существенное увеличение производственных издержек.

К эксплуатационно-критичным параметрам корпусных компонентов относятся требования к топологии поверхности (параметры шероховатости $Ra \leq 0.4$ мкм) и физико-механическим характеристикам материала (твёрдость ≥ 55 HRC, предел прочности на сжатие ≥ 1200 МПа), что продиктовано экстремальными контактными нагрузками (до 250 МПа) и высокими относительными скоростями скольжения (порядка 12...18 м/с) в системе лопасть-статор.

Study results: during the study, an information graph of the operation of an abrasive tool with radially movable blocks when grinding non-cylindrical surfaces is constructed.

Conclusions: the constructed information graph model makes it possible to visually determine the parameters of an abrasive block for processing non-cylindrical holes without using kinematically complex devices or CNC machines.

Keywords: grinding, surfaces, grinding wheel, segments, graph model.

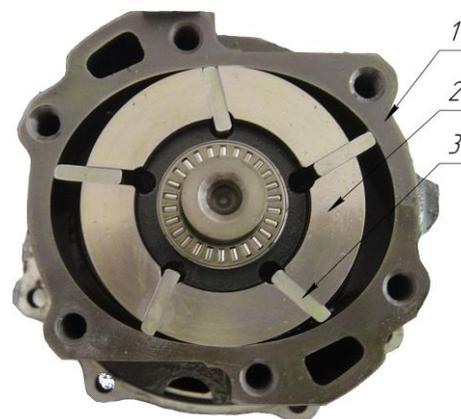


Рис. 1 Конструкция пластинчатого насоса
Fig. 1 Plate pump design

Технология финишной обработки неканонических поверхностей корпусов реализуется посредством:

Кинематически сложных шлифовальных комплексов с традиционными абразивными инструментами.

Адаптивных лепестково-абразивных систем с регулируемой жёсткостью.

Оба метода демонстрируют принципиальное ограничение по организации эф-

Основной раздел

Повышение технологической эффективности внутреннего шлифования эллипсоидных поверхностей корпусов пластинчатых насосов обеспечивается внедрением модульного шлифовального инструментария с радиально-подвижными абразивными сегментами, адаптирующимися к контурной геометрии обрабатываемой поверхности [6]. На рис. 2 представлена конструктивная схема указанного инструмента,

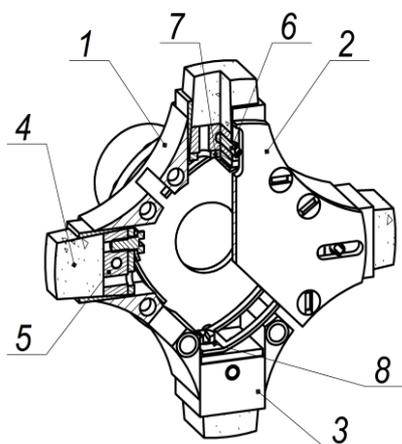


Рис. 2. Конструкция сборного абразивного инструмента с радиально подвижными абразивными блоками

Fig. 2. Construction of a prefabricated abrasive tool with radially movable abrasive blocks

Шлифовальный инструмент включает в себя базовый корпус (1) и торцевые крышки (2), между которыми размещены кинематически независимые шлифовальные модули (3). Каждый модуль содержит абразивный элемент (4), фиксируемый посредством штифтового соединения (6) и регулируемого зажимного механизма (5), обеспечивающего компенсацию радиальных смещений. Фиксирующий элемент (5)

фективной подачи СОЖ в зону резания (коэффициент подачи смазки $\eta \leq 0.35$), что определяет необходимость снижения параметров обработки (скорость резания $V \leq 25$ м/с, глубина снятия $t \leq 0.02$ мм) для предотвращения термомеханических повреждений поверхностного слоя (температурные градиенты $\Delta T \geq 400$ °С/мм, формирование дефектов типа «прижогов» глубиной до 50 мкм) [5].

интегрирован с системой балансировочных грузов (7), позволяющих дозированно изменять контактное усилие на единицу площади абразива. Возврат модулей в исходное положение после снятия кинематических нагрузок осуществляется пластинчатой пружиной (8), обладающей заданной жесткостью ($k = 12 \dots 18$ Н/мм).

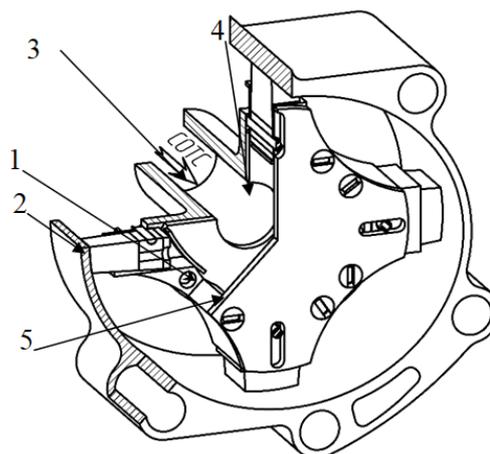


Рис. 3. Способ внутреннего шлифования нецилиндрических поверхностей корпуса пластинчатого насоса

Fig. 3. Method of internal grinding of cylindrical surfaces of a plate pump body

На рис. 3 иллюстрируется технология шлифования эллипсоидной поверхности корпуса (2) с применением модульного инструмента (1), установленного на одной оси относительно оси обрабатываемого контура. Критическим фактором процесса является генерация центробежных сил ($F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot r$, где m – масса модуля, ω – угловая скорость, r – радиус вращения), обеспечивающих радиальное смещение абразивных сегментов с регулируемым усилием прижима ($P = 0,8 \dots 1.2$ Н/мм²).

Сила резания корректируется изменением массы балансирующих грузов ($\Delta m = \pm 15\%$) и частоты вращения шпинделя ($n = 1500 \dots 3000$ об/мин). Благодаря отсутствию жёсткой кинематической связи модулей с корпусом инструмента, происходит микрометрическая коррекция глубины внедрения абразива ($\delta \leq 5$ мкм), что минимизирует формообразующие погрешности при обеспечении заданной шероховатости ($Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм).

В настоящем исследовании реализована методика, направленная на всесторонний анализ кинематических характеристик движения шлифовального блока при обработке обрабатываемой поверхности. С целью повышения точности анализа разработана информационно-графовая модель (ИГМ), изображенная на рис. 4 [8, 9].

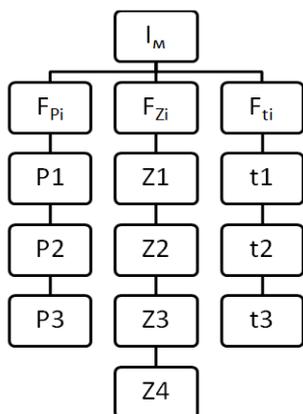


Рис. 4. Информационный граф работы абразивного блока при шлифовании нецилиндрических поверхностей

Fig. 4. Information graph of the abrasive block operation when grinding non-cylindrical surfaces

Модель структурирована в виде трёх основных компонентов (ребер), каждый из которых отражает различные аспекты работы шлифовального блока:

Ребро F_{pi} – прочностные характеристики крепления абразивного элемента. Данный компонент представляет собой информационный массив, содержащий k элементов, характеризующих параметры, влияющие на надежность закрепления абразивного элемента в корпусе блока. В частности:

– вершина P_1 определяет площадь сечения абразивного элемента ($P_1 = f(a, b)$, ($a \times b$, мм²);

– вершина P_2 – обуславливает протяжённость монтажа элемента ($P_2 = f(t)$, (t , мм));

– вершина P_3 – конусность стенок блока ($P_3 = f(\alpha)$, (α , град)) рис. 5.

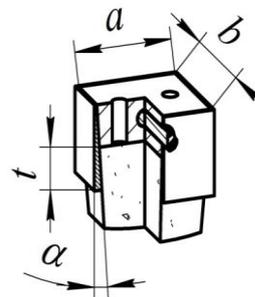


Рис. 5. Компоненты, определяющие прочность крепления абразивного элемента в корпусе блока
Fig. 5. Components determining the fastening strength of the abrasive element in the block body

Ребро F_{zi} – условия работы абразивного блока. Этот информационный массив включает k компонентов, отвечающих за оптимизацию условий работы с целью предотвращения заклинивания блока.

Среди ключевых параметров:

– вершина Z_1 , характеризующая радиус правки абразивного элемента ($Z_1 = f(rk)$, (мм));

– вершина Z_2 , определяющая угол давления, зависящий от сил резания P_z и P_y ($Z_2 = f(P_z, P_y)$, где $P_z = m \cdot \omega \cdot 2r$, $P_y = (0,3 \dots 0,5)P_z$;

– вершина Z_3 , отражающая геометрию профиля шлифуемой поверхности ($Z_3 = f(r_1, r_2)$, (мм));

– вершина Z_4 , задающая коэффициент трения между контактирующими поверхностями ($Z_4 = f_{\mu}$, ($\mu = 0,1 \dots 0,15$)).

Для обеспечения стабильной работы блока угол давления должен находиться в пределах $25 \dots 35^\circ$. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при массе абразивного блока 20 грамм и частоте вращения круга 3000 об/мин сила резания P_z составляет 98,7 Н при малом радиусе эллипса (50 мм) и 118,4 Н при большом радиусе эллипса (60 мм), что указывает на зависимость угла давления от геометрии обрабатываемой поверхности и величины приложенных сил (рис. 6).

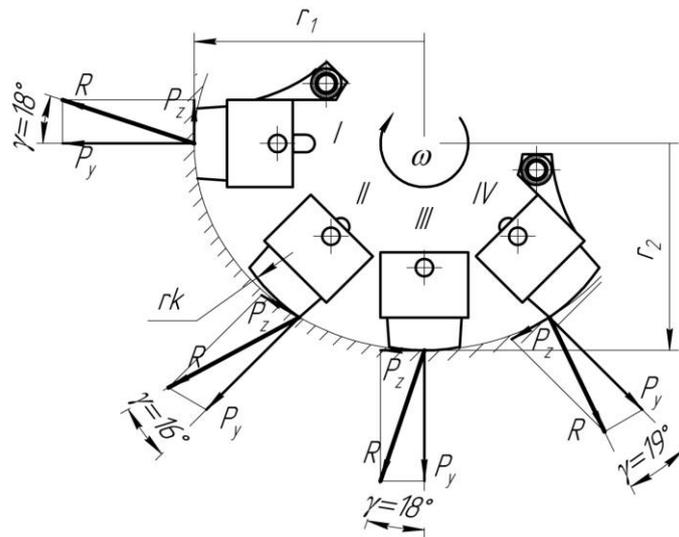


Рис. 6. Компоненты, определяющие условия работы сборного инструмента с подвижными абразивными блоками без заклинивания
 Fig. 6. Components that determine the working conditions of a prefabricated tool with movable abrasive blocks without jamming

Ребро F_{ti} – режим шлифования. Этот компонент определяет вид шлифования (черновое, получистовое, чистовое) посредством информационного массива, состоящего из k элементов. Вершина t_1 характеризует массу абразивного элемента

($t_1 = f(m)$, (Γ)), вершина t_2 – частоту вращения круга ($t_2 = f(\omega)$, (рад/с)), а вершина t_3 – величину продольной подачи ($t_3 = f(s)$, (мм/об)).

Таким образом, разработанная информационно-графовая модель

$$I_M = F_{Pi} \cup F_{Zi} \cup F_{ti} = P_1 \cup P_2 \cup P_3 \cup Z_1 \cup Z_2 \cup Z_3 \cup Z_4 \cup t_1 \cup t_2 \cup t_3$$

позволяет с высокой степенью наглядности определить оптимальные параметры работы абразивного блока для обработки нецилиндрических отверстий, исключая необходимость применения сложных кинематических приспособлений или станков с числовым программным управлением

ем. Применение технологии прямой подачи СОТС в зону резания через корпус сборного абразивного инструмента способствует эффективному охлаждению обрабатываемой поверхности, что предотвращает образование прижогов и задиоров.

Обсуждение/Заключение

Исследования подчёркивают, что конструкция сборного инструмента с подвижными блоками обеспечивает экономичное расходование абразивного материала (до 80 %), что в значительной мере

снижает себестоимость изготовления сложных геометрических поверхностей, таких как корпуса пластинчатых насосов [10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайченко И.З. Мышлевский Л.М. Пластинчатые насосы и гидромоторы. Машиностроение, 1970, стр. 229
2. В. Хлумский Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. М., «Машиностроение», 1971, 128 стр.
3. Пластинчатый и роторный насосы <https://www.nektonnasonos.ru/articles/plastinchatyi-nasos/>
4. Аникин, Ю. В. Насосы и насосные станции : учеб. пособие / Ю.В. Аникин, Н.С. Царев, Л.И. Ушакова ; [науч. ред. В.И.Аксенов] ; М-во образования и науки Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 138 с
5. Яшков В.А., Силин Л.В. Технология внутреннего шлифования без тепловых эффектов // СТИН. 2012. № 3. С. 22-25.

6. Авторское свидетельство на изобретение РФ № 2182531. МПК В24В1/00 Способ внутреннего шлифования / Д.Р. Блурцян. – Б.И., 2000.
7. Яшков В.А., Гречишников В.А., Албагачиев А.Ю., Исаев А.В., Пивкин П.М., Романов В.Б. Модернизация сборного абразивного круга с радиально-подвижными сегментами для внутреннего шлифования полых деталей роботов // Вестник МГТУ СТАНКИН. 2015. № 4 (35). С. 8-14.
8. Гречишников В.А. «Моделирование систем инструментального обеспечения автоматизированных производств» М.: ВНИЦТЭМР, 1988, сер.9, В - 450 с.
9. Гречишников В.А., Петухов Ю.Е., Косарев В.А., Домнин П.В., Исаев А.В., Романов В.Б., Пивкин П.М., Артюхин Л.Л., Колесов Н.В., Седов Б.Е.,

- Тарасов А.В., Щербаков В.Н., Живодров О.Г., Аксютин П.А. Инструментальная техника, технология изготовления и САПР РИ Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки: «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / Москва, 2015.
10. Яшков В.А., Гречишников В.А., Пивкин П.М., Кузнецов В.А., Мальшева Е.В., Надькто А.Б. Информационная модель сборного абразивного круга для шлифования круглых отверстий с внутренней винтовой поверхностью СТИН. 2022. № S12-2. С. 5-9.

REFERENCES

1. Zaychenko IZ, Myshlevsky LM. Vane pumps and hydraulic motors. Moscow: Mashinostroenie; 1970.
2. Khlumsky V. Rotary compressors and vacuum pumps. Moscow: Mashinostroenie; 1971.
3. Vane and rotary pumps [Internet]. Available from: <https://www.nektonnasos.ru/articles/plastinchatyinasos/>.
4. Anikin YuV, Tsarev NS, Ushakova LI. Pumps and pumping stations: textbook. Yekaterinburg: Ural University Publishing House; 2018.
5. Yashkov VA, Silin LV. Technology of internal grinding without thermal effects. STIN. 2012;3:22-25.
6. Blurtsyan DR. RF Inventor's certificate No. 2182531. МПК В24В1/00 Method of internal grinding. 2000.
7. Yashkov VA, Grechishnikov VA, Albagachiev AYU, Isaev AV, Pivkin PM, Romanov VB. Modernization of an assembled abrasive wheel with radially movable

- segments for internal grinding of hollow robot parts. Vestnik MSTU STANKIN. 2015;4(35):8-14.
8. Grechishnikov VA. Modeling of tool support systems for automated production facilities. Moscow: VNITSEMR; 1988.
9. Grechishnikov VA, Petukhov YuE, Kosarev VA, Domnin PV, Isaev AV, Romanov VB, Pivkin PM, Artyukhin LL, Kolesov NV, Sedov BE, Tarasov AV, Shcherbakov VN, Zhivodrov OG, Aksyutin PA. Instrumental equipment, manufacturing technology and CAD: textbook. Moscow; 2015.
10. Yashkov VA, Grechishnikov VA, Pivkin PM, Kuznetsov VA, Malysheva EV, Nadykto AB. Information model of an assembled abrasive wheel for grinding round holes with an internal screw surface. STIN. 2022;S12-2:5-9.

Информация об авторе:

Яшков Валентин Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения», Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых», г Муром, тел.: (49234) 7-71-41, тел. +7(910)7748335.

Yashkov Valentin Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Technology, Murom Branch of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Murom; phones: (49234) 7-71-41, +7(910)7748335.

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 02.04.2025; принята к публикации 30.04.2025. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 28.02.2025; approved after review on 02.04.2025; accepted for publication on 30.04.2025. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.