

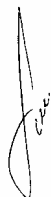
*На правах рукописи*

**КОЛМАКОВ Алексей Васильевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ  
АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕ-  
СКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ  
СКОЛЬЖЕНИЯ**

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,  
материалов и изделий

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Тамбов 2003

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедрах «Автоматизированные системы и приборы», «Криминалистика и информатизация правовой деятельности».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Чернышов Владимир Николаевич**

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент  
**Пудовкин Анатолий Петрович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Мордасов Михаил Михайлович**

кандидат технических наук, доцент  
**Трейгер Владимир Виленович**

Ведущая организация: АООТ НИИ «Электромера»,  
г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2004 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000, \_\_\_\_\_ г. \_\_\_\_\_ Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, Большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.А. Чуриков

---

Подписано к печати 26.12.2003

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,9 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 896

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

2.

3. **Актуальность темы исследования.** Задача существенного улучшения качества промышленной продукции, а, следовательно, повышения надежности и долговечности может быть успешно решена при условии совершенствования производства и методов контроля качества продукции.

4. Современные изделия машиностроения характеризуются повышенными показателями точности, надежности и долговечности, определяющими качество продукции в целом. За последние годы допуски на линейные и угловые размеры в ряде отраслей машиностроения уменьшились на порядок, а в некоторых случаях на два порядка. Обеспечение этих показателей требует совершенствования технологических процессов и, прежде всего, повышения точности обработки изделий и, как следствие, соответствующего повышения точности средств контроля.

5. В связи с возрастающим объемом производства биметаллических вкладышей, повышением требований к их эксплуатационным характеристикам становятся актуальными задачи интенсификации производства и повышения качества готовых изделий и снижения затрат на их изготовление. Решение этих задач связано как с совершенствованием технологического оборудования для производства вкладышей, так и автоматических средств измерения и активного контроля качества. Внедрение средств активного контроля позволяет обеспечить профилактику брака, повысить качество изготовления деталей благодаря автоматическому поддержанию оптимальных режимов обработки и производительность изготовления вследствие сокращения вспомогательного времени на контроль и возможность многостаночного обслуживания, облегчить работу станочников, обеспечить безопасность их труда и в итоге получить высокую точность обработки деталей при сравнительно невысокой квалификации операторов.

6. Перечисленные обстоятельства подтверждают актуальность задач, решаемых в диссертационной работе, определяют цель и основные направления исследований.

7. **Цель работы.** Целью настоящей диссертационной работы являются разработка и внедрение новых эффективных методов и автоматических средств измерения и активного контроля геометрических параметров биметаллических вкладышей в процессе их изготовления с заданными параметрами, методики контроля этих параметров и в итоге повышение производительности контроля и профилактика брака.

8. Для достижения поставленной цели необходимо:

- исследовать существующие и разработать более эффективные методы активного контроля геометрических параметров вкладышей в процессе их изготовления; измерительно-управляющие системы (ИУС), реализующие эти методы;
- разработать математическое, программное и метрологическое обеспечение разработанной ИУС;
- провести анализ возможных источников погрешностей измерений геометрических параметров вкладышей и оценить их величину;
- осуществить экспериментальную проверку результатов работы и внедрить в промышленное производство.

9. **Методы исследования** базируются на использовании математического моделирования, математической статистики, компьютерных технологиях и метрологии.

10. **Научная новизна.** В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

- разработан новый метод активного контроля геометрических параметров вкладышей, отличающийся возможностью бесконтактного контроля трех основных параметров качества каждого вкладыша в автоматическом режиме непосредственно на вертикально-протяжных станках в зоне их обработки с компенсацией температурной погрешности, погрешности базирования и износа инструмента;
- разработан метод автоматической подналадки режущего инструмента малыми перемещениями по результатам контроля. Методы позволяют проводить непрерывный контроль высоты вкладышей, отклонений от параллельности поверхностей разъема вкладыша относительно образующей его наружной цилиндрической поверхности, прилегания наружной цилиндрической поверхности вкладыша к поверхности гнезда контрольного приспособления.
- разработанные математическое и алгоритмическое обеспечения ИУС позволяют автоматизировать процесс контроля геометрических параметров вкладышей, повысить производительность контроля не менее чем в 2 раза, а также повысить точность контроля и точность обработки вкладышей, что обеспечивает предупреждение брака вкладышей.

11. **Практическая ценность** полученных результатов состоит в разработке и внедрении ИУС, реализующей предложенные методы активного контроля геометрических параметров вкладышей подшипников скольжения.

12. Применение разработанной ИУС позволит повысить производительность, точность контроля и точность обработки.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационной работы приняты к использованию ОАО «Завод подшипников скольжения» г. Тамбова, УП «Минский моторный завод» и в учебном процессе ТГТУ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований, выполненных по теме диссертации, докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международная научная конференция «Информационные технологии при проектировании микропроцессорных систем», Тамбов, 2000 г.; XV Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях», Тамбов, 2002 г.; V, VII и VIII научные конференции ТГТУ, Тамбов, 2000 – 2003 гг.; школа-семинар молодых ученых «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции», Тамбов, 2003 г.; на IV Всероссийском с международным участием научно-практическом семинаре «В мире неразрушающего контроля и диагностики материалов, промышленных изделий и окружающей среды», г. Санкт-Петербург, 2003 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, 2 из них – патенты на изобретение.

13. **Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, двух приложений, изложена на 142 страницах машинописного текста и содержит 21 рисунок, 12 таблиц.

14.

## 15. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

16.

17. **Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы. Раскрыты научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации работы.

**Первая глава посвящена исследованию современного состояния техники измерения линейных размеров изделий. Отмечена важность решения проблемы качества изделий из биметаллов, создания и внедрения методов и средств активного контроля показателей качества.**

**В главе формируются требования, предъявляемые к современным средствам измерения геометрических размеров изделий, проводится обзор и сравнительный анализ существующих методов и средств указанного назначения, определяются задачи исследования.**

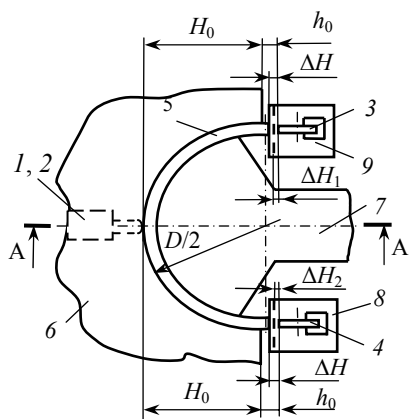
**Исходя из требований высокой производительности и оперативности активного контроля, показано, что существующие методы и средства контроля геометрических параметров изделий не удовлетворяют современным требованиям практики активного контроля геометрических параметров вкладышей.**

**Во второй главе дано теоретическое обоснование предлагаемых методов активного контроля геометрических параметров изделий в технологическом процессе их изготовления, а также методики повышения точности обработки вкладышей.**

В работе приведен разработанный метод активного контроля геометрических размеров вкладышей в процессе протягивания плоскостей разъема, позволяющий повысить точность обработки, производительность контроля и обеспечить профилактику брака.

Сущность метода состоит в следующем.

В режиме наладки настраивают измерительные преобразователи 1, 2, 3 и 4 по эталонному вкладышу 5, для чего укладывают в контрольном гнезде эталонный вкладыш, который выравнивается двумя толкателями,

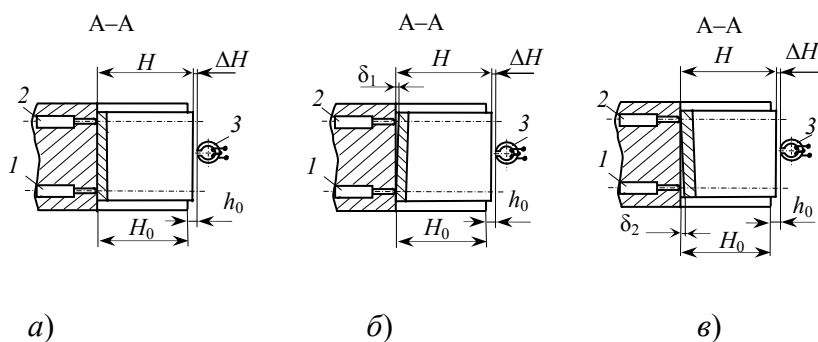


**Рис. 1 Контрольное гнездо:**  
 1, 2 – контактные преобразователи перемещений; 3, 4 – бесконтактные преобразователи перемещений;  
 5 – эталонный образец;  
 6 – контрольное гнездо; 7, 8 – режущий инструмент; 9 – прижим

зажимается прижимом неподвижно в контрольном гнезде и регистрируются перемещения индуктивных преобразователей 1 и 2 (рис. 1 и 2). Далее устанавливаются преобразователи 3 и 4 на фиксированном расстоянии  $h_0$  относительно базового гнезда б и регистрируется расстояние  $\Delta H$  между преобразователями 3, 4 и плоскостью разъема эталонного вкладыша (рис. 2, а). Затем освобождают эталонный вкладыш, производят обработку вкладышей и контроль геометрических параметров вкладышей подшипников.

В режиме измерения вкладыш с помощью механизма загрузки автоматически подается в зону обработки, выравнивается двумя толкателями и зажимается прижимом неподвижно в контрольном гнезде, при этом с помощью индуктивных преобразователей перемещений 1 и 2 (рис. 1), установленных в контрольном гнезде по образующей на расстоянии 2,5 мм от каждого торца вкладыша, контролируется прилегание образующей поверхности вкладыша к рабочей поверхности контрольного гнезда по образующей. Информация с индуктивных преобразователей перемещений через входные устройства, компаратор, фазочувствительный демодулятор поступает в микроконтроллер. Разница

$$\delta_1 = l_2 - l_1 \quad \text{и} \quad \delta_2 = l_1 - l_2 = -(l_2 - l_1), \quad (1)$$



**Рис. 2 Схема расположения преобразователей**

где  $l_1, l_2$  – перемещения соответственно первого и второго индуктивных преобразователей перемещений, указывает не только на неполное прилегание образующей поверхности вкладыша к рабочей поверхности контрольного гнезда, но и на отклонение от параллельности поверхностей разъема вкладыша (рис. 2, б и в).

С помощью режущего инструмента – протяжек с косыми зубьями производится протягивание плоскостей разъема вкладыша (стыка). Бесконтактные индуктивные преобразователи 3 и 4, установленные выше режущего инструмента на рабочих «салазках» вертикально-протяжного станка на фиксированном расстоянии  $h_0$  относительно базового гнезда, при их перемещении относительно плоскостей разъема в процессе протягивания фиксируют расстояния  $(\Delta H^1, \Delta H^2)$  и  $(\Delta H^3, \Delta H^4)$  соответственно между преобразователями 3 и 4 и плоскостями разъема вкладыша. Расстояния  $\Delta H^1$  и  $\Delta H^3$  фиксируются соответственно преобразователями 3 и 4 в крайнем верхнем положении их на расстоянии 2,5 мм от верхнего торца вкладыша, а расстояния  $\Delta H^2$  и  $\Delta H^4$  – в крайнем нижнем положении преобразователей 3 и 4 на расстоянии 2,5 мм от нижнего торца вкладыша. Высота обработанного вкладыша  $H$  определяется как

$$H = (H_0 + h_0) - (\Delta H_1 + \Delta H_2) / 2, \quad (2)$$

где  $H_0 = (D/2 - 1)$ ;  $D$  – диаметр контрольного гнезда;  $h_0$  – расстояние между бесконтактным преобразователем и гнездом;  $\Delta H_1 = (\Delta H^1 + \Delta H^2) / 2$ ;  $\Delta H_2 = (\Delta H^3 + \Delta H^4) / 2$ .

Изменение расстояния  $\Delta H = (\Delta H_1 + \Delta H_2) / 2$  между преобразователями 3, 4 и плоскостями разъема вкладыша указывает на отклонение высоты вкладыша. Отклонение высоты обработанного вкладыша возможно и за счет неравномерного износа режущего инструмента (рис. 1):

$$\delta_3 = \Delta H_3 - \Delta H_1, \quad \delta_4 = \Delta H_3 - \Delta H_2, \quad (3)$$

где  $\Delta H_3$  – расстояние между преобразователями 3, 4 и плоскостью разъема эталонного вкладыша;  $\Delta H_1$  и  $\Delta H_2$  – расстояния соответственно между преобразователями 3, 4 и плоскостями разъема обработанного вкладыша.

Непараллельность каждой плоскости разъема вкладыша относительно образующей наружной цилиндрической поверхности определяется как разница расстояний между плоскостями разъема вкладыша и преобразователями 3 и 4 в крайнем верхнем и крайнем нижнем положениях преобразователей относительно разъема вкладыша, т.е.

$$\delta_5 = \Delta H^1 - \Delta H^2 \quad \text{и} \quad \delta_6 = \Delta H^3 - \Delta H^4, \quad (4)$$

где  $\delta_5, \delta_6$  – непараллельности плоскостей разъема вкладыша.

Таким образом, по информации, снимаемой с помощью двух индуктивных преобразователей перемещений, установленных в контрольном гнезде по образующей на расстоянии 2,5 мм от каждого торца вкладыша, судят о прилегании образующей поверхности вкладыша к рабочей поверхности гнезда, а отклонения высоты и непараллельность плоскостей разъема вкладышей относительно образующей наружной цилиндрической поверхности контролируются двумя бесконтактными индуктивными датчиками, установленными на рабочих «салазках» вертикально-протяжного станка.

**В работе также рассматриваются задачи повышения точности обработки вкладышей на вертикально-протяжных станках. Повышение точности обработки обеспечивается использованием автоматической подналадки режущего инструмента соответствующим сигналом. Автоматическая подналадка заключается в корректировании положения инструмента на величину ожидаемого отклонения размера в корректируемом цикле обработки. Корректирующий или подналадочный сигнал вычисляется по результатам измерений размеров ранее обработанных деталей, с запаздыванием на один цикл обработки. Автоматическая подналадка для процессов обработки на вертикально-протяжных станках сводится:**

- к компенсации произвольных (неконтролируемых) ступенчатых смещений настройки  $c_0$  (т.е. ошибок начальной настройки, возникающих при смене инструмента или после значительных перерывов в работе);
- к компенсации погрешностей, обусловленных относительно медленными (также неконтролируемыми) смещениями настройки  $c_n$ , порождаемыми, например, износом инструмента и тепловыми деформациями;
- минимизации при этих условиях дисперсии отклонений размеров  $\sigma_y^2$ .

Вычисления перемещения режущего инструмента  $u_n$  можно записать в следующей форме:

$$u_n = \sum_{k=\gamma}^l b_k y_{n-k}^*; \quad y_1^* = y_1, \quad (5)$$

где  $b_k$  – коэффициент пропорциональности;  $y_{n-k}^*$  – отклонение размера детали, обработанной с подналадкой в  $(n - k)$ -м цикле;  $y_1$  – первая деталь в партии (обработанная без подналадки);  $\gamma$  – число циклов запаздывания, обычно при подналадке  $\gamma = 1$ .

При  $\gamma = 1$  перемещение режущего инструмента  $u_n$  в каждом  $n$ -м цикле обработки вычисляется путем умножения измеренного отклонения размера  $y_{n-1}^*$  последней, обработанной в  $(n - 1)$ -м цикле детали, на постоянный коэффициент  $b$ .

Выражение для определения подналадочного сигнала в каждом цикле обработки имеет вид

$$u_n = b y_{n-1}^*; \quad y_1^* = y_1. \quad (6)$$

Подналадка реализуется ИУС совместно со станком с запаздыванием на один цикл.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма, в который заложено разностное уравнение, описывающее процесс подналадки:

$$y_n^* = y_n - b \sum_{j=1}^{n-1} y_j^*; \quad y_1^* = y_1, \quad (7)$$

где  $y_n^*$  – отклонения размера деталей, обработанных с подналадкой;  $y_n$  – отклонения размера деталей в исходном (неуправляемом процессе).

Вычисляя значения  $y_n^*$  для одного и того же набора значений  $y_n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ , но для разных значений  $b$  ( $b = 0,1; 0,2; \dots; 0,9$ ) и для каждого из них среднее отклонение размера

$$\bar{y}^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j^* \quad (8)$$

и дисперсию

$$\sigma_{y^*}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (y_j^* - \bar{y}^*)^2, \quad (9)$$

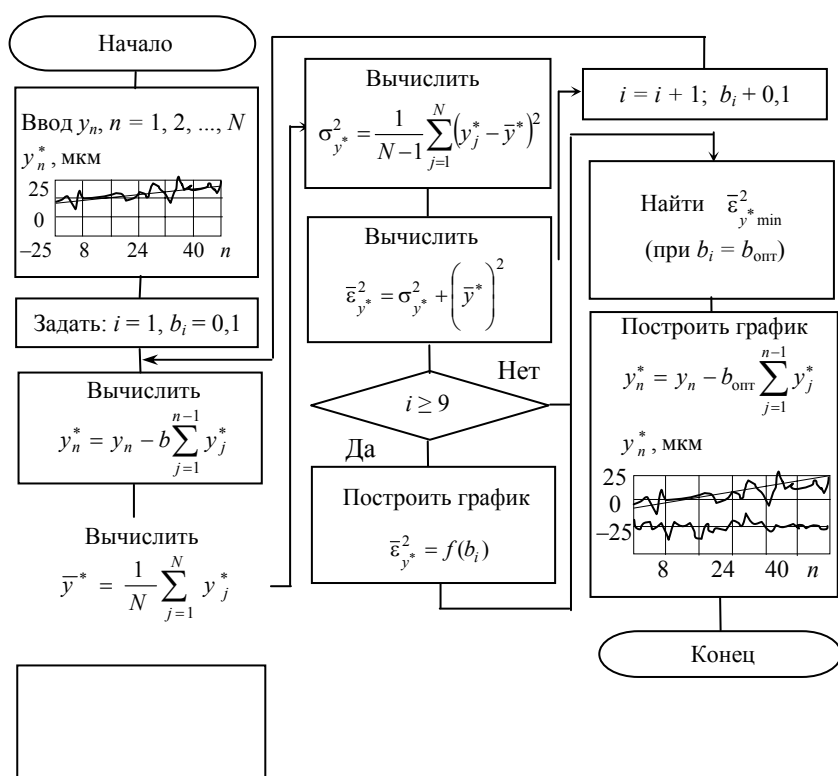


Рис. 3 Блок-схема алгоритма, реализующего процесс автоматической подналадки

строят график зависимости  $\sigma_{y^*}^2 = f(b)$ , находят оптимальное значение  $b$ , при котором  $\sigma_{y^*}^2$  минимальна.

В работе проведена экспериментальная проверка разработанных методов, которая показала корректность теоретических положений, положенных в основу методов и их работоспособность.

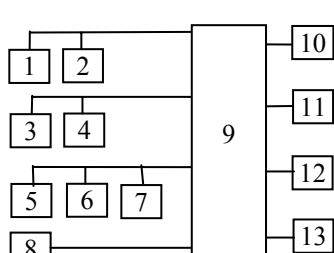
Таким образом, во второй главе показано, что разработанные методы по степени автоматизации, по быстродействию и точности контроля показателей качества выгодно отличаются от существующих и дают возможность использовать их для активного контроля геометрических параметров вкладышей подшипников скольжения.

В третьей главе дано описание разработанной измерительно-управляющей системы активного контроля геометрических параметров вкладышей в процессе протягивания плоскостей разъемов на вертикально-протяжном станке и в процессе алмазной расточки внутренней поверхности вкладышей. Дано описание разработанной автоматической системы входного контроля толщины вкладышей подшипников скольжения, позволяющей в едином технологическом цикле производства осуществлять непрерывный контроль толщины готовых вкладышей. Кроме того, в главе представлена конструкция бескон-

тактного преобразователя линейных перемещений, позволяющего контролировать геометрические размеры вкладышей в процессе их обработки, и проведен анализ точности обработки, геометрических размеров вкладышей по результатам натурных испытаний.

Микропроцессорная измерительно-управляющая система неразрушающего контроля геометрических параметров вкладышей подшипников (рис. 4) содержит четыре измерительных канала:

- первый для контроля прилегания наружной цилиндрической поверхности вкладыша к поверхности гнезда контрольного приспособления;
- второй для контроля высота вкладышей и отклонения от параллельности поверхностей разъема вкладыша относительно образующей его наружной цилиндрической поверхности;
- третий для контроля толщины вкладышей;
- четвертый для компенсации влияния температурных погрешностей обрабатываемых деталей.



**Рис. 4 Структурная схема измерительно-управляющей системы контроля**

**геометрических параметров вкладышей:**

1, 2 – контактные преобразователи перемещений; 3 – 7 – бесконтактные преобразователи перемещений; 8 – преобразователь температуры; 9 – микроконтроллер; 10 – блок визуальной и звуковой сигнализации; 11 – вертикально-протяжной станок; 12 – алмазно-расточной станок; 13 – персональный компьютер

На рис. 5 представлена блок-схема алгоритма работы системы активного контроля геометрических параметров вкладышей с учетом температурной деформации вкладыша в процессе протягивания плоскостей разъемов. Работа системы состоит в следующем. С клавиатуры вводятся исходные данные  $H_{тр}, D, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, l, T_0, \alpha_d, \delta^*, \delta_1^*$  и  $\delta_2^*$  и данные настройки  $h_0, H_0, \Delta H, \delta_1, \delta_2$  вертикально-протяжного станка по эталонному вкладышу. Включают станок на обработку вкладышей и измерительную систему на контроль геометрических параметров. После подачи вкладыша на обработку, выравнивания и зажима его в контрольном гнезде индуктивными преобразователями измеряются перемещения  $l_1$  и  $l_2$ , вычисляются  $\delta_1 = (l_2 - l_1)$  и  $\delta_2 = (l_1 - l_2) = -(\delta_1)$ , характеризующие величину прилегания образующей поверхности вкладыша к рабочей поверхности контрольного гнезда и сравниваются с заданными значениями  $\delta_1^*$  и  $\delta_2^*$ . Если выполняются условия  $|\delta_1 - \delta_1^*| > \varepsilon_1$  и  $|\delta_2 - \delta_2^*| > \varepsilon_1$ , то произойдет останов станка. В случае невыполнения условий  $|\delta_1 - \delta_1^*| > \varepsilon_1$  и  $|\delta_2 - \delta_2^*| > \varepsilon_1$ , производится контроль температуры поверхности плоскости разъемов вкладыша в зоне резания.

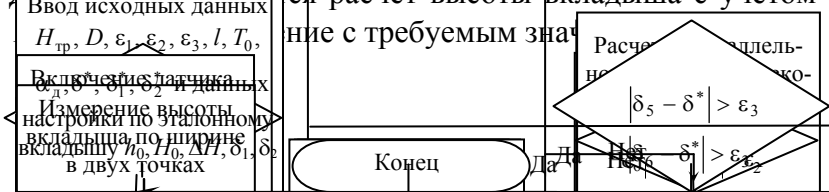
По зависимости

$$\Delta l_d = \{T_{max} \alpha_d l_{max} / [\ln(T_{max} / T_{min})]\} \{1 - \exp[-\ln(T_{max} / T_{min})]\},$$

где  $T_{max}$  – отклонение температуры наружного, наиболее нагретого слоя от начальной;  $T_{min}$  – отклонение температуры слоя, расположенного на расстоянии  $l_{max}$  от наружного слоя, от начальной определяется значение величины температурной деформации за счет нагрева вкладыша в процессе резания.

После окончания процесса протягивания включается датчик положения на измерение бесконтактными преобразователями высоты вкладыша. Измерение осуществляется в верхнем и в нижнем положениях преобразователей на расстояниях 2,5 мм от торцов вкладыша. По измеренным значениям в двух крайних точках высоты вкладыша определяется среднее значение высоты вкладыша относительно каждого разъема, т.е.  $H = (H_0 + h_0) - (\Delta H_1 + \Delta H_2)/2$ , где  $H_0 = (D/2 - 1)$ ;  $D$  – диаметр контрольного гнезда;  $h_0$  – расстояние между бесконтактным преобразователем и гнездом;  $\Delta H_1 = (\Delta H^1 + \Delta H^2)/2$ ;  $\Delta H_2 = (\Delta H^3 + \Delta H^4)/2$ ;  $(\Delta H^1, \Delta H^2)$  и  $(\Delta H^3, \Delta H^4)$  – расстояния соответственно между бесконтактными преобразователями и плоскостями разъема вкладыша. После прохождения бесконтактных преобразователей зоны контроля выключается датчик положения на измерение высоты вкладыша.

После осуществления расчета высоты вкладыша с учетом температурной деформации по зависимости





### Рис. 5 Блок-схема алгоритма работы системы активного контроля геометрических параметров вкладышей

При выполнении условия  $|H^* - H_{тр}| > \varepsilon_2$  производится выключение вертикально-протяжного станка и измерительной системы. В случае невыполнения условия  $|H^* - H_{тр}| > \varepsilon_2$  производится расчет отклонения от параллельности поверхностей разъема вкладыша относительно образующей наружной цилиндрической поверхности. Непараллельность каждой плоскости разъема вкладыша определяется как разница расстояний между плоскостями разъема вкладыша и бесконтактными датчиками в крайнем верхнем и крайнем нижнем положениях датчиков относительно разъема вкладыша, т.е.  $\delta_5 = \Delta H^1 - \Delta H^2$  и  $\delta_6 = \Delta H^3 - \Delta H^4$ . Полученные значения непараллельности  $\delta_5$  и  $\delta_6$  сравниваются с заданным значением  $\delta^*$  и в случае выполнения условия  $|\delta_5 - \delta^*| > \varepsilon_3$ ,  $|\delta_6 - \delta^*| > \varepsilon_3$  также производится выключение станка. При невыполнении данного условия производится обработка и активный контроль геометрических параметров следующего вкладыша и результаты контроля используются для подналадки режущего инструмента пропорциональным сигналом.

На рис. 6 показана блок-схема алгоритма преобразования результатов измерения в сигнал коррекции, осуществляемое микропроцессорным устройством. Индекс  $n$  определяет порядковый номер обрабатываемого вкладыша. Информация о высоте вкладыша поступает с индуктивных бесконтактных преобразователей,  $b$  (коэффициент подналадки) вычисляется по алгоритму, представленному на рис. 3; значения величин  $H_{тр}$  (требуемая высота),  $\varepsilon_2$  (отклонение, превышение которого свидетельствует о ненормальном течении процесса обработки) – с клавиатуры системы. Величина  $\Sigma$ , являющаяся суммой всех  $n$  корректирующих сигналов, поступает на схему индикации системы и в систему коррекции станка.

Разработанное для повышения точности обработки вкладышей математическое и алгоритмическое обеспечение позволяет осуществлять следующие операции:

- автоматические измерения и подналадку режущего инструмента пропорциональным сигналом;
- выявление брака по геометрическим размерам;
- выявление износа инструмента за один цикл обработки и сравнение накопленного износа с допуском;
- автоматическую компенсацию погрешностей обработки от тепловых деформаций и износа инструмента.

Кроме того, разработанная система может быть использована одновременно и для активного контроля толщины вкладышей в процессе обработки внутренней поверхности вкладышей на алмазно-расточных станках.

**Для проведения входного контроля предприятиями-потребителями вкладышей подшипников скольжения разработана и представлена в диссертации автоматическая система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения (рис. 7).**

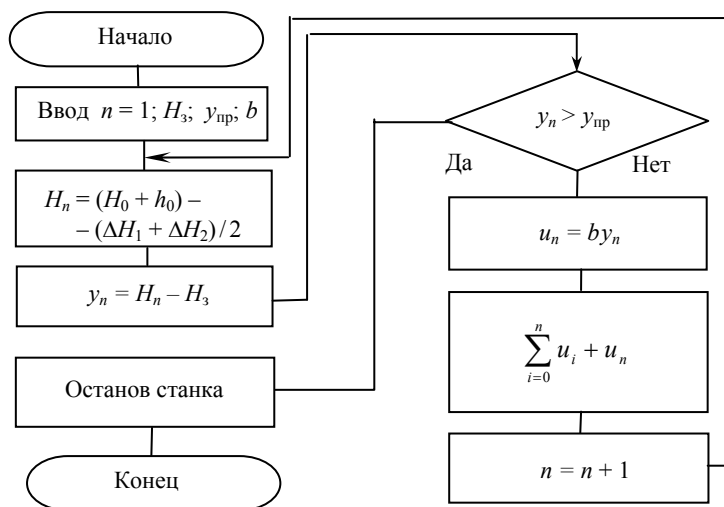


Рис. 6 Блок-схема алгоритма вычисления перемещения режущего инструмента

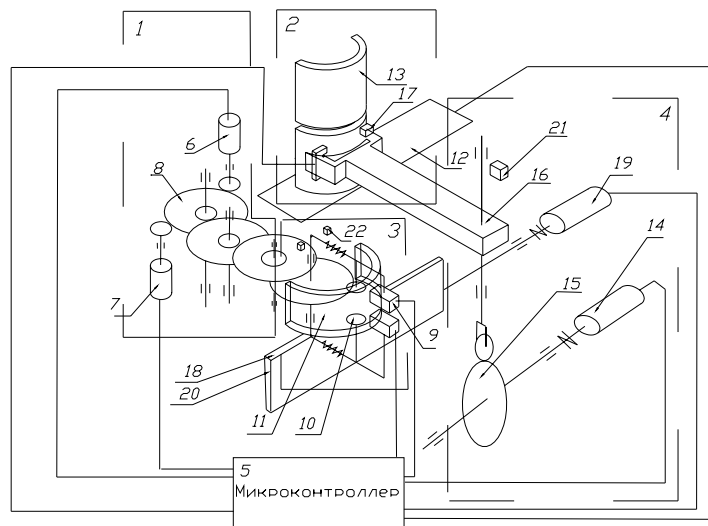
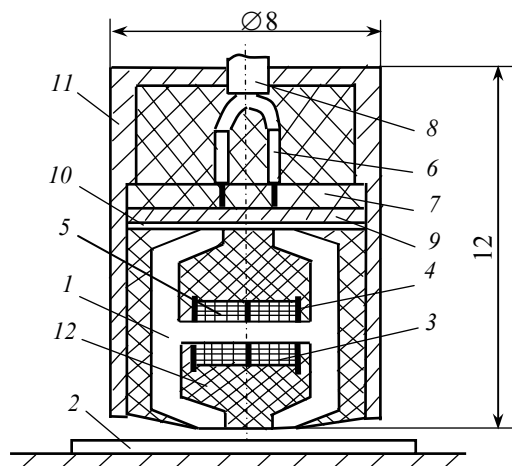


Рис. 7 Система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения:

- 1, 15 – привод; 2 – накопитель; 3 – сканирующее устройство; 4 – устройство подачи; 5 – управляющий микроконтроллер; 6, 7, 14, 19 – электродвигатели; 8 – трехступенчатый механизм; 9 – бесконтактные преобразователи перемещений; 10 – ролики; 11, 13 – вкладыши; 16 – захватывающее устройство; 17 – электромагниты; 18 – устройство разбраковки; 20 – заслонка; 21, 22 – датчики положения

Кроме того, в диссертации представлен разработанный бесконтактный индуктивный преобразователь перемещений (рис. 8) для измерения отклонений размеров вкладышей подшипников скольжения в процессе протягивания плоскостей разъемов на вертикально-протяжных станках. Для увеличения чувствительности преобразователя и верхней границы диапазона измеряемых величин при снижении массогабаритных размеров разработанный преобразователь имеет измерительную и компенсационную части. Сердечник 1 и контролируемый объект 2 образуют магнитную цепь с меняющимся воздушным зазором. Изменение размера объекта приводит к изменению воздушного зазора, который преобразуется в изменение индуктивности катушки 3 преобразователя, намотанной на каркас 4. Магнитопровод преобразователя набран из пластин пермаллоя 79НМ толщиной 0,1 мм, в средней части которого установлены две идентичные катушки 3 и 5, одна из них измерительная 3, а другая – компенсационная 5. Нижняя половина преобразователя с катушкой 3 является рабочей, а верхняя половина преобразователя с катушкой 5 – компенсирующей. Выводы катушек соединены между собой последовательно-встречно и распаяны на контакты 6 платы 7, на эти же контакты распаян и кабель 8. В качестве поверхности, замыкающей магнитный поток компенсирующей половины преобразователя, используется пластина 9, изготовленная из той же стали, что и основа вкладыша. Расстояние  $\Delta H$  между верхней частью магнитопровода и пластиной 9 устанавливается равным 0,1 мм, что соответствует нижнему значению диапазона измеряемых отклонений размеров вкладышей и в зазор помещают латунную пластину 10. Полость внутри корпуса 11 преобразователя залита компаундом 12. Преобразователь преобразует отклонения размеров вкладышей до 0,5 мм.

В работе проведены экспериментальные исследования по определению величины зазора в магнитопроводе преобразователя и расстояния от преобразователя до контролируемого изделия, определяющих максимальную чувствительность и минимальную нелинейность статической характеристики преобразователя.



Разработанный преобразователь, имеющий небольшие массогабаритные параметры и высокую чувствительность, может быть использован как для измерения геометрических параметров вкладышей подшипников скольжения в процессе

обработки плоскостей разъема на вертикально-протяжном станке, так и для контроля толщины вкладыша при расточке внутренней поверхности на алмазно-расточном станке.

**В работе также приведены результаты натуральных испытаний, проведенных на вертикально-протяжном станке-автомате МП7-1490 в нормальных условиях эксплуатации. Анализ показал, что за счет применения разработанной ИУС разброс отклонений размеров партии вкладышей уменьшился на 60 %. Погрешность измерения во время обработки не превысила 5 %. Производительность контроля при этом равна производительности станка, которая составляет 1200 ... 1350 деталей/час, что более чем в два раза превышает производительность контроля на установке «Пресс контрольный модели К9.2281800.000». Система активного контроля практически полностью исключает получение бракованных вкладышей.**

В четвертой главе проведен анализ влияния различных компонент составляющих погрешностей на точность контроля геометрических параметров вкладышей. Выявлены доминирующие погрешности обработки плоскостей разъемов вкладышей с возможностью компенсации системой активного контроля погрешности измерения, вызванные колебаниями температуры, и погрешности от изменения взаимного положения детали и датчика вследствие неточности базирования.

Показано, что для индуктивных измерительных преобразователей в качестве основных являются погрешности от нелинейности характеристики и влияния температуры. Приведены аналитические зависимости для расчета температурной погрешности.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1 Разработан метод активного высокопроизводительного контроля геометрических размеров вкладышей в процессе протягивания плоскостей разъема, проведена его экспериментальная проверка с целью повышения точности обработки, производительности контроля и обеспечения профилактики брака.

2 Разработан метод обработки повышенной точности вкладышей применительно к вертикально-протяжным станкам. Для этого рассмотрена математическая модель погрешностей обработки. Разработан алгоритм контроля и процесса автоматической подналадки режущего инструмента для реализации ИУС.

3 Разработаны и испытаны бесконтактные преобразователи с небольшими массогабаритными параметрами для контроля геометрических размеров вкладышей в процессе их обработки. При этом определены оптимальная величина зазора в их магнитопроводе и расстояние от преобразователя до контролируемых изделий, определяющие максимальную чувствительность и минимальную нелинейность статической характеристики преобразователя.

4 Разработана автоматическая система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения для осуществления входного контроля предприятиями-потребителями вкладышей, позволяющая производить разбраковку вкладышей.

5 Разработана измерительно-управляющая система контроля геометрических параметров в процессе протягивания плоскостей разъемов вкладышей на вертикально-протяжном станке и в процессе расточки внутренней поверхности вкладышей на алмазно-расточном станке. Разработанные алгоритмы, математическое и программное обеспечение ИУС позволяют осуществлять автоматические измерения и подналадку режущего инструмента пропорциональным сигналом, выявлять брак по геометрическим размерам, выявлять износ инструмента за один цикл обработки и сравнивать накопленный износ с допусковым, осуществлять автоматическую компенсацию погрешностей обработки от тепловых деформаций и износа инструмента. ИУС позволила не менее чем в 2 раза повысить производительность контроля, а также на 60 % уменьшить разброс

**Рис. 8 Бесконтактный индуктивный преобразователь перемещений**

отклонений размеров обрабатываемых вкладышей. Погрешность измерения геометрических параметров вкладышей во время обработки не превысила 5 %.

6 Для повышения точности обработки вкладышей рассмотрены в первую очередь погрешности системы контроля в целом, возникающие при нормальных условиях работы. Выявлены доминирующие погрешности обработки плоскостей разъемов вкладышей с возможностью компенсации ИУС контроля погрешности измерения, вызванные колебаниями температуры, и погрешности от изменения взаимного положения детали и датчика вследствие неточности базирования.

По теме диссертации опубликованы следующие работы

1 **Метод и измерительно-управляющая система неразрушающего контроля геометрических параметров вкладышей подшипников / А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов, А.В. Колмаков, Ю.В. Плужников // Вестник ТГТУ. – 2003. – Т. 9, № 3. – С. 469 – 476.**

2 Микропроцессорная система активного контроля геометрических параметров вкладышей / А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов, А.В. Колмаков, Д.А. Бобаков // Проектирование и технология электронных средств. – 2003. – № 3. – С. 38 – 44.

3 Пат. С1 2210058 РФ, МКИ G 01 В 7/06, G 01 N 27/90. Способ непрерывного контроля толщины слоев биметалла с ферромагнитным основанием / Ю. В. Плужников, А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов. – № 2002102151/28(001924); Заявл. 23.01.2002 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2003. – № 22.

4 Пат. С1 2182310 РФ, МКИ G01 В 7/06. Способ бесконтактного неразрушающего контроля толщины и теплофизических свойств изделий / Ю.В. Плужников, А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин. – № 2001100142/28; Заявл. 03.01.2001 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2002. – № 13.

5 Колмаков А.В. Активный контроль геометрических размеров вкладышей подшипников скольжения / А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Программа, материалы школы-семинара молодых ученых / ТГТУ. – Тамбов, 2003. – С. 88 – 90.

6 Метод и измерительная система непрерывного контроля соотношения слоев биметаллов / А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов, А.В. Колмаков, Ю.В. Плужников // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Международной научной конференции. В 10 т. / Под общ. ред. В.С. Балакирева; ТГТУ. – Тамбов, 2002. – Т. 7. – Секция 7. – С. 168.

7 Выбор параметров датчика для бесконтактных измерений толщины биметаллов методом вихревых токов / Ю.В. Плужников, А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов // VII научная конференция ТГТУ: Пленарные доклады и тезисы стендовых докладов. – Тамбов, 2002. – Ч. 1. – С. 99.

8 Колмаков А.В. Методы бесконтактного контроля и измерения геометрических величин / А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, Д.Н. Черных // V научная конференция ТГТУ: Тез. докл. – Тамбов, 2000. – С. 255.

9 Колмаков А.В. Бесконтактный неразрушающий контроль теплофизических свойств и толщины многослойных тел / А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, Н.В. Насакин // V научная конференция ТГТУ: Тез. докл. – Тамбов, 2000. – С. 256.

10 Система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения / А.В. Колмаков, С.В. Козлов, Ю.В. Плужников, А.П. Пудовкин // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2003. – Вып. 13. – С. 258 – 262.

11 Устройство непрерывного контроля соотношения толщин слоев биметалла / А.В. Колмаков, С.В. Козлов, Ю.В. Плужников, А.П. Пудовкин // VIII научная конференция ТГТУ: Тез. докл. – Тамбов, 2003. – С. 123.

12 Пудовкин А.П. Контроль качества биметаллов / А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов, А.В. Колмаков // IV Всероссийский с международным участием научно-практический семинар «В мире неразрушающего контроля и диагностики материалов, промышленных изделий и окружающей среды». – СПб., 2003. – С. 107.

13 Пудовкин А.П. Контроль геометрических размеров вкладышей / А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов, А.В. Колмаков // IV Всероссийский с международным участием научно-практический семинар «В

мире неразрушающего контроля и диагностики материалов, промышленных изделий и окружающей среды». – СПб., 2003. – С. 108.