

М457449
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ
ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

БАБКИН ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

УДК 621.941.235

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТОКАРНОЙ
ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ С
ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСКОНТАКТНЫХ ИНДУКТИВНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Специальность 05.02.11 - Методы контроля в
машиностроении

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Воронцов Л.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Земсков Г.Г.
кандидат технических наук,
доцент Мецераков Р.К.

Ведущая организация - НИО Оргстанкинпром

Защита диссертации состоится " " _____ 198 г.
в час. на заседании специализированного совета К 053.15.01
в Московском Высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автор

Ваш о
лать

просим направ-
ул., 5.

Ученн
специ
к.т.н

М457449

Г.РЯБОВ

Л.-466

. 100 экз.

Типот

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Среди автоматических средств активный контроль представляет собой наиболее прогрессивную форму организации контроля так как, обеспечивает высокое качество изготовления деталей, а также дает возможность осуществить автоматическое управление и регулирование технологических процессов. Контроль размеров и управление технологическими процессами на многошпиндельных автоматах в настоящее время осуществляется вручную по результатам обработки, а настройка инструмента производится наладчиками обычно интуитивно и часто активного воздействия на технологический процесс не оказывает. В этих условиях размеры обрабатываемых деталей группируются у границы поля допуска исправного брака.

Перспективным направлением автоматизации технологического процесса является введение устройств активного контроля размеров деталей непосредственно в процессе их обработки, что дает возможность исключить появление брака.

Таким образом разработка методов и средств активного контроля деталей на многошпиндельных токарных автоматах, соответствующих современным требованиям контроля, является важной и актуальной задачей. Успешное решение этой задачи позволит создать полностью автоматизированные линии для металлообработки. Общегосударственная значимость этой проблемы была подчеркнута на XXVII съезде КПСС в "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года".

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является решение актуальной научной задачи повышения точности процесса автоматической токарной обработки за счет оснащения многошпиндельных токарных автоматов устройствами активного контроля,

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1457449

Бабкин В.Н. Повышение точности



что имеет существенное значение для машиностроительного производства.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Проведение теоретических и экспериментальных исследований точности выбранного бесконтактного метода вихревых токов.
2. Разработка методики и принципиальной схемы устройства активного контроля повышенной надежности с применением элементов вычислительной техники.
3. Разработка схем типовых вычислительных звеньев с использованием интегральных схем и универсальных элементов электроавтоматики.
4. Проведение анализа точения на многшпиндельных токарных автоматах и отбора основных факторов, влияющих на точность обработки.
5. Разработка методики по определению погрешностей обработки деталей на многшпиндельных токарных автоматах.
6. Проведение экспериментальных исследований по определению точности обработки деталей на многшпиндельном токарном автомате, оснащенный системой активного контроля.

Научная новизна настоящей работы состоит в том, что автором впервые получены следующие научные результаты:

1. Разработана математическая модель возникновения погрешностей контроля деталей бесконтактными вихретоковыми преобразователями. На основе предложенной модели разработана методика расчета погрешностей, учитывающая погрешность положения, а также изменение параметров системы, влияющих на точность контроля.
2. Разработана методика определения технологических погрешностей на операциях автоматической токарной обработки с помощью измерительного устройства, оснащенного вихретоковым преобразователем.

3. Разработан метод повышения точностной надежности многошпиндельных токарных автоматов путем оснащения последних системой активного контроля, содержащей измерительную схему с двумя вихретоковыми преобразователями.

Научные результаты, выводы и рекомендации получены на основе современных методов исследования. Их достоверность подтверждена успешной апробацией в лабораторных условиях. Полученные соотношения для расчета составляющих погрешности, позволяют оценить точность контроля изделий бесконтактными методами.

Практическая ценность работы состоит в том, что создана система активного контроля, которая обеспечивает контроль размеров в процессе обработки изделия. На основе полученных научных результатов разработан и изготовлен опытный образец устройства активного контроля, который прошел производственные испытания на Киевском заводе станков-автоматов им. А.М.Горького.

Результаты работы используются в СКБМА г.Киев при выполнении работ по проектированию систем активного контроля для многошпиндельных токарных автоматов. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 78 тыс. рублей. Результаты работы рекомендуется внедрить в ПО завод им. Фрунзе и других предприятиях отрасли.

Методы исследования. Расчет погрешностей контроля изделий с помощью бесконтактных вихретоковых преобразователей проводился на основе интегральной оценки расположения контролируемой поверхности. В данной работе используется аппарат математического анализа, теории вероятностей, математической статистики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на разработанных автором стендах и в производственных условиях на шестिशпиндельном токарном автомате мод. 1Б265П-6к.

Апробация. Основные результаты работы доложены и обсуждены на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов приборостроительной промышленности, состоявшейся в МАТИ (1983г.), на всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы метрологического обеспечения научных исследований и учебного процесса в ВУЗах (Ленинград 1984г.), на научном семинаре кафедры АМ-4 МЭТУ им. И.Э.Баумана (1985г.).

Цитирования. По материалам диссертации опубликовано 3 печатные работы.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 84 страницах машинописного текста, иллюстрируется 58 рисунками, содержит 10 таблиц, состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка литературы (146 наименований), приложения на 7 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, изложено состояние вопроса, определены цели и задачи работы, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится анализ существующих методов активного контроля на автоматических токарных станках, а также технологических процессов и оборудования применительно к условиям активного контроля. В настоящее время созданы системы активного контроля для автоматической токарной обработки, использующие в качестве средств измерения пневмоэлектроконтактные, пневматические бесконтактные и лазерные фокусирующие преобразователи. Однако, использование этих методов не удовлетворяет в полной мере критериям построения систем активного контроля для автоматических токарных станков. Ряд работ, проведенных в Омском политехническом институте, Куйбышевском авиационном институте и других, показали преимущества метода вихревых токов перед другими бесконтактными методами контроля размеров. Анализ литературных данных о результатах исследований и разработки современных средств актив-

ного контроля при токарной обработке, а также бесконтактного метода вихревых токов для решения задач размерного контроля и выяснения особенностей активного контроля на токарных станках позволяет сделать следующие выводы:

1. Создание надежного, точного и быстродействующего измерителя для контроля размерных отклонений детали в рабочей зоне токарных станков остается в настоящее время актуальной задачей.
2. В наиболее полной мере критериям построения систем активного контроля при токарной обработке отвечает метод вихревых токов.
3. Разработка измерительных схем с вихретоковыми преобразователями, использующих частотный метод получения измерительной информации, позволит широко внедрить элементы вычислительной техники, что приведет к повышению надежности устройств активного контроля.

Второй глава посвящена вопросам теоретического исследования точности измерительной головки устройства активного контроля, оснащенного вихретоковым преобразователем. Проведен анализ факторов, влияющих на точность измерительной головки, который показал, что погрешность положения должна быть устранена путем разработки теоретических оценок и подтверждением полученных результатов экспериментальными исследованиями. При построении измерительной схемы устройства активного контроля был применен частотный метод получения измерительной информации, который позволяет устранить ряд факторов, влияющих на точность измерительной головки, оснащенной вихретоковым преобразователем. Внедрение цифровой вычислительной и управляющей техники, обладающей высокой точностью, быстродействием и надежностью, в автоматических системах управления точностью обработки, предъявляет повышенные требования к метрологическим характеристикам первичного преобразователя и помехоустойчивости передачи информации. Проводится оценка чувствитель-

ности измерительного вихретокового преобразователя, которая показала, что электрическое сопротивление вихретокового преобразователя является линейной функцией площади зазора и нелинейной (гиперболической) функцией длины зазора между рабочей поверхностью преобразователя и контролируемой поверхностью. Для определения наилучшего взаимного расположения преобразователя и контролируемой детали приведен расчет магнитного поля вихретокового преобразователя. Приведенные зависимости позволяют сделать вывод о том, что характер изменения составляющей H_z , совпадающей с осью катушки вихретокового преобразователя, наиболее приемлем для контроля параметров детали. Таким образом ось катушки вихретокового преобразователя должна быть перпендикулярна оси контролируемой детали и лежать в плоскости, проходящей через ось детали. При контроле деталей типа тел вращения вихретоковым преобразователем производится оценка не расстояния h от поверхности детали до воспринимающей поверхности преобразователя, а расстояния $h_{ср.}$, являющегося в первом приближении функцией площади S_δ . Смещение преобразователя из первоначального положения (см. рис. I) может вызвать два вида погрешностей: погрешность Δ_δ , вызванную приращением размера контролируемой детали вследствие смещения первоначальной линии измерения параллельно оси детали и погрешность Δ_γ , возникающую из-за углового несовпадения действительной линии измерения с первоначальной. Погрешность Δ_h , вызванная смещением преобразователя вдоль линии измерения, является функцией параметров выбранного метода измерения и может быть определена при помощи статической характеристики преобразования. Оценка погрешности Δ_h проводится

в третьей главе при исследовании точности измерительной головки, построенной по принципу двухточечной скобы.

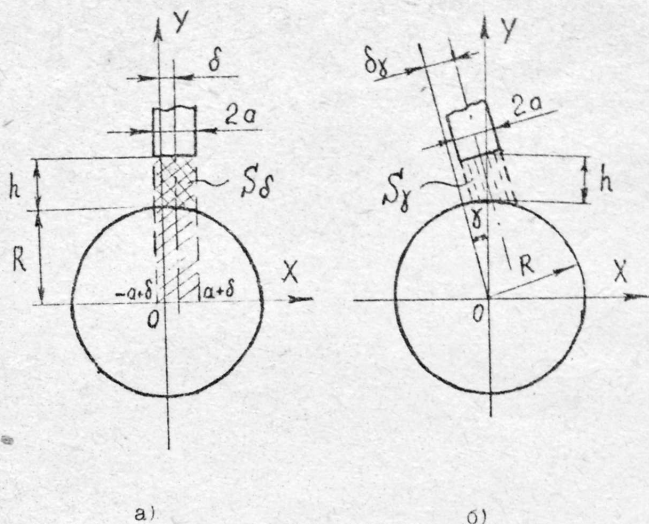


Рис. 1. Погрешность измерения детали:

- а) при смещении оси преобразователя на величину δ ;
 б) при повороте оси преобразователя на угол γ .

Расстояние h_{cp} от воспринимающей поверхности преобразователя до поверхности контролируемой детали определяется частным от деления площади S_δ на диаметр преобразователя, равный $2a$. Погрешность измерения $\Delta\delta$ можно представить как разность расстояний h_{cp} до и после смещения оси преобразователя относительно первоначальной оси измерения. Случай поворота оси преобразователя относительно первоначальной оси измерения можно свести к случаю параллельного смещения, если заменить δ на δ_γ . Смещение δ_γ равно произведению суммы величин R и h на синус угла γ .

Погрешность измерения расстояния от преобразователя до

поверхности детали при смещении оси преобразователя на величину δ , будет равна:

$$\Delta\delta = \frac{\delta^2}{4a} \arcsin \cos [K - \delta + \sqrt{1 - 2(K - \delta) + (K - \delta)^2}] + R \delta E(K), \quad (1)$$

где $E(K)$ — эллиптический интеграл второго рода; $\delta = \frac{a^2}{R^2}$; $K = \frac{\delta^2}{R^2}$.

Взяв фиксированные значения a , R и подставляя различные значения δ , можно получить расчетную зависимость $\Delta\delta = f(\delta)$.

Рассмотрены также случаи контроля бесконтактными вихретоковыми преобразователями внутренних и наружных характерных поверхностей деталей типа тел вращения.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию точности измерительной головки устройства активного контроля. Приводится описание принципиальной схемы измерительного устройства. Устройство полностью построено на цифровых интегральных микросхемах с применением типовых узлов вычислительной техники, что позволило значительно упростить схемные решения, повысить надежность работы, увеличить точность измерения. Приводятся результаты экспериментальных исследований вихретоковых преобразователей и измерительной головки, использующей в качестве чувствительного элемента этот преобразователь. При определении численных значений электрических параметров и выходных характеристик вихретокового преобразователя основное внимание было сосредоточено на обеспечении высокой достоверности и надежности получаемых результатов. С этой целью исследование характеристик преобразователя осуществлялось на экспериментальной установке в различное время и многократно для уменьшения случайной составляющей погрешности измерения. Для определения рабочего диапазона вихретокового преобразователя, были проведены экспериментальные исследования зависимости величины индуктивного сопротивления катушки преобразователя от расстояния до токопроводящей поверхности, выполненной из стали, латуни и сплава Д16Т. Анализ полученных зависимостей показал, что исследуемые вихре-

токовые преобразователи наиболее целесообразно применять при контроле деталей, располагающихся на расстоянии $0,2 \pm 0,6$ мм до токопроводящей поверхности. Получены частотные характеристики автогенератора, в колебательный контур которого включен преобразователь, и определена чувствительность измерительной головки при контроле деталей из ферромагнитных и неферромагнитных материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению погрешности положения измерительной головки, оснащенной вихретоковым преобразователем (см. рис.2). Сравнительный анализ кривых показал, что при значительном смещении вихретокового преобразователя от первоначальной оси измерения наблюдается расхождение экспериментальных и расчетных кривых. Это расхождение объясняется тем, что при значительном смещении преобразователя измерительное устройство работает в области с большой степенью нелинейности статической характеристики преобразования. Максимальное отклонение расчетных зависимостей от экспериментальных приходится на край линейного участка статической характеристики преобразования и не превышает 10%. Проведен анализ точности измерительной головки, построенной по принципу двухточечной скобы. Определен закон суммарного перемещения воспринимающих элементов в зависимости от изменения положения детали. Статическую характеристику преобразования одного воспринимающего элемента можно представить в виде:

$$D(h) = 1,2 \left(h - \frac{h^3}{3} \right), \quad (2)$$

где h — расстояние от воспринимающей поверхности преобразователя до контролируемой поверхности;

D — показания измерительного устройства.

Суммарная статическая характеристика преобразования двухточечной скобы с вихретоковыми преобразователями может быть представлена в виде:

$$D_{\Sigma}(h) = 9,55 - 0,96 h^2. \quad (3)$$

Расчетные и экспериментальные кривые, характеризующие по-

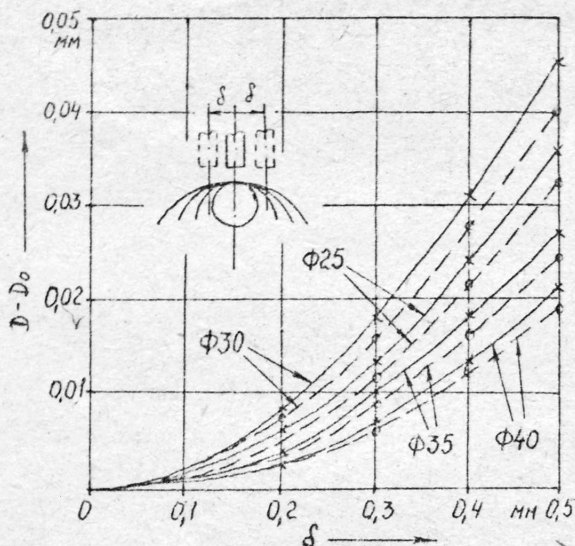


Рис. 2. Погрешность положения измерительной головки

$\times$ — расчетная; o — экспериментальная.

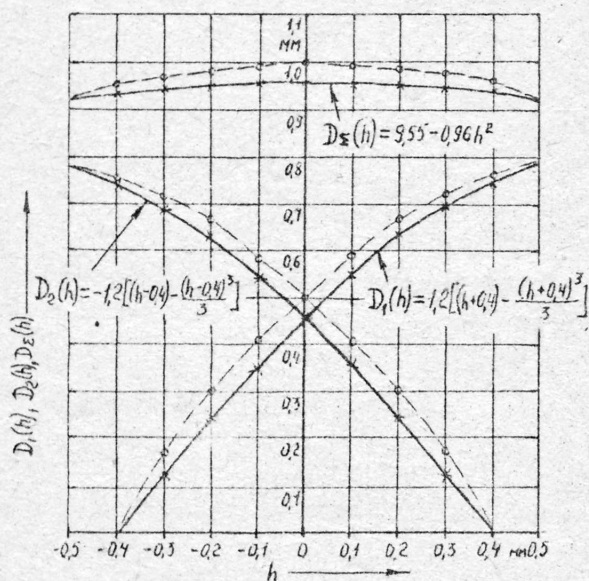


Рис. 3. Погрешность двухточечной скобы с вихретоковыми преобразователями.

грешность измерительной головки, построенной по принципу двухточечной скобы, приведены на рис.3. Суммарная характеристика преобразования скобы может быть представлена параболической функцией (3) с погрешностью не превышающей 5%.

В четвертой главе проанализированы факторы, влияющие на точность автоматической токарной обработки деталей. Увеличение производительности, выпускаемых в настоящее время многшпиндельных токарных автоматов, приводит к интенсивному износу узлов, определяющих точность обработки деталей. Значительное влияние на точность автоматов оказывают также тепловые деформации. Применение устройств активного контроля позволит скомпенсировать потерю точности многшпиндельных токарных автоматов в процессе их интенсивной эксплуатации. Разработана методика определения технологических погрешностей на операциях автоматической токарной обработки устройством активного контроля, оснащенным вихретоковыми преобразователями. Особенность методики заключается в том, что составляющие погрешности определяются самим устройством активного контроля, а их значения учитываются при коррекции уровня настройки. Приведены данные экспериментальных исследований по определению таких технологических погрешностей, как температурная деформация деталей, размерный износ инструмента, погрешность позиционирования шпинделей относительно режущего инструмента в радиальном и тангенциальном направлениях. Проведены экспериментальные исследования по определению времени запаздывания измерительной схемы устройства активного контроля. Время запаздывания измерительной схемы является частью общего времени срабатывания системы активного контроля, которое характеризует перебег кромки режущего инструмента за уровень настройки. Приведена схема экспериментальной установки по определению перебега кромки режущего инструмента за начальный уровень настройки, которая в качестве измерителя содержит устройство активного контроля с вихретоковым преобразователем.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию точ-

ности системы активного контроля автоматической токарной обработки деталей. Приводится описание системы активного контроля для врезного точения на шестиступенчатом токарном автомате мод. 1Б265П-6к. Для исключения температурных погрешностей и погрешностей позиционирования выбран бесконтактный, дифференциальный метод измерения с применением двух вихретоковых преобразователей, один из которых находится на станине автомата, а второй — связан с режущим инструментом и перемещается вместе с ним. Разработанная система активного контроля обеспечивает контроль размеров в процессе обработки деталей с поперечного суппорта и отключение подачи при достижении заданного размера. Проведенные исследования показали, что для повышения точности обработки деталей необходимо уменьшать время срабатывания исполнительного механизма от 0,1 до 0,01 с. Приведенный расчет коэффициента увеличения точности показал, что применение разработанной системы активного контроля обеспечивает повышение точности обработки деталей в два раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Метод вихревых токов в наиболее полной мере отвечает критериям построения систем активного контроля при автоматической токарной обработке и создает предпосылки для внедрения надежного, точного и быстродействующего измерителя для контроля размерных отклонений детали в рабочей зоне токарных станков.

2. Автоматические системы управления точностью обработки, содержащие в качестве чувствительного элемента вихретоковый преобразователь, необходимо строить по принципу частотного метода получения измерительной информации, что позволит успешно использовать цифровую вычислительную и управляющую технику, обладающую высокой точностью, быстродействием и надежностью.

3. Оценка погрешности контроля деталей типа тел вращения бесконтактным методом вихревых токов должна производиться путем расчета среднего расстояния, являющегося в первом приближении функцией площади, расположенной в плоскости контролируемого сечения между воспринимающей поверхностью преобразователя и контролируемой деталью.

4. Погрешность измерительной головки устройства активного контроля, связанная с погрешностью положения вихретокового преобразователя относительно обрабатываемой детали, может быть представлена параболической зависимостью с погрешностью, не превышающей 10% на краях линейного участка статической характеристики преобразования.

5. Для оценки точности двухточечной измерительной скобы с вихретоковыми преобразователями, следует рекомендовать суммарную характеристику преобразования, которая представляется параболической зависимостью с погрешностью, не превышающей 5% при расположении преобразователей в центре линейного участка статической характеристики преобразования.

6. Определение составляющих погрешности обработки деталей на многошпиндельных токарных автоматах следует осуществлять самим устройством активного контроля, располагая измерительную головку на линейном участке статической характеристики преобразования.

7. В качестве наиболее перспективного из созданных к настоящему времени устройств активного контроля для многошпиндельных токарных автоматов следует рекомендовать разработанное устройство с двумя вихретоковыми преобразователями, один из которых жестко связан с режущим инструментом, а второй забазирован на станине автомата. Применение такого устройства позволит значительно снизить влияние на результаты контроля таких факторов, как температурные деформации, мелкодисперсную стружку, растворенную в охлаждающей жидкости, радиальную и тангенциальную составляющие погрешности позиционирования шпинделя.

8. Оснащение многошпиндельного токарного автомата разработанной системой активного контроля, позволит повысить точность обработки деталей в два раза.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Воронцов Л.Н., Габкин В.Н., Бакотин С.Н. Исследование метрологических характеристик устройств активного контроля, оснащенных вихретоковыми преобразователями. //Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Л., 1984. - С. 149 - 151.

2. Габкин В.Н., Гребенюк Е.И., Наумов Ю.Н. Применение вихревых датчиков в устройствах активного контроля размеров при токарной обработке металлов //Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1983. - С. 27.

3. Габкин В.Н., Гребенюк Е.И., Наумов Ю.Н. Разработка и исследование датчика многопараметрового контроля качества малогабаритных отверстий деталей приборов //Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1983. - С. 27.

Габкин

