

11492202

Государственный комитет СССР по народному образованию
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, Ордена Октябрьской Революции
и Ордена Трудового Красного Знамени Высшее техническое
училище им. Н.Э.БАУМАНА

НА ДОМ
НЕ ВДАЕТСЯ

На правах рукописи

УДК: 621.924.046

ПОПОВ Виктор Александрович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ
МАШИН ПРИ БЕСЦЕНТРОВОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ШЛИ-
ФОВАНИИ НА ОПОРАХ

Специальность 05.02.03 - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1988

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Высшем Техническом Училище имени Н.Э.Баумана

- Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Дальский А.М.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Чернянский П.М.
- кандидат технических наук,
доцент Лукьянец О.С.
- Ведущее предприятие - ИЭСПИЗ, г. Москва

Защита состоится "16" января 1989г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15
в Московском Высшем Техническом Училище им. Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверен-
ный печатью, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан "28" ноября 1988г.

Ученый секретарь совета,
кандидат технических наук,
доцент

Р.М. Мещеряков Мещеряков Р.К.

Л - 46551 Подп. к печ. 18.11.88. Зак. 1230 Объем I п.л.
Тир. 100 экз. Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана

Актуальность работы. "Основные направления и задачи экономического и социального развития СССР на период до 1990 года" определяют ускорение развития машиностроения, повышение его технического уровня, считая делом первостепенной важности коренное повышение качества машиностроительной продукции, как важнейшего фактора интенсификации экономики.

Для современного машиностроительного производства высокоточных деталей типа тел вращения (кольца подшипников, валы, втулки, гильзы и т.п.) особое значение в связи с непрерывным повышением требований к точности имеет задача обеспечения высокой точности формы и шероховатости обрабатываемых поверхностей при минимальных затратах. Точность формы — один из важнейших показателей качества деталей машин, существенно влияющий на все критерии работоспособности, а следовательно, и на выходные показатели машин: быстроходность, энергоемкость, надежность и долговечность. Точность технологических машин в решающей степени определяется точностью деталей.

Одним из важнейших показателей точности формы является отклонение от круглости. Оно оказывает существенное влияние на такие эксплуатационные показатели подвижных деталей машин типа тел вращения как виброактивность, долговечность. Вместе с тем, обеспечение высокой точности формы и малой шероховатости вызывает необходимость ужесточения требований к технологическому процессу, в котором особое место занимают операции шлифования, имеющие наибольший удельный вес в механической обработке высокоточных деталей машин и в максимальной степени ответственные за достижение требуемой точности формы и шероховатости.

Среди различных видов шлифовальной обработки в современном машиностроении широко применяется бесцентровое круглое высокоскоростное шлифование, отличающееся большой точностью и производительностью.

При внедрении новых процессов бесцентрового шлифования на опорах возник ряд сложных технических проблем, связанных с проектированием и изготовлением высокоскоростных шлифовальных станков, их надежной эксплуатацией и наладкой, обеспечивающей достижение заданных показателей качества обрабатываемых деталей машин

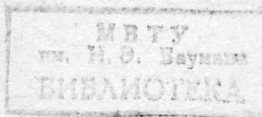
НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1492202

Попов В.А. Технологическое

I



Ш 492202

и производительности.

Новые процессы бесцентрового высокоскоростного шлифования с базированием детали на жестких опорах, как более сложные по кинематике и формообразованию, выдвинули перед технологической наукой ряд новых задач по определению кинематических зависимостей процесса, его наладочных параметров и закономерностей формообразования поверхностей деталей при использовании высокооборотных электрошпиндельных узлов (ВЗУ), обеспечивающих достижение наиболее высокой точности и производительности.

Для решения новых проблем необходимы новые исследования. Поэтому исследования технологических аспектов процесса бесцентрового высокоскоростного шлифования на опорах, направленные на обеспечение повышения качества высокоточных деталей машин типа тел вращения является актуальной задачей.

Целью работ является обеспечение заданного качества обрабатываемых деталей по геометрическим параметрам и параметрам качества поверхностного слоя при бесцентровом высокоскоростном шлифовании на опорах.

Методы исследований. В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. Для теоретических исследований кинематических закономерностей движения детали на опорах и динамики движения вала ротора ВЗУ на подшипниках качения использовались методы теоретической механики. Окончательные результаты теоретических исследований были получены при машинной реализации решения найденных аналитических зависимостей на ЭВМ ЕС-1055 методами элементарной математики. Экспериментальные исследования проводились с помощью оригинального механического моделирующего устройства, стандартной виброизмерительной и анализирующей аппаратуры, на станках ЛЗ-239М, 3225П в заводских и лабораторных условиях с использованием стандартных шуповых измерительных средств.

Научная новизна работы заключается в: 1) установлении закономерностей кинематики движения геометрического центра детали типа тела вращения на неподвижных опорах с различным радиусом кривизны и определении особенностей влияния его на формообразование обрабатываемых поверхностей при бесцентровом шлифовании; 2) установлении закономерностей обеспечения качества обрабатываемых де-

талей посредством изменения уровня выходных параметров ВЗУ в процессе шлифования.

Практическая ценность. Использование полученной методики по минимизации отклонений формы и шероховатости при бесцентровом высокоскоростном шлифовании на жестких опорах высокоточных деталей позволяет повысить качество обрабатываемых деталей типа тел вращения по геометрическим параметрам и параметрам качества поверхностного слоя.

Реализация результатов. Методика по минимизации отклонений формы и шероховатости шлифованных поверхностей с использованием нового способа шлифования и новой конструкции ВЗУ внедрены на Московском заводе скоростных прецизионных электроприводов. Ожидаемый годовой экономический эффект составит 12000 рублей.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-технической конференции "Современные проблемы технологии машиностроения" - г.Москва, 1985 г.; на научно-технической конференции "Совершенствование технологий и повышения качества сборки станков и металлорежущего оборудования" - г.Одесса, 1988 г.; на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения, режущий инструмент" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1983, 1984, 1985, 1986 гг. Полностью работа доложена на заседании кафедры в 1988 году.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе 3 авторских свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы 93 наименований, приложений; содержит 100 страниц машинописного текста, 83 рисунка, 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе содержится анализ проблем обеспечения заданного качества деталей машин (формообразования) при бесцентровом шлифовании на опорах. Параметрами качества деталей типа тел вращения являются отклонение от круглости как геометрический показатель и шероховатость, как показатель качества поверхностного слоя. Обеспечение заданного уровня указанных показате-

лей качества детали и сохранение их в процессе эксплуатации — одна из основных задач технологического процесса механической обработки детали. Установлено, что на образование шлифованной поверхности вращения и на формообразование заданных параметров качества деталей машин при бесцентровом высокоскоростном шлифовании на опорах оказывает влияние большое количество факторов. Первая группа факторов связана с движением детали: условие трения детали об опоры, конструкция опор, отклонение формы базовых поверхностей детали, исходные отклонения формы обрабатываемой поверхности, схема базирования детали и т.д. Вторая группа факторов связана с движением режущего инструмента: вынужденные колебания режущего инструмента, вызванные опорами, неуравновешенностью вращающихся частей вала с инструментом; автоколебания; параметрические колебания вала и т.д. Третья группа факторов связана с зоной резания: тепловые деформации, зернистость шлифовального круга, соотношение диаметров детали и режущего инструмента, пластические деформации и т.д.

В результате анализа образования шлифованной поверхности вращения и формирования заданных параметров качества деталей выявлено, что наиболее существенными факторами, которые влияют на отклонение от круглости и шероховатость обрабатываемой поверхности при бесцентровом высокоскоростном шлифовании на опорах, являются возмущающие воздействия, вызываемые высокооборотным электрошпиндельным узлом (ВЗУ) инструмента и отклонениями формы базовой, обрабатываемой поверхностями детали.

Определено, что для достижения высокой точности формы и производительности технологического процесса бесцентрового шлифования на опорах необходимо определить кинематические закономерности процесса.

Отмечается большой вклад советских ученых в области шлифования, формообразования шлифованной поверхности вращения: Масло-ва Е.Н., Романова В.Л., Гебель И.Д., Альперович Т.А., Филькина В.П., Колтунова И.В., Дяндона Ю.Н. и др.

Выполнен сравнительный анализ схем бесцентрового шлифования на опорах, в результате которого установлено преимущество бесцентрового шлифования на жестких неподвижных опорах перед другими схемами шлифования.

Проведен сравнительный анализ ВЗУ с различным типом опор,

в результате которого установлено, что шпиндели на опорах качения получили наиболее широкое распространение благодаря простоте обслуживания и ремонта, удовлетворительных эксплуатационных показателей по точности формы обрабатываемой поверхности и производительности.

Установлено, что для обеспечения заданных параметров качества обрабатываемой детали при высокоскоростном бесцентровом шлифовании на опорах с применением ВСУ на опорах качения, необходимо повысить динамическую жесткость, виброустойчивость опор качения и всей системы вал - подшипники - оправка - шлифовальный круг.

Рассмотрены метрологические проблемы, методы оценки и контроля параметров качества деталей.

На основании проведенного анализа для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) теоретически и экспериментально исследовать закономерности кинематики движения детали на неподвижных опорах при бесцентровом шлифовании и установить влияние его на формообразование;
- 2) теоретически и экспериментально исследовать форму и степень влияния высокооборотных электрошпиндельных узлов шлифовального круга на качество обрабатываемых деталей при бесцентровом шлифовании на опорах;
- 3) разработать технологические и конструкторские мероприятия для обеспечения качества высокоточных деталей машин и механизмов при высокоскоростном бесцентровом шлифовании на опорах.

Вторая глава посвящена определению закономерностей движения детали на неподвижных опорах с различным радиусом кривизны и установлению влияния его на формообразование обрабатываемых поверхностей.

Установлено, что наиболее существенное влияние на нежелательные дополнительные движения детали при бесцентровом шлифовании на опорах оказывают кинематические особенности, которые представляют собой геометрические условия контактирования детали с опорами. Эти условия включают в себя: угол разведения опор, расположение опор относительно направления подачи режущего инструмента, величину и знак радиуса кривизны опор, спектральное состояние профиля базы детали.

Рассмотрено движение детали типа тела вращения при базировании на плоских неподвижных жестких опорах. Профиль базы дета-

ли, контактирующей с опорами, является моногармоническим, т.е. содержит только одну гармонику спектрального разложения.

При исследовании указанного движения с целью упрощения математических выражений был использован ряд допущений, не искажающих реальных явлений:

- номинальная поверхность базы детали является поверхностью вращения;
 - упругая податливость материалов детали и опор не учитывается ввиду ее малости;
 - поверхность опор не имеет отклонений формы;
 - внешний реальный профиль Γ сечения детали (рис. I) контактирует с каждой из двух поверхностей опор лишь в одной точке, что возможно, если профиль является выпуклым и мала ширина зоны контакта детали с опорами. Тем самым ниже не рассматриваются случаи поли- и моногармонического профиля с высшими гармониками отклонения формы;
 - угол поворота λ реального профиля Γ в плоскости A сечения детали считается заданной функцией времени t , $\lambda = \lambda(t)$.
- Уравнение кривой Γ профиля базы (рис. I), полученной в результате сечения детали плоскостью, перпендикулярной номинальной поверхности детали, в полярной системе координат имеет вид:

$$\rho = f(\varphi) = R + \Delta(\varphi) = R + \sum_{n=2}^{\infty} A_n \cdot \sin(n\varphi + \alpha_n) \quad (I)$$

где R - радиус средней окружности (окружности наименьших квадратов);

$n, A_n \geq 0, \alpha_n$ - номер, амплитуда и начальная фаза n -ой гармоники спектрального разложения профиля базы.

Для определения закономерностей движения всей детали необходимо и достаточно знать закономерности движения т.С (x_c, y_c) - геометрического центра сечения детали.

Для расчета траектории т.С были составлены уравнения, отражающие условия контактирования профиля Γ детали с плоскостями опор Π_1 и Π_2 . Первое условие - условие равенства координат точек касания кривой профиля Γ с прямыми P_i ($i = 1, 2$); второе условие - условие коллинеарности касательных к кривой профиля Γ и прямой в точке касания K_i ($i = 1, 2$). После упрощения уравнения движения т.С для общего случая состояния профиля базы детали имеют вид:

$$\begin{cases} x = -\varepsilon \frac{\delta'(\varphi_1) + \delta'(\varphi_2)}{2 \cos \beta} \\ y = \varepsilon \frac{\delta'(\varphi_1) - \delta'(\varphi_2)}{2 \sin \beta} \end{cases} \quad (2)$$

где $\varepsilon = \Delta_m / R$, $\Delta_m = \max |\Delta(\varphi)|$, $\delta'(\varphi_i) = \Delta(\varphi_i) / \Delta_m$
 $\beta = \frac{\gamma}{2} - \beta$ — половинный угол разведения опор.

Для моногармонического профиля базы уравнения (2) имеют вид:

$$\begin{cases} X_c = A_n \frac{\cos(n\beta) \cdot \sin[n \cdot \lambda(t)]}{\cos \beta} \\ Y_c = -A_n \frac{\sin(n\beta) \cdot \cos[n \cdot \lambda(t)]}{\sin \beta} \end{cases} \quad (3)$$

На рисунках табл. графически представлены траектории движения т.С относительно неподвижной системы координат ОХУ, связанной с опорами, построенные на основании уравнений (3), для различных случаев сочетаний n, γ .

Для полигармонического профиля базы детали уравнения (2) имеют вид:

$$\begin{cases} X_c = -A_n \frac{\sum \sin(n\varphi_i + \lambda_n) + \sum \sin(n\varphi_2 + \lambda_n)}{2 \cos \beta} \\ Y_c = A_n \frac{\sum \sin(n\varphi_i + \lambda_n) - \sum \sin(n\varphi_2 + \lambda_n)}{2 \sin \beta} \end{cases} \quad (4)$$

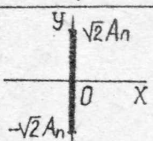
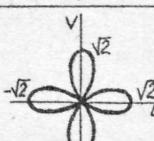
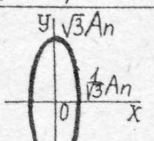
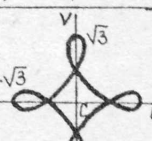
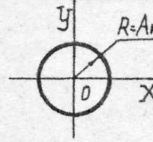
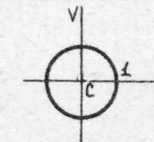
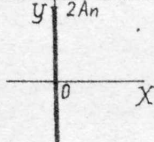
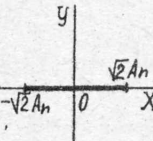
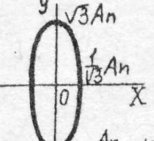
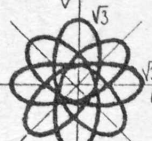
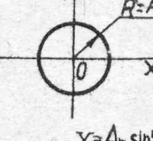
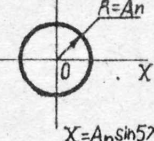
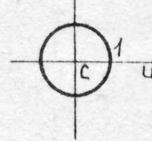
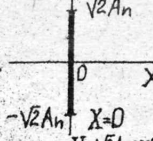
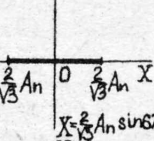
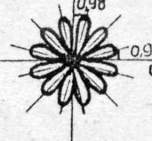
когда амплитуды составляющих гармоник A_n равны между собой.

На рис. 2 приведены примеры траекторий рассматриваемого движения т.С за один оборот детали соответственно уравнениям (4).

Установлено, что движение детали типа тела вращения при базировании на выпуклых опорах с постоянным радиусом кривизны подчиняется установленным закономерностям и описывается уравнениями (2).

Установлено, что движение детали типа тела вращения при базировании на вогнутых опорах с постоянным радиусом кривизны описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} x_c(\cos \beta_1 + \delta \cdot \cos \beta) + y_c(\sin \beta_1 + \delta \cdot \sin \beta) &= \delta [r - (1 + \varepsilon_1) \cos \beta_1] - \varepsilon_1 \\ x_c(\cos \beta_2 + \delta \cdot \cos \beta) + y_c(\sin \beta_2 + \delta \cdot \sin \beta) &= \delta [r - (1 + \varepsilon_2) \cos \beta_2] - \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (5)$$

n	Угол разведения опор 2γ			
	90°		120°	
	Траектория т.С	Траектория т.О	Траектория т.С	Траектория т.О
2	 $X=0$ $Y=\sqrt{2}A_n \cos 2\lambda$		 $X=\frac{A_n}{\sqrt{3}} \sin 2\lambda$ $Y=\sqrt{3}A_n \cos 2\lambda$	
3	 $X=A_n \sin 3\lambda$ $Y=A_n \cos 3\lambda$		 $X=0$ $Y=2A_n \cos 3\lambda$	
4	 $X=\sqrt{2}A_n \sin 4\lambda$		 $X=\frac{A_n}{\sqrt{3}} \sin 4\lambda$ $Y=\sqrt{3}A_n \cos 4\lambda$	
5 или 7	 $X=A_n \sin 5\lambda$ $Y=A_n \cos 5\lambda$		 $X=A_n \sin 5\lambda$ $Y=A_n \cos 5\lambda$	
6	 $X=0$ $Y=\sqrt{2}A_n \cos 6\lambda$		 $X=\frac{2}{3}A_n \sin 6\lambda$ $Y=0$	

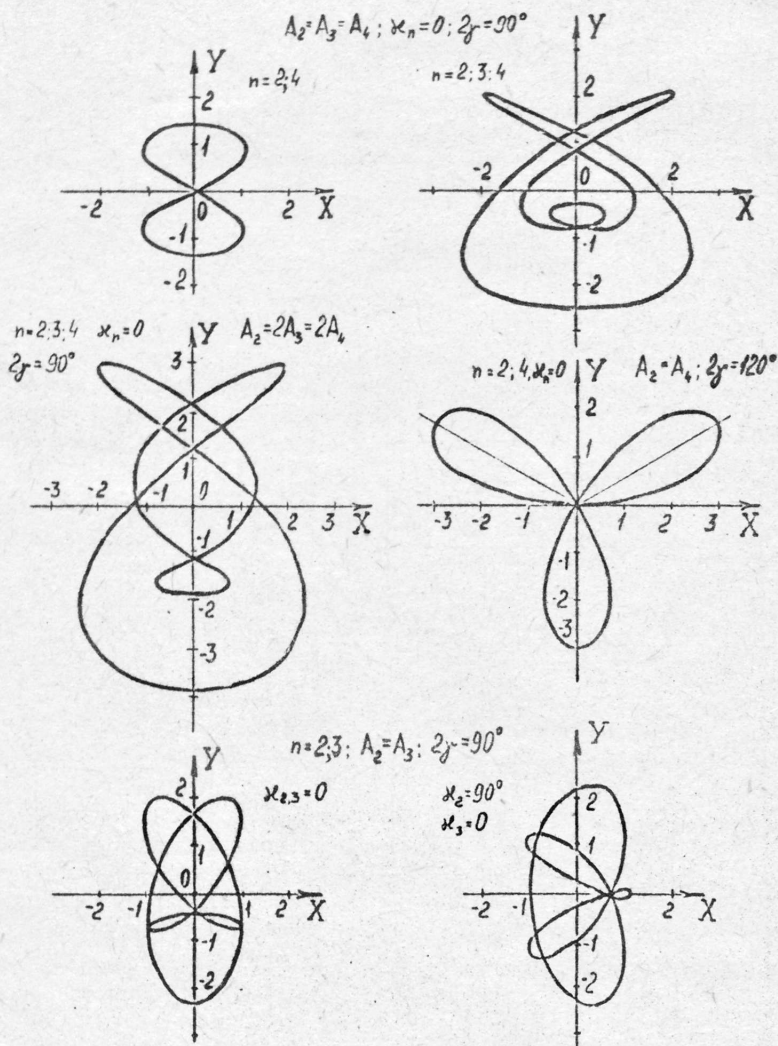


Рис.2. Траектория т.С при движении детали с полигармоническим профилем базы на плоских неподвижных опорах

$$\begin{aligned} t_{\beta}(\delta_1 + \rho_0 - \varepsilon_1') &= [y_c + (1 + \varepsilon_1) \sin \beta_1 + \delta \cdot \sin \beta] / [x_c + (1 + \varepsilon_1) \cos \beta_1 + \delta \cos \beta] \\ t_{\beta}(\delta_2 + \rho_0 - \varepsilon_2') &= [y_c - (1 + \varepsilon_2) \sin \beta_2 + \delta \sin \beta] / [x_c + (1 + \varepsilon_2) \cos \beta_2 + \delta \cos \beta] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Введенный параметр } e &= \frac{E}{\Delta_m} = \frac{f}{\varepsilon} \sqrt{x_c^2 + y_c^2} = \sqrt{\varepsilon_1'^2 + \varepsilon_2'^2 - 2\varepsilon_1 \varepsilon_2 \cos 2\beta} / \varepsilon \sin 2\beta = \\ &= \frac{2\Delta_m}{\sin 2\beta} = \sqrt{\sin^2 \beta \cdot \cos^2(\eta\beta) \sin^2[\eta \cdot \lambda(t)] + \cos^2 \beta \cdot \sin^2(\eta\beta) \cdot \cos^2[\eta \cdot \lambda(t)]} \quad (6) \end{aligned}$$

и решения системы уравнений (2) позволяет получить информацию о траектории т.О, что является необходимым для анализа нового профиля при бесцентровом шлифовании на плоских опорах.

Пусть u_0, v_0 — безразмерные координаты т.О в подвижной системе координат, ось C_u совпадает с лучом $\overline{CP}$ (рис. I).

Тогда уравнение:

$$\begin{cases} u_0 = -[u \cdot \cos \lambda(t) + v \cdot \sin \lambda(t)] \\ v_0 = -[-u \cdot \sin \lambda(t) + v \cdot \cos \lambda(t)] \end{cases} \quad (7)$$

представляют собой уравнения движения т.О относительно профиля Г. Эта траектория представляет собой след на поверхности детали (табл.) от воздействия точечного режущего инструмента, расположенного в т.О. При расположении режущего инструмента в произвольной точке II и координатами X_{II}, Y_{II} ее траектория относительно подвижной системы координат C_{uv} имеет вид

$$\begin{cases} U_{II} = X_{II} \cdot \cos \lambda + Y_{II} \cdot \sin \lambda - [u \cos \lambda(t) + v \sin \lambda(t)] \cdot R \\ V_{II} = -X_{II} \cdot \sin \lambda + Y_{II} \cdot \cos \lambda - [-u \sin \lambda(t) + v \cos \lambda(t)] \cdot R \end{cases} \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что в общем случае расположения т. II ее траектория движения представляет собой результат наложения двух движений — движения т. II по окружности и движения относительно подвижной системы координат C_{uv} по траектории, характер которой отражен на рисунках табл.

В третьей главе приведено теоретическое исследование влияния ВЗУ инструмента на формообразование обрабатываемых поверхностей вращения.

Выявлено, что рост величины жесткости технологической системы, куда составным элементом входит ВЗУ, наиболее эффективно позволяет исправлять исходные отклонения от круглости обрабатываемой поверхности. Поэтому повышение жесткости шпиндельного узла, как наиболее податливого звена технологической системы, позволяет не только повысить точность обработки, но и производительность процесса шлифования.

Установлено, что существенно повышать жесткость шпиндельно-

го узла возможно, повышая жесткость шпиндельных опор его вала. Это позволяет также повысить качество поверхностного слоя обрабатываемой детали по параметру шероховатости R_a за счет уменьшения амплитуды колебаний вала, вызванных неуравновешенностью вращающихся частей узла.

Установлено, что повышать жесткость шпиндельных опор, не изменяя их конструкции, возможно за счет увеличения силы предварительного натяга в опорах.

Анализ аналитических зависимостей движения вала ротора электрошпинделя показал, что изменяя жесткость опор вала ВЗУ посредством силы предварительного натяга, можно существенно влиять на выходные параметры качества ВЗУ, которые определяют точность обработки. Основным выходным параметром качества ВЗУ является радиальное биение его вала ротора в статике и динамике. Анализ решения уравнения движения вала ВЗУ с изменяющимся натягом показал, что зависимость величины радиального биения вала под действием неуравновешенности от жесткости опор близка к обратно пропорциональной.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований. Механическое моделирование процесса формообразования поверхностей при бесцентровом шлифовании на опорах дало полное качественное совпадение получаемых теоретически и экспериментально результатов для случая моногармонического профиля базы. Количественно же получаемые различным путем результаты не отличаются друг от друга более чем на 5 %, что подтверждает не только правильность теоретических выводов, но и возможность практического применения полученных аналитических зависимостей.

Получена зависимость влияния на форму вновь образуемого профиля величины расстояния между зоной резания и геометрическим центром детали. Полученные результаты могут быть использованы для обеспечения заданного профиля обрабатываемых поверхностей.

Выявлено, что с точки зрения формы вновь образуемого профиля плоские неподвижные жесткие опоры предпочтительнее перед другими видами опор.

В ходе экспериментальных исследований качества деталей при оптимизации геометрических условий шлифования с использованием сконструированных приспособлений установлено, что измене-

нием угла разведения опор γ , рассчитанным по приведенной формуле, и выбором направления подачи режущего инструмента относительно опор можно добиться исключения эффекта передачи отклонения формы базы на обрабатываемую поверхность при моногармоническом профиле базы. В случае полигармонического профиля базы оптимизация угла γ и направления подачи сведет к минимуму указанный эффект передачи. Так при обработке высокоточных валов оптимизация позволяла повысить точность формы обрабатываемой поверхности в два раза.

Для экспериментальных исследований динамики ВЗУ с комбинированным регулируемым натягом была создана конструкция прецизионного внутришлифовального ВЗУ на базе мод. ШФ-60-90. Отличительной особенностью предлагаемой конструкции ВЗУ является возможность работы узла в условиях упругого и регулируемого жесткого натяга в шарикоподшипниковых опорах узла. Указанная особенность позволяет посредством силы предварительного натяга изменять жесткость опор ВЗУ, повышая точность вращения вала со шлифовальным кругом, уменьшая общий уровень вибрации узла. Новая конструкция ВЗУ защищена тремя авторскими свидетельствами.

Использование новой конструкции ВЗУ в производственном технологическом процессе обработки отверстий позволило уменьшить на 13 % среднее значение отклонения от круглости обрабатываемой поверхности и на 33 % уменьшить шероховатость по параметру Ra .

Выявлено, что увеличение натяга в опорах качения ВЗУ, приводящее к повышению точности вращения вала ротора с инструментом, имеет предельное значение. Натяг, величина которого больше предельной, вызывает скоротечный выход из строя ВЗУ по причине "сгорания" подшипников.

Экспериментальным путем установлено, что сборочные погрешности ВЗУ в виде отклонения от соосности опор вала ротора приводят к анизотропии жесткости вала по углу и сокращению ресурса работы подшипников.

В пятой главе даны методические рекомендации по технологическому обеспечению качества обрабатываемых деталей. Они состоят из двух пунктов.

В первом, с целью обеспечения качества обрабатываемых деталей, предлагается проводить оптимизацию геометрических условий бесцентрового шлифования на опорах. Оптимизация включает в себя:

выбор рациональной формы и размеров опор в зависимости от вида, обрабатываемой детали и требований к ней по точности формы; выбор рациональной величины угла разведения опор и направления воздействия относительно опор шлифовального круга на деталь в зависимости от спектрального состояния реального профиля базы. Предлагается новый способ шлифования.

Во втором пункте обеспечение качества деталей предлагается производить за счет изменения выходных параметров ВЗУ инструмента. Для этого предлагается использовать новую конструкцию ВЗУ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования впервые определены закономерности кинематики движения геометрического центра детали типа тела вращения на неподвижных жестких опорах с различным радиусом кривизны.

2. На основе установленных закономерностей разработана методика по расчету точности движения детали типа тела вращения при базировании на двух одинаковых опорах с различным радиусом кривизны и методика по минимизации отклонений формы и шероховатости обрабатываемой поверхности при бесцентровом высокоскоростном шлифовании на опорах. Практическое использование установленных закономерностей позволило увеличить в 2 раза точность формы обрабатываемых поверхностей вращения.

3. Теоретически впервые определены аналитические зависимости, позволяющие построить траекторию движения и рассчитать положение геометрического центра детали в зависимости от угла поворота при базировании детали на неподвижных опорах с различным радиусом кривизны. Полученные аналитические зависимости универсальны. Они позволяют построить теоретическую траекторию движения детали для любого спектрального состояния профиля базы независимо от количества гармоник, соотношения между амплитудами и начальными фазами отдельных гармоник.

4. Теоретически и экспериментально доказано, что форма и размеры траектории движения геометрического центра детали в неподвижных опорах зависят от величины и соотношения гармонических составляющих профиля базовой поверхности детали, величины угла разведения опор, величины и знака радиуса кривизны опор.

5. Исследован и аналитически описан процесс формообразования профиля поперечного сечения обрабатываемой поверхности детали типа тела вращения при бесцентровом шлифовании на жестких неподвижных опорах.

6. Теоретически и экспериментально определено, что в наибольшей степени на форму вновь образуемого профиля в поперечном сечении обрабатываемой поверхности вращения оказывает влияние величина угла разведения опор и направление воздействия относительно опор шлифовального круга на деталь.

7. На основе теоретически полученных закономерностей формообразования выведены аналитические зависимости, позволяющие оптимизировать выбор направления воздействия относительно опор шлифовального круга на деталь при бесцентровом шлифовании и величину угла разведения опор при моногармоническом состоянии профиля базы. Экспериментально подтверждены теоретически полученные результаты.

8. Теоретически определено, что величина расстояния между зоной резания и геометрическим центром детали оказывает влияние на форму следа, остающегося на детали от инструмента при его точечном контакте с деталью. Полученные результаты могут быть использованы для обеспечения заданного профиля обрабатываемых поверхностей.

9. В результате исследований установлено, что при любом спектральном состоянии профиля поперечного сечения базы детали типа тела вращения, существует определенная величина угла разведения опор и определенное направление воздействия относительно опор шлифовального круга на деталь при бесцентровом шлифовании, которые обеспечивают в наименьшей степени передачу отклонений формы базовой поверхности на обрабатываемую.

10. Теоретически и экспериментально установлена форма и степень влияния ВЗУ шлифовального круга на качество обрабатываемой поверхности при бесцентровом шлифовании на опорах. От уровня выходных параметров качества ВЗУ находятся в прямой количественной и качественной зависимости как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие отклонения от круглости обработанной ВЗУ поверхности.

11. Экспериментально установлено, что наиболее значительно на формирование профиля шлифуемой поверхности вращения со стороны ВЗУ оказывает влияние жесткость его подшипниковых опор.

12. На основании проведенных исследований разработаны методические рекомендации по обеспечению качества высокоточных деталей машин и механизмов при бесцентровом шлифовании на опорах. Использование на практике предложенных рекомендаций позволило уменьшить отклонение от круглости обрабатываемых поверхностей вращения в 2,2 раза, шероховатость в 1,3 раза.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения рекомендаций составит 12000 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Русанов П.Г., Попов В.А. Анализ точности позиционирования детали при базировании на призму // Изв. вузов. Машиностроение. - 1987. - № 5. - С.134-137.
2. Попов В.А. Внутршлифовальный скоростной электрошпиндель // Технология и оборудование обработки металлов резанием: Экспресс-информация. - ВНИИТЭМР. - 1988. - Вып.2. - С. 1-3.
3. Русанов П.Г., Попов В.А. Влияние геометрических условий на формообразование при бесцентровом способе обработки высокоточных деталей машин // Тр. МВТУ. - 1988. - № 501. - С.32-40
4. Попов В.А. Влияние сборочных погрешностей на параметры качества высокоточных скоростных электрошпинделей // Совершенствование технологии и повышение качества сборки станков и металлорежущего оборудования: Тезисы доклада. Всесоюзная научно-техническая конференция. - Одесса, 1988. - С.27-28.

З.А.Михайлов

