М338306

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВ Александр Сергеевич

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ НА СТАДИИ СБОРКИ

(Специальность - 05.02.08 -
Технология машиностроения)

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

г. М о с к в а 1 9 7 9

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1338306
Васильев А.С. Технологическое

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВ Александр Сергеевич

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ НА СТАДИИ СБОРКИ

(Специальность - 05.02.08 -
Технология машиностроения)

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

1338306 ор

г. Москва

1979

Работа выполнена в Московском ордена Ленина 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 СЫРОВАТЧЕНКО П.В.

– кандидат технических наук, доцент ГОРБУНОВ Б.И.

Ведущее предприятие – Московский завод координатно-расточных станков.

Защита состоится " " _____ 1979 г.

на заседании специализированного Совета К 053.15.15 по технологии машиностроения Московского высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., 5, МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан " " _____ 1979 г.

Ученый секретарь специализированного Совета к.т.н., доцент Р.К.МЕЩЕРЯКОВ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Одной из первостепенных задач современного машиностроения является повышение технического уровня, качества и надежности выпускаемых машин и оборудования, что неразрывно связано с увеличением точности обработки и сборки. Станкостроение, в значительной степени определяющее уровень развития машиностроения в целом, должно развиваться по пути совершенствования конструкций металлорежущих станков, а также технологических процессов их изготовления. Учитывая, что десятым пятилетним планом предусмотрено увеличение до 40% доли высокоточных станков в общем выпуске металлорежущего оборудования, важное значение приобретает совершенствование технологических процессов сборки, доля которых в прецизионном станкостроении составляет 35 ÷ 50% от общей трудоемкости изготовления станка.

Актуальность темы. Наибольшие трудности возникают при сборке высокооборотных шпиндельных узлов (сборочных единиц),к выходным параметрам которых предъявляются очень высокие требования. Подобные шпиндели монтируются на опорах качения и работают при частоте вращения до 120000 об/мин.Точность формы ответственных поверхностей деталей, поступающих на сборку, регламентируется в пределах 0,5÷1,0 мкм. Но под воздействием сборочных сил возникают деформации деталей, затрудняющие обеспечение точности ротационного движения шпинделя. Эти погрешности могут непосредственно передаваться на обрабатываемую деталь. В работе предложены решения методов оценки сборочных погрешностей высокооборотных прецизионных изделий. Указанные погрешности на предприятиях ряда министерств приводят к снижению надежности изделий и являются причиной отказов в эксплуатации. Расчетные и экспериментальные методы оценки выходных параметров изделий ротационного движения позволяют преодолеть многие технические трудности и повысить качество изделий.

В представленной работе исследован ряд вопросов, раскрывающих закономерности сборки прецизионных высокооборотных шпиндельных узлов в зависимости от технологических и конструктивных факторов, разработаны расчетные и экспериментальные методики определения погрешностей, возникающих в процессе сборки

этих узлов, и рекомендации по их устранению или уменьшению.

Из производственного опыта известно, что ресурс работы переднего подшипника опоры внутришлифовального шпинделя значительно ниже расчетного. Преждевременный выход из строя шпиндельных узлов во многом объясняется трудностями технологического характера и непроработанностью вопроса их сборки. Отсутствие научно обоснованных данных по расчету и исследованию сборочных погрешностей, комплексного подхода к оценке влияния технологических и конструктивных факторов на точность сборки в значительной степени затрудняет выбор оптимального конструктивного решения, технологического маршрута сборки и не позволяет регламентировать отдельные операции технологического процесса.

В настоящее время работ, решающих проблему технологического обеспечения точности сборки прецизионных узлов, недостаточно. В связи с этим проблема повышения точности сборки шпиндельных узлов является актуальной и требует проведения дополнительных исследований.

Цели и задачи работы. Целью работы является исследование погрешностей, возникающих при сборке высокооборотных шпиндельных узлов, разработка методики их расчета и технологических мероприятий для повышения точности узлов.

В соответствии с поставленной целью исследования были решены следующие задачи:

1. Разработаны методики расчета сборочных погрешностей типовых соединений высокооборотных шпинделей;

2. Исследовано влияние сборочных погрешностей шпинделей на выходные параметры изделия;

3. Разработана методика оценки точности собранного шпиндельного узла и создана установка для регистрации выходных параметров шпинделя в динамике;

4. Даны практические рекомендации по повышению точности сборки высокооборотных шпинделей.

Методы исследования. Разработка методик расчета сборочных погрешностей типовых соединений шпинделей проводилась на базе теории упругости, строительной механики и теоретических основ технологии машиностроения. Экспериментальная проверка теоретических исследований осуществлялась на высоко-

точном оборудовании - кругломере " Talyrond-2 ". Для оценки ротационного движения шпинделя использовался спроектированный и изготовленный стенд для исследования вибраций скоростных шпиндельных узлов. Обработка результатов теоретических исследований проводилась на ЭВМ.

Научная новизна. Научная новизна и значимость представленной работы состоят в решении ряда важных и сложных вопросов теории сборки прецизионных изделий. Впервые вскрыт механизм образования погрешностей на сборке высокоточных деталей с учетом погрешностей реальных поверхностей типовых соединений и условий их сопряжения. Разработан математический аппарат описания сборочных погрешностей. Предложены аналитические зависимости для расчета сборочных погрешностей корпусных деталей, крышек, валов, гаек, оправок. Созданы методики расчета указанных погрешностей. Установлено, что отклонения формы поверхностей отверстий корпуса, возникающие под действием сборочных усилий при закреплении крышки, передаются на дорожку качения наружного кольца подшипника. Спектральный анализ, проведенный автором, показал, что эти отклонения являются причиной гранности формы траектории оси вращения шпинделя. При исследовании сборочных погрешностей резьбовых соединений типа гайка - вал, в которых гайка используется для закрепления внутренних колец подшипников, определены точностные возможности различных конструкций и оптимальные условия их сборки. Выявлены причины недостаточной надежности шпинделей, обусловленные характером силового взаимодействия при установке на шпиндельный узел оправки со шлифовальным кругом. Предложены технологические методы уменьшения сборочных погрешностей созданием преднамеренных искажений ответственных поверхностей собираемых деталей.

В работе установлено, что оценку качества шпиндельного узла следует производить по параметрам траектории оси вращения шпинделя. Для этого автором разработана методика измерения точности собранного шпиндельного узла в динамике и создан стенд для измерения положения оси шпинделя при вращении. Определены оптимальные значения величины допуска на эксцентриситет опор при сборке шпиндельного узла. В результате исследования установлено и экспериментально подтверждено влияние сборочных погрешностей на выходные параметры

изделия, в частности на траекторию оси вращения шпинделя.

Разработан подход к решению вопросов повышения точности сборки прецизионных изделий. Кроме технологических мероприятий по обеспечению точности сборки предложены технологические требования к конструкции узла с целью получения минимальных сборочных погрешностей.

Научные положения, выводы и рекомендации сформулированы на основе изучения производственного опыта и длительных исследований возникновения погрешностей при сборке и их влияния на точность и надежность шпиндельного узла. Обоснованность научных положений доказывается хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных результатов. Достоверность полученных данных и объективность проведенного исследования подтверждается сериями документов в виде круглограмм и фотографий, полученных с помощью самопишущей регистрирующей аппаратуры. Характер и величина сборочных погрешностей показаны как на образцах, так и на реальных изделиях в производственных условиях.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований разработаны методики расчета сборочных погрешностей типовых соединений высокооборотных шпиндельных узлов. Эти методики могут быть использованы уже на стадии разработки технологического процесса изготовления и сборки изделий. На основе рекомендаций по определению оптимальных сборочных усилий, рациональных конструктивных решений становится возможным назначение методов уменьшения сборочных погрешностей. Созданный стенд для измерения положения оси высокооборотного шпинделя в динамике целесообразно использовать в производственных условиях на основе разработанной методики измерения точности собранного узла. Использование динамической оценки шпинделя позволяет расширить допуск на погрешность положения его опор, что снижает трудоемкость изготовления изделия. Рекомендации по результатам работы приняты и внедрены на Московском заводе скоростных прецизионных приводов.

Апробация работы. Основные разделы работы доложены на семинаре секции Межведомственного научно-технического совета по надежности "Технологическая надежность машин и приборов", Москва, 1976 г.; на Всесоюзной научно-технической конференции

"Надежность технологических комплексов в машиностроительном производстве", Уфа, 1978 г.; на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Сборка-78", Харьков, 1978 г.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 129 страницах и содержит введение, пять глав и приложения. В работе даны выводы по главам и общие выводы. Изложение вопросов темы сопровождается 84 рисунками, списком литературы из 62 наименований.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 статей.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводится обзор опубликованных материалов, отражающих состояние проблемы точности сборки, дается анализ влияния сборочных погрешностей шпиндельного узла на выходной параметр - траекторию ротационного движения оси шпинделя. Успешному решению проблемы способствуют фундаментальные работы советских ученых Корсакова В.С., Дальского А.М., Билика Ш.М., Новикова М.П., Проникова А.С., Сыроватченко П.В. и других.

В результате анализа отечественных и зарубежных типовых высокооборотных шпиндельных узлов установлено, что конструкции их достаточно хорошо отработаны, однако их качество не всегда отвечает современным требованиям. В связи с этим вопрос технологии сборки приобретает большое значение. В то же время, анализ конструкций показал, что высокооборотные шпиндельные узлы имеют типовые соединения, каждое из которых оказывает влияние на их конечную точность. Наиболее типичным представителем рассмотренных конструкций является электрошпиндель Ш 48/2,2 Московского завода скоростных прецизионных электроприводов, что и обусловило его выбор в качестве объекта для проверки основных результатов теоретических исследований. Шпиндель имеет частоту вращения 48 000 об/мин., а его радиальное и торцовое биение не должно превышать 3 мкм.

Анализ производственных и литературных данных позволил разработать структурную схему взаимосвязи погрешностей, возникающих при изготовлении шпинделя, с траекторией оси ротационного движения. Структурная схема позволила выявить основ-

ные факторы, влияющие на точность вращения шпинделя и показать, что технологический процесс сборки и сопровождающие его погрешности определяют качественные характеристики шпиндельных узлов. Основным недостатком предлагаемых в литературе методик оценки и расчета сборочных погрешностей типовых соединений является то, что они учитывают в основном геометрические соотношения собираемых деталей без учета их силового взаимодействия на сборке.

В настоящее время требования к качеству высокооборотных шпиндельных узлов не подкреплены соответствующими методами и средствами оценки их выходных параметров. При этом не выявляется положение оси шпинделя в динамике, которое в значительной мере определяет точность обработки деталей. Особенно важно знать параметры траектории оси для высокооборотных шпинделей. Отсутствие установок и методик измерения выходных параметров изделия в цеховых условиях является препятствием для обоснованной оценки качества сборки шпиндельных узлов.

Недостаточная изученность проблемы потребовала проведения исследований с целью разработки комплекса мероприятий по обеспечению качества сборки прецизионных шпиндельных узлов.

Во второй главе разработаны теоретические положения, на основе которых приведены методики расчета сборочных погрешностей типовых соединений шпиндельных узлов с учетом силового взаимодействия. Они позволяют рассчитывать сборочные погрешности корпусов и колец подшипников шпиндельных узлов, определять формы осей деталей типа тел вращения: валов, гаек, оправок. Основной причиной возникновения указанных погрешностей являются сборочные усилия, наличие в конструкциях резьбовых соединений, наследственных явлений.

Погрешности формы при сборке с помощью болтов корпусных деталей, крышек и стаканов обусловлены распорными усилиями в резьбе и давлением сопрягаемых деталей по торцам. Исследования проведены с учетом погрешностей формы наиболее ответственных поверхностей корпусных деталей, например, посадочного отверстия под наружное кольцо подшипника. Радиальные перемещения $W_к$ указанной поверхности от действия распорного усилия в резьбовом соединении рассчитываются по предложенной формуле

$$W_к = P \frac{d_{ср} \cdot \rho \cdot tg\frac{\alpha}{2}}{\pi \ell (\rho^2 - \frac{d_{ср}^2}{4}) E} \cdot \left(1 - \frac{x}{\ell}\right), \qquad (1)$$

где $d_{ср}$ - средний диаметр резьбы болта, с помощью которого осуществляется крепление крышки к корпусу; ρ - расстояние между осью резьбового отверстия корпусной детали и осью посадочного отверстия корпуса, в которое устанавливается наружное кольцо подшипника; α - угол профиля резьбы; E - модуль упругости материала корпуса; P - усилие затяжки болта; ℓ - длина контакта резьбового соединения болт-корпус; x - координата исследуемого сечения вдоль оси посадочного отверстия корпуса.

Расчет погрешности формы $W_к'$ посадочного отверстия корпуса при контактировании с крышкой по торцовым плоскостям следует проводить по формуле:

$$W_к' = K \frac{\mu(1-\mu)}{2\pi E \rho} P, \qquad (2)$$

где μ - коэффициент Пуассона; K - коэффициент, учитывающий жесткость стыка торцовых поверхностей собираемых деталей ($K \leq 1$).

В общем случае погрешность формы посадочного отверстия корпуса определяется суммой величин, найденных по формулам (1) и (2). Анализ приведенных зависимостей показал, что посадочное отверстие деформируется вдоль оси корпуса неравномерно; величина деформации зависит как от усилия затяжки болтов, так и от конструктивного оформления узла.

Замена болтов на шпильки при сборке указанных деталей приводит к изменению схемы силового взаимодействия деталей узла. В этом случае распорные усилия в резьбовом соединении отсутствуют, но происходит неравномерное сжатие корпуса по торцу. В рассмотренном случае расчет погрешности формы посадочного отверстия корпуса следует производить по формуле (2).

Разработанная методика позволяет рассчитывать погрешности формы наружного кольца подшипника в процессе сборки. При этом учитывается, что на кольцо передается не только погрешность формы корпуса, но и возникающая дополнительная погрешность формы от действия на торец кольца силы взаимодействия

корпуса и крышки. В общем случае расчет погрешности формы ΔB дорожки качения кольца при сборке целесообразно проводить по формуле

$$\Delta B = W_н + \Delta B(q_{B_A}) + \Delta B(q_{B_B}) \qquad (3)$$

где $W_н$ - погрешность кольца, передаваемая в процессе сборки от корпуса; $\Delta B(q_{B_A})$ и $\Delta B(q_{B_B})$ - местные утолщения кольца от воздействия сосредоточенных сил на его торец; местные утолщения кольца рекомендуется рассчитывать по методу Зееваль да.

В результате теоретических исследований сборочных погрешностей вращающихся деталей разработана методика определения положения осей собираемых деталей. При расчете учитываются собственные погрешности формы деталей, зазоры в резьбовых и цилиндрических соединениях, а также деформации собираемых деталей от их силового взаимодействия. Методика предусматривает расчет положения оси вала при различных конструкциях гаек для крепления внутренних колец подшипников: обычных и с цилиндрическими центрирующими участками.

Приводится методика расчета погрешности формы наружной цилиндрической поверхности деталей типа валов при сборке с оправками для крепления шлифовального круга. При этом наибольшая деформация вала может возникать над участком резьбового соединения вал-оправка, что является недопустимым в ответственных соединениях. Расчет выполнен методом, основанном на вариационном принципе Костелиано.

Разработанные методики можно использовать для определения сборочных погрешностей широкого круга деталей. Теоретические исследования позволили определить пути устранения сборочных погрешностей типовых соединений шпиндельных узлов.

В третьей главе экспериментально исследованы сборочные погрешности типовых соединений, методики расчета которых даны в предыдущей главе. В качестве объектов исследования взяты реальные детали электрошпинделя для внутреннего шлифования, а также изготовлены экспериментальные образцы. Для измерения величин сборочных погрешностей использовалось высокоточное оборудование в термоконстантном цехе. На приборах "Talyrond-51" и "Talyrond-2" снимались круглограммы

и профилограммы исследуемых деталей. Методика исследования погрешностей предусматривает замеры деталей на всех этапах сборки. Сборка резьбовых соединений проводилась тарировочными ключами. Экспериментальные исследования позволили установить величину сборочных погрешностей, вызываемых креплением наружного кольца подшипника в корпусе. Эти погрешности проявляются в виде выпучиваний под болтами и передаются на дорожку качения подшипника. Проведенные исследования позволили указать пути уменьшения сборочных погрешностей конструктивными и технологическими мероприятиями. Важным технологическим мероприятием является регламентирование усилий затяжки болтов, что позволяет управлять деформацией ответственных деталей, создавать любую, наперед заданную деформацию. Увеличение количества стягивающих болтов для крепления деталей уменьшает отклонение от круглости колец подшипников. Однако как показали исследования, применение более шести стягивающих болтов не оказывает заметного влияния на точность сборки. Увеличение параметра ρ всегда ведет к уменьшению величины погрешности корпуса и кольца подшипника.

Искривление осей деталей типа тел вращения при сборке значительно ухудшает выходные параметры изделия, поскольку в этом случае невозможно добиться минимальной величины биения торцов собираемых деталей к их оси вращения. Некоторое уменьшение указанной погрешности дает применение специальных гаек с одним и двумя цилиндрическими участками. Чем ближе резьбовой участок вала к передней опоре высокооборотного шпинделя, тем больше биение кольца вала.

В работе исследовано влияние затяжки гаек на изменение погрешности формы внутреннего кольца подшипника.

Экспериментальные исследования подтверждают теоретические предпосылки для расчета деформации наружной поверхности вала над резьбовым участком при сборке. Анализ полученных результатов показал, что деформация наружной цилиндрической поверхности вала над резьбовым участком соизмерима с допуском на отклонение формы вала, а в некоторых случаях превосходит его.

В четвертой главе экспериментально исследовано влияние сборочных погрешностей типовых соединений шпиндельных узлов

на траекторию ротационного движения оси шпинделя. Кроме того, исследовано влияние погрешности положения собираемых деталей на выходные параметры узла, поскольку точный расчет влияния таких погрешностей затруднен. Критерием оценки качества собранного узла выбрано отклонение от круглости траектории движения оси шпинделя на холостом ходу. Для динамических исследований изготовлена установка с емкостными датчиками, позволяющая регистрировать положение оси шпинделя в широком диапазоне частот. Установка регистрирует перемещения в пределах 0 ÷ 10 мкм. Доказано, что результаты статических и динамических исследований выходных параметров собранного узла не совпадают. Определена качественная и количественная связь между погрешностями внутренних и наружных колец подшипников и величиной отклонения от круглости траектории движения оси шпинделя. Указанные погрешности переносятся на траекторию вращения с уменьшением по величине, что связано, вероятно, с демпфированием системы.

Результаты экспериментов подтверждают предположение о влиянии стягивающих болтов друг на друга. Увеличение их количества до определенного числа оправдано с точки зрения повышения точности собранного узла.

Экспериментально установлено влияние параметра линейной несоосности опор на выходные параметры шпинделя. Доказано, что изменение параметра несоосности опор исследуемого электрошпинделя в некоторых пределах не приводит к изменению траектории движения его оси, что позволяет расширить допуски на указанный параметр.

В пятой главе приведены рекомендации по расчету, уменьшению и компенсированию сборочных погрешностей типовых соединений шпиндельных узлов. Изменение в соответствии с предложенными рекомендациями конструктивного оформления шпиндельного узла с учетом получения минимальных сборочных погрешностей заметно повышает точность его сборки. В работе предложены конструкции узлов, отвечающие указанным требованиям.

Проведенные исследования позволили не только выявить и определить величины сборочных погрешностей, но и разработать технологические методы их исправления. Одним из таких методов является создание преднамеренных искажений поверхностей дета-

лей. Он основан на использовании явления технологической наследственности при обработке и сборке прецизионных деталей. Смысл явления заключается в том, чтобы создать на операциях механической обработки такие преднамеренные искажения формы детали, которые бы при сборке под действием сборочных усилий существенно уменьшились. Поскольку погрешности формы детали и деформация корпуса под болтами имеют векторно-противоположное направление, возможна компенсация указанных погрешностей. Известно, что при обработке на токарных и внутришлифовальных станках при закреплении в трехкулачковых патронах возникают погрешности формы отверстия детали. После снятия детали со станка происходит как бы "обратное" распределение указанной погрешности. Замечено и исследовано в предыдущих главах явление возникновения погрешностей формы деталей при сборке с крышкой под резьбовыми отверстиями. Предлагается совместить расположение кулачков с расположением мест сверления под резьбовые соединения. В результате точность соединений повышается в I,5 ÷ 2 раза.

Из производственного опыта известно, что в электрошпинделях, как правило, первым выходит из строя передний подшипник передней опоры. В предыдущих главах исследовано, что причиной указанного явления является погрешность наружной цилиндрической поверхности при сборке с оправкой. Для уменьшения влияния погрешности на посадку внутренних колец подшипников на вал необходимо менять место участка резьбы , либо использовать метод преднамеренного искажения формы наружной поверхности деталей типа валов. Для этого предлагается обработка валов в сборе со специальными оправками. В результате при установке оправки деформация наружной поверхности вала заметно уменьшается.

В работе проведен технико-экономический расчет эффективности предложенных мероприятий по изменению конструкции и технологии сборки и обработки в сборе. В качестве критерия оценки эффективности выбран минимум приведенных затрат, которые представляют собой сумму текущих затрат и капитальных вложений. В основу расчета экономической эффективности положено увеличение долговечности шпиндельного узла. Повышение долговечности происходит за счет уменьшения деформаций колец

подшипника электродвигателя. Годовой экономический эффект представляет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов. Общая экономия от внедрения в производство всех изложенных в работе технологических и конструктивных мероприятий составляет 56 185 рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В балансе точности прецизионных шпиндельных узлов основная доля погрешностей создается на операциях сборки. Отношение точности деталей в собранном шпиндельном узле к точности этих же деталей, поступивших на сборку, составляет от 1 до 3.

2. Основная причина возникновения сборочных погрешностей связана с упругими деформациями ответственных высокоточных соединений. Наибольшая деформация создается элементами конструкций с резьбовыми соединениями.

3. Общая оценка сборочных погрешностей типовых соединений прецизионных узлов должна проводиться на основе предложенной в работе комплексной методики. Указанная методика позволяет производить с доведением до численных значений объективный выбор технологических параметров процесса сборки, назначать технологические требования к конструктивному оформлению прецизионных узлов и допуски на отклонения формы и взаимное расположение собираемых деталей.

4. Установлено, что на посадочных поверхностях корпусов непосредственно под резьбовыми отверстиями, в которые устанавливаются болты, возникает деформация в виде характерных местных выпучиваний. Их величина рассчитывается по предложенным в работе зависимостям, учитывающим количество болтов, величину осевого усилия их затяжки, схему закрепления и характер распределения усилий в соединениях.

5. Теоретически и экспериментально доказано, что местные выпучивания посадочных отверстий корпуса передаются на наружные кольца подшипников, увеличивая первоначальные отклонения формы в 1,5 ÷ 7 раз. Надежность работы шпинделей по параметру колебаний в значительной степени определяется количеством выпучиваний, их величиной, а также частотой вращения вала.

6. Для уменьшения типичных погрешностей в виде искривления осей шпинделей под действием сил взаимодействия в соединениях типа вал - гайка, возникающих из-за погрешностей взаимного расположения собираемых деталей и характера нагрузки, целесообразно применение разработанных конструкций закрепления деталей узла с несколькими направляющими элементами. Предложенные конструкции для внутришлифовальных приводов обеспечивают уменьшение прогиба вала в 1,5 ÷ 2,5 раза и на 1 ÷ 2 мкм уменьшают отклонение от круглости траектории вращения шпинделя.

7. Для наиболее полного определения работоспособности шпиндельного узла необходимо осуществлять динамическую оценку качества его сборки. Динамическую оценку качества сборки шпиндельных узлов целесообразно проводить на установках с бесконтактными емкостными измерителями, работающими на принципе частотной модуляции. Разработанная установка может использоваться в цеховых условиях.

8. Доказано, что форма траектории оси вращения шпинделя обусловливается погрешностями, возникающими в процессе сборки типовых соединений прецизионных узлов. Прогнозирование формы траектории может быть проведено на основе исходной информации о сборочных погрешностях деталей типовых соединений.

9. Методика исследования сборочных погрешностей типовых соединений прецизионных узлов универсальна и может быть использована для деталей и соединений высокоточных узлов. На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по обеспечению высокой точности сборки шпиндельных узлов. Экономический эффект от внедрения этих мероприятий на Московском заводе скоростных прецизионных электроприводов составляет 56 185 рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. ВАСИЛЬЕВ А.С. Сборочные погрешности деталей типа колец. "Прогрессивная технология конструкционных материалов". Труды МВТУ № 202, М., 1976.

2. ВАСИЛЬЕВ А.С. Контроль качества высокооборотных шпиндельных узлов. "Металлорежущий и контроль-измерительный инструмент". М., НИИМАШ, вып. 3, 1978.

3. КУЛЕШОВА З.Г., ВАСИЛЬЕВ А.С. Расчетное определение формы осей собираемых деталей с учетом силового взаимодействия. "Повышение надежности и долговечности высокоточных изделий технологическими методами". Труды МВТУ № 281, М., 1978.

4. СЕРЕНКО В.А., ВАСИЛЬЕВ А.С., НАЛЕТОВ Ю.Л. Способы управления качеством и надежностью высокоточных изделий на стадии сборки. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Надежность технологических комплексов в машиностроительном производстве", Уфа, 1978.

5. ДАЛЬСКИЙ А.М., ВАСИЛЬЕВ А.С., СЕРЕНКО В.А. Методы оценки сборки высокоточных шпиндельных узлов. "Передовой опыт технологии, механизации и автоматизации сборочных работ в машиностроении". Всесоюзный научно-технический семинар "Сборка-78". Тезисы докладов. Харьков, 1978.

6. ВАСИЛЬЕВ А.С., КАУПЕЛИС Р.Р., НАУМАВИЧУС Р.Г. Стенд для исследования вибраций скоростных шпиндельных узлов. "Машины, приборы, стенды", МВТУ, каталог № 6, 1978.

Л-76996 от 13.04.79г.
Заказ 573 . Объем 1 п.л. Тираж 100 экз.
Ротопринт МВТУ. 107005, Москва, 2-я Бауманская,5