

М 497500

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЛОПУШАНСКИЙ Александр Федорович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ
ПО ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЯМ ПРИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ
МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

Специальность: 05.02.08 - технология машиностроения

Специальность: 05.03.01 - процессы механической и
физико-технической обработки,
станки и инструменты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1990

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени
Институте проблем материаловедения им. И.Н.Францевича Академии
Наук Украинской ССР.

Научный руководитель -

кандидат технических наук,
доцент О.Ф.Полтавец

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Кузнецов А.М.,
кандидат технических наук,
доцент Дмитриев Б.М.

Ведущее предприятие -

Специальное конструкторское бюро
многошпиндельных автоматов
(г.Лиев)

Защита состоится "31" 01 1991 г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в
Московском государственном техническом университете им.Н.Э.Баумана
иская ул., дом.5.

библиотеке МГТУ

емпляре, заверенный
дресу.

199 г.

Мещеряков Р.К.

М 497500

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 года предусмотрено обеспечить коренную реконструкцию и опережающее развитие станкостроения в 1,3 - 1,6 раза. Указанные положения в полной мере относятся и к такому типу металлорежущих станков как токарные многошпиндельные станки-автоматы. Последние представляют собой сложные технические устройства, качество которых формируется на всех стадиях его производства. Большие трудности технологического характера возникают при сборке наиболее ответственной части станка - шпиндельного узла, относящегося к сложным пространственным конструкциям со значительным количеством источников тепловыделения. Установлено, что превышение допустимого уровня температуры наблюдается примерно у 20-30 % всех собранных станков. Применяемые ныне методы испытания шпиндельных узлов позволяют выявлять лишь несоответствие фактических показателей тепловыделения паспортным данным и не всегда однозначно указывают на причины их возникновения. На практике это приводит к тому, что при последующих переборках шпиндельного узла истинные погрешности не устраняются, трудоемкость сборочных операций возрастает, а качество узла снижается.

Интенсивные внутренние тепловыделения и неравномерность температурного поля шпиндельного узла в общем случае могут являться следствием как конструктивного несовершенства, так и технологических погрешностей, или же того и другого одновременно. Возникающие температурные деформации искажают геометрию ответственных деталей, нарушают их взаимное расположение, изменяют условия работы пар трения и характер податливости стыков, что в конечном итоге ухудшает точность обработки заготовок деталей на этих станках и снижает долговечность работы их узлов. Большой вклад в исследование взаимосвязи тепловыделений с конструктивным несовершенством и технологическими погрешностями шпиндельных узлов внесли Дальский А.М., Соколов Д.Н., Проников А.С. и многие другие советские и зарубежные ученые.

Выявление комплексной причины повышения тепловых выделений или неравномерного характера температурного поля шпиндельного узла в настоящее время, однако, связано со значительными сложностями, поскольку не решены более общие вопросы: слабо разработаны методы контроля температурного поля сложных пространственных объек-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1497500

Попушанский А. Ф. Введ.

тов с большим числом различных по природе и интенсивности источников тепловыделения; отсутствует методика дифференциации интегрального температурного поля на элементарные составляющие, каждая из которых обусловлена одной технологической погрешностью; не разработаны методы количественной оценки технологических погрешностей по температурным полям и ряд других. Указанные обстоятельства и обусловили актуальность настоящего исследования.

Цель работы. Разработать научно-обоснованную методику выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по их температурным полям при стендовых испытаниях шпиндельных блоков многшпиндельных станков.

Методы исследования. В теоретическом разделе исследования использовались фундаментальные положения теории теплопроводности (интегральных преобразований Лапласа), методы экспертных оценок и ранговой корреляции. При разработке методики выявления технологических погрешностей шпиндельных узлов применялся принцип суперпозиции.

При экспериментальных исследованиях использовались методы тепловидения, планирования эксперимента и электроанalogии температурных процессов в шпиндельном блоке. Обработка данных производилась с использованием методов теории вероятности и математической статистики. Экспериментальные исследования проводились на специально созданных стендах, оснащенных современной измерительной и регистрирующей аппаратурой, с использованием промышленных образцов шпиндельных блоков станков-автоматов ИБ265.

Научная новизна. Разработана методика исследования и отбора с позиций системного анализа наиболее существенных факторов, влияющих на характеристики температурных полей шпиндельных узлов. Установлены особенности распространения тепловых потоков в шпиндельном блоке в различные периоды времени его испытания на холостом ходу. Составлена математическая модель температурного поля шпиндельного блока с учетом конструктивных параметров и наличием технологических погрешностей в любом из шпиндельных узлов блока. Разработаны электроаналоговая модель температурного поля шпиндельного блока, а также методика контроля-уточнения результатов выявления технологических погрешностей шпиндельных узлов. Разработана комплексная научно-обоснованная методика выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по температурным полям шпиндельных блоков при стендовых испытаниях.

Отмеченные положения с учетом их новизны, теоретической и практической значимости выносятся на защиту. К защите представляются также расчетные и экспериментальные данные, полученные или обработанные на ЭВМ.

Практическая ценность. Разработана методика и стенд с комплексом аппаратуры для выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по температурным полям шпиндельных блоков при испытаниях в производственных условиях. Результаты работы прошли апробацию и внедрены на Киевском станкостроительном производственном объединении им. М.Горького (КСПО) с годовым экономическим эффектом 6260 руб.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены: на Всесоюзной конференции "Методы и средства неразрушающего контроля" (Москва, 1985 г.); Всесоюзном научном семинаре "Обработка тепловизионных изображений в неразрушающем контроле" (Москва, 1987 г.); Всесоюзной научно-технической конференции "Бесконтактная тепловая диагностика машин и механизмов" (Киев, 1987 г.); научных семинарах кафедры МГТУ им. Н.Э.Баумана "Комплексная технология" (Москва, 1985-1989 гг.); научно-технических семинарах отдела № 55 Института проблем материаловедения АН УССР (Киев, 1988-1990 гг.).

Публикации. Материалы диссертации отражены в 6 опубликованных работах и авторском свидетельстве.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 119 наименований, приложений, содержит 130 страниц текста, 102 рисунка и 34 таблицы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность темы и научная новизна исследования, сформулированы цель и задачи, дана общая характеристика и практическая значимость работы.

В первой главе на основании анализа литературных источников и производственных данных обосновывается положение о том, что применяемые в настоящее время методы и приемы не обеспечивают возрастающие потребности станкостроительной практики по точному, быстрому и эффективному выявлению технологических погрешностей шпиндельных узлов. Основная сложность состоит в том, что в реальном шпиндельном узле многшпиндельного блока температурные поля

обусловлены не одним, а комплексом различных по значимости и характеру воздействия факторов. Число их тем больше, чем сложнее сам узел.

Одновременное действие большого количества отдельных источников тепловыделений приводит к тому, что температурное поле любого шпиндельного узла является результатом совокупного воздействия элементарных полей, каждое из которых обусловлено одной какой-нибудь технологической погрешностью. Поэтому, если температура нагрева собранного узла при испытаниях превышает регламентированную величину, оценить какая из погрешностей вызывает повышенную температуру весьма сложно. Практически невозможно установить и величину самой погрешности. В таких условиях определение конкретных погрешностей нередко носит случайный характер, без учета многих существенных, но трудно прогнозируемых факторов.

Сравнительный анализ существующих методов расчета температурных полей показал, что теоретической базой настоящего исследования могут служить методы интегральных преобразований, решения обратной задачи теплопроводности и принципа суперпозиции. Проведен анализ экспериментальных методов и средств контроля температурных полей. Установлено, что для определения температурных полей наружных поверхностей исследуемых объектов наиболее перспективен метод тепловидения. Применение его, однако, для температурного контроля закрытых поверхностей, в частности, наружных колец опор шпинделей связано с рядом методических сложностей. Обоснована необходимость дальнейшей научной разработки и методического совершенствования этого метода применительно к особенностям объекта исследования.

На основании приведенного анализа и в соответствии с целью исследования поставлены следующие задачи:

1. Разработать математическую модель температурного поля шпиндельного блока, обусловленного наиболее существенными технологическими погрешностями шпиндельных узлов.
2. Разработать методику разложения неравномерного температурного поля всех шпиндельных узлов блока на отдельные элементарные составляющие, каждая из которых была бы обусловлена строго определенным технологическим фактором.
3. Разработать методику и комплекс аппаратуры для определения температурных полей шпиндельного блока при его стендовых испытаниях.

4. Экспериментально проверить и уточнить разработанную методику выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов блока.

5. Произвести производственную проверку технико-экономической эффективности разработанной методики.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию следующих взаимосвязанных вопросов: определению круга температурообуславливающих факторов в шпиндельном узле и их ранжированию; построению математической модели температурного поля шпиндельного блока с учетом наиболее существенных технологических погрешностей шпиндельных узлов; разработке комплексной научно-обоснованной методики выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по их температурным полям, возникающим при стендовых испытаниях блока на холостом ходу.

Для точности работы станка особое значение имеет нагрев передней стенки шпиндельного блока, поскольку она в большей степени, чем другие элементы станка, определяет положение шпинделей при обработке заготовки. Исследованием установлено, что процесс распространения зон действия тепловых источников в передней стенке блока с определенной долей условности можно разделить на три временных периода. В первый период на определенных участках передней стенки зоны действия всех тепловых источников являлись автономными и не влияли друг на друга. После этого зоны действия тепловых источников в передней стенке блока начинали соприкасаться и накладываться друг на друга. Во втором периоде зона действия каждого из указанных тепловых источников достигала наиболее удаленного от него участка передней стенки. В качестве тепловых источников передней стенки рассматривались передние опоры шпинделей, которые в ней смонтированы. С начала третьего временного периода зоны действия других тепловых источников, расположенных вне передней стенки блока, достигали ее границ. Конец третьего периода соответствует такому положению, когда зоны действия каждого из источников (расположенных как в передней стенке, так и вне ее) охватывают всю переднюю стенку шпиндельного блока. Только после этого температурное поле передней стенки стабилизируется. Поэтому, в дальнейшем исследовании можно считать: в первый период стендового испытания температура определенных участков передней стенки блока обуславливается действием только источника тепла в передней опоре близлежащего к ней шпинделя; во второй

период - ее температура зависит уже от тепловыделений во всех передних опорах шпинделей.

Анализом установлены основные факторы, влияющие на величину температуры передней стенки блока в первый период стендовых испытаний, а степень влияния определена экспериментально методом ранговой корреляции. Ранжирование осуществлялось в два этапа путем свободных экспертных оценок. По результатам ранжирования разработана математическая модель температурного поля. При этом были приняты следующие допущения: корпус шпиндельного блока является абсолютно жестким телом, а шпиндель, его опоры и стыки в опорах - упруго-податливы; податливость опор шпинделя изотропна; число тел качения достаточно велико, что позволяет считать рассматриваемые силы в стыках непрерывно распределенными по окружности поверхности качения колец подшипника.

Физическая модель опоры качения шпиндельного узла принята в виде системы двух тел - стержня и пластины с концентрическим отверстием. Температурное поле передней стенки блока определялось как температурное поле круглой пластины с наружным диаметром, равным диаметру окружности, описанной из центра подшипника через наиболее удаленный участок стенки, и имеющей концентрическое отверстие, равное диаметру расточки под подшипник.

Математическая модель температурного поля разрабатывалась с учетом распределения зазора-натяга между телами и поверхностями качения в опорах шпинделей, вызванного наиболее существенными технологическими факторами; температурного изменения зазора-натяга в опорах; отвода тепла смазочным материалом; количества тепла, отводимого от подшипника передней стенкой блока; шероховатости поверхностей и натяга собранных деталей.

Температурное поле передней стенки блока в первый период испытаний описывается дифференциальным уравнением нестационарной теплопроводности в частных производных. При решении его методом интегральных преобразований Лапласа получаем:

$$T = T_{(r,t)} - T_{ox} - T_c, K; \quad (1)$$

$$T_{(r,t)} = T_n + A_1 - A_2 - A_3 + \frac{4R_1^2 Q_0}{\lambda_1 \pi R_2 \sqrt{a_1}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_4}{\mu_n^3 \varphi_1(S_n)} \exp(-\mu_n^2 F_{01}), K; \quad (2)$$

$$A_1 = \frac{Q_0 a_1 (r^2 - 2R_3^2) R_1 \tau}{\lambda_1 (C\sqrt{a_2} R_1^2 \chi_1 - \sqrt{a_1} R_3^2 \chi_2)};$$

$$A_2 = \frac{3Q_0 a_1 R_3^4 R_1}{8\lambda_1 a_2 (C\sqrt{a_2} R_1^2 \chi_1 - \sqrt{a_1} R_3^2 \chi_2)};$$

$$A_3 = -\frac{3Q_0 (r^2 - 2R_3^2) (C R_3^3 a_1^2 \sqrt{a_2} \chi_3 - R_1^3 a_2^2 \sqrt{a_1} \chi_4) R_1^4}{128 \sqrt{a_1} a_2^3 (C\sqrt{a_2} R_1^2 \chi_1 - \sqrt{a_1} R_3^2 \chi_2)^2};$$

$$A_4 = Y_1(P_3 \mu_n) J_0(P_2 \mu_n \frac{r}{R_2}) - J_1(P_3 \mu_n) Y_0(P_2 \mu_n \frac{r}{R_2});$$

$$F_{01} = \frac{a_1 \tau}{R_1}; \quad \chi_1 = R_2^2 - R_3^2; \quad \chi_2 = R_2^2 - R_1^2; \quad \chi_3 = R_1^3 - R_2^3;$$

$$\chi_4 = R_2^3 - R_3^3; \quad C = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}; \quad \mu_n = \sqrt{\frac{S_n}{a_1}} R_1;$$

$$\begin{aligned} \varphi_1(S_n) = C \{ & U_{1n} (U_{10n} + \frac{1}{\mu_n} U_{2n} + P_1 U_{4n}) + U_{2n} P_2 [\frac{1}{P_2 \mu_n} - \frac{1}{P_2 \mu_n}] U_{3n} - \\ & - \frac{1}{P_2 \mu_n} U_{1n} + \frac{R_3}{R_2} U_{9n} \} - U_{3n} (U_{12n} + \frac{2}{\mu_n} U_{4n} + P_1 U_{2n}) - \\ & - U_{4n} P_2 (U_{1n} - \frac{R_3}{R_2} U_{11n} - \frac{1}{P_2 \mu_n} U_{3n}); \end{aligned}$$

$$U_{1n} = Y_1(P_2 \mu_n) J_1(P_3 \mu_n) - J_1(P_2 \mu_n) Y_1(P_3 \mu_n);$$

$$U_{2n} = J_1(\mu_n) Y_0(P_1 \mu_n) - J_0(P_1 \mu_n) Y_1(\mu_n);$$

$$U_{3n} = Y_0(P_2 \mu_n) J_1(P_3 \mu_n) - J_0(P_2 \mu_n) Y_1(P_3 \mu_n);$$

$$U_{4n} = J_1(\mu_n) Y_1(P_1 \mu_n) - J_1(P_1 \mu_n) Y_1(\mu_n);$$

$$U_{9n} = Y_1(P_2 \mu_n) J_0(P_3 \mu_n) - Y_0(P_3 \mu_n) J_1(P_2 \mu_n);$$

$$U_{10n} = J_0(\mu_n) Y_0(P_1 \mu_n) - Y_0(\mu_n) J_0(P_1 \mu_n);$$

$$U_{11n} = Y_0(P_2 \mu_n) J_0(P_3 \mu_n) - J_0(P_2 \mu_n) Y_0(P_3 \mu_n);$$

$$U_{12n} = J_0(\mu_n) Y_1(P_1 \mu_n) - Y_0(\mu_n) J_1(P_1 \mu_n);$$

$$P_1 = \frac{R_2}{R_1}; \quad P_2 = \frac{R_2}{R_1} \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}; \quad P_3 = \frac{R_3}{R_1} \sqrt{\frac{a_1}{a_2}};$$

$$T_{0\lambda} = T_c + (1 - \theta_R \theta_H) [T_{(r, \tau)} - T_c], K,$$

где $T(r, \tau)$ – температура участка передней стенки блока в первый период обкатки с координатой r (расстояние от центра опоры шпинделя) в момент времени τ , К; T_c – температура окружающей среды, К; T_n – начальное распределение температуры в передней стенке, К; Q_0 – удельный тепловой поток, Вт/м²; R_1 – радиус качения наружного кольца подшипника, м; R_2 – радиус посадочной поверхности наружного кольца подшипника, м; R_3 – радиус окружности, описанной из центра подшипника через наиболее удаленную часть передней стенки блока, м; λ_1 , λ_2 и a_1 , a_2 – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности наружного кольца подшипника и корпуса шпиндельного блока, Вт/м К и м²/с; θ_K и θ_n – безразмерные параметры температуры, характеризующие охлаждение передней стенки блока с боковой стороны, со стороны главной оси и с торцевой стороны; $J_0(x)$, $J_1(x)$, $Y_1(x)$, $Y_0(x)$ – функции Бесселя первого и второго рода нулевого и первого порядка; μ_n – корни характеристического уравнения:

$$\begin{aligned} C [Y_1(P_2 \mu_n) J_1(P_3 \mu_n) - J_1(P_2 \mu_n) Y_1(P_3 \mu_n)] [J_1(\mu_n) Y_0(P_1 \mu_n) - \\ - J_0(P_1 \mu_n) Y_1(\mu_n)] - [Y_0(P_2 \mu_n) Y_1(P_3 \mu_n) - J_0(P_2 \mu_n) Y_1(P_3 \mu_n)] \times \\ \times [J_1(\mu_n) Y_1(P_1 \mu_n) - J_1(P_1 \mu_n) Y_1(\mu_n)] = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Расчеты на ЭВМ по разработанной модели с учетом конструктивно-технологических характеристик шпиндельного блока станка модели IB265 показали, что для него наиболее существенными факторами являются монтажный зазор в стыке тела качения кольца подшипника передних опор шпинделей (Δ_1) и отклонение от соосности отверстий в блоке под опоры шпинделей (Δ_2). При этом Δ_1 влияет на нагрев узлов более интенсивно, чем Δ_2 . Указанные факторы наиболее существенны применительно к данному объекту исследования. Для других объектов наиболее существенными могут оказаться и другие факторы. Установлено, что изотермы шпиндельного узла для каждого существенного фактора в первый период испытания имеют свою специфическую форму. Так, изотермы температурного поля, возникающего под действием Δ_1 , имеют форму концентрических окружностей. Изотермы температур, обусловленных действием Δ_2 , имеют эллиптическую форму, а плоскость отклонения от соосности совпадает с большей осью изотерм. Исследованиями установлено, что для достоверного определения формы изо-

термы и ее численных параметров необходимо иметь как минимум пять информативных точек, которые должны находиться на равном (или близком к равному) расстоянии друг от друга и от источника тепла, а также размещаться на определенных участках передней стенки блока.

Расчеты значений температур информативных точек выявили существенные особенности: каждому сочетанию численных значений Δ_1 и Δ_2 соответствуют определенные величины разности между максимальным и минимальным значениями температур информативных точек (ΔT) и среднее значение их температур (T_p). Просчитанные значения температур информативных точек для различных соотношений наиболее существенных технологических погрешностей сведены в таблицу. Это дает возможность решить обратную задачу – по имеющимся температурам информативных точек шпиндельного узла установить соответствующие им значения Δ_1 и Δ_2 и угловую координату плоскости отклонения от соосности.

В соответствии с указанным разработана следующая методика разложения температурного поля каждого шпиндельного узла блока на составляющие, образованные факторами Δ_1 и Δ_2 . Для первого периода испытания определяется температура информативных точек передней стенки блока и находятся ΔT и T_p . Полученные значения сравниваются с табличными результатами расчетов по модели и определяются соответствующие им величины и характер погрешностей в шпиндельных узлах. Если среди технологических погрешностей имеется Δ_2 , то по угловой координате большой оси эллиптической изотермы устанавливается плоскость перекося колец подшипников.

Третья глава посвящена разработке методики определения температурных полей передней стенки блока, а также проверке и уточнению методики выявления технологических погрешностей шпиндельных узлов.

Для определения температурных полей передней стенки шпиндельного блока использовался комплекс измерительной аппаратуры из тепловизора "Рубин-3" и пирометра, оснащенного устройством целенаведения. Разработана методика взаимодействия этих приборов при регистрации температурных полей. Для калибровки пирометра и проверки стабильности его показаний было изготовлено соответствующее устройство. Значение коэффициента излучения поверхности деталей передней стенки, влияющее на замер температуры, определялось опытным путем – радиационным методом. Режимы работы тепловизора

при регистрации температурных полей определялись с помощью факторного эксперимента. Все это обеспечило стабильный контроль температуры исследуемого объекта с погрешностью не более 0,1 К.

Разработана методика определения информативных точек, отвечающих следующим основным требованиям: температуры наружных поверхностей информативных точек должны соответствовать закону распределения значений температуры по поверхности качения наружных колец опор шпинделей; расположение наружной поверхности каждой информативной точки удобно для измерения ее температуры с помощью пирометра и тепловизора; значение коэффициента излучения наружной поверхности всех информативных точек одинаково. Путем сравнительного анализа в качестве таких точек выбраны наружные поверхности головок винтов крепления фланцев. Доказано, что информация о температуре этих точек является достоверной и достаточной для определения количественных характеристик технологических погрешностей в шпиндельных узлах блока.

Проведено моделирование температурных полей передней стенки шпиндельного блока при помощи электрoаналогии на электропроводной бумаге и электрических сопротивлениях по способу Либмана с использованием универсального интегратора БУСЭ-70. Для этого выбрана цилиндрическая система координат и сечение передней стенки, расположенное перпендикулярно главной оси блока в плоскости передних опор шпинделей. Модель была изготовлена в том же масштабе, что и шпиндельный блок, имела такую же конфигурацию, как и выбранное сечение. Разбивка каждого узла в плоскости передних опор в модели производилась по схеме, представленной на рис.1. Значения температуры информативных точек передней стенки блока определялись пересчетом соответствующих значений потенциалов, измеренных на модели. Это позволило разработать методику взаимодействия измерительного комплекса аппаратуры из тепловизора и пирометра с электромоделью. Исследовано изменение формы графика температуры информативных точек шпиндельного узла, вызванное введением в модель технологических погрешностей Δ_1 и Δ_2 , а также влиянием температурных полей соседних шпиндельных узлов передней стенки блока. Разработана комплексная методика выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по температурным полям, позволявшая повысить точность определения указанных погрешностей.

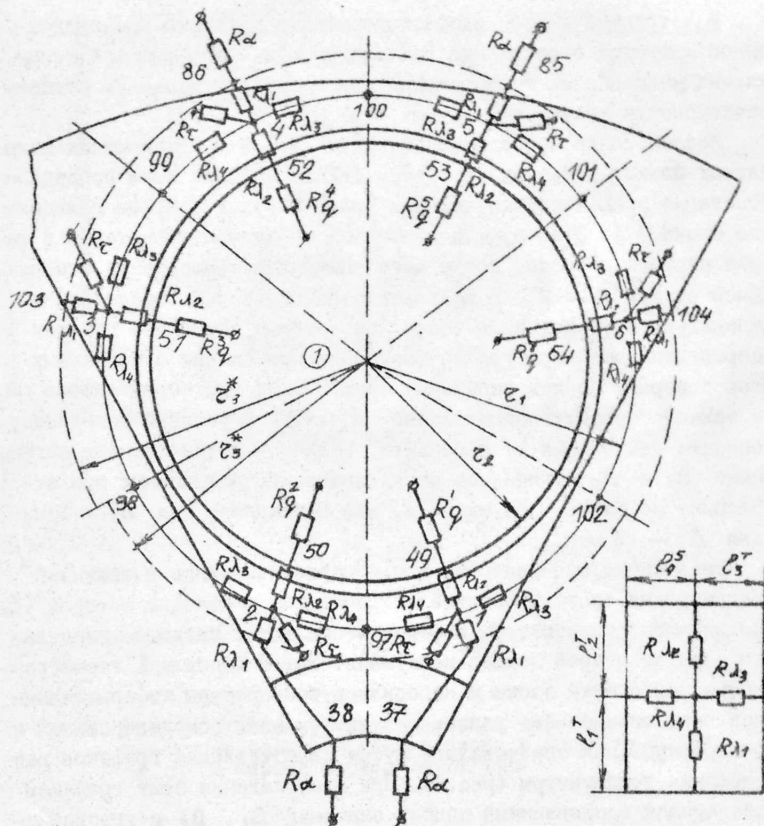


Рис. I. Схема разбивки передней стенки блока на элементарные площадки: 1-6 - узлы; 37, 38, 49, 50, 85, 86 - точки на поверхности тела; 98-104 - точки на границах элементарных площадок

В четвертой главе рассматриваются результаты производственной проверки определения технологических погрешностей шпиндельных узлов по их температурным полям и дается оценка степени достоверности полученных данных.

Исследования проводились на двух (№ 1 и № 2) серийных шпиндельных блоках токарных автоматов ИБ265. Вначале была проведена аттестация элементов шпиндельных узлов и узлов в целом шпиндельного блока № 1. Этот блок подвергался стендовому испытанию в течение первого периода, после чего снималась термограмма его передней стенки (рис.2). В результате ее обработки определялись температуры информативных точек, по которым строились графики распределения температуры во всех передних опорах шпиндельных узлов в первый период испытания (рис.3). По ним определялось наличие технологических погрешностей Δ_1 , Δ_2 и угловая координата плоскости отклонения от соосности. Величины установленных погрешностей Δ_1 и Δ_2 отличались от их значений, полученных при аттестации, не более, чем на 42 %, что составляет для Δ_1 - 3 мкм, а для Δ_2 - 12 мкм.

Выявленные значения Δ_1 и Δ_2 пересчитывались в величины электрических сопротивлений электромоделей, с помощью которой устанавливались температуры информативных точек каждого шпиндельного узла во второй период испытания. Затем снималась термограмма передней стенки блока и находились температуры информативных точек всех шпиндельных узлов. Результаты электромоделирования и термографирования сравнивались путем сопоставления графиков распределения температуры (рис.4). При несовпадении этих графиков производился направленный подбор значений Δ_1 , Δ_2 и угловой координаты плоскости перегиба колец подшипников. В таком подборе использовалось различие в расположении рассматриваемых графиков относительно осей абсцисс (Δt), ординат ($\Delta t_0 = \Delta t_1 - \Delta t_2$) и относительно друг друга ($\angle \alpha$).

Установлено, что различия между указанными графиками обусловлены расхождением между выявленными величинами технологически погрешностей и установленными при аттестации в шпиндельном узле, температура которого определена термографированием. С учетом направленного подбора проводилось повторное электромоделирование. Построенные по результатам этого моделирования и термографирования графики практически совпали. Проведенные операции позволили



Рис. 2. Термограмма передней стенки шпиндельного блока № I в первый период испытания

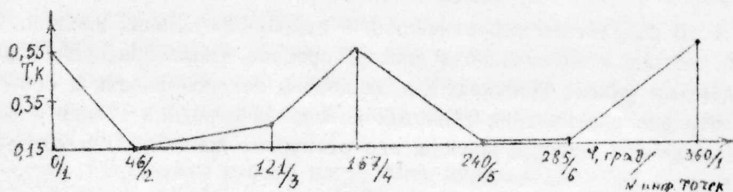


Рис. 3. График температур информативных точек, расположенных на передней стенке блока в опоре шпинделя I в первый период испытания

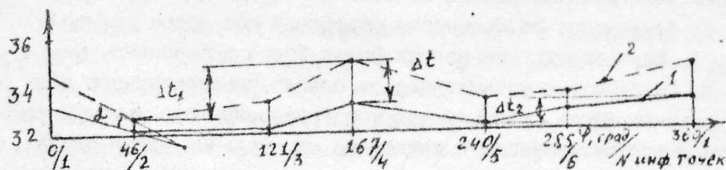


Рис. 4. Графики температур информативных точек, расположенных на передней стенке блока в опоре шпинделя I, полученных термографированием (1) и аналоговым моделированием (2) во второй период испытания

уменьшить погрешность выявления Δ_1 до 10 % и Δ_2 до 12 %, т.е. соответственно до ± 1 мкм и ± 2 мкм.

Оценка степени достоверности результатов выявления технологических погрешностей производилась на шпиндельном блоке № 2. Сначала по разработанной методике устанавливались значения технологических погрешностей Δ_1 и Δ_2 , а затем проводилась аттестация элементов шпиндельного блока № 2. Путем сопоставления результатов выявления Δ_1 и Δ_2 и аттестации находились величины технологических погрешностей, которые оказались соизмеримы с результатами исследования шпиндельных узлов блока № 1.

В пятой завершающей главе произведен экономический расчет эффективности внедрения результатов диссертационного исследования в производство.

В приложениях к диссертации содержатся программа и результаты обсчета теоретических и эмпирических данных на ЭВМ.

Общие выводы

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований раскрыт и аналитически описан процесс теплообразования в шпиндельных узлах. Выявлены и исследованы закономерности и особенности распространения тепловых потоков в передней стенке блока в различные периоды времени его стендовых испытаний на холостом ходу.

2. Определен круг технологических факторов, влияющих на характеристики температурного поля шпиндельного узла и методом ранговой корреляции проведено их ранжирование. Доказано, что наиболее существенными температурообуславливающими факторами для шпиндельного блока станка модели 1Б265 являются: монтажный зазор в стыке тела качения кольца подшипника передних опор шпинделей (Δ_1); отклонение от соосности отверстий под опоры шпинделя (Δ_2). Влияние Δ_1 на нагрев узлов более интенсивно, чем Δ_2 .

3. Разработаны математическая модель температурного поля шпиндельного блока, учитывающая конструктивные параметры и технологические погрешности в каждом из шпиндельных узлов блока, а также программное обеспечение, позволившее рассчитать распределение температуры в шпиндельном узле блока для различных соотношений технологических погрешностей. Даны рекомендации о выборе величин Δ_1 и Δ_2 , обеспечивающих требуемую температуру элементов шпиндельного блока при определении заданной точности станка.

4. Разработана методика дифференциации температурного поля всех шпиндельных узлов блока на элементарные составляющие, каждая из которых образована одним технологическим фактором.

5. Определены информативные точки, по которым можно достоверно судить о распределении температур в передних опорах шпинделя.

6. Разработаны электроаналоговая модель температурного поля шпиндельного блока, а также методика контроля и уточнения выявленных значений технологических погрешностей шпиндельных узлов.

7. На основании единой методологии разработана комплексная научно-обоснованная методика выявления и количественной оценки технологических погрешностей шпиндельных узлов по температурным полям, возникающим при стендовых испытаниях блоков на холостом ходу. Погрешность выявления Δ_1 равна ± 1 мкм, а $\Delta_2 \pm 2$ мкм.

8. Разработана методика и создан комплекс аппаратуры для выявления распределения температур в передней стенке шпиндельного блока при его стендовых испытаниях. Показана эффективность применения комплекса аппаратуры для контроля температурных полей шпиндельных блоков, что позволяет использовать этот комплекс аппаратуры при испытаниях прототипов новых конструкций многошпиндельных автоматов.

9. Результаты работы могут быть использованы при конструировании, сборке, испытаниях и промышленной эксплуатации шпиндельных узлов на опорах качения.

10. Экономическая эффективность разработанной методики выявления технологических погрешностей шпиндельных узлов по температурным полям только по одному головному предприятию КСПО, где она внедрена в производство, составила 6260 рублей в год.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. А.с. № 1294569 СССР, МКИ³ В23 Q11/14. Способ регулирования качества сборки барабанов токарных многошпиндельных станков-автоматов/ А.Ф. Лопушанский, В.Е. Канарчук// БИ. - 1987. - № 9.

2. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. К вопросу о регулировке шпиндельных узлов токарных многошпиндельных автоматов по их температурным полям. Деп. в Укр.НИИТИ. - Киев, 15.11.85. № 2567 - Ук. - II с.

3. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. Оптимизация режимов работы тепловизионной аппаратуры при определении температурных по-

лей передних опор шпиндельных узлов многошпиндельных токарных станков. Деп. в Укр.НИИНТИ. - Киев, 30.01.86. № 368 - Ук. - 25

4. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. Исследование температурных полей шпиндельных узлов многошпиндельных токарных станков-автоматов типа ИБ265. Деп. в Укр.НИИНТИ. - Киев, 17.02.86. № 612 - Ук. - 6 с.

5. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. Комплекс аппаратуры для определения качества сборки шпиндельных узлов многошпиндельных токарных станков-автоматов по анализу их температурных полей при обкатке. Деп. в Укр.НИИНТИ. - Киев, 25.03.86. № 639 - Ук. - 7 с.

6. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. Измерительный комплекс для регулировки шпиндельных узлов по трению тел качения//Проблемы трения и изнашивания (Киев) - 1987. Вып. 31. - С. 68 - 71.

7. Лопушанский А.Ф., Канарчук В.Е. Метод контроля качества регулировки подшипников шпиндельных узлов металлорежущих станков// Информационный листок. Укр.НИИНТИ. - 1988. № 87-127. - 4

Подписано к печати 26.12.86. Объем I, Оп.л. Тираж 100 экз.

Заказ № 1302 Типография МТУ им. Н.Э.Баумана