

РОДИОНОВА Наталья Анатольевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА
НАПРАВЛЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА
ОТВЕРСТИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Дальский А.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Базров Б.М.,
кандидат технических наук,
доцент Полтавец О.Ф.

Ведущее предприятие:

ОАО «Редуктор», г.Барыш

Защита состоится « 1 » марта 2006 г. на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу:
105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экземпляре, заверенный печатью, просим высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан « 18 » января 2006 г.
телефон для справок: 267-09-63.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д.т.н., профессор



Михайлов В.П.



Подписано к печати « 18 » января 2006 г.

Заказ № 450

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В середине прошлого века японские ученые опубликовали прогноз увеличения точности машиностроительных изделий. Из прогноза следовало, что к 2000 году точные изделия будут изготавливаться с точностью несколько микрометров, а прецизионные – с долемикрометрической точностью. Можно утверждать, что этот прогноз оправдался полностью. В 21 веке точность различных параметров изделий машиностроения увеличивается.

При обработке заготовок резанием большое внимание уделяется точности геометрических показателей. Так, качество деталей часто оценивают по точности размера. Для этого существует ряд совершенных измерительных средств, среди которых имеются и такие, которые позволяют оценивать размер с точностью до сотых долей микрометра. Вместе с тем выдерживание заданного размера с жесткими допусками не представляет таких технологических затруднений, как обеспечение точности формы. Условия формообразования деталей оказывается настолько сложными, что одновременно возникает ряд отклонений геометрического характера: отклонение от круглости, цилиндричности, перпендикулярности, параллельности и др. Однако технологическое обеспечение именно таких параметров является одним из важнейших условий повышения качества машин. В производственных условиях первостепенное значение придают отклонениям от круглости и в особенности это важно для корпусных прецизионных деталей машин. Корпусные детали в машиностроении почти всегда являются базовыми. Именно с них начинается компоновка всего изделия. Они определяют не только взаимные расположения элементов конструкции, но и характер соединений отдельных деталей. На корпусных деталях ответственными являются, как правило, две группы конструктивных элементов: плоские поверхности и поверхности отверстий. Отклонение от плоскостности представляет собой отдельную важную тему. Ключевое значение имеет отклонение формы отверстий корпусных деталей, в которые устанавливают подшипники качения или скольжения, различные кольца, втулки, гильзы и т.д. Для растачивания отверстий корпусных деталей созданы специальные расточные станки, предусматривающие неподвижное закрепление заготовки, вращательное главное движение режущего инструмента и его подачу.

Рядом исследований установлено, что в ходе технологических процессов обработки резанием, детали получают специфические отклонения от правильных геометрических форм, которые были предусмотрены конструктором. Эти отклонения, связанные с геометрической формой поперечных и продольных сечений деталей с их конструктивными особенностями, с жесткостными параметрами технологической системы (переменной жесткостью шпинделей металлорежущих станков, металлорежущих столов, приспособлений и т.д.), те

наследственностью, изменяют условия контактирования в сопряжениях и влияют на показатели качества работы деталей в целом. Поэтому возникает необходимость исследовать данные геометрические отклонения и находить пути их снижения.

Целью работы является: разработка метода повышения качества отверстий в корпусных деталях путем направленного комбинирования жесткостных параметров технологической системы при растачивании.

Методы исследования

Работа включает в себя теоретические и экспериментальные исследования и моделирование на ЭВМ в среде C++, гармонический анализ, методы теории упругости и сопротивления материалов. Экспериментальные исследования проводились в производственных условиях на координатно-расточных станках с использованием разработанных приспособлений.

Научная новизна

- разработан метод повышения качества отверстий в корпусных деталях путем комбинирования жесткостных параметров;
- предложена модель диагностики и прогнозирования погрешностей геометрического характера отверстий корпусных прецизионных деталей машин в форме дифференциальных уравнений;
- разработана программа расчета для определения оптимального пространственного положения детали при растачивании.

Задачи исследования:

- 1) исследовать возможности повышения качества корпусных конструкций за счет применения метода повышения качества обработки отверстий при растачивании;
- 2) провести анализ влияния многочисленных жесткостных параметров на результаты растачивания;
- 3) вывести аналитические зависимости, позволяющие рассчитать первичные погрешности, влияющие на отклонение формы отверстий при растачивании;
- 4) разработать метод направленного комбинирования жесткостных параметров технологической системы для повышения качества отверстий в корпусных деталях машин.

Экспериментальное подтверждение проводилось на координатно-расточном станке в цеховых условиях завода ОАО «Редуктор» г. Барыша.

На защиту выносятся:

- метод расчета геометрической погрешности отверстия в зависимости от конструктивных элементов деталей;
- метод определения переменной жесткости шпинделей металлорежущих станков;
- результаты экспериментальных исследований зависимости некруглости обработанного отверстия от комбинирования влияющих параметров технологической системы;

- разработанная программа для ЭВМ, позволяющая рассчитывать оптимальные комбинации неограниченного числа погрешностей, влияющих при растачивании отверстий.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждена:

- результатами физического эксперимента по растачиванию отверстий корпусов редукторов.

Реализация результатов работы

Результаты работы нашли применение на заводе ОАО «Редуктор» (Ульяновская область, г. Барыш).

Апробация работы

Основные положения и результаты работы обсуждались на:

- расширенных заседаниях кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э.Баумана в 2002 г.;
- заседаниях кафедры МТ-3 МГТУ им. Н.Э.Баумана в 2004 г.

Публикации

Основное содержание и результаты исследований диссертации опубликованы в научных работах, представленных в библиографическом списке.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 121 странице машинописного текста, содержит 38 рисунков, 7 таблиц, списка приложений; список литературы включает в себя 63 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемых в диссертационной работе проблем, а также формируются её цель и задачи.

Первая глава содержит обзор состояния исследований в области формирования геометрических погрешностей при растачивании, жесткостных параметров технологической системы, влияние технологического наследования конструктивных элементов деталей. Произведен анализ факторов, вызывающих геометрические погрешности обработки при растачивании на основании работ П.М. Чернянского, А.М. Дальского, В.М. Бурцева, Б.М. Базрова, А.Г. Суслова, К.С. Колесникова и других.

Исследование методов одновременного учета влияющих параметров при растачивании в работах М.С. Камсюка, З.Г. Кулешовой.

Рассмотрены основные факторы, определяющие при растачивании показатели качества:

- переменная жесткость шпинделя по углу поворота;
- переменная глубина резания при растачивании отверстий в заготовках;

- технологическое наследование конструктивных форм растачиваемых корпусных деталей;
- несовпадение осей отверстий заготовок и шпинделей расточных станков, возникающее при базировании и закреплении заготовок;
- прочие факторы, характерные для конкретного технологического процесса растачивания.

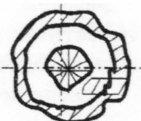
В конце главы сформулированы цель и научные задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованиям и анализу первичных погрешностей при растачивании прецизионных отверстий, выводе расчетно-аналитических зависимостей данных погрешностей, разработке метода повышения качества отверстий в корпусных деталях путем направленного комбинирования жесткостных параметров технологической системы.

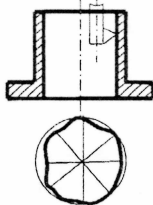
В настоящее время существуют разные методы снижения погрешности отклонение формы отверстий. В работе М.С. Камсюка, А.М. Дальского предложен вариант составления дифференциального уравнения движения режущего инструмента, в котором авторы связали переменную глубину резания, переменную жесткость шпинделя по углу поворота, несовпадение оси отверстия заготовки с осью режущего инструмента. Полученное дифференциальное уравнение позволяет одновременно учитывать данные технологические погрешности и повысить точность обработки в процессе растачивания. Но необходимо развивать данный подход решения и искать возможность одновременно учитывать и другие важные параметры технологической системы, в зависимости от конкретно поставленной задачи. Включение в данное дифференциальное уравнение других параметров, которых огромное множество, приведет к более сложной математической задаче и трудному решению. Поэтому поставленная задача требует дальнейшего уточнения, решение которой позволит учитывать неограниченное количество технологических параметров и даст возможность комбинировать эти факторы между собой таким образом, чтобы одни частично компенсировали другие. Одна часть факторов относится к заготовке и приспособлению, другая непосредственно к шпинделю и режущему инструменту. Все эти погрешности в векторной форме имеют свое направление и положение в пространстве. Каждый вектор показывает определенное упругое отжатие, связанное с жесткостными показателями технологической системы. Аппроксимируя данные упругие отжатия (каждое из них имеет различное числовое значение), можно любую погрешность представить в виде замкнутой кривой или определенной эпюры жесткости по углу поворота (рис.1).

При анализе перечисленных погрешностей в системе координат металлорежущего станка можно направленно их комбинировать в единой плоскости параллельной столу станка. Для этого погрешности, связанные с режущим инструментом и шпинделем необходимо просуммировать между собой, аналогично, как и погрешности, связанные с заготовкой и приспособлением. Между двумя этими суммами найти такое положение

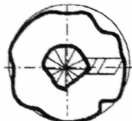
Переменная глубина
резания, Δ_1



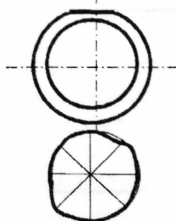
Несовпадения осей
отверстия заготовки
и режущего
инструмента, Δ_4



Переменная жесткость
шпинделя Δ_5



Различные
конструктивные
формы элементов
 Δ_7



Переменная
жесткость
заготовки Δ_8

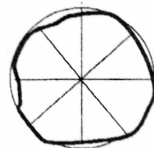
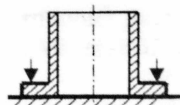


Рис.1 Различные эпюры жесткости по углу поворота

элементов технологической системы, когда сумма будет минимальной. Данные погрешности будут частично или полностью компенсировать друг друга и погрешность формы отверстия при растачивании значительно снизиться. Непосредственно на производстве данное комбинирование возможно путем поворота круглого стола станка на рассчитанный определенный угол (необходимым условием является наличие круглого поворотного стола).

Следующей задачей являлось необходимость нахождения количественной стороны составляющих погрешности. Погрешность от наследования конструктивных форм элементов рассчитывалась на примере методического подхода для случая растачивания двух близко расположенных прецизионных отверстий корпусной детали с использованием теории упругости и сопротивления материалов. Основная идея метода состоит в замене дифференциального уравнения линии прогибов его конечно-разностным приближением и алгебраическом решении системы конечно-разностных уравнений, полученных для нескольких точек по длине балки. Решение системы дает приближенные величины прогибов в этих точках. В сжатом виде данный метод расчета сводится к следующему.

1. Представить расчетную схему для определения упругих перемещений заготовки в виде балки переменного сечения, находящейся под действием нагрузки P , участок расположения конструктивного элемента (расчетная схема показана на рис.2, где a – координата места приложения

силы, мм; l – длина участка заготовки расположения конструктивного элемента, мм).

2. Используя метод конечных разностей составить дифференциальное уравнение линии прогибов по длине балки и найти неизвестные: R_A , R_B – вертикальные реакции; M_A , M_B – реактивные моменты в заделках; M_C – изгибающий момент в точке приложения нагрузки. Уравнение линии прогибов в конечно-разностной форме имеет вид:

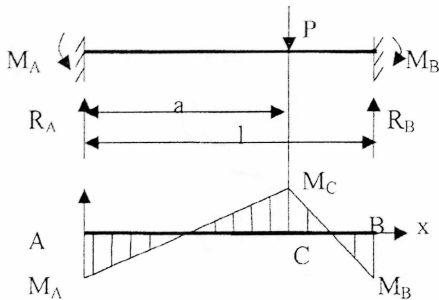


Рис.2. Расчетная схема для определения упругих перемещений заготовки

$$f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1} = -S_p^2 \cdot M / (E \cdot I_i),$$

где f_i - прогиб в точке i ; f_{i-1} - прогиб слева от точки i ; f_{i+1} - прогиб справа от точки i . Задача заключается в нахождении правой части уравнения

3. Разбить длину балки на n – количество участков и записать систему дифференциальных уравнений для каждого участка в конечно-разностной форме, что позволит определить упругие перемещения в нескольких точках.

4. Решить систему уравнений, используя программное обеспечение и найти количественные значения упругих перемещений заготовки.

$$\begin{cases} -2 \cdot f_1 + f_2 + 0 \cdot f_3 + 0 \cdot f_4 + \dots + 0 \cdot f_{n-1} = \beta_1; \\ f_1 - 2 \cdot f_2 + f_3 + 0 \cdot f_4 + \dots + 0 \cdot f_{n-1} = \beta_2; \\ 0 \cdot f_1 + f_2 - 2 \cdot f_3 + f_4 + \dots + 0 \cdot f_{n-1} = \beta_3; \\ \dots\dots\dots; \\ 0 \cdot f_1 + 0 \cdot f_2 + 0 \cdot f_3 + \dots + f_{n-2} - 2 \cdot f_{n-1} = \beta_{n-1}. \end{cases},$$

где $\beta_i = -S_p \cdot M_i / (E \cdot I_i)$ позволяет найти численное значение отклонение формы в зависимости от конструктивного элемента.

5. По полученным данным расчета построить соответствующую эпюру жесткости по углу поворота режущего инструмента.

Для других конструктивных форм корпусных деталей используется тот же методический подход, основанный на применении теории упругости.

Оценку погрешности от переменной глубины резания в зависимости от отклонения формы предварительно обработанного отверстия предложено определять на основе уравнения:

$$\Delta_3 = \frac{2\pi \cdot x_1 \cdot t^a}{\int_0^{2\pi} j(\varphi) d\varphi} - \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \rho(\varphi) d\varphi + H \cdot \cos(\lambda\omega\tau - \delta) \right],$$

где x_1 и t - зависят от технологических параметров обработки и определяются в зависимости конструкторских требований и условий технологической операции; H - амплитуда волны; λ - число продольных волн на поверхности отверстия; ω - циклическая частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; δ - сдвиг по фазе относительно эпюры жесткости, град.

Погрешность от несовпадения осей отверстия и режущего инструмента определять из:

$$\Delta_4 = \frac{2\pi \cdot x_1 \cdot t^a}{\int_0^{2\pi} j(\varphi) d\varphi} - (r_0 + \varepsilon \cdot \cos(\omega\tau - \delta)),$$

где ε - величина смещения оси обработанного отверстия, мкм; r_0 - радиус предварительно обработанного отверстия, мм.

Для нахождения жесткостных параметров технологической системы (шпинделя м/р станка, стола станка и др.) предложена следующая зависимость:

$$\Delta_8 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} j(\varphi) d\varphi + \frac{j_{\max/\text{пр}} - j_{\min/\text{пр}}}{2} \cos(\omega_1\tau - \delta),$$

где $J_{\max/\text{пр}}$, $J_{\min/\text{пр}}$ - радиальные максимальное и минимальное значения жесткости приспособлений металлорежущего станка, Нмм^{-1} , которые могут быть найдены экспериментальными методами.

Направленное комбинирование влияющих факторов представлено на примере двух погрешностей (рис.3а), которые представляют собой эпюры жесткости, значения которых характеризуют упругие отжатия технологической системы (например, погрешность от конструктивных элементов заготовки 1 и переменная жесткость шпинделя 2). Первую погрешность можно представить в виде функции упругих отжатий в шести точках этой кривой:

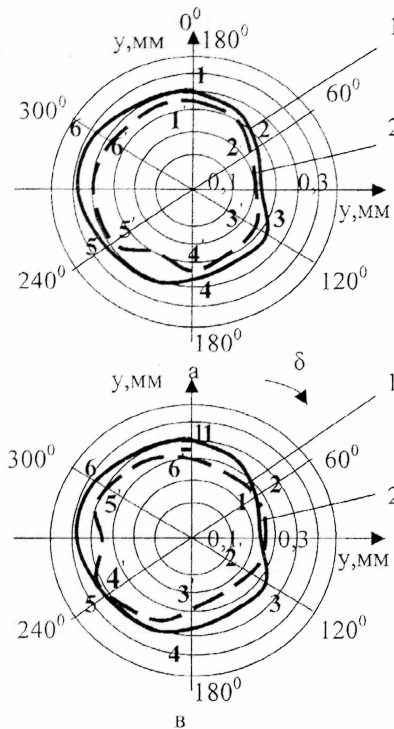
$$I = f[y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6]$$

Аналогичным образом, вторая погрешность:

$$\Pi = f[y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6].$$

Необходимо отметить, что эпюра погрешности от переменной жесткости шпинделя неподвижна относительно системы координат станка и других погрешностей. Эпюру погрешности от конструктивных элементов заготовки можно поворачивать в плоскости стола станка относительно первой эпюры. Это связано с тем, что заготовку можно будет повернуть на

нужный угол, поворачивая круглый стол металлорежущего станка. Итак, в начальном положении «0 град» между числовыми значениями в шести точках существует числовая разница, если повернуть первую эпюру по часовой стрелки относительно другой эпюры на 60° , то и предельная разница между точками соответственно измениться. Можно записать матрицу изменений значения через каждые 60° градусов в виде:



$$\delta = \begin{bmatrix} Y_{11}; Y_{12}; Y_{13}; Y_{14}; Y_{15}; Y_{16} - \delta = 0^\circ \\ Y_{21}; Y_{22}; Y_{23}; Y_{24}; Y_{25}; Y_{26} - \delta = 60^\circ \\ Y_{31}; Y_{32}; Y_{33}; Y_{34}; Y_{35}; Y_{36} - \delta = 120^\circ \\ Y_{41}; Y_{42}; Y_{43}; Y_{44}; Y_{45}; Y_{46} - \delta = 180^\circ \\ Y_{51}; Y_{52}; Y_{53}; Y_{54}; Y_{55}; Y_{56} - \delta = 240^\circ \\ Y_{61}; Y_{62}; Y_{63}; Y_{64}; Y_{65}; Y_{66} - \delta = 300^\circ \end{bmatrix}$$

Рис.3. Схема минимизации погрешностей

Из матрицы видно, что существует шесть различных комбинаций двух погрешностей, необходимо найти такой угол поворота δ одной эпюры

относительно другой, чтобы разница значений между точками 1'-1...6-6; 1'-2...6'-1 и т.д. (рис.3в) была бы минимальной. Для этого нужно найти разницы значений всех шести точек при каждом повороте на угол 60° и сравнить результаты всех полученных значений. Данный подход проводится простыми математическими расчетами. При сравнении полученных результатов для каждой комбинации определяем, где разница между всеми точками будет минимальной или совпадать. В найденной оптимальной комбинации расположения эпюр жесткости одна погрешность будет частично компенсировать другую при этом отклонение формы отверстия значительно

уменьшиться в процессе растачивания. Достаточно затруднительно будет проводить аналогичные преобразования, когда необходимо будет комбинировать и учитывать большое количество влияющих факторов в зависимости от поставленных задач. Тем более что чем больше учитываемых факторов и известных численных значений упругих отжатий (чем меньше угол между ними), тем точнее будет результат расчета и соответственно выше точность отверстия при растачивании. Для этой цели было разработано программное средство, которое позволяет комбинировать неограниченное количество факторов и учитывать любое найденное количество упругих отжатий в эпоре. Программа разработана на объектно-ориентированном языке C++ в среде программирования MicroSoft Visual Studio 6.0. Для корректной работы программы необходима операционная система Windows 98, NT 4.0, 2000 или XP.

Графический интерфейс программы разработан с использованием стандартного набора средств Win32 api, поэтому программа для своей работы не требует предустановки и использования динамических библиотек, не входящих в стандартный набор указанных выше версий операционных систем. Главное окно программы представлено на рис.4.

В главном окне программы на начальной стадии расчёта предлагается ввести параметры расчета: количество компонент погрешности и угловой шаг измерений (град.).

Параметры расчёта

Кол-во компонент погрешности:

Угловой шаг измерений (град.):

Начать ввод данных

Неподвижные эпоры: от до

Рассчитать

Результаты расчёта

Необходимый угол поворота заготовки против часовой стрелки составляет: -330 град. Погрешность будет равна 0.50

Создать отчёт

	0	1
0	0.0008	0.06
30	0.0013	0.07
60	0.0023	0.08
90	0.0015	0.1
120	0.0037	0.12
150	0.0018	0.13
180	0.0006	0.14
210	0.0023	0.13
240	0.0016	0.15
270	0.0076	0.12
300	0.0013	0.1
330	0.0003	0.08

шаг измерений, а также задать номера эпор, относящихся к заготовке и шпинделю станка, т.е. задать неподвижные эпоры. В процессе работы разработанного алгоритма суммируются погрешности, относящиеся к заготовке и к обрабатываемому инструменту. Далее находится минимум каждой из этих сумм и угловые координаты этих минимумов. Требуемый угол поворота – есть разница угловых координат найденных минимумов.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям, которые включают в себя два этапа.

На первом этапе была найдена переменная жесткость шпинделей по углу поворота, определены значения упругих перемещений по углу поворота,

Рис.4. Главное окно разработанного программного средства

которые необходимы для проведения дальнейшего направленного комбинирования по разработанной методике.

Целью эксперимента второго этапа является достоверность экспериментального подтверждения разработанного метода, установление действительных соотношений между технологическими факторами и точностью геометрических параметров отверстий.

Серии экспериментов проводились на редукторном заводе ОАО «Редуктор» в городе Барыше Ульяновской области, упругие отжаты шпинделей измерялись на координатно-расточных станках моделей 2Е450АФ30, 2В440А.

Для проведения экспериментальных исследований первого этапа были спроектированы и изготовлены специальные приспособления.

Сила (50Н) передаваемая при помощи специального приспособления (рис.5), установленного на круглом столе металлорежущего станка, передается на динамометр (ДОСМ-3-1; пределы измерений от 10Н до 1000Н) и далее на кольцо, которое непосредственно было установлено на шпиндель. Изменения упругих отжатий шпинделя снимались при помощи индикатора (ГОСТ 577-68 предел измерений 0,01мм), установленного на гильзу станка с помощью магнитной основы. За истинную величину упругого перемещения принималось среднее значение 5-7 нагружений.

После первого измерения, круглый стол металлорежущего станка поворачивался на 30° вместе с приспособлением, и производились

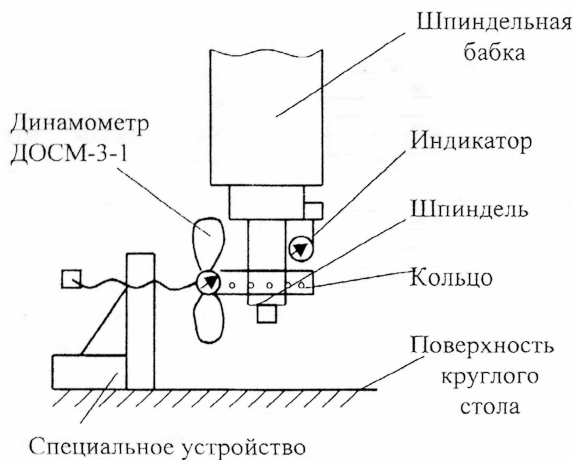


Рис.5. Расчетная схема измерений упругих перемещений шпиндельных узлов

следующие измерения с той же силой нагружения на шпиндель. Следует отметить, что измерения проводились по всему диаметру шпинделя при одних и тех же условиях и положение шпинделя не изменялось.

По результатам проведенных экспериментов были составлены круговые диаграммы упругих отжатию шпинделей в зависимости от силы нагружения (рис. 6).

Эксперименты по определению жесткостных параметров технологической системы подтвердили, что жесткость шпинделей является переменной по углу поворота, что связано с нежесткой конструкцией шпиндельного узла и его составляющих. При увеличении силы нагружения на шпиндель станка упругие отжатию увеличиваются, что хорошо заметно при анализе полученных круговых диаграмм. Это важно учитывать при назначении технологических режимов обработки.

Эксперименты второго этапа проводилась на координатно-расточном станке 2В440А при растачивании отверстия в корпусной детали.

В качестве заготовок использовались заготовки корпусов редукторов, которые изготавливаются непосредственно на заводе. К каждой партии заготовок предъявлялись высокие требования по идентичности структуры и физико-механических свойств материала.

Вначале подготавливалось исследуемое отверстие, а потом обрабатывались соседние отверстия, фрезеровалась поверхность, по которой

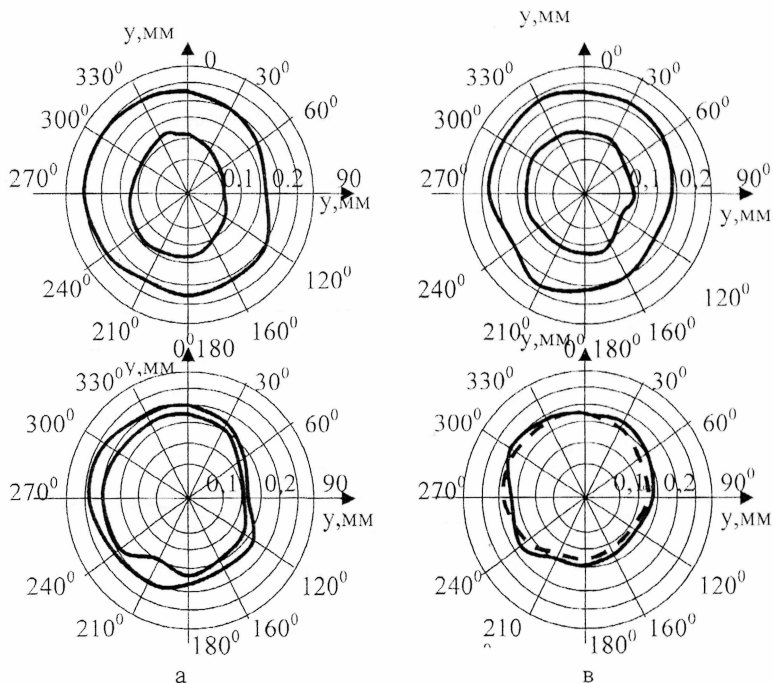


Рис.6. Круговые диаграммы упругих отжатию шпинделей
а – станок 2В440А. б – станок 2Е450АФ30

устанавливалась заготовка на стол станка. При назначении режимов предварительной обработки исходим из того, что искажение формы исследуемого отверстия должна быть минимальной. Заготовки устанавливались на шлифованную за одну установку подкладках на столе станка и закреплялись с помощью прижимных планок. Производилось тщательное центрирование обрабатываемого отверстия с точностью до 0.01мм при помощи центрикателя, закрепленного на станке. Кроме того, в некоторых случаях производился предварительный проход с минимальной глубиной резания с целью уменьшения погрешностей установки и предварительных переходов обработки.

Производилось растачивание отверстия Ø47мм при режимах: $S=0,03\text{мм/об}$; $t=0,25\text{мм}$; $V=0,15\text{м/с}$. Одна партия заготовок обрабатывалась на станке без каких-либо предварительных расчетов, для другой партии заготовок производился расчет по разработанной методике. Для каждой заготовки рассчитывалась погрешность от конструктивных форм элементов, в частности от наличия соседнего отверстия, использовались экспериментальные данные по переменной жесткости шпинделя данного металлорежущего станка, и только после соответствующих расчетов, включая расчеты по комбинированию погрешностей по разработанной программе для компьютера, отверстие заготовки растачивалось.

Отклонения формы отверстий определялись при помощи кругломера модель 290 ГОСТ 17353-80.

На рис.7 представлены результаты растачивания отверстий двух партий деталей корпусов редуктора в виде графика распределения отклонений от круглости по периметру отверстия – развертки круглограмм в

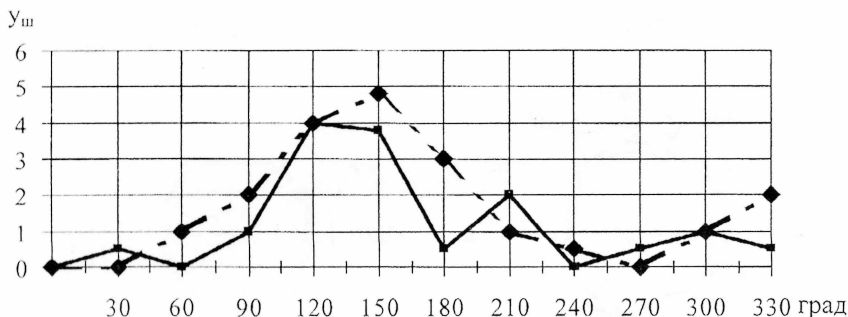


Рис.7 Графики суммарного отклонения от круглости двух партий деталей

прямоугольной системе координат. Штрихпунктирной линией показано суммарное отклонение формы в трех сечениях отверстий партии деталей,

отверстия которых растачивались без проведения расчетов. График сплошной линией - отклонение от круглости отверстий деталей, растачиваемых с предлагаемой методикой направленного комбинирования параметров. Наглядно заметно, что отклонение от круглости отверстий у всех деталей во втором случае значительно меньше, чем у первой партии деталей.

По результатам исследований установлено, что, несмотря на наличие неучтенных факторов, качество растачиваемых отверстий заготовок увеличилось в среднем на 55%, что дает основание считать предлагаемую в работе методику направленного комбинирования жесткостных параметров технологической системы обоснованной.

Таким образом, на основании результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Эксперименты по определению жесткостных параметров технологической системы подтвердили, что жесткость шпинделей является переменной по углу поворота, что связано с нежесткой конструкцией шпиндельного узла и его составляющих.

2. При увеличении силы нагружения на шпиндель станка упругие отжатыя увеличиваются, что хорошо заметно при анализе полученных круговых диаграмм. Это важно учитывать при назначении технологических режимов обработки.

3. Полученные значения упругих отжатий шпинделей при подстановке в формулы в главе 2 позволяют анализировать данное явление в динамике в разные моменты времени.

4. Если стоит задача обеспечить минимальное отклонение формы отверстий для корпусной детали, то необходимо исследовать и учесть все основные факторы или некоторые из них в зависимости от поставленной задачи по предлагаемой методике. Чем больше включенных факторов, тем выше будет качество обработки.

Глава 4 посвящена практическим рекомендациям и включает в себя подготовку условий для определения жесткостных параметров технологической системы, рекомендации для прогнозирования и нахождения первичных погрешностей расчетно-аналитическим методом, исходные данные для направленного комбинирования технологических параметров.

Метод направленного комбинирования жесткостных параметров включает в себя:

1. Определение жесткостных параметров технологической системы: количественные значения упругих отжатий шпинделей металлорежущих станков (глава 3), также в зависимости от технологических задач упругие отжатыя столов станков, режущего инструмента.

2. Определение упругих перемещений заготовок в местах расположения их конструктивных элементов (глава 2).

3. Нахождение количественных значений погрешности от переменной глубины резания, переменной жесткости заготовки в приспособлении по предложенным зависимостям (глава 2).

4. Представление перечисленных погрешностей в виде эпюр жесткости по углу поворота через интервал в 30 градусов (предпочтительно, возможно уменьшение до 60 градусов).

5. Все числовые значения необходимо представить в одной системе измерений (мм, мкм).

6. Погрешности, представленные в виде эпюр жесткости, относящиеся к металлорежущему станку принять неподвижными между собой (склеенными), в отличие от погрешностей, связанных с заготовкой.

7. Ввести в компьютерную программу исходные данные: количество погрешностей, угловой шаг измерений, неподвижные эпюры жесткостей параметров, числовые значения через заданный угловой шаг измерений.

8. После нахождения угла поворота заготовки на определенный угол производить процесс растачивания, повернув круглый стол по лимбу.

Необходимо отметить, что ориентирование на станке заготовки (эпюр отверстий заготовок) должно строго соответствовать при закреплении с положением заготовки (эпюры) при компьютерном расчете. Для этого необходимо ввести неподвижную систему координат (удобнее использовать систему координат станка).

В результате выполнения теоретических и экспериментальных исследования были разработаны технологические мероприятия, позволившие повысить точность формы высокоточных отверстий в корпусных деталях машин. Данные мероприятия основываются на установлении расчетно-аналитических зависимостей, позволяющих прогнозировать и рассчитывать явления, связанные с жесткостными параметрами системы; определение экспериментальными методами упругих отжатий элементов технологической системы; разработки метода направленного комбинирования первичных погрешностей путем частичной или полной их взаимной компенсации. Эффективность мероприятий находится в прямой зависимости от степени особенностей конкретного оборудования и условий производства.

Немаловажное значение имеет правильный выбор всего технологического маршрута обработки детали до чистового растачивания.

При жестком закреплении заготовок и инструмента необходимо повышать жесткость инструмента с целью уменьшения его упругих отжатий. В деталях, имеющих конструктивные элементы пониженной жесткости можно рассмотреть вопрос о создании «противодавления», например, при помощи специальных гидропластовых или других разжимных планок, что требует дальнейших дополнительных расчетов.

Общие выводы

1. На основе разработанного метода рационального комбинирования упругих деформаций основных элементов конкретной технологической системы представляется возможным повысить качество растачиваемых

прецизионных отверстий корпусных деталей вне термостатированных помещений в среднем на 55%.

2. Основными факторами, которые определяют при растачивании показатели качества, являются:

- переменная жесткость шпинделя по углу поворота;
- переменная глубина резания при растачивании отверстий в заготовках;
- технологическое наследование конструктивных форм растачиваемых корпусных деталей;
- несовпадение осей отверстий заготовок и шпинделей расточных станков, возникающее при базировании и закреплении заготовок.

3. Наиболее целесообразным является определение общей картины деформаций на основе компьютерного обеспечения исследования. Разработанная программа расчета дает возможность учитывать неограниченное количество жесткостных параметров в зависимости от конкретно поставленных задач. Общий порядок расчета для случая растачивания приведен в гл.2.

4. Наследственные погрешности корпусных деталей возникают чаще всего в случаях растачивания близко расположенных отверстий, наличия тонких стенок местного значения, лысок большой протяженности и др.

5. Определение в производственных условиях отклонений формы отверстий по различным сечениям должно проводиться только с помощью кругломеров. Корректировка производственных программ проводится на основе анализа полученных измерений и с помощью рядов Фурье.

6. В случае закрепления маложестких корпусных деталей погрешности, вызывающие отклонение формы отверстий, определяются дополнительно на основе методики и программ с учетом элементов теории упругости. Рассчитанная погрешность является дополнительным элементом корректировки условий растачивания.

7. Рабочее место расточников, выполняющих работу по представленной методике, должно быть оснащено виброопорами, качественными инструментами и специальными центроискателями. Измеренные погрешности несовпадения осей входят составной частью в расточную программу.

8. При использовании для расчета ограниченного количества параметров жесткости, возможно решение проблем на основе использования дифференциальных уравнений.

9. На предприятии – потребителю методики работа по повышению качества растачиваемых отверстий должна производиться по следующему алгоритму:

- выделение в производственном помещении одного из наиболее качественных расточных станков;
- составление паспорта данных в соответствии с п.2 настоящих выводов;

- создание необходимой производственной обстановки для проведения работ;
- определение угла установки заготовки на круглом поворотном столе;
- закрепление заготовки с регламентированием сил закрепления;
- растачивание отверстий и контроль качества.

Публикации по теме диссертации

1. Родионова Н.А. Оценка отклонений формы цилиндрических поверхностей собираемых деталей // Сборка в машиностроение. – 2004. - №11. – С.9-12.

2. Родионова Н.А. Отклонение формы отверстий вызванные конструктивными элементами корпусных деталей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. - №7. –С.52-54.