УДК 621.9.06

На правах рукописи

СЕРГЕЙКИН Олег Анатольевич

ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ СМЕЩЕНИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ СТАНКОВ

Специальность 05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2004

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Чернянский П.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Барзов А.А.

кандидат технических наук, доцент Полтавец О.Ф.

Ведущее предприятие: ОАО «Красный пролетарий»

Защита диссертации состоится «13» октября 2004 г. в 19 30 час. на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5.

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

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан «7» сентября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д. т. н., проф. А.С.Васильев

Телефон для справок: 267-09-63

Подписано к печати 16.06.04 Объем 1,0 п. л. Тир
Заказ 122 Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современное машиностроительное производство ставит перед станкостроением задачи увеличения точности и производительности металлорежущих станков, а также требования по минимизации их стоимости. Это приводит к необходимости поиска новых и усовершенствования существующих конструкций станков, к необходимости использования научно обоснованных методик проектирования, основанных на математическом моделировании различных процессов, происходящих в станке, обеспечивающих возможность оценки точности станка и влияния на нее отдельных узлов уже на начальных стадиях проектирования. Применение таких методик ускоряет процесс разработки проекта, обеспечивает возможность оптимизации конструкции и приводит к значительному уменьшению затрат на создание и доработку опытных образцов.

Одним из перспективных направлений для внедрения научно обоснованных методик проектирования является конструирование корпусных деталей станков. В настоящее время при их проектировании преимущественно используются расчетные схемы, в которых реальные конструкции корпусных деталей представлены в виде упрощенных балочных и пластинчатых моделей, а также общие эмпирические рекомендации, полученные на основе экспериментальных исследований существующих корпусных деталей. Такой подход не позволяет строго обосновать целесообразность применения той или иной конструкции корпусной детали и значительно затрудняет оценку новых конструкций, по которым отсутствуют экспериментальные данные.

Вместе с тем, значительное развитие в последнее время методов расчета точности станков, а также математического моделирования напряженно-деформированного состояния, прежде всего, метода конечных элементов, дает возможность разработки и внедрения новых, более точных и эффективных методик расчета и оптимизации корпусных деталей станков.

Таким образом, исследования, направленные на разработку научно обоснованных методик расчета и проектирования корпусных деталей станков, являются актуальной научной задачей.

Цель работы. Разработка методики расчета составляющих отклонений размеров и формы обрабатываемых деталей, обусловленных деформациями корпусных деталей токарных станков с учетом местных деформаций отдельных элементов корпусных деталей.

Применение данной методики для параметрической оптимизации формы корпусных деталей станков на примере корпуса шпиндельной бабки, а также для разработки рекомендаций по конструкциям элементов корпусных деталей, примыкающих к затянутым стыкам.

М Г Т У

Методы исследований. Исследования проводились на базе теории точности станков, теории упругости, сопротивления материалов, метода конечных элементов. Экспериментальные исследования выполнены в производственных условиях на разработанной экспериментальной установке с использованием корпусных деталей серийно выпускаемого токарного станка.

Научная новизна. Разработана методика расчета составляющих погрешностей обработки, обусловленных деформациями корпусных деталей металлорежущих станков при их статическом нагружении. Методика основана на расчетах силовых смещений корпусных деталей методом конечных элементов и реализована в виде пользовательских подпрограмм для расчета корпусных деталей высокоточных токарных станков в программе конечноэлементного анализа ANSYS.

Особенностью методики является то, что с ее помощью можно определять не только составляющие погрешностей обработки размеров, но и отклонения формы обрабатываемых деталей. Кроме того, при расчете учитываются не только общие деформации корпусных деталей, но и местные деформации их отдельных элементов. Разработанная методика позволяет учитывать податливость стыков между деталями с учетом нелинейной зависимости контактной податливости от давления и неравномерности распределения давления в стыке.

Показана возможность применения разработанной методики расчета при параметрической оптимизации формы корпусных деталей станков.

Установлено, что конструкции затянутых стыков корпусных деталей станков во многих случаях не обеспечивают равномерное или близкое к равномерному распределение давлений в стыке.

На основе разработанной методики выполнены расчеты типовых конструкций затянутых стыков при введении в них различных конструктивных изменений и предложены меры по оптимизации конструкций затянутых стыков с целью обеспечения близкого к равномерному распределения давлений при затяжке стыка.

Практическая ценность. Предложенная методика расчета позволяет на стадии проектирования определять зависимость погрешностей обработки от формы корпусных деталей станков, давать рекомендации по их конструкции, производить параметрическую оптимизацию их формы.

Предложенные рекомендации по конструкции затянутых стыков позволяют получить конструкции, в которых давление практически равномерно распределено по поверхности стыка, обеспечивая наличие достаточной контактной жесткости по всей поверхности стыка.

Реализация работы. Разработанная методика внедрена на ОАО «Красный пролетарий». Результаты расчетов по данной методике использованы при проектировании корпусных деталей токарных станков особой и особо высокой точности. Достоверность внедрения подтверждена актом.

Результаты исследований также могут быть рекомендованы к внедрению на ОАО «Рязанский станкостроительный завод», ОАО «Средневолжский станкозавод» и ОАО «Ивановский завод тяжелого станкостроения».

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены на 1-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH, Москва, 2001 г.; на 2-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH, Москва, 2002 г. и на научных семинарах кафедры МТ-1.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 печатных работы. Данные работы также размещены в Internet на персональном сайте автора: http://sergeykin.hotbox.ru , http://sergeykin.nm.ru .

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 116 наименований, приложений; содержит 120 страниц основного текста, 85 рисунков, 10 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе произведен анализ работ по проектированию и расчетам корпусных деталей станков. Рассмотрены факторы, определяющие их конструкцию, особенности конструктивного оформления для различных типов корпусных деталей и методы их расчета.

Основные положения, применяемые при конструировании и расчетах корпусных деталей металлорежущих станков приведены в работах Д.Н.Решетова, В.В.Каминской, З.М.Левиной, А.С.Проникова, П.М.Чернянского, Б.М.Базрова, В.Т.Портмана и др.

Анализ данных работ показывает, что в настоящее время форма корпусных деталей металлорежущих станков определяется, в основном, на базе общих рекомендаций.

Для различных типов корпусных деталей (станины, поперечины, столы, коробки и т. д.) разработаны рекомендации по их конструктивному оформлению учитывающие, в основном, статическую жесткость и технологичность их изготовления. Данные рекомендации основаны на обширном опыте конструирования и эксплуатации металлорежущих станков

и широко применяются на практике, используются в качестве базы для определения конструктивного оформления корпусных деталей.

Однако подход к конструированию корпусных деталей станков, основанный на данных рекомендациях, имеет существенные недостатки, заключающиеся в том, что при его использовании нельзя точно учесть условия работы корпусной детали и требования, предъявляемые к ней, а также невозможно определить ее оптимальную форму исходя из заданных критериев оптимальности.

Основной задачей расчета корпусных деталей станков является оценка влияния на точность обработки их смещений, возникающих под действием возмущающих нагрузок различной природы. Данное влияние численно характеризуется относительными смещениями инструмента и заготовки по нормали к обрабатываемой поверхности, обусловленными деформациями корпусных деталей.

В настоящее время для расчета деформаций корпусных деталей станков применяют аналитические методы и метод конечных элементов.

При использовании аналитических методов рассчитываемая конструкция представляется в виде совокупности балок или пластин. При введении определенных допущений, для каждого из этих элементов возможно получить решение аналитическими методами. Для уточнения аналитического решения в расчетную схему вводятся коэффициенты, получаемые эмпирическим путем.

Достоинством аналитических методов является их относительная простота, а также то, что используемые аналитические формулы наглядно показывают влияние того или иного параметра рассчитываемой конструкции на ее смещения, наличие возможности быстро сравнить различные варианты конструкции. Однако при использовании аналитических методов нельзя учесть реальную геометрическую форму корпусных деталей, местные деформации отдельных конструктивных элементов. Аналитические решения для деталей сложной формы имеют значительную погрешность и требуют коррекции с помощью эмпирических коэффициентов, которые, в свою очередь, применимы только для ограниченного набора конструкций, аналогичных тем, для которых имеются экспериментальные данные.

Указанные недостатки существенно ограничивают возможности применения аналитических методов и приводят к необходимости использования метода конечных элементов.

При использовании метода конечных элементов рассчитываемая конструкция представляется в виде совокупности простых геометрических объектов – конечных элементов, для каждого из которых заранее определен вид функциональной зависимости распределения перемещений в этом элементе от перемещений в его узлах. Узлы обеспечивают соединение элементов между собой, их перемещения определяют напряженно-деформированное состояние конструкции.

Для каждого конечного элемента можно задать следующую зависимость между смещениями и силами в узлах:

$$F = [K]u + [D]u' + [M]u''; \quad (1)$$

где: **F** – вектор, определяющий значения сил в узлах конечного элемента;

u, u' и **u''** – векторы, определяющие, соответственно, значения смещений в узлах конечного элемента, а также его первые и вторые производные по времени;

[K], **[D]** и **[M]** – соответственно, матрицы жесткости, демпфирования и масс конечного элемента.

В случае статической задачи все компоненты векторов **u'** и **u''** являются нулевыми и уравнение (1) сводится к следующему:

$$\mathbf{F} = [\mathbf{K}]\mathbf{u}. \quad (2)$$

Приравнивая нулю сумму сил, действующих на каждый из узлов конечноэлементной модели и выразив данные силы через смещения узлов в соответствии с (1) и (2), можно получить систему уравнений, содержащую в качестве неизвестных смещения узлов и найти их значения путем решения этой системы.

В настоящее время при конечноэлементных расчетах корпусных деталей станков используются, как правило, упрощенные модели из балочных и пластинчатых элементов. Данные модели в полной мере не учитывают местные деформации отдельных конструктивных элементов и взаимное влияние друг на друга деформаций отдельных корпусных деталей, используют упрощенные схемы закрепления и нагружения. В качестве окончательных результатов расчета рассматриваются, как правило, смещения отдельных точек несущей системы, не оцениваются отклонения размеров и формы обрабатываемых деталей, обусловленные деформациями несущей системы.

Так как в настоящей работе производится исследование не только отдельных корпусных деталей, но и сборочных единиц, включающих в себя несколько корпусных деталей, при анализе ранее проведенных исследований значительное внимание уделялось методом учета в расчетных схемах податливостей соединений корпусных деталей и экспериментальным исследованиям в этой области. При этом основное внимание уделялось исследованиям затянутых стыков.

Анализ ранее проведенных исследований показывает, что при инженерных расчетах конструкций станков с затянутыми стыками не учитывается взаимное влияние деформаций податливого стыка и соединяемых деталей, что снижает точность расчета и делает невозможным оценку влияния формы конструктивных элементов, примыкающих к стыку, на распределение контактных давлений.

Кроме того, коэффициент контактной податливости необходимо определять с учетом масштабных факторов, которые, в свою очередь, определяются из эксперимента и зависят от размеров стыка и отклонений формы контактирующих поверхностей, что затрудняет точное определение их значений для конкретной конструкции стыка

Все вышесказанное ограничивает применение используемых подходов к учету контактных деформаций в затянутых стыках и приводит к необходимости построения такого подхода, при котором рассматриваются совместно собственные деформации корпусных деталей и контактные деформации в стыках с учетом реальной зависимости между смещениями и давлениями в каждой точке стыка.

Таким образом, показана необходимость уточнения конечноэлементных расчетов корпусных деталей станков, с целью более подробного учета деформаций отдельных конструктивных элементов корпусных деталей и реальных условий контакта в стыках.

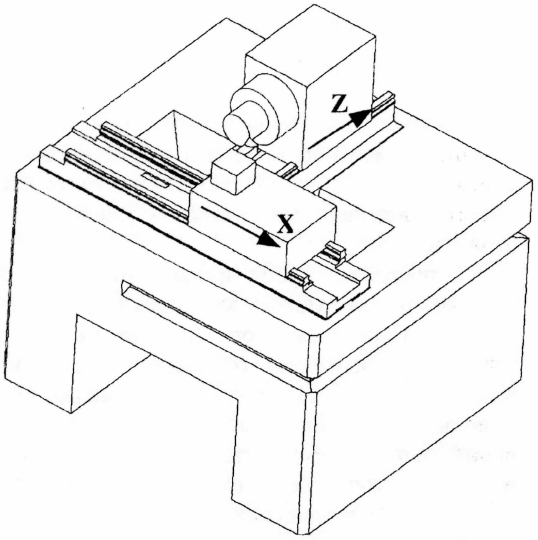


Рис. 1. Расположение основных узлов для рассматриваемой компоновки токарного станка с двумя суппортами

Исследования в области точности металлорежущих станков, выполненные в последние годы на кафедре МТ-1 МГТУ им. Н. Э. Баумана под руководством проф. П.М.Чернянского, обеспечивают расчет точности металлорежущих станков на стадии проектирования. Задачей настоящего исследования является развитие исследований в данном направлении с целью обеспечения расчета силовых смещений, обусловленных деформациями корпусных деталей металлорежущих станков и оценки влияния данных силовых смещений на точность.

В настоящей работе рассматриваются расчеты корпусных деталей под действием статических сил. В качестве базы для исследования выбраны токарные станки с двумя суппортами (см. рис. 1).

Окончательно задачи исследования сформулированы следующим образом:

1. Разработать методику расчета составляющих погрешностей обработки и отклонений формы обрабатываемых поверхностей, обусловленных деформациями корпусных деталей на примере токарных станков с двумя суппортами (см. рис. 1), удовлетворяющую следующим требованиям:
   - Обеспечить учет местных деформаций всех конструктивных элементов, оказывающих существенное влияние на смещения базовых поверхностей.
   - Обеспечить близкие к реальной конструкции схемы закрепления и нагружения.
   - При расчете конструкции, состоящей из нескольких деталей, учитывать реальные условия контакта между ними.
   - Выполнять расчет для любого возможного варианта расположения подвижных узлов и зоны резания, а также автоматически выполнять серию расчетов для заданной совокупности таких вариантов.
   - Все элементы методики должны быть реализованы в виде компьютерной программы.
   - Использовать геометрическую модель рассчитываемой конструкции, построенную в существующей системе автоматизированного проектирования.
   - Осуществлять расчет напряженно-деформированного состояния с помощью существующих программ конечноэлементного анализа.
2. Разработать подход к оптимизации формы корпусных деталей, основанный на использовании результатов расчетов по методике, указанной в п. 1, на примере корпусов шпиндельных бабок.
3. Исходя из расчетов силовых смещений по методике, указанной в п. 1, сформулировать рекомендации по оптимизации формы отдельных конструктивных элементов корпусных деталей металлорежущих станков на примере конструктивных элементов затянутых стыков.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета составляющих погрешностей обработки и отклонений формы обрабатываемых поверхностей, обусловленных деформациями корпусных деталей.

Общая схема методики расчета представлена на рис. 2.

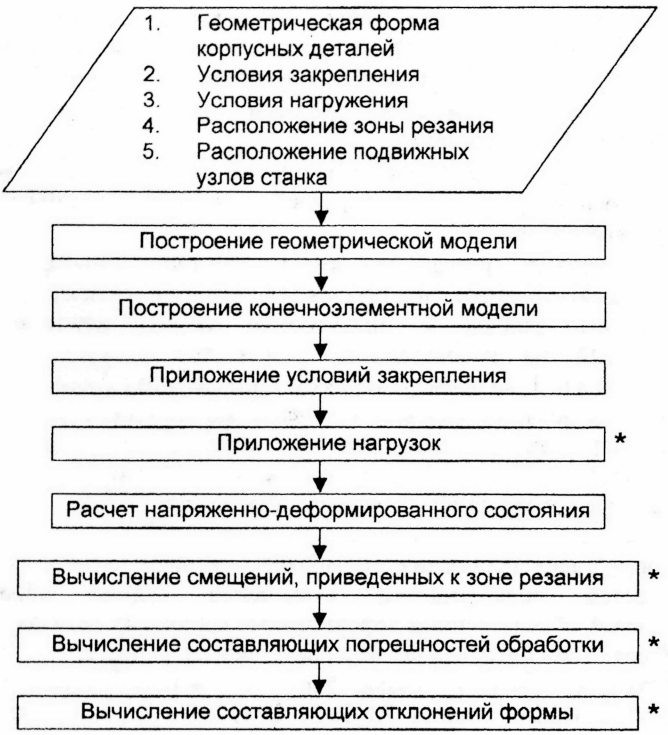
Методика расчета реализована с использованием программы конечноэлементного анализа ANSYS. Операции, характерные только для расчетов металлорежущих станков (приложение сил для различных положений подвижных узлов, определение смещений базовых точек, пространственного положения подвижных узлов, вычисление составляющих погрешностей обработки и отклонений формы обрабатываемых деталей) отсутствуют в распространенных системах конечноэлементного анализа (в т. ч. и в ANSYS). Данные операции были реализованы с помощью

разработанных автором пользовательских программ (макросов) на языке APDL – встроенном языке программирования ANSYS.

Исследования производились на базе станков МК6510Ф4 и МК6521Ф3, выпускаемых на ОАО «Красный пролетарий».

При реализации методики расчета используются конечноэлементные модели из объемных элементов. Их использование обусловлено, прежде всего, тем, что они обеспечивают более точный учет геометрии корпусной детали по сравнению с пластинчатыми моделями и имеют возможность учета многих конструктивных элементов, недоступных для пластинчатых моделей.

На основе выполненных расчетов корпусных деталей станков сформулированы рекомендации по построению их геометрических и конечноэлементных моделей.



* - операции, реализованные с помощью макросов, разработанных автором

Рис. 2. Блок-схема методики расчета составляющих погрешностей обработки и отклонений формы обрабатываемых поверхностей, обусловленных деформациями корпусных деталей металлорежущих станков.

Также во второй главе рассматривается моделирование в расчетной схеме условий нагружения и закрепления корпусных деталей.

Статические силы, действующие на корпусные детали, могут быть разделены на следующие группы:

1. Силы резания.
2. Силы, действующие со стороны двигателя и звеньев привода.
3. Силы тяжести отдельных узлов станка.

Анализ конструкций и условий работы высокоточных токарных станков, выпускаемых ОАО «Красный пролетарий» показал, что для них наибольшее значение имеют силы тяжести подвижных узлов. Это обусловлено тем, что, по мере увеличения требований к точности обработки на станке, можно добиться уменьшения величины остальных указанных выше сил, в то время как силы тяжести подвижных узлов остаются постоянными.

Силы, передающиеся от подвижных узлов металлорежущего станка на корпусные детали, могут быть, как правило, приведены к поверхности опор шпинделя, либо к базовым поверхностям направляющих.

В обоих случаях силы, действующие на корпусные детали, являются распределенными и в расчетной схеме их следует прикладывать также в виде распределенных сил в соответствии с законами распределения в реальной конструкции. Использование сосредоточенных сил в расчетной схеме нежелательно.

Вместе с тем, реальные распределения данных сил по поверхности зачастую неизвестны. Поэтому при построении расчетной схемы допускается использование упрощенных законов количественного распределения данных сил по поверхности исходя из следующих условий:

1. Равнодействующая сил, используемых при расчете, должна быть равна равнодействующей сил, действующих в реальной конструкции.
2. Характер распределения сил в расчетной схеме должен качественно соответствовать характеру распределения сил в реальной конструкции.

В частности, для поверхностей под опоры шпинделя предлагается использовать поверхностные силы, распределенные по закону косинуса:

$$p = p_0 \cdot \cos\varphi; \qquad (3)$$

где: p_0 – коэффициент;

φ – угол, отсчитываемый от вектора равнодействующей радиальной реакции в опоре.

Для базовых поверхностей направляющих предлагается использовать силы, распределенные по линейному закону:

$$p = k_0 + k_1 \cdot L; \qquad (4)$$

где: k_0 и k_1 – коэффициенты;

L – координата, отсчитываемая вдоль направляющих.

На основе анализа конструкций станков рассматриваемой компоновки, также были выделены основные варианты условий закрепления корпусных деталей для данных конструкций станков и рассмотрена их реализация в расчетной схеме.

В третьей главе рассматриваются аспекты методики расчета, специфичные для металлорежущих станков – учет податливости затянутых стыков, приведение силовых смещений корпусных деталей к зоне резания с целью оценки составляющих погрешностей обработки и отклонений формы обрабатываемых деталей, обусловленных их деформациями. Также сравниваются результаты расчета и эксперимента.

Для моделирования податливости затянутых стыков необходимо ввести в расчетную схему элементы, моделирующие контактную податливость стыка и силы затяжки резьбовых соединений.

Податливость затянутого стыка учитывалась путем введения в расчетную схему тонкой прокладки между деталями и задания для нее свойств, соответствующих свойствам затянутого стыка.

Коэффициент нормальной контактной податливости стыка определялся исходя из известной эмпирической зависимости:

$$\delta = cp^m . \qquad (5)$$

где: p – давление в стыке;

c и m – коэффициенты, зависящие от вида обработки поверхностей и материала контактирующих деталей.

Коэффициент контактной податливости стыка равен отношению изменения сближения в стыке к соответствующему изменению давления в стыке:

$$k = \frac{\partial\delta}{\partial p} = mcp^{m-1}. \qquad (6)$$

При построении расчетной схемы были рассмотрены два варианта задания механических свойств стыка – с линейной и нелинейной зависимостью смещений от давлений.

В случае варианта расчетной схемы с линейной зависимостью смещений от давлений коэффициент контактной податливости определялся исходя из среднего давления в стыке.

Учет в расчетной схеме сил затяжки реализован путем введения в геометрическую модель отверстий под винты и приложения на поверхности этих отверстий и вблизи них распределенных сил, моделирующих силы затяжки винтов.

Расчеты производились на базе упрощенной модели сборочной единицы станина-основание токарного станка МК6510Ф4 для случаев с линейной и нелинейной зависимостями между смещениями и давлениями в стыке, а также для абсолютно жесткого стыка.

Результаты расчетов показывают, что для всех вариантов расчетной схемы наблюдается качественно одна и та же картина – вблизи отверстий под винты давления в стыке максимальны, а на удалении от них – падают практически до нуля. Наибольшая неравномерность распределения давлений наблюдается для схемы с абсолютно жестким стыком, а наименьшая – для схемы с линейной зависимостью смещений от давлений.

Учитывая то, что рассматриваемая конструкция затянутого стыка является достаточно типичной, возникает необходимость улучшения конструкции затянутых стыков с целью обеспечения более равномерного распределения давлений. Данное исследование выполнено в пятой главе настоящей работы.

В случае, когда инструмент и заготовка не включены в рассчитываемую конструкцию, для оценки влияния деформаций корпусных деталей на точность обработки необходимо привести их смещения к инструменту и заготовке. В настоящей работе, прежде всего, рассматриваются особенности приведения силовых смещений, присущие конечноэлементным расчетам и, в частности, рассматриваемому типу станков (см. рис. 1).

Рассматривается два основных случая приведения смещений к зоне резания, характерные для рассматриваемого типа станков – приведение смещений корпуса шпиндельной бабки и приведение смещений направляющих.

Последовательность действий при приведении смещений корпуса шпиндельной бабки:

1. Определение смещений базовых точек;
2. Вычисление смещений опор шпинделя;
3. Приведение к зоне резания смещений шпинделя;
4. Вычисление составляющих погрешностей обработки.

Последовательность действий при приведении смещений направлющих:

1. Определение смещений базовых точек;
2. Определение пространственного положения корпусов опор ходовых винтов, в которых производится закрепление ходовых винтов в осевом направлении;
3. Вычисление осевых смещений ходовых винтов;
4. Определение пространственного положения суппортов;
5. Вычисление смещений суппортов, приведенных к зоне резания;
6. Вычисление составляющих погрешностей обработки.

На основе зависимостей составляющих погрешностей обработки от расположения суппорта, шпиндельной бабки и зоны резания, а также исходя из расположения обрабатываемой детали относительно шпиндельной бабки и расположения вершины резца относительно суппорта, можно определить составляющие данных погрешностей на любом участке обрабатываемой поверхности.

Задачей экспериментального исследования являлось сравнение значений силовых смещений, полученных при расчете с помощью разработанной методики, с их экспериментальными значениями.

Исследуемая конструкция включает в себя станину и основание токарного станка МК6510Ф4, соединенные друг с другом винтовыми соединениями с затяжкой.

При нагружении исследуемой конструкции весом груза она деформируется, а ее отдельные точки смещаются друг относительно друга. Именно сравнение экспериментальных и расчетных значений данных относительных смещений и является предметом исследования.

Сравнение результатов расчета и эксперимента производилось исходя из значений относительных смещений для различных точек. Относительное смещение для пары точек определялось, как разность их смещений вдоль оси, проходящей через эти точки. Относительное смещение пары точек, находящихся на одной детали характеризует собственные деформации детали, а для пары точек, находящихся вблизи друг друга, но по разные стороны стыка – контактные смещения в стыке.

Результаты расчетов относительных смещений, обусловленные собственными деформациями корпусных деталей соответствуют экспериментальным данным. Расхождение составляет около 15%.

Для относительных смещений, обусловленных контактными деформациями в стыке, наблюдалось значительное (около 50%) отклонение результатов расчета от экспериментальных данных. Данную ситуацию можно объяснить влиянием начальных отклонений контактных поверхностей стыка от плоскостности (обусловленных погрешностями обработки этих поверхностей). Учет данных отклонений не рассматривался в настоящей работе, ввиду того, что он требует существенного усложнения расчетной схемы, а также ввиду отсутствия данных о распределении начальных отклонений от плоскости. Таким образом, вопрос об учете в расчетной схеме контактной податливости затянутого стыка требует дополнительного исследования условий контакта в стыке.

В четвертой главе предложен подход к параметрической оптимизации формы корпусных деталей металлорежущих станков на базе конечноэлементных расчетов их смещений.

На рис. 3 представлен алгоритм оптимизации формы корпусных деталей металлорежущих станков, основанный на использовании методики расчета, описанной в главах 2 и 3. Данный алгоритм включает в качестве своего основного блока расчет силовых смещений и погрешностей обработки, обусловленных данными смещениями.

Рассмотрена параметрическая оптимизации формы корпусной детали на примере корпуса шпиндельной бабки токарного станка.

Задача оптимизации была сформулирована, как нахождение такого распределения толщин стенок корпуса, которое бы обеспечивало минимальное значение его смещений, приведенных к зоне резания $|\Delta X_D|$ при сохранении массы корпуса m на уровне, не превышающем массу исходной конструкции m_0:

$$f = |\Delta X_D| \to \min; \quad m \geq m_0. \tag{7}$$

Рис. 3. Блок-схема параметрической оптимизации формы корпусных деталей станков на базе конечноэлементных расчетов их силовых смещений

Результатом оптимизации явилось уменьшение значения целевой функции $f = |\Delta X_D|$ на 38%, т. е. абсолютная величина вклада, вносимого деформациями корпуса шпиндельной бабки в погрешность обработки детали, уменьшилась на 38%.

Таким образом, показана возможность значительного снижения вклада в погрешность обработки, обусловленного деформациями корпусной детали, только за счет рационального перераспределения ее материала.

В пятой главе рассматривается применение разработанной методики расчета для оптимизации конструкции элементов корпусных деталей, примыкающих к затянутым стыкам

Неравномерное распределение контактных давлений в затянутом стыке, выявленное в главе 3, приводит к тому, что силы передаются не через всю поверхность затянутого стыка, а лишь через ее отдельные участки, что приводит к возникновению контактных смещений в стыке при нагружении соединяемых деталей внешними силами, а также к снижению жесткости несущей системы станка (из-за уменьшения площади сечения, передающего силы от станины к основанию). Т. е. затянутый стык становится «слабым местом» в несущей системе. Т. к. рассмотренная конструкция затянутого стыка характерна для многих корпусных деталей станков, становится актуальной задача поиска конструктивных решений для затянутого стыка, обеспечивающих получение при затяжке винтов достаточной величины давления в каждой точке стыка.

В качестве базы для исследования был взят элемент затянутого стыка станина-основание станка МК 6510Ф4,

Ставилась задача исследовать с помощью разработанной методики расчета влияние на равномерность распределения давлений в рассматриваемом элементе затянутого стыка следующих факторов:

1. Наличие или отсутствие стенок.
2. Толщина фланца.
3. Смещение резьбовой поверхности под винт от стыка.
4. Цилиндрические выточки.
5. Изменение шага винтов.
6. Изменение шероховатости поверхности стыка.
7. Изменение силы затяжки винтов.

Данные конструктивные решения можно получить, сравнивая распределения давлений получающиеся при внесении изменений в исходную конструкцию затянутого стыка.

В результате сравнения различных схем были получены следующие выводы о характере влияния конструкции стыка на распределение давлений и рекомендации по обеспечению равномерности распределения давлений:

1. Стенки корпусных деталей, примыкающие к затянутому стыку, не оказывают существенного влияния на распределение давлений в нем.

2. Резьбовую поверхность под винт в затянутом стыке корпусных деталей следует удалять от плоскости стыка.
3. Винты следует размещать посередине между внешним и внутренним контурами поверхности стыка.
4. Для металлорежущих станков средних размеров следует назначать толщину фланцев затянутых стыков не менее 50 мм.
5. Величина силы затяжки винтов и изменение коэффициента контактной податливости не оказывают качественного влияния на равномерность распределения давлений в затянутом стыке.

Учет данных положений позволил найти конструкцию элемента затянутого стыка с распределением давлений, близким к равномерному.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В настоящее время форма корпусных деталей металлорежущих станков определяется, в основном, исходя из критериев жесткости, на базе рекомендаций, разработанных для различных типов корпусных деталей на основе опыта их эксплуатации, что не обеспечивает достаточно точную оценку их жесткости, не дает возможности определять оптимальную форму корпусных деталей с целью минимизации влияния их деформаций на точность обработки.
2. Разработана методика расчета составляющих отклонений размеров и формы обрабатываемых деталей, обусловленных деформациями корпусных деталей токарных станков с учетом местных деформаций отдельных элементов корпусных деталей.
3. Методика расчета по п. 2 реализована в виде разработанных подпрограмм в системе конечноэлементного анализа ANSYS.
4. Результаты расчетов собственных смещений корпусных деталей соответствуют экспериментальным данным, их расхождение составляет около 15%. Расхождение расчетных и экспериментальных значений контактных смещений составляет около 50%, что, как предполагается, обусловлено начальными отклонениями от плоскостности поверхностей стыка.
5. Показана возможность применения разработанной методики расчета силовых смещений по п. 2 для параметрической оптимизации формы корпусных деталей металлорежущих станков на примере корпуса шпиндельной бабки токарного станка.
6. Установлено, что в затянутых стыках корпусных деталей металлорежущих станков при определенных условиях наблюдается неравномерное распределение контактных давлений и значительные участки, где их значения близки к нулю.
7. На основе разработанной методики расчета предложены рекомендации по оптимизации конструкции затянутых стыков с целью обеспечения

равномерности распределения контактных давлений и наличия достаточной контактной жесткости по всей поверхности стыка.

8. Показана возможность значительного снижения вклада в погрешность обработки, обусловленного деформациями корпусной детали, только за счет рационального перераспределения ее материала. Для рассматриваемой конструкции корпуса шпиндельной бабки данное снижение составило 38%.
9. Разработанная методика расчета силовых смещений внедрена на ОАО «Красный пролетарий». Результаты расчетов по данной методике использованы при проектировании корпусных деталей токарных станков особой и особо высокой точности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах:

1. Сергейкин О. А. Оптимизация формы корпусных деталей металлорежущих станков с помощью программы ANSYS//Сборник трудов 1-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH. – М., 2002. – С. 265-268.
2. Сергейкин О. А. Расчет силовых смещений корпуса шпиндельной бабки токарного станка с помощью программы DesignSpace//Сборник трудов 1-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH. – М., 2002. – С. 269-274.
3. Сергейкин О. А. Наложение взаимосвязей на параметры при оптимизации конструкций//Сборник трудов 2-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH. – М., 2002. – С. 335-337.
4. Сергейкин О. А. Настройка графического интерфейса программы ANSYS//Сборник трудов 2-ой международной конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH. – М., 2002. – С. 338-341.