1568600

УДК 621.9.015
На правах рукописи

РАСПОПОВА НАТАЛЬЯ ПЕТРОВНА

Технологическое обеспечение точности обработки на многоцелевых станках в условиях силового нагружения

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2000

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Е.Ф. Никадимов

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
И.П. Булминский

- кандидат технических наук, доцент
Н.П. Дьяконова

Ведущая организация - АМО ЗИЛ

Защита диссертации состоится "16" ноября 2000 г. на заседании в 11 диссертационного совета К053.15.15 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

Телефон для справок 267-09-63

Автореферат разослан "27" сентября 2000 г.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1568600
Распопова Н.П. Технологиче

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент Васильев

Подписано к печати «29» 06 2000 г. Заказ № 131 Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение точности обработки деталей является одним из главных направлений развития технологии машиностроения.

Познание природы формирования точности обработки, создание новых методов ее оценки с учетом физических свойств технологической системы, различных на нее воздействий (силовых, тепловых и др.) приобретает первостепенное значение.

Стремление сократить дистанцию от новых идей до их внедрения требует применения научно-обоснованных методов расчета ожидаемой точности обработки еще на стадии проектирования технологических процессов.

По результатам анализа научных работ в области технологии машиностроения было установлено, что доминирующими факторами, оказывающими влияние на точность обработки, являются упругие деформации технологической системы (ТС), находящейся под постоянным силовым воздействием. Поэтому среди множества факторов воздействия на технологическую систему: силовых, тепловых, размерных был выделен основной - упругие деформации ТС в силу их значительного влияния на точность обработки наиболее ответственных деталей, в частности - на точность обработки корпусных деталей.

В научной литературе приводятся различные определения явления, связанного с силовым воздействием: упругие отжатия, упругие перемещения и др. Не претендуя на введение новых трактовок, связанных с силовым воздействием на технологическую систему, в настоящей работе принято целесообразным применение терминологии силового смещения .

В работе сделан расчет силовых смещений с учетом упруго-фрикционных свойств технологической системы. Учитываются собственные и контактные деформации деталей и стыков системы, несущей инструмент и заготовку, и оказывающих влияние на формирование точности обработки; рассматривается силовое воздействие от сил резания и веса , от сил, возникающих в механизмах приводов, а так же от собственных деформаций заготовки при закреплении и от сил резания. Под действием внешних сил и сил трения в системе изменяются силы упругости, происходит деформация деталей и стыков, что в итоге приводит к смещению элементов ТС и оказывает влияние на точность обработки. В работе дается дифференцированная оценка силовых смещений элементов ТС.

К достоинствам методики расчета следует отнести и его универсальность, применимость к любым технологическим системам, где актуальна проблема точности.

Использование многоцелевых станков с ЧПУ как базы исследований вызвано тем, что они представляют собой современное оборудование, которое широко используется в промышленности индивидуально или в рамках гибких производственных систем. Объектом

1568600

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

обработки на них часто выступают корпусные детали, отличающиеся высокой трудоемкостью и достаточно жесткими требованиями к различным параметрам точности.

Большое внимание, которое уделяется в данной работе экспериментальным исследованиям точности расположения поверхгостей и точности размеров, вызвано необходимостью проверки предлагаемой методики расчета на примере обработки большой партии деталей и более глубоким изучением процессов формирования параметров точности объекта исследования.

Цель работы - разработка методики расчета параметров точности обработки корпусных деталей от силовых смещений на этапе проектирования с учетом конструктивных и технологических свойств самой системы.

Методы исследования. Разработка методики расчета параметров точности обработки корпусных деталей по силовым смещениям систем, несущих инструмент и заготовку, осуществлялась на базе основных положений технологии машиностроения, сопротивления материалов, физики твердого тела, теории упругости, законов трения и др. с дифференциацией технологического оборудования на типовые элементы конструкции, с учетом собственных и контактных деформаций, упругих и неупругих сопротивлений в соответствии с теорией силовых смещений.

Экспериментальная проверка данной методики расчета выполнялась путем сравнения рассчитанных и экспериментальных параметров точности. Измерения обработанных деталей осуществлялись на координатно-измерительной машине «OPTON». Результаты измерений обрабатывались с использованием метода математической статистики. Исследование точности позиционирования проводилось на станке мод. ИР800ПМ1Ф4 с использованием индуктивного измерительного преобразователя «RENISHAW». Для экспериментальных исследований природы формирования силовых смещений был создан специальный стенд с использованием современных средств оснащения.

Научная новизна. Разработана методика расчета параметров точности обработки корпусных деталей по силовым смещениям на этапе проектирования технологического процесса с учетом конструктивных и технологических особенностей технологической системы, ее упругофрикционных свойств. Достоверность метода подтверждена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Составлены программы и рассчитаны параметры точности обработки корпусных деталей. выявлены наиболее слабые элементы технологической системы, на которые приходится наибольшая доля силовых смещений.

Экспериментально исследована точность обработки корпусных деталей. Определены статистические характеристики параметров точности.

Подтверждены теоретические закономерности формирования силовых смещений.

Определено удельное влияние собственных деформаций заготовок в общем балансе точности обработки.

Практическая ценность. Предложенная методика расчета позволяет оценить точность обработки еще на стадии проектирования, свести до минимального объема подготовительные работы, сократить затраты на технологическую подготовку производства; составить баланс силовых смещений всех элементов технологической системы и выявить наиболее слабые из них. Данную методику можно использовать для оценки новых вариантов технологической оснастки, технологического процесса и др. на стадии проектирования с позиций повышения точности обработки.

Исследована точность обработки на примере блока цилиндров двигателя: рассчитан и составлен баланс силовых смещений элементов системы; выявлены наиболее слабые из элементов системы (детали, сопряжения, узлы); установлена зависимость точности обработки от места установки заготовки в рабочем пространстве станка, от числа переходов и др.

Для деталей малой жесткости, в частности - для картера сцепления, дана количественная оценка влияния собственных деформаций в общем балансе силовых смещений.

Стендовые исследования силовых смещений позволили более глубоко понять природу формирования точности обработки, в том числе с учетом таких явлений, как «выстой», «последействие» и др. Стенд может использоваться как средство исследования точности ТС с упругофрикционными свойствами. Применение предложенной методики расчета с соответствующим пакетом прикладных программ и сокращение опытных работ дает значительный экономический эффект.

Реализация результатов работы. Результаты исследований внедрены на Уральском автомоторном заводе, ПО ЗИЛ, в виде методики и пакета прикладных программ расчета параметров точности обработки корпусных деталей двигателя на многоцелевых станках мод. ИР800ПМ1Ф4; использованы в научных исследованиях кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках АСТПП при проектировании операций обработки сложных корпусных деталей на многоцелевых станках, в договорных работах с ПО ЗИЛ, ЭНИМС.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на Всесоюзном научно-техническом симпозиуме «Проблемные вопросы автоматизации производства» г. Воронеж, 1987 г.; научных семинарах кафедры «Технология машиностроения» (1988 - 1989 г.г.). Полностью работа доложена на заседании той же кафедры в 1990 г., 1999 г..

Публикации. По материалам диссертации опубликовано шесть печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 125 страницах основного текста, содержит 71 рисунок, 41 таблицу, список литературы из 94 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована проблема формирования точности обработки и необходимость создания соответствующих методов расчета точности еще на стадии проектирования технологического процесса.

Показано, что силовые смещения технологической системы (ТС) под действием приложенных к ней сил оказывают существенное влияние на точность обработки.

Первая глава посвящена изучению проблемы точности обработки корпусных деталей в машиностроении. Установлено, что в общей трудоемкости 80 % составляет обработка основных отверстий и плоскостей. Наибольшие трудности возникают при обеспечении заданных отклонений расположения поверхностей и точности межосевого расстояния координированных отверстий.

Длительные наблюдения за обработкой блока цилиндров на ГПС из многоцелевых станков показали, что в лучшем случае в пределах допуска находится не более (75...80) % деталей, в том числе по точности межосевого расстояния и по отклонению поверхностей в целом за год наблюдений - не более 65 %, а по точности размеров - и того меньше.

Изучению точности обработки и путей ее обеспечения посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых: А.П. Соколовского, В.С. Корсакова, Б.С. Балакшина, А.М. Дальского, Б.М. Базрова, А.А. Маталина, В.Г. Портмана, К.С. Колева, Г. Опитца и др.; исследования научных коллективов: МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЭНИМС, МГТУ «Станкин», ЛПИ, университетов Германии, Японии и др.

Анализ результатов исследований показывает, что среди факторов, влияющих на точность обработки, чаще всего указывают на деформацию элементов технологической системы, вызванных силовыми и тепловыми воздействиями.

Экспериментальные исследования показывают, что доля силовых смещений в общем балансе точности обработки составляет (30-90) %. В сложившейся практике расчетов точности обработки силовые смещения находятся через жесткость технологических систем, которая определяется экспериментально.

Исходя из определения жесткости как способности системы сопротивляться упругим деформациям, считаем что величина силовых смещений зависит не только от упругих свойств системы, но и от силы

трения в стыках, подвижных частях, меняющих общую картину нагружения ТС.

Принимая в качестве объекта исследования обработку корпусных деталей на многоцелевых станках, исходим из перспективного развития транспортного машиностроения в стране и использование ГПС, как наиболее прогрессивного средства производства. Разработка метода расчета параметров точности обработки корпусных деталей по силовым смещениям, на наш взгляд, актуальна, так как еще на стадии проектирования технологического процесса можно учесть специфические особенности многоцелевых станков, в том числе изменение условий нагружения системы от перехода к переходу.

Анализируя различные методы оценки точности обработки корпусных деталей (работы Ю.С. Осадчего, С.И. Богомолова, И.И. Кравченко, И. Я. Мартынова и др.) приходим к выводу, что существующие методы требуют дальнейшего совершенствования. Для этой цели используются основные положения теории силовых смещений, которая позволяет увязать ожидаемую точность обработки с конструкцией оборудования и технологией. На этой базе считаем возможным разработку методики расчета точности обработки деталей на этапе проектирования в функции силового нагружения с выявлением удельного влияния каждого из элементов технологической системы.

Основные задачи исследования:

1. Разработать методику расчета силовых смещений технологической системы, включая собственные деформации заготовки, с разработкой пакета программ расчета точности обработки корпусных деталей.
2. Рассчитать точность позиционирования в функции силовых смещений.
3. Экспериментально исследовать параметры точности обработки корпусных деталей и проверить предлагаемую методику расчета.
4. Исследовать закономерности формирования силовых смещений в упруго-фрикционной системе.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета силовых смещений и параметров точности обработки корпусных деталей.

Выделим две подсистемы в ТС: систему, несущую инструмент (НС1) и систему, несущую заготовку (НС2). При всем многообразии несущих систем (НС) их силовые смещения можно описать через два типовых элемента конструкции: деформируемые детали (μ - элементы) и стыки с нормальными (σ - элементы) и тангенциальными (τ - элементы) контактными деформациями.

При этом силовые смещения деформируемых деталей определяются для упругих элементов с линейной характеристикой. Силовые смещения в стыках определяются по зависимостям, учитывающим давление и характеристики сопряженных поверхностей.

Необходимые для расчета давления p_i в стыках любой конфигурации определяются по трем уравнениям статики, составленных

из условия равенства внешних и реактивных сил и моментов. Принимается, что эпюра реактивных сил ограничивается плоскостью:

$$P_i = k(Ax + By + Д), \quad (1)$$

$$\sum P_y = k\iint_s (Ax + Bz + Д)\,dxdz, \quad (2)$$

где k - коэффициент пропорциональности, характеризующий жесткость стыка; x, z- координаты точек опорной поверхности; A, B, Д - постоянные коэффициенты, s - область интегрирования. В уравнении (2) внешние силы $\sum P_y$, спроектированные на ось y, уравновешиваются силами реакции в опорных поверхностях, спроектированными на ту же ось. Два других уравнения статики для моментов составляются аналогично.

Для кольцевых опорных поверхностей применяется цилиндрическая система координат, тогда уравнение (2) примет вид:

$$\sum P_y = k\int_r^R\int_0^{2\pi} (A\rho\cos\varphi + B\rho\sin\varphi + Д)\rho\,d\rho\,d\varphi, \quad (3)$$

где r, R, ρ - соответственно минимальный, максимальный и текущий радиусы опорной поверхности.

Рассчитанные локальные силовые смещения x_{oi}, y_{oi}, z_{oi} каждого элемента несущей системы (НС) приводятся к зоне резания. Методика приведения базируется на преобразовании декартовых координат при параллельном переносе и повороте осей. В результате определяются коэффициенты приведения U_x, U_y, U_z и приведенные силовые смещения каждого элемента по трем координатам X_{mi}, $У_{mi}$, Z_{mi}. Суммарное приведенное смещение системы X, У, Z определяется алгебраической суммой смещений всех n элементов НС1 и НС2 :

$$X_{Mi} = x_{oi}U_x,\ У_{mi} = y_{oi}U_y,\ Z = z_{oi}U_z, \quad (4)$$

$$X = \sum_{i=1}^{n} X_{Mi},\ У = \sum_{i=1}^{n} У_{Mi}, Z = \sum_{i=1}^{n} Z_{Mi} \quad (5)$$

Из (4) следует, что коэффициент приведения есть характеристика элемента, в которой приведенное смещение - выходная координата, а локальное смещение - входная координата.

В методике приведения локальных смещений использован вариант прямого приведения смещений i - элемента ТС непосредственно к зоне резания.

Для протяженных деталей типа валов, осей, ползунов и т.п. использовался метод расчета балок на сплошном упругом основании, прерывистых или точечных упругих опорах. Используется общее уравнение упругой линии балки и его решение:

$$EJy^{IV} = P(x), \quad (6)$$
$$Ejy = A_o + A_1x + \Phi(X), \quad (7)$$

где: E, J - соответственно, модуль упругости и момент инерции балки; y - упругое смещение балки, P(x) - совокупность внешней нагрузки и реактивных сил; Ф(x) - частное решение полного уравнения (6). Расчет выполняется в целом для сборочной единицы и включает приведение силовых смещений к зоне резания.

Силовые смещения НС1 ($y_{нс1}$) включают смещения шпиндельного узла ($y_{шу}$), инструментальной оправки (y_{o2}) и стыка шпиндель - оправка (y_{o1}). Смещения шпиндельного узла находятся по решению (7) из граничных условий над опорами (для каждого подшипника) в функции сосредоточенных сил ($y_{шр}$) и моментов ($y_{шм}$). Смещение оправки учитывает собственные деформации (y_{oc}) и угол наклона оси шпинделя ($y_{шо}$). В общем виде смещение НС1 находится алгебраическим суммированием.

$$У_{нс1}=У_{шу} + У_{O1}+ У_{O2};\ У_{шу}=У_{шр}+У_{шм};\ У_{O2} = У_{oc}+ У_{шO} \quad (8)$$

Силовые смещения НС2 включают смещения стыков (рис.1,а): дискретный стол 1 - направляющие 0, дискретный стол 1 - поворотный стол 2, поворотный стол 2 - палета 3, палета 3 - приспособление 4, приспособление 4 - заготовка 5, смещения самой заготовки 5. На рис 1, б приведена структурная схема, смещения элементов обозначены двумя цифрами.

Таким образом, получаем типовое решение задачи по определению силовых смещений инструмента, который в нашем случае крепится на шпинделе, и обрабатываемой заготовки, которая крепится на столе станка. Силовые смещения могут определяться в любой точке рабочего пространства станка и, следовательно, могут быть отнесены к любой точке обрабатываемой поверхности заготовки.

В качестве примера рассчитаны силовые смещения, в детерминированном и вероятностном виде, возникающие при обработке плоскостей блока цилиндров дизельного двигателя ПО ЗИЛ на многоцелевом станке мод. ИР800П1Ф4: в том числе отклонения от перпендикулярности плоскостей ε1, их параллельности ε2 и точности линейного размера ε3. Плоскости обрабатывались торцовыми фрезами за три перехода с глубиной резания соответственно 3 мм, 1 мм и 0,5 мм.

Общая последовательность расчетов включала два этапа: на первом этапе анализируется по чертежам силовое нагружение всех элементов технологического оборудования и составляется структурная схема НС, которая определяет количество, тип элементов и необходимость приведения силовых смещений, рис. 1.б. Далее составляется аналоговая схема, рис. 1.в, которая включает модели учитываемых элементов,

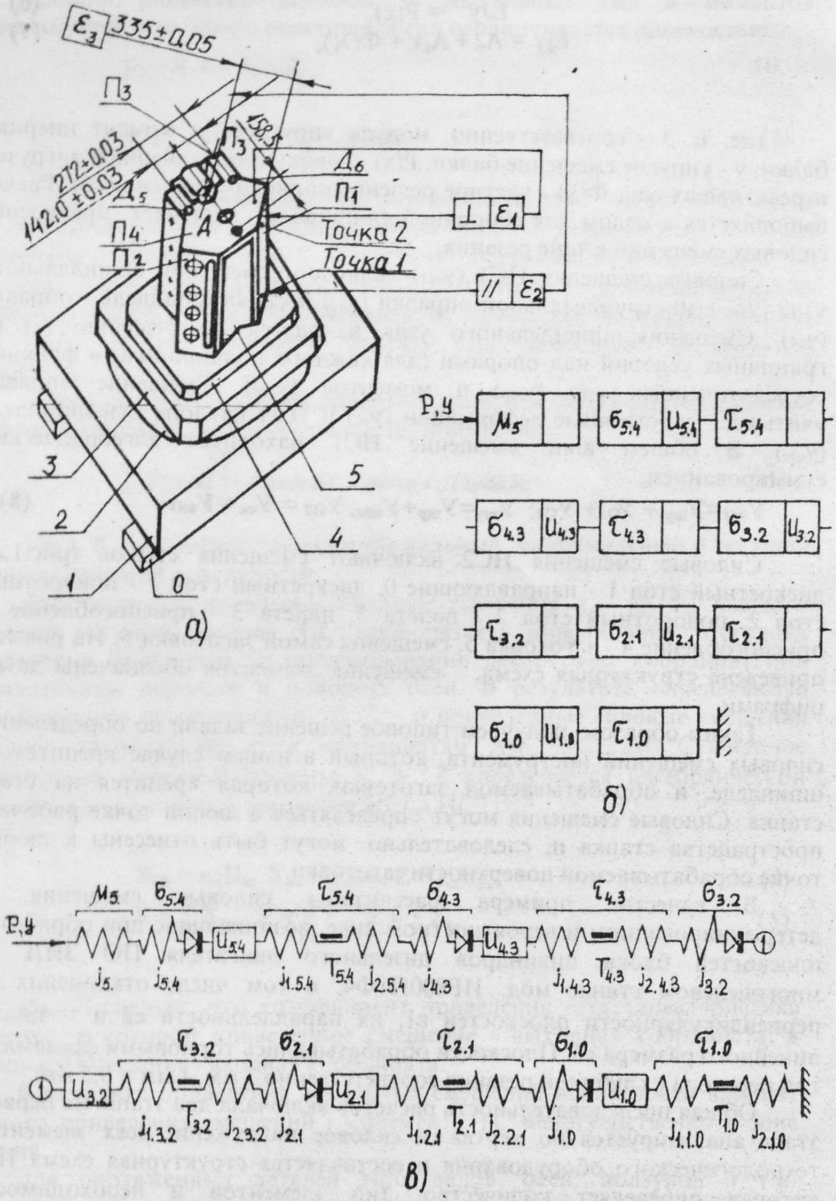

Рис.1. Этапы расчета силовых смещений технологической системы:
а) схема установки заготовки на палете-столе;
б) структурная схема расчета силовых смещений;
в) аналоговая схема расчета.

определяющих формирование силовых смещений. На втором этапе рассчитывается по составленной программе силовое смещение каждого элемента №(1...5) и определяется смещение НС в целом:

$$У_{НС} = \Sigma У_{\mu_i} + \Sigma У_{\sigma_i} + \Sigma У_{\tau_i} \quad (9)$$

Алгебраическая сумма смещений всех элементов характеризует полное смещение в одной точке обрабатываемой плоскости. Баланс силовых смещений в наглядной форме показывает долю влияния каждого из элементов, вскрывает наиболее слабые звенья системы, что является одним из главных достоинств данной методики расчета.

В уравнении (9) силовые смещения для наглядности суммируются по видам типовых элементов $У_{\mu i}$ - силовые смещения деформируемых деталей, $У_{\sigma i}$, $У_{\tau i}$ - силовые смещения стыков, соответственно, с нормальными и тангенциальными контактными деформациями.

Силовые смещения рассчитывались для рабочего пространства, определяющего положение обрабатываемой плоскости, за первый (а), второй (б) и третий (в) технологические переходы.

Величина смещения элементов ТС при различных схемах силового нагружения может изменяться в 10...20 раз в зависимости от мест приложения сил в рабочем пространстве.

На рис. 2 показано изменение параметров точности для обрабатываемой плоскости $П_1$ по переходам а, б, в, от силового смещения. Меняя глубину резания и подачу можно изменять силовое нагружение ТС и добиваться необходимой точности обработки, что показано на рис. 2.

Ввиду случайного характера исходных характеристик элементов ТС выполнен и вероятностный расчет тех же параметров точности обработки корпусных деталей от силового воздействия. По результатам расчетов определены математическое ожидание и дисперсия параметров точности для трех плоскостей.

Отдельно проводилась оценка влияния упругих деформаций самой заготовки от действия сил закрепления и сил резания методом конечных элементов (пакет прикладных программ «AFEMAS») на примере обработки картера сцепления: они составляют 6% от величины допуска на отклонение от параллельности и 30% от допуска на линейный размер.

Третья глава посвящена расчету точности позиционирования механизмов подачи в функции силовых смещений.

Рассмотрение точности позиционирования начинается с анализа конструкций привода подач, дифференциации всех его звеньев на типовые элементы конструкции, составления структурной и аналоговой схем, т.е. сохраняется выше изложенная структура расчета силовых смещений. После разгрузки механизма привода подач сохраняются деформации деталей и стыков привода в результате действия сил трения, которые не дают системе вернуться в исходное состояние. При разгрузке

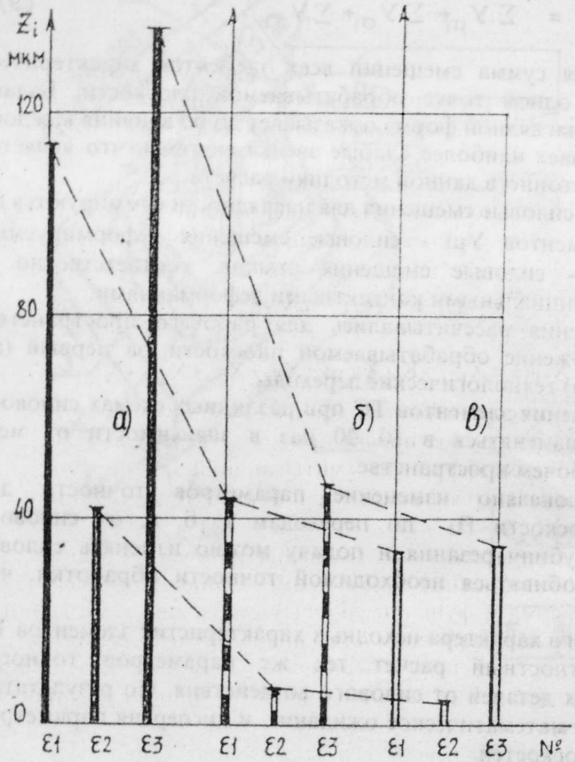

Рис.2. Параметры точности ε1.ε2.ε3 по переходам **а.б.в.** обрабатываемой плоскости ПI: ε1-отклонение от перпендикулярности пл.П₁ относительно пл.П₄; ε2 – отклонение от параллельности пл.П₁ относительно плоскости, проходящей через ось отв.Д; ε3 – точность размера.

системы (внешние силы P = 0) остаются силовые смещения, назовем их остаточные силовые смещения Хост:

$$X_{ост} = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{k} T_i\right) W_i \qquad (10)$$

где $T_в$ и W_i соответственно, сила трения и податливость i-го модуля; n,k - соответственно, число и порядковый номер модулей. Остаточные смещения отражают интегральное влияние всей цепочки элементов механизма привода подач. Они характеризуют отклонение номинального (теоретически заданного) перемещения стола (стойки) от фактического.

При всяком изменении сил трения и жесткости элементов системы изменяются и остаточные смещения. Движущей силой в этом случае выступают остаточные силы упругости. Для привода подач остаточные силовые смещения определяются главным образом σ и r - элементами.

$$X_{ост} = \sum_{i=1}^{n1} x_i^p \cdot U_i + \sum_{i=1}^{n2} x_i^p \cdot U_i + \sum_{i=1}^{n3} x_i^p, \qquad (11)$$

$$X_{ост} = X_{15.11} + X_{9.15} + X_{8.9} + X_{\pi ВГК} + X_{1.11} + K_o(X_{\pi.ПК} + X_{5.7} + X_{2.3} + X_{3.12} + X_{12.7} + X_{1.4}) \qquad (12)$$

где: n1, n2, n3 - число элементов под знаком суммы; x_i^p - остаточные смещения элементов при разгрузке, индекс при x соответствует номерам звеньев привода подач: K_o - коэффициент, учитывающий влияние опор.

Смещения x_i определяются по математическим моделям типовых элементов конструкций.

Рассчитаны остаточные силовые смещения рабочего органа при одностороннем позиционировании. По этим данным определена точность позиционирования в функции силовых смещений - 20,1 мкм, что соответствует техническим условиям для данного оборудования.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям точности обработки корпусных деталей, точности позиционирования и проверке предложенной методики расчета точности обработки. Исследования проводились в производственных условиях, обрабатывался блок цилиндров и картер сцепления на многоцелевых станках мод. ИР800ПМ1Ф4. Детали измерялись на координатно-измерительной машине «OPTON». Точность позиционирования определялась индуктивным измерительным преобразователем «RENISHAW».

Экспериментальные исследования включали определение фактических отклонений от перпендикулярности двух плоскостей, отклонение от параллельности трех плоскостей, точности линейных размеров, позиционирования, а также точности межосевого расстояния отверстий.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала: математическое ожидание отклонения от перпендикулярности на длине 600 мм для плоскостей $П_1$ и $П_3$ изменяется в пределах M[ε1] = (38,9 - 39,0) мкм; от параллельности - M[ε2] = (5,0 - 23,0) мкм; точности размера - M[ε3] - (37,0 - 27,6) мкм.

При проверке на соответствие эмпирических и теоретических распределений подтверждена гипотеза о выбранных законах распределения параметров точности обработки - законе модуля разности и нормального закона.

Сравнение теоретических и экспериментальных параметров точности показывает, что наибольшая сходимость результатов - 75% по математическому ожиданию, наблюдается по параметру «отклонение от параллельности». В целом, с учетом формирования точности обработки, получена достаточная сходимость всех исследованных теоретических и экспериментальных параметров точности.

Экспериментальное исследование по точности позиционирования выполнялось за пять подходов в каждой из десяти точек на заданном расстоянии. Точность одностороннего позиционирования системы составила 26,8 мкм.

Экспериментально исследована точность межосевых расстояний отверстий A_1 = 302±0,03 мм и A_2 = 272±0,03 мм на переднем и заднем торцах блока цилиндров. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение на первом торце $M[A_1]$ = 10,3 мкм $\sigma[A_1]$ = 11,0 мкм; на втором - $M[A_2]$ = 8,0 мкм, $\sigma[A_1]$ =10,0 мкм..

В целом экспериментальные исследования различных параметров точности обработки блока цилиндров и картера сцепления показали достаточную сходимость результатов с теоретическими значениями. Подтверждается возможность применения предложенной методики при расчете точности обработки и ее использования в инженерной практике, что приведено в работе.

Методика расчета состоит из следующих этапов: 1.Получение информации при анализе конструкции станка, технологической оснастки, инструментальной оснастки и заготовки; анализ параметров технологического процесса (данные о режимах обработки и др., о схемах нагружения системы); 2. Определение силовых смещений элементов ТС и приведение их к зоне обработки; 3. Расчет собственных деформаций заготовки; 4. Определение относительного смещения инструмента и заготовки в зоне обработки; 5. Расчет точности позиционирования в функции силовых смещений и определения ее влияния на точность межосевого расстояния; 6. Определение ожидаемых параметров точности обработки: отклонение расположения поверхностей, расчет точности линейного размера, точность межосевых расстояний.

Пятая глава посвящена исследованию закономерностей формирования силовых смещений в упруго-фрикционной системе.

Положительные результаты исследований, изложенных в главах 2-4, косвенно подтверждают объективное влияние сил трения на точность обработки. Для установления влияния сил трения на величину силовых смещений проведены исследования на специально созданном стенде.

Стенд позволяет непрерывно регистрировать внешнюю силу, силу упругости, силу трения и силовое смещение за цикл нагрузка-разгрузка. Результаты эксперимента выведены в виде характеристик силовых

смещений (ХСС) и осциллограмм. Первые дают качественную картину процесса, вторые - количественную.

Построение ХСС осуществлялось в автоматизированном режиме на двухкоординатном графопостроителе мод. Н-306. Для записи осциллограмм использовался светолучевой осциллограф мод. Н-115 с усилителем модели ТА-5. Силовые смещения измерялись электронной измерительной системой завода «Калибр» с индуктивными измерительными преобразователями.

Экспериментальные исследования подтвердили идентичность экспериментальной и теоретической ХСС по форме и параметрам для системы с последовательной схемой связи. Показано, что при различных видах обработки заготовок, когда точность обработки формируется в конце цикла резания, жесткость и силы трения имеют одинаковый уровень влияния.

Установлено, что импульсное или периодическое возмущение системы исключает или снижает влияние сил трения на точность.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета параметров точности обработки корпусных деталей в функции силовых воздействий на технологическую систему, учитывающая ее упругие и неупругие свойства, конструкцию оборудования, техпроцесс обработки и позволяющая выявлять доминирующие элементы, определять строго обоснованные пути повышения точности.

Создана программа и рассчитаны параметры точности обработки для конкретных деталей (блока цилиндров и картера сцепления).

2. Выполнен поэлементный расчет и составлен баланс силовых смещений систем, несущих инструмент и заготовку, по специально разработанным методике и программе. Определено удельное влияние собственных силовых смещений заготовки. Так для нежестких деталей они могут достигать 30%.

3. Выявлены наиболее слабые элементы технологической системы, включающей станок мод. ИР800ПМ1Ф4: в системе, несущей инструмент - шпиндельный узел с оправкой, 98 %; в системе, несущей заготовку - стык поворотного стола с направляющими - 78 % из общего баланса силовых смещений элементов системы.

4. Установлено, что одни и те же элементы технологической системы изменяют свое удельное влияние на точность обработки в зависимости от места положения заготовки в рабочем пространстве станка.

Предложенная методика расчета позволяет выбирать оптимальное место расположения заготовки в рабочем пространстве станка.

5. Аналитически определена точность позиционирования в функции силовых смещений элементов механизма привода подач. Доминирующее влияние на силовые смещения при позиционировании оказывают стыки :

винт-гайка качения, промежуточная втулка - винт, корпус опор винта - станина, которые составляют 82 % всех смещений.

6. Экспериментально исследованы параметры точности обработки в производственных условиях и определены их законы распределения, в том числе математическое ожидание отклонения поверхностей; точности линейного размера; точности межосевого расстояния отверстий. По всем исследованным параметрам получена достаточная сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

7. Экспериментальными исследованиями закономерностей формирования силовых смещений на специально созданном стенде установлено, за цикл нагрузки-разгрузки системы изменяется характер движущихся сил: нагрузка осуществляется внешними силами, разгрузка - силами упругости. Такая закономерность объясняет формирование характеристик силовых смещений; импульсное возмущение системы приводит к изменению сил трения и нарушению ее силового равновесия, самопроизвольному смещению, влияющему на точность обработки.

8. Результаты исследований внедрены на машиностроительном предприятии ПО ЗИЛ (Уральский автомоторный завод) в виде методики и пакета прикладных программ расчета параметров точности обработки корпусных деталей двигателя на многоцелевых станках мод. ИР800ПМ1Ф4; использованы в научных исследованиях кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Никадимов Е.Ф., Борисов В.Б., Чернянская Н.П. Повышение точности обработки и концентрации операций на агрегатных станках и автоматических линиях //Проблемные вопросы , автоматизации производства: Тез.докл. Всесоюзного научн.-техн. симпозиума.-Воронеж, 1987.-с. 120-122.

2. Чернянская Н.П. Методика расчета точности обработки с учетом деформации элементов технологической системы //Известия вузов.Машиностроение - 1989. - №11.- С. 152 - 157.

3. Чернянская Н.П., Дурыгин Ю.Г., Колесниченко В.Д. Вопросы точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках // Известия ВУЗов.Машиностроение . - 1989. - №10.- С.154 -157.

4. Никадимов Е.Ф., Чернянская Н.П. Новый подход к оценке точности обработки деталей на переналаживаемых агрегатных станках с ЧПУ // Технология и производство деталей автомобильной техники: Межвузовский сб.научн. трудов. - М., 1990. - С. 75-82.

5. Чернянский П.М., Распопова Н.П. Силовые смещения и жесткость технологической системы // СТИН.- 1998.-№12.-С.13-17.

6. Чернянский П.М., Распопова Н.П. Расчет давлений в сопряжениях деталей технологического оборудования //СТИН.-1999.- №5.-С.8-11.