М 407625

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЗИМИН Виктор Васильевич

УДК.621.9.015

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

Специальность 05.02.08 –
Технология машиностроения

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

Москва 1983

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Полтавец О.Ф.

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, профессор Проников А.С.
кандидат технических наук Богомолов С.И.

Ведущее предприятие – ПО "Станкостроительный завод им.С.Орджоникидзе"

Защита состоится "6" июня 1983 г. на заседании специализированного совета К053.I5.I5 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу: I07005, Москва

С диссертацией можн
МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автор
заверенный печатью, про
адресу.

Автореферат разосла

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ С
кандидат техниче
наук, доцент

Л- 99547 Об
заказ №697 Типография

М407625

Актуальность проблемы. Повышение качества выпускаемых изделий является одной из важнейших задач, поставленных XXVI съездом КПСС перед машиностроителями. Многие показатели качества машиностроительного изделия находятся в тесной связи с точностью изготовления входящих в него ответственных деталей. Среди таких деталей особое место занимают коробчатые корпусные детали, к которым предъявляются жесткие требования по точности формы и взаимного расположения поверхностей.

В настоящее время обеспечение этих требований является сложной технологической задачей. Достаточно сказать, что допуски на многие точностные параметры корпусных деталей не превышают нескольких микрометров.

В формировании отклонений формы и расположения поверхностей корпусной детали значительную роль играет процесс ее закрепления на металлорежущем станке. Однако, упругие деформации самой корпусной детали под действием сил закрепления чаще всего не принимаются во внимание. В мелкосерийном и единичном производстве коробчатые корпусные детали обычно закрепляют за основание, считая, что в этом случае их упругие деформации практически исключены. Нередко корпусные детали рассматривают как абсолютно жесткие тела. В то же время очевидно, что даже небольшие по величине упругие деформации корпусных деталей могут быть причиной значительных погрешностей обработки.

Физический процесс упругого деформирования корпусных деталей при закреплении изучен недостаточно. Практически не установлен и характер влияния упругих деформаций на точностные параметры ответственных поверхностей корпусных деталей. Разработка же технологических методов уменьшения упругих деформаций при закреплении требует глубокого изучения механизма их образования при различных схемах базирования и закрепления. Поэтому эта проблема является актуальной.

Цель работы. Исследование упругих деформаций коробчатых корпусных деталей при их установке на металлорежущих станках под действием сил закрепления и разработка технологических методов их уменьшения.

Методы исследования. Теоретическое определение упругих прогибов стенок и основания проводилось на основе методов

М410 7625

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1407625
Зимин В.В.Упругие деформа

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

теории упругости и методов решения дифференциальных уравнений высших порядков.

При экспериментальных исследованиях упругих перемещений стенок корпусной детали применялся метод голографической интерферометрии и специально разработанный стенд на базе координатно-расточного станка. Для измерения отклонений расположения поверхностей корпусной детали использовалось специально разработанное контрольное устройство.

Научная новизна. В результате теоретических и экспериментальных исследований выявлен механизм формирования упругих деформаций корпусных деталей под действием сил закрепления, приложенных к основанию. Установлено, что упругие перемещения поверхностей носят неравномерный и несимметричный характер. Разработаны методики теоретического и экспериментального их определения и технологические мероприятия по уменьшению упругих деформаций корпусных деталей при закреплении.

Практическая ценность. Результаты работы могут быть использованы для повышения точности обработки коробчатых корпусных деталей. Разработанный стенд на базе координатно-расточного станка позволяет в производственных условиях проводить комплексный контроль упругих перемещений поверхностей коробчатых корпусных деталей. Упругие деформации сложных по конструкции корпусных деталей могут быть определены методом голографической интерферометрии по предложенной в работе методике. Для оперативного контроля в цеховых условиях отклонений расположения поверхностей корпусных деталей разработано специальное контрольное устройство. Предложены технологические методы уменьшения упругих деформаций коробчатых корпусных деталей при закреплении на металлорежущих станках.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры "Технология металлов" в 1981-1982 г.

Объем работы. Диссертация изложена на 148 страницах машинописного текста, включает введение, четыре главы с выводами и общие выводы. Содержит 10 таблиц, 81 рисунок, список литературы из 60 наименований и три приложения.

В первой главе диссертации рассмотрена проблема упругих деформаций корпусных деталей при их закреплении на металлорежущих станках. На основании проведенного анализа поставлены задачи исследования.

В настоящее время для высокоточных корпусных деталей допуски на отклонения расположения и формы их ответственных поверхностей измеряются несколькими микрометрами.

При действии на корпусные детали внешних сил (в процессе закрепления) возникают контактные деформации в стыке база-установочная поверхность и упругие деформации детали и ее отдельных элементов. Последние способны вызвать отклонения формы и расположения, соизмеримые с установленными на них допусками.

Определение упругих деформаций корпусных деталей связано со значительными трудностями. Аналитическое определение упругих деформаций может быть проведено для случаев, когда внешние силы приложены нормально к стенке корпуса или для упрощенных моделей.

Анализ существующих методов расчета и расчетных схем показал, что они не могут быть использованы для определения упругих деформаций корпусных деталей под действием сил закрепления, приложенных к основанию. В частности, это объясняется тем, что в данном случае важную роль играет характер контакта базы с установочной поверхностью, а модели стыка база – установочная поверхность разработаны еще недостаточно. Кроме того, нет такой методики теоретического расчета упругих деформаций корпусных деталей, которая устанавливала бы строгую последовательность задач и методов их решений.

Экспериментальные исследования, проведенные в этом направлении, также не дают полного ответа на вопросы, связанные с механизмом формирования упругих деформаций и методами их уменьшения. Большинство исследований проведено для деталей типа стоек, станин, столов. Коробчатые корпусные детали считают достаточно жесткими и не уделяют им должного внимания. Применяемые методы экспериментального исследования упругих деформаций таких сложных по конструкции деталей, как корпусные не дают необходимой инфор-

мации как о поведении отдельных поверхностей, так и корпусной детали в целом. Анализ показал, что для получения достоверной и полной информации необходим комплексный контроль значительного количества точек и зон корпусной детали. Это требует создания специальных стендов или применения новых методов экспериментального исследования.

Для научных и практических целей необходимо установить механизм формирования упругих деформаций. С технологической точки зрения особенно важно знать соотношение отдельных составляющих упругих перемещений поверхностей. Кроме того, производственные исследования показали, что для обеспечения выпуска высококачественных корпусных деталей нужны достаточно простые и надежные средства контроля их точностных параметров. На основе проведенного анализа в настоящем исследовании поставлены следующие задачи:

1. Разработать методику теоретического определения упругих деформаций корпусных деталей при закреплении.

2. Теоретически исследовать упругие деформации коробчатых корпусных деталей при установке на металлорежущих станках под действием сил закрепления, приложенных к основанию.

3. Экспериментально исследовать упругие деформации коробчатых корпусных деталей при различных схемах базирования и закрепления.

4. Разработать технологические методы уменьшения упругих деформаций корпусных деталей при их закреплении за основание.

Вторая глава посвящена анализу факторов, приводящих к возникновению упругих деформаций корпусных деталей при закреплении, разработке методики теоретического определения упругих деформаций и расчету упругих прогибов стенок и основания коробчатой корпусной детали при действии сил закрепления, приложенных к платикам.

Технологические факторы, как установлено анализом, определяют механизм деформирования корпусной детали в зависимости от условий ее базирования и закрепления. Конструктивные факторы оказывают, главным образом, влияние на величину упругих перемещений поверхностей корпусной дета-

ли.

Напряженно-деформированное состояние заготовки будет определяться комплексным взаимодействием целого ряда технологических факторов. К ним относятся рельеф технологической базы, схемы базирования и закрепления, величины сил закрепления в каждой точке, их соотношение, последовательность закрепления.

В результате исследований была предложена методика теоретического определения упругих деформаций корпусных деталей при закреплении. Она включает в себя анализ физического процесса деформирования, разработку расчетной схемы, аналитическое описание процесса деформирования, выбор математического аппарата и решение задачи. В свою очередь, разработка расчетной схемы основана на моделировании корпусной детали, сил закрепления и стыка база - установочная поверхность. Методика носит универсальный характер и может применяться при решении широкого круга задач, связанных с определением упругих деформаций корпусных деталей при закреплении.

Разработанная методика была применена для теоретического определения упругих прогибов стенок и основания коробчатой корпусной детали, когда силы закрепления приложены к ее платикам. При разработке модели стыка база - установочная поверхность была принята, что база детали имеет отклонение формы в виде выпуклости. Анализ показал, что аналогичный механизм деформирования будет и при вогнутой базе. Определение упругих прогибов поверхностей производилось на основе теоретических методов расчета тонкостенных пространственных систем, разработанных В.З.Власовым.

Расчетная модель была представлена как система из трех пластин, жестко соединенных между собой по одной поперечной кромке. Эти пластины рассматривались как элементы корпусной детали и представляли ее стенку, основание и платик. Основание корпусной детали считалось свободно опертым на две жесткие опоры по всей ширине детали.

Поверхности прогибов стенки (ω_2), основания (ω_4) и платика (ω_1) были представлены в следующем виде:

$$\omega_2(x,z) = X_1(x)Z_1(z) + X_2(x)Z_2(z);$$

$$\omega_4(x,y) = X_1(x)Y_1(y) + X_2(x)Y_2(y);$$

$$\omega_1(x,y) = X_1(x)Y_3(y) + X_2(x)Y_4(y) + X_3(x)Y_5(y),$$

где $X_1(x), X_2(x), X_3(x)$ - функции поперечного распределения прогибов, которые задавались исходя из граничных условий на продольных краях соответствующих пластин;

$Z_{1,2}(z), Y_{1,2}(y), Y_{3,4,5}(y)$ - функции обобщенных прогибов. Они были определены при решении задачи.

Модель силы закрепления имела распределение по оси OX в форме закона нормального распределения Гаусса, а по оси OY - в виде ряда с числом членов равным двум, что в достаточной мере отражало характер контакта прижимной планки, как наиболее часто применяемо при закреплении, с поверхностью детали (платика).

В результате была получена система уравнений, которая решалась с помощью специально составленной программы. Расчеты показали, что в общем случае упругие прогибы стенок и основания корпусной детали являются неравномерными и несимметричными и зависят от места приложения сил закрепления, их величины и размеров пластин. Программа позволяет учитывать также материал детали и толщину стенок. Применение принципа суперпозиции дает возможность определять прогибы стенок при приложении нескольких сил закрепления с различным расположением их по поверхности платика. Наибольшие величины упругих прогибов стенки наблюдаются приблизительно на $\frac{1}{3}$ их высоты (рис.1). Приложение к платику в двух точках сил закрепления равных 10^4Н приводит к упругим прогибам стенки, превышающим 6 мкм, а платика - 35 мкм. В результате стенки приобретают ярко выраженное отклонение от плоскостности.

<u>В третьей главе</u> приведены результаты экспериментальных исследований упругих деформаций при различных схемах бази-

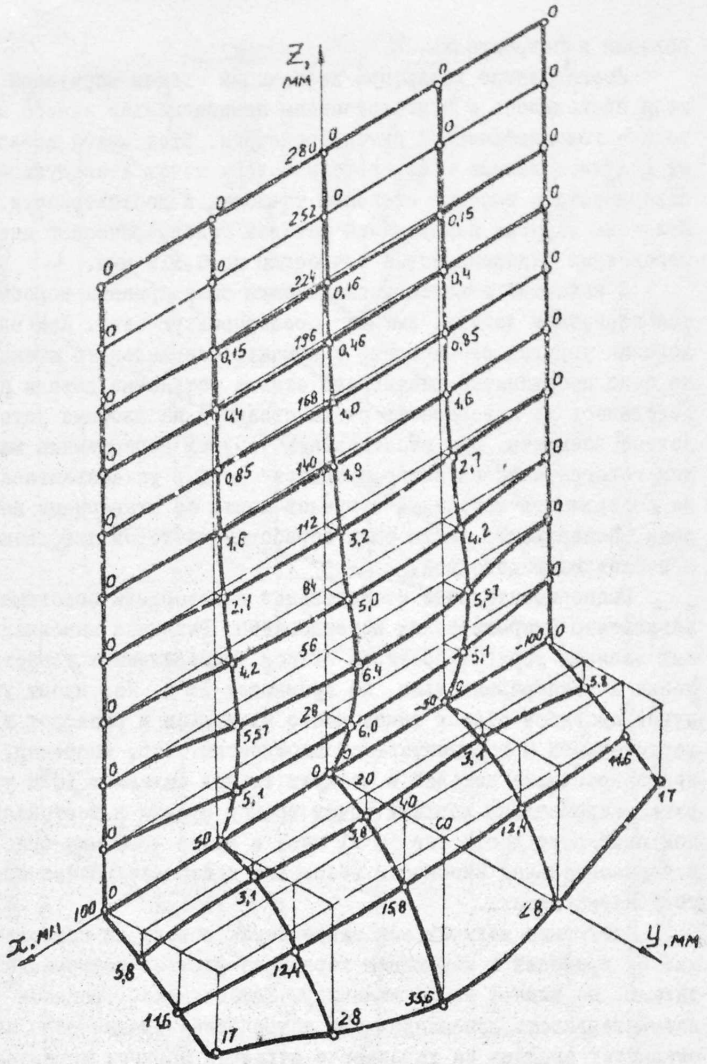


Рис.I.Расчетные величины упругих прогибов стенки и платика под действием двух симметрично расположенных сил равных 10^4Н, приложенных к платику (мкм)

рования и закрепления.

Исследование характера деформаций стенок корпусной детали проводилось с использованием принципиально нового метода - голографической интерферометрии. Этот метод позволяет получить данные о перемещениях всех точек исследуемой поверхности с высокой степенью точности и достоверности. Величины упругих перемещений методом голографической интерферометрии определялись с точностью до 0,315 мкм.

В качестве объекта исследования была принята коробчатая корпусная деталь, имеющая фрезерованную базу. При определении упругих перемещений с помощью специального стенда на базе координатно-расточного станка установка детали производилась на поверхность стола станка и на плоские установочные элементы. При исследовании упругих перемещений методом голографической интерферометрии деталь устанавливалась на поверхность массивной чугунной плиты со станочными пазами. Поверхность плиты была обработана методом шлифования с последующей доводкой.

Экспериментальные исследования подтвердили основные результаты теоретических исследований. Различие максимальных величин упругих прогибов стенок, определенных теоретически и экспериментально, не превышает 14 %. Но, кроме упругих прогибов стенок имеет место их наклон и разворот в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Так, например, при закреплении деталей в четырех точках силами в 10^4Н упругие перемещения верхних точек правой стенки в вертикальной плоскости достигали до 31 мкм, а левой - 20 мкм (рис.2). В горизонтальной плоскости возникает искажение поперечного контура детали.

Изменение величин сил закрепления и мест их приложения не приводит к изменению характера упругих деформаций детали, но влияет на их величину. Установлено, что последовательность приложения сил закрепления практически не оказывает влияния на характер и величины упругих перемещений стенок корпусной детали, если закрепление начинается в одной и той же точке. Смена точки начала закрепления приводит к изменению относительного положения стенок в вертикальной плоскости. Это объясняется нерегулярным рель-

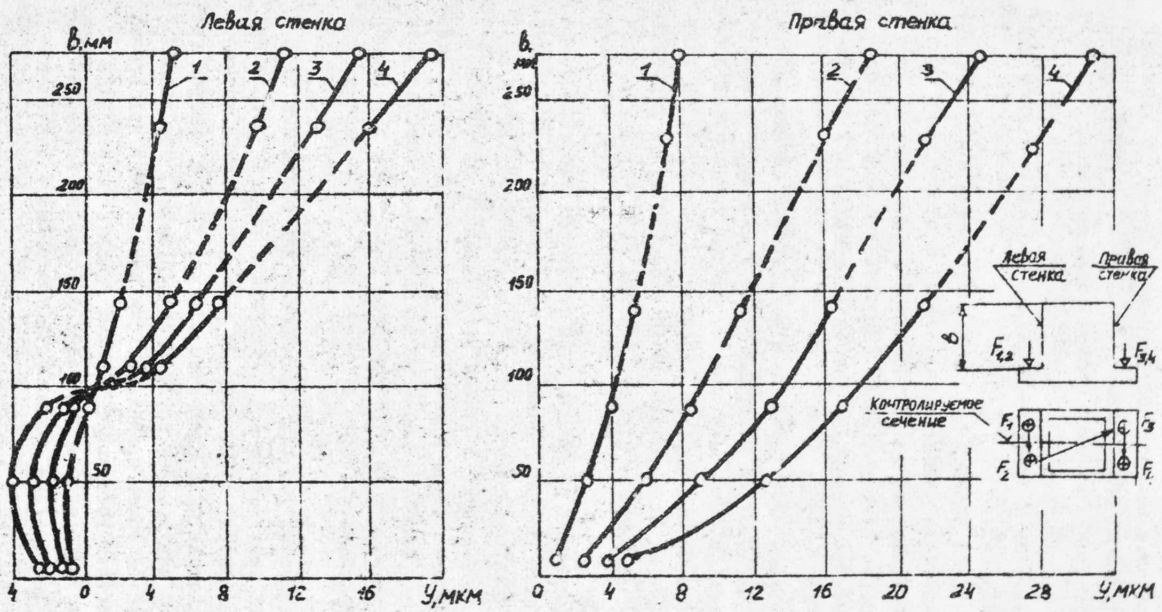


Рис.2.Упругие прогибы и наклон стенок в вертикальной плоскости ($F_1=F_2=F_3=F_4$):
1-силы закрепления равны $2,5 \times 10^3$Н; 2-силы закрепления равны 5×10^3Н;
3-силы закрепления равны $7,5 \times 10^3$Н; 4-силы закрепления равны 10^4Н

ефом базы.

Экспериментально установлено, что одинаковые величины сил закрепления не обеспечивают минимальных и равномерных упругих перемещений стенок. Исследования показали, что приложением неодинаковых по величине сил закрепления можно добиться уменьшения упругих деформаций. Это имеет важное для практики значение.

Определение упругих деформаций основания корпусной детали при изменении условий базирования и закрепления проводилось на специальной экспериментальной установке на базе координатно-расточного станка. Одновременно контролировались относительные смещения стенок в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Установлено, что уменьшение номинальной площади контакта базы и установочной поверхности дает возможность изменять напряженное состояние детали. Однако, таким путем достигаются минимальные упругие перемещения поверхностей только в том случае, если установочные элементы будут расположены в местах наименьших зазоров в стыке база - установочная поверхность.

Неравномерное деформирование различных участков основания является причиной искажения поперечного контура детали и относительных смещений стенок в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Величины этих смещений превосходят упругие прогибы стенок и имеют место при любых схемах базирования и закрепления. Кроме того, происходит поворот детали как жесткого целого, что является следствием неравномерного распределения зазоров в стыке база - установочная поверхность.

Исследование упругих перемещений для различных схем закрепления проводилось при установке корпусной детали на две плоские опоры, длина которых равнялась ширине детали. Силы закрепления были приложены в двух, трех и четырех точках. Анализ результатов исследования показал, что увеличение количества точек приложения сил закрепления при прочих равных условиях дает положительный эффект. Но и в этом случае для достижения минимальных деформаций корпусной детали силы закрепления должны быть приложены в местах на-

именьших зазоров в стыке база – установочная поверхность.

Соотношение величин таких составляющих упругих перемещений стенок, как их наклон, разворот, относительные смещения и упругие прогибы также зависит от схемы закрепления, распределения зазоров в стыке и расположения установочных элементов.

Таким образом, достижение минимальных деформаций поверхностей корпусной детали возможно при учете всех вышеуполянутых факторов и особенно рельефа технологической базы корпусной детали. Выбор начальной точки приложения сил закрепления также зависит от зазоров в стыке. Закрепление следует начинать в той точке, где зазоры минимальны.

В четвертой главе рассмотрены методы уменьшения упругих деформаций корпусных деталей при закреплении, теоретически и экспериментально установлена взаимосвязь упругих деформаций с отклонениями расположения их поверхностей, определена технико-экономическая эффективность методов уменьшения упругих деформаций.

Анализ теоретических зависимостей показал, что наибольшее влияние на точность взаимного расположения поверхностей оказывает наклон, разворот стенок в вертикальной и горизонтальной плоскостях и их относительные смещения. Так, теоретическое отклонение от соосности отверстий относительно общей оси, вызваемое только упругими прогибами стенок, не превышает I мкм. А экспериментально установленная величина отклонения от соосности отверстий относительно общей оси достигла почти 4 мкм при закреплении детали силами 10^4Н в четырех точках. Причем, наиболее интенсивный рост этого отклонения наблюдается при малых и средних величинах сил закрепления, что составляет для данных исследований диапазон 10^3Н...5 х 10^3Н. Дальнейшее увеличение сил закрепления приводит к постепенной стабилизации отклонений расположения поверхностей. Это объясняется постепенным закрытием зазоров в стыке и уменьшением роста упругих перемещений поверхностей корпусной детали.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические методы уменьшения упругих деформаций коробчатых корпусных дета-

лей при закреплении.

Одним из методов снижения упругих деформаций высокоточных корпусных деталей может быть ввод в стык база – установочная поверхность технологических прокладок из алюминиевой фольги. Производственная проверка показала, что в этом случае упругие перемещения стенок могут быть уменьшены в 3...3,5 раза. Данный метод рекомендуется применять в случае, когда деталь имеет фрезерованную базу с отклонением от плоскостности более 20 мкм.

Установка корпусных деталей со шлифованной базой приводит к значительно меньшим упругим деформациям. Но такой путь целесообразен для деталей особо высокой точности.

Закрепление деталей малой жесткости или наиболее ответственных иногда рационально производить неодинаковыми по величине силами закрепления. Их соотношение можно определить экспериментально по специально разработанной методике и схеме контроля упругих перемещений. Это позволяет уменьшить упругие перемещения в 2...2,5 раза.

Предложено к применению разработанное устройство для контроля отклонений расположения поверхностей корпусных деталей. Его использование целесообразно при закреплении ответственных деталей и при окончательном контроле их точностных параметров.

Внедрение результатов работы в производство позволило получить годовой экономический эффект только на одном предприятии в сумме 19568 рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что силы закрепления, приложенные к основанию коробчатой корпусной детали, установленной на металлорежущем станке, вызвают неравномерные и несимметричные упругие прогибы как самого основания, так и стенок. Следствием этого являются наклон, разворот и относительные смещения стенок в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поэтому при оценке точности обработки необходимо учитывать, что у закрепленной деформированной коробчатой кор-

пусной детали взаимное расположение поверхностей значительно отличается от номинального.

2. Для теоретического определения упругих прогибов основания и стенок коробчатых корпусных деталей с различными схемами базирования и закрепления разработана методика, которая определяет основные задачи, последовательность и метод их решения. В ней впервые представлены основные модели стыка база – установочная поверхность, модели силовой нагрузки и модели элементов корпусной детали. Практическое применение разработанной методики позволило решить задачу теоретического определения упругих прогибов основания и стенок коробчатой корпусной детали, закрепленной за платики. Для определения величины упругих прогибов составлена программа для ЭВМ, которая может быть применена при конструкторских и технологических расчетах.

3. Экспериментальные исследования показали, что наиболее точно, полно и наглядно упругие прогибы элементов корпусных деталей определяются методом голографической интерферометрии. Метод следует использовать для исследования упругих деформаций малогабаритных и среднегабаритных корпусных деталей, имеющих сложную конструктивную форму.

4. Точное и быстрое определение упругих прогибов и взаимного расположения основания и стенок коробчатой корпусной детали в производственных условиях можно производить с помощью разработанного стенда на базе координатно-расточного станка и стандартных датчиков, микрокаторов и так далее. В цеховых условиях при обработке ответственных корпусных деталей иногда рационально в процессе закрепления непосредственно контролировать регламентированные точностные параметры – отклонения от соосности расточек корпуса, отклонения от перпендикулярности торцов относительно осей отверстий, отклонения от параллельности осей отверстий и так далее. Для этих целей разработано специальное устройство, позволяющее осуществлять этот контроль непосредственно на станке с точностью ± 1 мкм.

5. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны конструкторские и тех-

нологические рекомендации по уменьшению упругих деформаций коробчатых корпусных деталей на отдельных операциях и их стабилизации на всем протяжении технологического процесса их обработки.

Величиной и характером упругих деформаций коробчатых корпусных деталей можно управлять технологическим путем, изменяя величину и вид отклонения от плоскостности базы, схему базирования, величины сил закрепления, схему закрепления и точностные параметры установочной поверхности.

Так, при закреплении детали со значительным отклонением от плоскостности базы большой эффект дает применение прокладок из мягких материалов, (например, из алюминиевой фольги), которые следует устанавливать в стык база - установочная поверхность в местах приложения сил закрепления. Это позволяет до 3...3,5 раз уменьшить упругие деформации корпусной детали при ее закреплении.

Разработанная методика закрепления ответственных деталей и деталей малой жесткости неодинаковыми в различных точках силами закрепления дает возможность в 2...2,5 раза уменьшить их упругие деформации.

6. Внедрение результатов настоящей работы в производство позволило получить годовой экономический эффект только на одном предприятии в сумме 19568 рублей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Полтавец О.Ф., Гудков В.В., Зимин В.В. Производственные исследования отклонений от соосности отверстий высокоточных корпусных деталей. - Технология производства, научная организация труда и управления. - М.: НИИМАШ, 1980, вып. 6, с.6-9.
2. Полтавец О.Ф., Зимин В.В., Листов В.С. Применение метода голографической интерферометрии для определения деформаций корпусных деталей при закреплении на столе. - Технология производства, научная организация труда и управления. - М.: НИИМАШ, 1980, вып.II, с.6-9.
3. Полтавец О.Ф., Зимин В.В. Деформации заготовок корпусных

деталей при закреплении. Обзор. - М.: НИИМАШ. С-6-3 - Технология металлообрабатывающего производства, 1981, 46 с.

4. Методы и средства контроля точностных параметров корпусных деталей. / С.Ф.Полтавец, В.Е.Гудков, В.В.Зимин, В.Л. Пустырев. Обзор. С-I - Станкостроение/ НИИМАШ, 1982, - 50 с.

Зимин

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА