

1566798

УДК 621.757.62-187.4

На правах рукописи

КОНЦЕВОЙ Павел Борисович

**ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ИСКАЖЕНИЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Handwritten signature

Москва – 2000

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

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники
Российской Федерации, академик Академии
проблем качества, доктор технических наук,
профессор А.М. Дальский

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
А.В. Сгибнев;
кандидат технических наук, доцент
О.Ф. Полтавец

Ведущая организация: АО "Центральный научно-исследовательский
технологический институт", г. Москва

Защита диссертации состоится "29" июня 2000 г., в " " часов,
на заседании диссертационного совета К 053.15.15 в Московском
государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

печатать, просим отправлять по

я в библиотеке МГТУ им.

2000 г.

1566798

 А.С. Васильев

000 г.

Заказ № 857.

фия МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современное развитие техники характеризуется неуклонным повышением требований к качеству машин и постоянным ужесточением их эксплуатационных характеристик. Окончательное формирование показателей качества машины происходит при выполнении сборочных операций отдельных сборочных единиц машины и при ее общей сборке. На этапах сборки и эксплуатации изделий неизбежно возникают деформации. Всегда актуальна проблема компенсации последних. Расширение арсенала методов, позволяющих этого добиться, является важной технологической задачей.

8679951
Данная работа посвящена перспективному и эффективному методу компенсации деформаций соединений деталей машин внесением в отдельные детали и сборочные единицы на этапе их изготовления регламентированных преднамеренных искажений как геометрических, так и физикомеханических характеристик деталей (например, твердости), в результате чего детали приобретают желаемые свойства уже после сборки или при эксплуатации. Полученные таким образом новые рабочие свойства деталей обеспечивают повышение выбранного показателя качества изделия в целом. Чаще всего добиваются повышения точности и надежности.

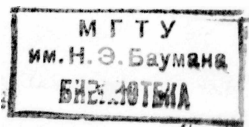
Преднамеренные искажения уже десятки лет используются в различных отраслях машиностроения. Примеры и ссылки на преднамеренные искажения встречаются в работах Ш.М. Билика, А.М. Дальского, М.П. Новикова и других ученых. Но все известные случаи их применения носят спорадический характер, в науке еще не сформирован взгляд на преднамеренные искажения как особый метод. Настоящая работа представляет собой попытку систематического и методически проработанного подхода к преднамеренным искажениям как варианту повышения различных показателей качества изделий машиностроения

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1566798

Концевой П.Б. Повышение по



Цель работы состоит в повышении показателей качества машин при помощи регламентированных преднамеренных искажений геометрических и физико-механических свойств деталей и сборочных единиц на стадии их изготовления.

Научная новизна заключается в разработке концепции применения преднамеренных искажений как особого метода; разработке различных классификаций преднамеренных искажений и методик их применения; получении теоретических зависимостей для нахождения типичных деформаций при сборке ответственных деталей прецизионного машиностроения по плоским поверхностям (накладных планок, втулок, стаканов, колец, корпусных деталей); разработке способов компенсации типичных сборочных погрешностей деталей, собираемых по плоским поверхностям, посредством технологических и конструктивных решений.

Автор защищает:

1. Методики применения преднамеренных искажений.
2. Зависимости для нахождения типичных деформаций и величины преднамеренных искажений для рассмотренных групп деталей.
3. Рекомендации по компенсации типичных сборочных погрешностей для рассмотренных случаев сборки прецизионных деталей по плоским поверхностям.

Методы исследований. При выполнении работы использовались научные основы технологии машиностроения, теории технологической наследственности в машиностроении, теории упругости, курса сопротивления материалов, а также элементы высшей математики.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения" и на методическом совете НУК МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1997–99 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано три работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа содержит 134 страницы текста, включая 1 таблицу, 37 рисунков, список литературы из 71 наименования, а также приложения на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении анализируется актуальность разработки новых методов повышения точности и других показателей качества машин, среди которых свое достойное место должен занять метод преднамеренных искажений.

Первая глава посвящена анализу методов повышения различных показателей качества машин. При переходе к прецизионной области точности должны применяться уточненные и более сложные, по сравнению с обычным машиностроением, модели поведения деталей. Нельзя рассматривать детали обособленно друг от друга; среда, окружающая детали и включающая в себя другие детали, тепловые поля, объекты производства и т. д., изменяет свойства деталей. Это особенно относится к геометрической точности, важнейшему показателю качества. Кроме того, следует анализировать весь “жизненный” цикл детали с учетом передачи свойств от заготовительных до сборочных операций включительно – принцип наследственности (П.И. Ящерицын, А.М. Дальский, Э.В. Рыжов и др.). При таком подходе очевидна консервативность и неоправданность повышения точности механической обработки, не связанной с компенсацией действия сборочных и эксплуатационных факторов. Полностью устранить факторы, снижающие точность и другие важные показатели (особенно долговечность) нельзя, т. к. они обусловлены физической природой деталей и окружающей среды (силовое взаимодействие твердых тел, перепады температур и т. д.), поэтому правильное направление – компенсация вредного влияния факторов. Компенсация при помощи обработки в сборе находит ограниченное применение, в частности из-за нарушения рав-

новесного состояния структуры поверхностных слоев прецизионных деталей. Преднамеренные искажения свойств деталей позволяют компенсировать изменения, наступающие при оборке и эксплуатации деталей, и существенно повысить их показатели качества.

Приводится обширный обзор случаев применения преднамеренных искажений в различных отраслях реального машиностроения. Преднамеренные искажения используют везде: от профилирования ролика роликового подшипника в виде бочки для повышения долговечности в несколько раз до установки лопаток осевых компрессоров и газовых турбин на диске так, чтобы центры тяжести всех сечений, кроме корневого, не совпадали с плоскостью вращения, а были вынесены в сторону действия изгибающих моментов от газодинамических сил. Каждый автомобиль имеет развал и сходжение колес. Преднамеренные искажения применяются в изделиях как прецизионной, так и непрецизионной точности.

Отмечены, с одной стороны, единство принципа компенсации действия неблагоприятных факторов путем использования регламентированных преднамеренных искажений, создаваемых при изготовлении деталей, и, с другой стороны, разрозненность всех примеров, отсутствие единого методического подхода к применению такого мощного инструмента повышения качества. Сделана попытка структурного изложения метода преднамеренных искажений. Для анализа выбран важнейший показатель качества соединений – геометрическая точность в сборе. На примерах сборки ограниченного класса соединений показана возможная последовательность анализа сборочных деформаций и реализации данного метода их компенсации. Для этого дано терминологическое обоснование понятия “преднамеренные искажения”, приведена классификация применяемых в современном машиностроении и перспективных видов преднамеренных искажений и сформулированы задачи исследования:

1. Разработать концепцию применения преднамеренных искажений как особого метода.

2. Разработать методики применения преднамеренных искажений в общем виде и применительно к повышению геометрической точности соединений.

3. Дать практические рекомендации по повышению качества отдельных распространенных прецизионных соединений, собираемых по плоским поверхностям.

Вторая глава целиком посвящена методике использования преднамеренных искажений на практике. Эффективность работы с преднамеренными искажениями может существенно повыситься, если разработчик будет действовать по единому методическому плану. В каждом конкретном случае объем исследований, безусловно, варьируется.

Итак, под методом преднамеренных искажений мы понимаем совокупность этапов расчета, создания и применения преднамеренных искажений на практике с целью повышения заданного показателя качества изделия.

Метод преднамеренных искажений включает в себя следующие этапы:

- 1) определение показателя качества;
- 2) выявление факторов, действующих на детали (сборочные единицы) при сборке и эксплуатации изделия;
- 3) выделение доминирующих факторов и определение значений факторных характеристик;
- 4) оценка возможности применения метода преднамеренных искажений;
- 5) определение характера и величины преднамеренных искажений;
- 6) создание преднамеренных искажений (для пробных деталей, соединений);
- 7) экспериментальная проверка эффективности преднамеренных искажений;

8) разработка стандартов предприятия, регламентов по внедрению преднамеренных искажений;

9) технологическая подготовка создания преднамеренных искажений для внедрения их в производство.

Определение приоритетного показателя качества (этап 1) производится по результатам анализа, на основе опытных данных. Местные деформации, неравномерный износ деталей и т. п. могут являться сигналами к применению изложенной методики. Выявление факторов (этапы 2, 3) и оценка возможности применения метода преднамеренных искажений (этап 4) требует также аналитической работы. Во-первых, нежелательные деформации, неравномерный износ и т. п. должны иметь повторяющийся, а не случайный характер для всех изделий. Во-вторых, вывод о возможности применения метода преднамеренных искажений делается на основе опыта, исходя из аналогов, имея в виду имеющуюся производственную базу и предварительно оценив затраты.

Характер и величина преднамеренных искажений (этап 5) для каждого конкретного случая свои, но для схожих соединений и конструкций имеются общие закономерности. Создание и оценка эффективности преднамеренных искажений (этапы 6–9) являются обычной технологической задачей, но именно на этих этапах и могут возникнуть наибольшие проблемы. Многое зависит от квалификации технолога и возможностей производственной базы.

В настоящей работе данная методика получила развитие применительно к вопросу повышения геометрической точности при сборке. Это обуславливает доминирующий фактор — силовое взаимодействие деталей, представляемых как твердые тела. За классификационную характеристику соединений принят вид поверхностей, по которым осуществляется сборка: плоские, круговые цилиндрические, конические, фасонные, комбинированные.

В результате проведенного анализа сформулирована методика расчета деформаций и поиска методов их компенсации для любых соединений, неза-

висимо от вида контактирующих поверхностей. Методика состоит из двух частей: общая часть I (она не соотносится с методами компенсации деформаций) и относящаяся к методу преднамеренных искажений часть II.

Часть I. Определение деформаций

1.1. *Базовые и ответственные поверхности.* Для пары контактирующих прецизионных деталей определяются базовые и ответственные поверхности. Ответственные поверхности определяют служебное назначение деталей в сборочной единице.

1.2. *Точностные параметры.* Оцениваются точностные показатели базовых и ответственных поверхностей с учетом наследственных деформаций.

1.3. *Силовые факторы.* Определяются силовые факторы, составляются расчетные схемы с учетом наследственных деформаций – для достаточно простых соединений, которые можно описать формулами курса сопротивления материалов, теории упругости и т. п. Для соединений, расчет которых затруднен, предлагается методика экспериментального определения деформаций.

1.4. *Деформации.* Определяются деформации ответственных поверхностей при сборке соединения (теоретически или экспериментально), их величины сравниваются с технологическими допусками, анализируется их влияние на служебные свойства соединения и изделия в целом.

Часть II. Компенсация деформаций с помощью метода преднамеренных искажений

II.1. *Анализ.* Анализируются различные варианты компенсации деформаций. Цель – чтобы деформации или уменьшились, или исчезли, или не отражались на служебных свойствах соединения (например, можно не использовать ту часть поверхности, которая деформируется). Источники знаний: решения в конструкциях-аналогах, известные концепции и методы компенсации деформаций (для нас это метод преднамеренных искажений), справоч-

ники, аналитические умозаключения и гипотезы, экспериментальные данные и т. д.

II.2. Характер преднамеренных искажений. Определяется характер преднамеренных искажений. Возможные направления поиска: изоляция зоны деформаций, “обратное искажение”, изменение конструкции с изменением силовой картины и т. д.

II.3. Расчет преднамеренных искажений. Определяются новые силовые ситуации и расчетные схемы. Регламентируется величина преднамеренных искажений.

II.4. Эксперименты. Экспериментально подтверждается эффективность использования метода преднамеренных искажений.

II.4.1. Исследуются деформации ответственных поверхностей деталей в сборе и под нагрузкой.

II.4.2. Исследуется влияние на величину деформаций внесенных преднамеренных искажений. В ряде случаев положительный эффект оценивается качественно, т. к. точно регламентировать преднамеренные искажения можно далеко не всегда.

II.5. Эффективность. Производятся экономические расчеты, делается вывод об экономической и технической целесообразности использования преднамеренных искажений. При положительном ответе на этапе II.5:

II.6. Внедрение. Предлагаются регламенты, инструкции, стандарты предприятия по использованию преднамеренных искажений, проводится технологическая подготовка производства для их внедрения в технологический процесс изготовления деталей.

На основе приведенных выше методик в данной главе анализируются особенности определения типичных деформаций при сборке деталей по плоским, цилиндрическим, коническим поверхностям. Детали представляются в виде твердых тел и при аналитическом определении деформаций схематизируются в виде пластин, колец, оболочек и т. п. Силовые факторы приводятся

к сосредоточенным силам, распределенным нагрузкам, моментам сил. При невозможности аналитического определения деформаций применяются пакеты прикладных программ для ЭВМ, использующих метод конечных элементов, или эксперименты.

Нами предлагается классификация видов преднамеренных искажений при сборке, допускающая свое дальнейшее развитие и уточнение (рис. 1).

В третьей главе подробно рассматриваются типичные случаи сборки деталей по плоским поверхностям (это, наряду со сборкой по цилиндрическим поверхностям, один из самых распространенных случаев, но значительно менее изученный). Нами по результатам анализа выделены три группы таких ответственных деталей:

1. Накладные направляющие планки станков или других прецизионных машин. Планки изготавливают из легированных сталей и закрепляют, как правило, винтами (болтами) на корпусных деталях, изготовленных из серого или высоколегированного чугуна. Рабочие плоские поверхности, к которым предъявляются жесткие требования по точности формы (отклонениям от плоскостности, прямолинейности), контактируют с телами качения подвижных узлов станка (например, суппортов).

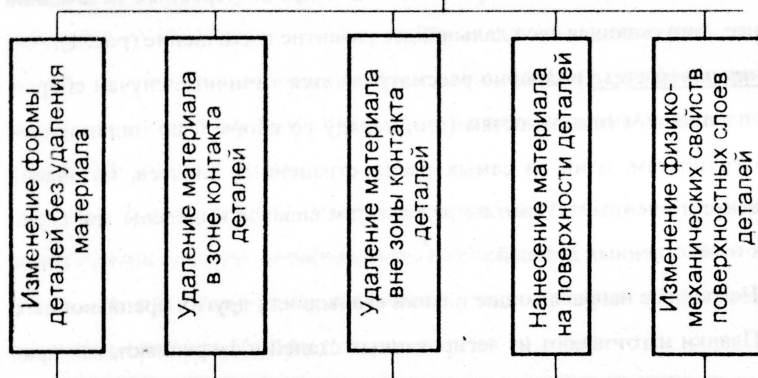
2. Детали-тела вращения, имеющие плоские торцовые опорные поверхности. Это различные подшипниковые втулки, стаканы, простановочные кольца, крышки и т. п. Такие детали собираются на валах или закрепляются в корпусах. Чаще всего они относятся к подшипниковым узлам и контактируют с кольцами подшипников качения и реже скольжения.

3. Корпусные детали, имеющие плоские поверхности разъема, по которым они контактируют с другими корпусными деталями (шпиндельная головка – со стойкой и т. п.). Корпусные детали служат для размещения в них различных механизмов машин.

По предложенному методическому плану получены, где это возможно, аналитические выражения для определения типичных деформаций при сбор-

ПРЕДНАМЕРЕННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ, ИСПОЛЗУЕМЫЕ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ СБОРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

По характеру преобразований материала деталей



По способу компенсации деформаций

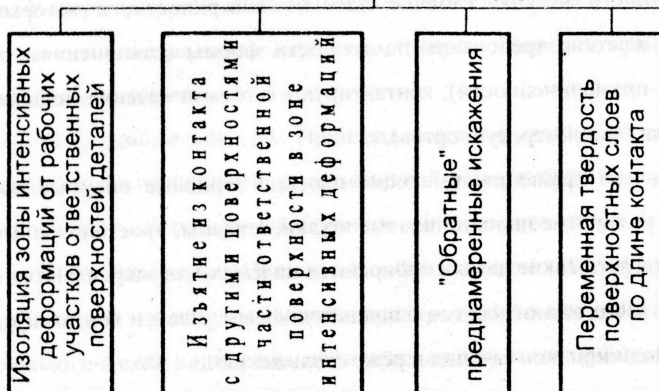


Рис 1. Виды преднамеренных искажений при компенсации погрешностей, возникающих при сборке соединений

ке этих классов деталей. Характер деформаций и их величина определяют соответственно характер и значение требуемых преднамеренных искажений.

При закреплении накладных планок винтами (болтами) на корпусных деталях (станинах, стойках и т. п.) под головками винтов происходит местное сжатие соединяемых деталей, свободные рабочие поверхности планок неравномерно опускаются. В результате наложения перемещений от каждого винта рабочие поверхности становятся волнистыми, вершины волн располагаются между винтами, впадины — над винтами. Хотя значение волн обычно не превышает долей микрометра, но ресурс работы узла машины и точность перемещений рабочего органа снижается в несколько раз. Значения сборочных деформаций находятся по схеме балки на упругом основании. Экспериментально определяется податливость стыка и получается очень близкая к действительности математическая модель. Опираясь на значения деформаций, при серийном производстве ответственных планок на их рабочих поверхностях можно создать “обратную волну”, которая компенсирует сборочные деформации.

Для подшипниковых крышек, фланцев втулок и стаканов типична неуравновешенность силовых факторов, что приводит к превращению их плоских торцовых поверхностей в конические. Угол отклонения от плоскости достаточно легко определяется по формулам курса сопротивления материалов. Соответственно, для этих случаев следует при их изготовлении создавать “обратные” по отношению к деформированным конические поверхности. Силовые факторы обычно легко определяются из геометрических характеристик деталей и значений регламентированных сборочных сил и моментов сил.

Для корпусных деталей сложной формы аналитически определяются, как правило, лишь местные деформации, здесь наиболее применимы метод конечных элементов и эксперименты. Для расчета методом конечных элемен-

тов применяется ЭВМ. Примеры пакетов прикладных программ: ИСПА, ANSYS, MSC / Nastran, PRO / FEM POST, PRO / MESH, ADAMS.

В четвертой главе изложены результаты экспериментального исследования представителей выбранных классов соединений, собираемых по плоским поверхностям. При этом решались три частные задачи:

- подтверждение влияния вносимых преднамеренных искажений на снижение деформаций ответственных поверхностей деталей выбранных классов;
- проверка эффективности преднамеренных искажений различных видов по представленной классификации;
- демонстрация применения на практике некоторых простых методик определения деформаций, которые легко реализовать в производственных условиях при любом типе производства.

В качестве примера исследована модель подшипника подшипника скольжения. Втулка, имеющая фланец диаметром 76 мм и толщиной 9 мм, изготовленная из стали 40Х, закреплялась гайкой в модели корпуса – кольцо с регламентированным моментом затяжки 25 Н•м при стопорении штифтом. Контакт между буртом втулки и торцевой поверхностью кольца осуществлялся по узкому пояску шириной около 1,3 мм вблизи наружного диаметра бурта втулки. Исследовалось отклонение от плоскостности торцевой поверхности бурта втулки после сборки с помощью координатно-измерительной машины портального типа модели КИМ-600. Без преднамеренных искажений плоская поверхность превращалась в коническую с углом конуса $2,3'$. После создания на втулке “обратного” конуса с тем же углом шлифованием произошло повышение точности в 2,4 раза. Полученное значение отклонения от плоскостности соответствовало точности механической обработки плоской поверхности на использованном шлифовальном оборудовании, т. е. коническая поверхность в собранном виде уже не наблюдалась.

Другая серия экспериментов была связана с исследованием деформаций при сборке корпусных деталей сложной коробчатой формы методом тензометрирования. Использовалась установка, собранная на базе тензоусилителя "Топаз-3", применялись тензометрические датчики сопротивлением 100,0 Ом и с базой 20 мм. Ответственное отверстие 1 (рис. 2, а) диаметром 100 мм обклеивалось датчиками 2, вблизи него осуществлялась сборка корпуса с массивной пластины толщиной 30 мм посредством группы болтов М8. Поверхности стыка и отверстие шлифовались. Болты располагались неравномерно. При различных условиях сборки на разных участках отверстия наблюдалось варьирование относительных суммарных местных деформаций от 2 до 15 относительных единиц.

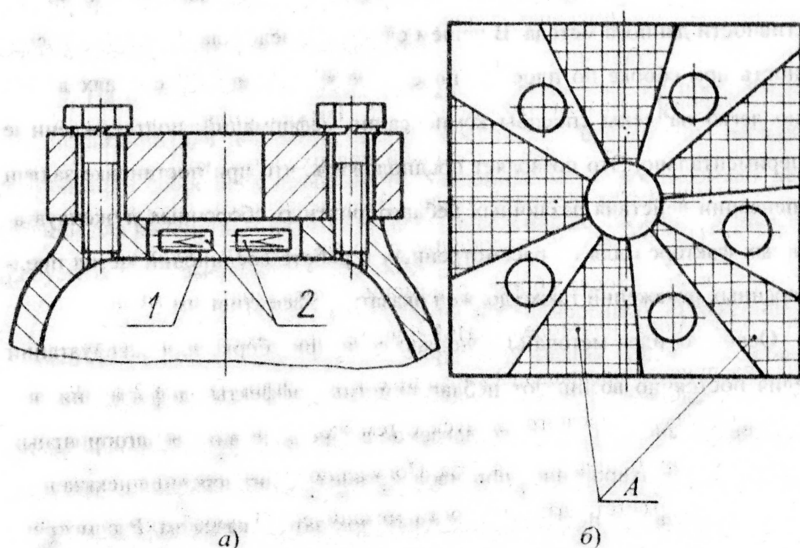


Рис. 2. Схемы сборки и преднамеренных искажений пластины при сборке корпуса с ответной деталью

Для нашей модели методом подбора испытывались различные варианты преднамеренных искажений, в итоге осуществлена схема преднамеренных искажений, показанная на рис. 2, б. При этом из контакта с торцевой поверхностью корпуса извлекается существенная часть поверхности плиты в зонах А на глубину 20–30 мкм слесарным инструментом. Это должно уменьшить влияние наследственных отклонений формы контактирующих поверхностей деталей. При такой форме преднамеренных искажений наблюдалось существенно меньшее расхождение в показаниях датчиков после сборки: от 2 до 4 относительных единиц. Следовательно, это позволяет заключить как о снижении абсолютной величины деформаций, так и об их более равномерном распределении по поверхности отверстия.

В пятой главе представлены практические рекомендации по компенсации деформаций, возникающих при сборке рассмотренных соединений, при помощи метода преднамеренных искажений. Дано заключение об эффективности данного метода. В нашем случае исследовалась геометрическая точность при сборке по плоским поверхностям. Во многих случаях достаточно легко найдены способы компенсации деформаций, подтвержденные экспериментально. Это позволяет предположить, что при постановке задачи компенсации действия различных неблагоприятных сборочных и эксплуатационных факторов для не рассмотренных в работе соединений метод преднамеренных искажений также должен оказаться эффективным.

Основная идея метода следующая: если при сборке или эксплуатации изделия постоянно возникают неблагоприятные эффекты (деформации, неравномерный износ и т. д.), то создаваемое в зоне действия неблагоприятных факторов регламентированное противодействие (преднамеренное искажение) должно, как правило, повышать заданный показатель качества. Рассмотренный метод не является универсальным, но он и не привязан к какому-то конкретному показателю качества, классу деталей, условиям сборки и эксплуатации изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Арсенал технологических средств повышения качества изделий должен быть дополнен методом преднамеренных искажений, позволяющим эффективно управлять формированием показателей качества изделий на этапах изготовления и сборки деталей и сборочных единиц.

2. Данный метод применяется для компенсации влияния неблагоприятных сборочных и эксплуатационных факторов и реализуется внесением в отдельные детали на этапе их изготовления и сборки преднамеренных искажений геометрических и физико-механических параметров. Детали в соединении приобретают новые свойства, полнее отвечающие их служебному назначению.

3. Предложение рассматривать преднамеренные искажения как особый метод сделано с учетом общности решаемых для различных классов и видов соединений задач, а также неизменного и ограниченного набора основных видов преднамеренных искажений (глава 2).

4. На основе разработанных методик и классификаций преднамеренных искажений для широкого спектра соединений предложены варианты компенсации сборочных деформаций. Указанные методики подлежат детализации для конкретных случаев с целью доведения до численного значения требуемых преднамеренных искажений.

5. Предложены методы определения преднамеренных искажений для деталей типа колец, втулок, стаканов, накладных планок, корпусных деталей.

6. Эффективность метода продемонстрирована на типовых примерах сборки прецизионных соединений по плоским поверхностям. Показана возможность компенсации деформаций на основе расчета (для деталей типа втулок, стаканов и т. п.) или экспериментов (для корпусных деталей).

7. Для реализации данного метода рекомендуется регламентированное нагружение соединений. Регламентация силовых факторов служит для правильного выбора величины преднамеренных искажений.

8. Внедрение преднамеренных искажений во многих случаях повышает требуемые показатели качества, которые нельзя или экономически нецелесообразно повышать другими методами.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Концевой П.Б. Компенсация деформаций деталей при сборке с помощью преднамеренных искажений // Технология металлов. – 1998. – №1. – С. 35–38.

2. Концевой П.Б. Совершенствование технологических процессов сборки прецизионных изделий // Технология металлов. – 1999. – №3. – С. 15–17.

3. Концевой П.Б. Виды, методы определения и способы снижения сборочных деформаций изделий // Технология металлов. – 2000. – №5. – С. 22–25.