М450955

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ им. Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

БРАТКОВ Илья Степанович

УДК 621.9.015

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ФОРМЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВО ВРЕМЕНИ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения
Специальность 05.02.01 - Материаловедение в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва **1986**

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

Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор ДАЛЬСКИЙ А.М.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор ОРЛОВ П.Н.

кандидат технических наук, старший научный сотрудник КУКСЁНОВА Л.И.

Ведущее предприятие – Московский завод координатно-расточных станков

Защита состоится "2" июня 1986 г. на заседании специализированного совета К053.15.15 МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская, д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзы ый
печатью, прос

Авторефе

Ученый с
специализиров
к.т.н.,

Л-6288
Подп.к печ.23
Типография МВ

НА РУКИ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Представленная работа посвящена вопросам разработки и исследования технологических методов обеспечения стабильности формы высокоточных деталей с течением времени для повышения надежности и долговечности работы прецизионных машин и приборов.

Актуальность проблемы. XXYII съездом КПСС поставлены задачи по дальнейшему повышению качества металлопродукции, увеличению выпуска прецизионных сплавов и совершенствованию технологии их обработки для создания надежных и долговечных машин и приборов. Современное развитие техники характеризуется дальнейшим повышением производительности, точности, единичной мощности машин и ужесточением требований к постоянству их рабочих характеристик. Большинство эксплуатационных параметров прецизионных машин определяется точностью изготовления формы базовых деталей, микро- и макрогеометрическими параметрами поверхностей, физико-механическими свойствами материала поверхностного слоя.

По мере решения вопросов технологического обеспечения высокой точности геометрической формы базовых деталей, возрастает актуальность задачи повышения ее стабильности во времени. Решение этой проблемы усложняется с одной стороны ужесточением требований к точности изготовляемых деталей и, с другой стороны, возникновением в результате технологического воздействия нестабильных микроструктурных процессов и остаточных напряжений в поверхностных слоях. Многообразие технологических методов воздействия на обрабатываемую поверхность, сложность характера нарушения микроструктуры требуют постоянного анализа их влияния на нестабильность формы. Необходимость решения проблемы технологического обеспечения стабильности формы обостряется внедрением дорогостоящих методов финишной обработки поверхностей сверхтвердым инструментом, нанесения защитных покрытий, ионного легирования, модификации поверхностей пучками ускоренных частиц, направленных на повышение износостойкости, усталостной и контактной прочности деталей машин.

При технологическом воздействии на поверхность происходят тонкие и сложные микроструктурные явления наследственного типа, внешнее проявление которых заключается в изменении формы готовых деталей с течением времени при отсутствии внешних нагрузок. Наследственные явления в основном металле и в поверхностном слое обусловлены технологическими воздействиями на всех этапах про-

Д 114529

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана

цесса изготовления. Если нестабильность микроструктуры на предварительных операциях может быть снижена методами термической стабилизации, то на финишных операциях она неустранима. Поэтому к технологическим методам финишной обработки предъявляются требования по исключению причин нестабильности поверхностного слоя и резкому уменьшению интенсивности релаксации остаточных напряжений. Раскрытие механизма релаксационных процессов и нестабильности микроструктуры нарушенного поверхностного слоя позволяет целенаправленно формировать технологическими методами наследственные свойства материала высокоточных деталей для обеспечения точности и стабильности формы основных поверхностей. В представленной работе предлагается новый подход к изучению влияния уровня, закона распределения остаточных напряжений и состояния микроструктуры поверхностного слоя с учетом технологической наследственности на нестабильность формы высокоточных деталей.

Цель работы. Основной целью работы являлось исследование, разработка и обоснование технологических методов обработки поверхностей высокоточных деталей, обеспечивающих точность и стабильность их формы во времени.

Методы исследований. В соответствии с поставленной целью работы теоретические задачи решали на основе математической теории наследственности Больцмана-Вольтерра с привлечением функций Лежандра, теории упругости, теории фазовых и микроструктурных превращений, теории релаксации напряжений в металлах. Экспериментальные исследования по определению параметров распределения остаточных напряжений в поверхностном слое проводили на специальной установке, изучали характер микроструктурных и фазовых превращений в материале поверхностного слоя, величину изменения формы обработанных поверхностей определяли в спецприспособлениях на приборах ВЕ-20А и TALIROND - 50. Методики исследований предусматривали пооперационное максимально возможное обеспечение точности и стабильности формы деталей применительно к выбранной системе СПИД. Объектами экспериментов являлись как образцы, так и промышленные изделия. Решение поставленных задач осуществляли проведением теоретических, экспериментальных и технико-экономических исследований; технологических и конструкторско-технологических разработок; практическим применением результатов в производственных условиях. Анализ экспериментально-аналитических методов исследования осуществляли с использованием ЭВМ.

Научная новизна. Разработана методика теоретического исследования изменения формы высокоточных деталей с течением времени, позволяющая осуществлять прогнозирование и управление этим процессом путем применения специальных методов технологического воздействия. В основу методики положены математическая теория наследственности Больцмана-Вольтерра и теория технологического наследования с использованием функций Лежандра. Установлен характер влияния технологических остаточных напряжений в поверхностном слое и нарушения его микроструктуры на стабильность формы высокоточных поверхностей деталей при технологическом воздействии. Показано, что изменение формы высокоточных поверхностей осесимметричных деталей с течением времени зависит от наследственных свойств материала поверхностного слоя, сформированных технологическим воздействием, уровня, закона распределения остаточных напряжений и характера их релаксации, от микроструктурных и фазовых превращений. Определены наиболее значимые параметры нарушения поверхностного слоя, влияющие на изменение формы высокоточных поверхностей после предварительных и финишных методов обработки.

Практическая ценность. Практическая ценность работы заключается в следующем:

- разработаны технологические мероприятия, устраняющие причины нестабильности формы высокоточных поверхностей деталей, и обеспечивающие требуемые высокие значения геометрических параметров обрабатываемых поверхностей;

- в производственных условиях внедрен комплекс технологических мероприятий по повышению стабильности и точности формы высокоточных деталей, выпускаемых Московским заводом скоростных прецизионных электроприводов, с фактическим годовым экономическим эффектом 10400 рублей;

- предложенные методики исследования причин нестабильности формы высокоточных поверхностей и последующей разработки технологических мероприятий практически корректны в отношении всего класса осесимметричных толстостенных и сплошных прецизионных деталей;

- достигнутое в результате проведения работы повышение точности и стабильности формы базовых деталей способствует увеличению надежности и долговечности прецизионных машин и открывает дополнительные возможности для совершенствования их конструкции.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение долговечности и надежности машин и приборов" (г. Куйбышев, 1981 г.), Всесоюзном научно-техническом семинаре "Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов" (г.Москва, 1984 г.), III Всесоюзном научно-техническом семинаре "Физико-технологические проблемы поверхности металлов" (г.Ленинград, 1984 г.), научных семинарах кафедры "Технология металлов" МВТУ им.Н.Э.Баумана.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 139 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 2 таблицы, список литературы из 65 наименований и приложений на 11 страницах. Общий объем работы составляет 198 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен анализ проблемы технологического обеспечения стабильности формы высокоточных деталей и состояние вопроса в области исследований характера нарушения поверхностного слоя при технологическом воздействии на обрабатываемую поверхность.

Установлено, что большинство исследовательских работ направлено на повышение эксплуатационных характеристик деталей машин и приборов технологическими методами, но при этом не учитывают нестабильность нарушенного слоя; не раскрыты механизм нестабильности микроструктуры поверхностного слоя и характер релаксации технологических остаточных напряжений.

Отсутствуют аналитические зависимости для определения величины релаксируемых напряжений во времени и теоретический анализ особенностей их релаксации с учетом наследственного характера формирования при предварительных и финишных методах обработки высокоточных поверхностей. В литературных источниках отсутствуют сведения об особенностях наследственного характера нарушения микроструктуры и уровня релаксируемых остаточных напряжений в поверхностном слое и их влияний на нестабильность формы высокоточных поверхностей. Отсутствуют комплексные исследования по выбору технологических методов обработки и рациональной последовательности их воздействия на поверхность для обеспечения точности и стабиль-

ности формы во времени.

На основании результатов анализа проблемы технологического обеспечения стабильности формы высокоточных деталей во времени были поставлены основные задачи исследования:

- анализ напряженного состояния материала на основе теоретического представления тангенциальных остаточных напряжений в поверхностном слое высокоточных деталей, обработанных с применением различных технологических методов;

- теоретические и экспериментальные исследования остаточных напряжений в поверхностном слое, возникающих в результате технологического воздействия, и влияния характера их релаксации на изменение формы высокоточных поверхностей;

- экспериментальное исследование влияния режимов технологического воздействия на характер нарушения микроструктуры поверхностного слоя, уровень остаточных напряжений и стабильность геометрических параметров обработанных поверхностей;

- экспериментальное определение нестабильности формы высокоточных поверхностей деталей в зависимости от характера нестабильности микроструктуры и релаксации остаточных напряжений с учетом технологической наследственности после применения различных технологических методов предварительной и финишной обработки;

- разработка технологических мероприятий по устранению нестабильности формы высокоточных поверхностей деталей при одновременном обеспечении высоких требований по геометрическим параметрам.

Во второй главе приведены теоретические исследования релаксации технологических остаточных напряжений и их влияния на нестабильность формы высокоточных деталей с течением времени. Предварительно были рассмотрены вопросы теоретического представления кривых распределения остаточных напряжений от технологического воздействия на основе теории существования на единичном отрезке ортогональных многочленов Лежандра. Подтверждена правомерность существования ортогональных многочленов на отрезке $[0, h]$, с сохранением свойств и характера поведения кривых на единичном отрезке. Показана возможность теоретического представления характерных законов распределения остаточных напряжений в поверхностном слое на основе функций Лежандра

$$F_n(y) = A_n \cdot P_n(y),$$

где A_n - максимальное значение остаточных напряжений на поверх-

ности;

h – глубина нарушенного слоя;

y – переменная на отрезке нарушенного слоя;

n – показатель степени многочлена Лежандра;

$P_n(y)$ – единичная функция распределения.

Рассмотрены кривые единичных функций распределения остаточных напряжений по глубине нарушения поверхностного слоя при $n = 3$

$$F_3(y) = A_3 \frac{5}{2h}\left(\frac{y^3}{h^2} - \frac{3}{5}y\right),$$

$n = 5$

$$F_5(y) = A_5 \frac{1}{8h}\left(\frac{63}{h^4}y^5 - \frac{70}{h^2}y^3 + 15y\right),$$

$n = 7 \quad F_7(y) = A_7 \cdot P_7(y).$

Эти выражения определяют законы распределения как положительных, так и отрицательных напряжений на поверхности. Показано, что теоретическое представление распределения тангенциальных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя на основе функций Лежандра позволяет проводить исследования напряженного состояния поверхностного слоя в зависимости от характера технологического воздействия на обрабатываемую поверхность. Учитывая упругую природу существования остаточных напряжений, теоретическая модель исследования напряженного состояния поверхностного слоя построена на основе теории упругости.

Теоретическое определение напряженного состояния поверхностного слоя позволило перейти к исследованию релаксации остаточных напряжений и влияния этого процесса на изменение формы обработанных поверхностей с течением времени. В теоретическом анализе релаксации остаточных напряжений в поверхностном слое учтены уровень и характер их распределения по глубине нарушения, наследственный характер микроструктурных превращений и история технологического воздействия.

Основные положения релаксации остаточных напряжений в поверхностном слое выведены из основополагающих принципов теории наследственной упругости, получившей дальнейшее развитие в теории технологического наследования, разработанной советскими учеными А.М.Дальским, П.И.Ящерицыным, Э.В.Рыжовым и др. Вывод основных наследственных уравнений релаксации остаточных напряжений осуществляли с использованием экспериментальных релаксационных

кривых, полученных испытанием на изгиб образцов из стали ЬХ15 и ШХ15СГ. Выведены частные положения наследственной теории применительно к остаточным напряжениям, которые позволяют провести анализ процесса их релаксации по глубине нарушенного слоя для случая осесимметричных деталей в фиксированный момент времени.

Остаточные напряжения вызывают наследственные деформации в поверхностном слое. Так как остаточные напряжения по глубине меняют знак, то соответственно в каждом элементе поверхностного слоя изменяется направление его перемещений. Интегральная сумма этих локальных перемещений определяет истинное перемещение свободной поверхности. На основе уравнений Коши, записанных в полярных координатах, определили общее перемещение $U(t,h)$ обработанной свободной поверхности в требуемый момент времени выражением

$$u(t,h)=\int_0^h \varepsilon_r(t,y)\,dy,$$

где $\varepsilon_r(t,y)$ – радиальная деформация выделенного элемента в определенный момент времени;

dy – длина выделенного элемента в поверхностном слое.

В аналитических выражениях учтено, что общая радиальная деформация $\varepsilon_r(t,y)$ обусловлена не только действием релаксируемых остаточных напряжений на материал поверхностного слоя, наследственные свойства которого хранят историю технологического воздействия, но и нестабильностью фазовых превращений. При этом с момента начала релаксации остаточных напряжений в поверхностном слое возникает упругое последействие материала, закон изменения которого обусловлен процессом релаксации. Учитывая взаимовлияние процессов релаксации остаточных напряжений и микроползучести материала поверхностного слоя, наследственное ядро релаксации представили в виде резольвентного ядра микроползучести. На основе свойств резольвентных операторов Вольтерра определили наследственное ядро микроползучести, так как ядро релаксации аналитически известно.

Для осесимметричных деталей изменение формы характеризуется изменением величины отклонения от круглости в фиксированный момент времени. Как частный случай показано, что при известных величинах перемещения свободной овальной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях, величина отклонения от круглости формы обработанной поверхности во времени определяется зависи-

мостью

$$\Delta_{\Phi}(t) = U_1(t, h_1) - U_2(t, h_2) .$$

Проведены теоретические исследования влияния параметров остаточных напряжений (максимальное значение P_0, глубина нарушения h и закон распределения по глубине поверхностного слоя $F_n(y)$)на изменение формы обработанной поверхности с течением времени. Показано, что перемещение обработанной поверхности (при одинаковом законе распределения) пропорционально глубине нарушения слоя, которая является величиной переменной и для круглых деталей задана функцией в полярных координатах. Изменение закона распределения остаточных напряжений в поверхностном слое, при сохранении условий протекания микроструктурных превращений, приводит к тому, что перемещение обработанной поверхности осесимметричной детали в радиальном направлении изменяется по величине и направлению (при одинаковом уровне и знаке остаточных напряжений на поверхности). Полученные теоретические зависимости позволяют осуществлять прогнозирование и управление процессом изменения формы обработанных поверхностей деталей с течением времени за счет технологических методов воздействия.

Третья глава посвящена разработке методик исследования стабильности формы основных поверхностей высокоточных деталей. Чтобы обеспечить корректность проведения экспериментов по определению влияния характера нарушения поверхностного слоя на стабильность формы обработанных поверхностей, был осуществлен комплекс технологических мероприятий, направленный на обеспечение высокой размерной стабильности основного металла образцов, деталей и полного соответствия его физико-механических характеристик заданному уровню свойств. Учитывая, что высокоточные роторы, турбины, основные детали поршневых детандеров, шпиндели кругломеров,кольца подшипников, мерительные плитки и другие инструменты изготавливают в подавляющем большинстве из подшипниковых сталей, материалом для исследуемых образцов выбрали сталь ШХ15СГ. Дано обоснование выбора технологических методов обработки и их режимов по обеспечению размерной стабильности материала образцов.

Согласно теоретическим положениям решали задачи экспериментального определения следующих основных параметров нестабильности формы образцов, обработанных на основе конкретных технологических методов, таких как:

– уровень остаточных тангенциальных напряжений и закон их распределения по глубине нарушения, а также характер изменения глубины нарушения поверхностного слоя относительно обработанных поверхностей круглых образцов;

– характер и глубину нарушения микроструктуры поверхностного слоя осесимметричных изделий относительно обработанной поверхности;

– величина и характер изменения формы поверхностей после технологических методов обработки с течением времени;

– значения постоянных в выражениях наследственных функций поведения основного материала образцов и нарушенного слоя.

Параметры распределения остаточных напряжений в поверхностном слое определили по методу Н.Н.Давиденкова на кольцевых образцах (D_0 = 72,9 мм, $d_{вн}$ = 65,5 мм, B = 13,2 мм) с использованием специальной установки для травления по частям.

Для проведения микроструктурного анализа нарушения материала поверхностного слоя использовали аналогичные кольцевые образцы, что позволило получить сопоставимые результаты исследований микроструктуры и остаточных напряжений. Характер нарушения микроструктуры поверхностного слоя определяли согласно методике травления закаленных деталей из стали ШХ на аустенитное зерно пересыщенным водным раствором пикриновой кислоты с добавками синтола и поверхностно активных веществ. Методика позволяет осуществлять наблюдение фазовых изменений в нарушенном поверхностном слое, обусловленных образованием остаточного аустенита при технологическом воздействии.

С учетом длительности процесса изменения формы высокоточных поверхностей при комнатной температуре, предложена методика его интенсификации путем низкотемпературного нагрева (120°С) в течение заданного периода времени. Изменение формы поверхностей фиксировали с точностью 0,1 мкм методом снятия круглограмм. Одновременно определяли параметры нарушения поверхностного слоя обработанных поверхностей до и после низкотемпературного нагрева. Параметры наследственного поведения материала деталей из сталей ШХ определили на основе релаксационных кривых, полученных на образцах испытанием на изгиб при указанной выше температуре. Предложенные методики позволяют решать задачи исследования стабильности формы высокоточных осесимметричных деталей и могут быть положены в основу исследований стабильности формы

деталей произвольной конфигурации.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по определению параметров нарушения поверхностного слоя, возникшего при технологическом воздействии на деталь, которые позволили объяснить причины изменения формы обработанных поверхностей с течением времени и провести сравнительный анализ возможностей технологического управления процессом повышения стабильности формы деталей. Обоснован выбор режимов предварительной обработки и технологических схем шлифования деталей и образцов. Обработку образцов двух типоразмеров и деталей проводили предварительным шлифованием в цехе финишной обработки МЗСПЭ на станке 3А151 шлифовальными кругами 24А25СМ2К6. Режимы и оборудование выбирали с учетом обеспечения требований по точности и шероховатости поверхностей максимально достижимых в условиях данной системы СПИД: отклонение от круглости формы 1,5...2,0 мкм, шероховатость R_a = 0,4...0,46 мкм. Характерным видом отклонения формы исследуемых поверхностей является овальность. Микроструктуру нарушенного слоя изучали по всему периметру образцов и фотографировали в наиболее характерных участках в направлениях наибольшего и наименьшего диаметров овальной поверхности. Установлено, что по всему периметру кольцевых образцов на глубине 10...12 мкм от наружной обработанной поверхности начинается пояс аустенитных зерен шириной 12...15 мкм в направлении наименьшего диаметра и соответственно 15...18 мкм в направлении наибольшего диаметра при общей глубине нарушения 40...42 мкм и 52...54 мкм. Пояс аустенитных зерен имеет неодинаковую ширину на различных участках. Одной из причин нестабильности материала поверхностного слоя и, следовательно, изменения формы во времени является последующее превращение остаточного аустенита в мартенсит.

Для проверки теоретических положений по определению нестабильности формы обработанных поверхностей определили функцию ω_n, характеризующую перемещение свободной поверхности во времени. Параметры функции зависят от характера фазовых превращений в материале поверхностного слоя и ширины пояса образовавшейся фазы (Δh). Поэтапное определение остаточных напряжений на различных участках позволило выявить неравномерность их распределения по периметру обработанной поверхности. Показано, что на глубине нарушения слоя от 8 до 14 мкм существуют пики растягивающих

остаточных напряжений, соответствующие зоне фазовых превращений. Определены основные параметры распределения остаточных напряжений - максимальное значение растягивающих остаточных на поверхности p_0 (170...185 МПа) и средняя глубина распределения h (44...48 мкм). Закон распределения представлен функцией $F_3(y)$ $y \in [0,h]$ найденной на основе преобразований многочленов Лежандра. Проверку теоретических выводов осуществляли путем изучения процесса нестабильности нарушенного слоя после низкотемпературного нагрева в масляной ванне в течение 24 часов. Отклонение от круглости формы изучаемых поверхностей увеличилось на 0,8...1,0 мкм. При этом произошло размельчение аустенитных зерен, аналогичное процессу полигонизации при нагреве, усиленное действием остаточных напряжений. Полного распада остаточного аустенита в поверхностном слое не произошло; наблюдается релаксация остаточных напряжений с уменьшением максимального значения на поверхности в среднем со 185 МПа до 80 МПа и устранение пиков напряжений.

Для определения степени влияния материала шлифовальных кругов на стабильность формы обработанных поверхностей исследовали параметры нарушения поверхностного слоя после шлифования эльборовыми кругами. Исследования показали, что после шлифования поверхностей эльборовыми кругами в поверхностном слое отсутствует пояс нестабильных аустенитных зерен и формируются остаточные сжимающие напряжения. Отсутствуют пики напряжений, при этом максимальное значение напряжений на поверхности достигает 140... 150 МПа. После низкотемпературного нагрева в течение 24 часов их величина уменьшилась до 60 МПа, при средней глубине распространения 14...16 мкм. Изменение величины отклонения от круглости незначительно (0,1 мкм) и находится в пределах ошибки измерения. Показано, что обработка высокоточных поверхностей эльборовыми кругами обеспечивает повышение стабильности формы во времени в 4...5 раз по сравнению со шлифованием электрокорундовыми кругами. Микроструктура нарушенного слоя после шлифования эльборовыми кругами находится в более равновесном состоянии.

В отличие от предварительного, финишное шлифование осуществляли на станке VEM ГДР электрокорундовыми кругами 32А16НС17К6 400 х 40 х 127 ТУ 20336.408.80. При выбранных режимах обеспечили отклонение от круглости формы 0,7...1,3 мкм, шероховатость R_a = = 0,16...0,19 мкм. Исследование микроструктуры показало, что в направлении малого диаметра овальной поверхности при общей глу-

бине нарушения h_1 = 30...32 мкм, ширина аустенитного пояса Δh_1 = = 6...8 мкм, а в направлении большого диаметра при h_2 = 36... 38 мкм Δh_2 = 10...12 мкм. Определены функции влияния фазовых превращений ω_n на изменение формы. Установлено, что величина пиковых растягивающих напряжений, возникающих в зоне аустенитного пояса, и глубина его расположения в поверхностном слое зависят от материала шлифовальных кругов. Интенсификация процесса нестабильности формы привела увеличению отклонения от круглости на 0,3...0,4 мкм. Изменение формы обработанного по этим режимам вала ротора электрошпинделя после 340 часов хранения показало увеличение отклонения от круглости на 0,3...0,45 мкм. Проведены исследования влияния центробежных сил, возникающих в быстровращающихся прецизионных деталях, на микроструктурные превращения в поверхностном слое и величину необратимого изменения формы высокоточных поверхностей на специальной установке. Исследован механизм нарушения поверхностного слоя до и после длительного вращения высокоточных деталей. Показано, что под действием инерционных сил возрастает нестабильность микроструктуры поверхностного слоя и, следовательно, изменение формы. Проведен анализ влияния технологических методов обработки на стабильность формы высокоточных обрабатываемых поверхностей и показано, что ее обеспечение требует дополнительного технологического воздействия.

В пятой главе на основании исследований предложены режимы алмазного выглаживания, обеспечивающие устранение аустенитного пояса после финишного шлифования электрокорундовыми кругами, и последующего низкотемпературного нагрева для повышения стабильности микроструктуры нарушенного слоя. Выглаживание деталей и образцов пр твердости основного металла HRC 60...61 снизило шероховатость обработанной поверхности до R_a = 0,07...0,08 мкм. Анализ нарушения микроструктуры поверхностного слоя показал, что в направлении большого диаметра овальной поверхности, глубина нарушенного слоя составляет 16...20 мкм, а в направлении малого диаметра значения этого параметра достигают 12...16 мкм. Эффект вторичного распада мартенсита превалирует над явлениями распада остаточного аустенита, что объясняет достигнутое уменьшение отклонения от круглости формы обрабатываемых поверхностей. Установлено, что в поверхностном слое формируются сжимающие напряжения с максимальным значением на поверхности p_o = 160 МПа.

В ходе исследований подтверждены основные теоретические положения по управлению изменением формы обрабатываемых поверхностей. Величина отклонения от круглости формы поверхностей после низкотемпературного нагрева составила 0,4...0,6 мкм при исходной величине отклонения после финишного шлифования 0,7...I,3 мкм, при этом величина максимального значения сжимающих напряжений на поверхности уменьшилась с I60 МПа до 58 МПа. Приведены данные по практической реализации результатов исследований и составляющим экономического эффекта; предложен комплекс технологических мероприятий по повышению стабильности и точности основных деталей электро- и пневмошпинделей, выпускаемых МЗСПЭ. Показано, что технологическое управление стабильностью формы высокоточных деталей является эффективным средством повышения надежности и долговечности прецизионных машин и приборов, а также снижения трудоемкости их изготовления.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

I. В результате теоретических исследований показано, что при технологическом воздействии изменение формы высокоточных поверхностей осесимметричных деталей с течением времени зависит от наследственных свойств материала поверхностного слоя, уровня, закона распределения остаточных напряжений и характера их релаксации, от микроструктурных и фазовых превращений.

2. Разработана методика теоретического исследования изменения формы высокоточных деталей с течением времени, позволяющая осуществлять прогнозирование и управление этим процессом путем применения специальных методов технологического воздействия. В основу методики положены математическая теория наследственности Больцмана-Вольтерра и теория технологического наследования с использованием функций Лежандра.

3. Теоретическими исследованиями показано, что изменение закона распределения остаточных напряжений, обусловленное характером технологического воздействия, при одинаковых величинах глубины нарушения слоя и напряжений на поверхности, приводит к изменению формы обработанной поверхности.

4. Экспериментально и теоретически установлено, что изменение с течением времени формы основных поверхностей деталей, обработанных шлифованием электрокорундовыми кругами, обусловлено нарастанием микропластических деформаций при микроструктурных и

фазовых превращениях в материале поверхностного слоя под действием остаточных напряжений и упругого последействия материала при их релаксации. Шлифование электрокорундовыми кругами формирует в поверхностном слое обрабатываемых осесимметричных деталей из сталей ШХ пояс нестабильного аустенита и остаточные растягивающие напряжения с характерными концентраторами напряжений в зоне фазовых превращений.

5. Сравнительными исследованиями установлено, что стабильность формы поверхностей, обработанных эльборовыми кругами, в 4...5 раз выше, чем в случае обработки электрокорундовыми кругами. При этом в поверхностном слое деталей, обработанных шлифованием эльборовыми кругами, отсутствует пояс нестабильного аустенита и формируются сжимающие напряжения.

6. Теоретическими и экспериментальными методами выявлены причины нестабильности формы высокоточных поверхностей деталей и разработаны технологические мероприятия по их устранению, при этом предложенные режимы и условия обеспечивают требуемые значения геометрических параметров обрабатываемых поверхностей.

7. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что технологическое управление характером нарушения поверхностного слоя является эффективным средством повышения стабильности и точности формы обрабатываемых поверхностей. Одним из технологических способов повышения стабильности и точности формы на этапе финишной обработки рекомендовано последовательное применение алмазного выглаживания и низкотемпературного нагрева. Характерной особенностью нарушения микроструктуры в поверхностном слое после алмазного выглаживания является формирование нестабильной фазы, превращение которой происходит в поле действия сжимающих напряжений. Последующий нагрев способствует релаксации остаточных напряжений и снижению их уровня более чем в два раза. Сочетание этих двух методов технологического воздействия обеспечивает снижение величины отклонения от круглости формы в I,5...I,8 раза и шероховатости поверхности в I,8...2,0 раза по сравнению с исходными параметрами.

8. В производственных условиях внедрен комплекс технологических мероприятий по повышению стабильности и точности формы высокоточных деталей электро- и пневмошпинделей, выпускаемых Московским заводом скоростных прецизионных электроприводов, с

фактическим годовым экономическим эффектом в сумме 10400 рублей.

9. Повышение стабильности формы базовых деталей прецизионных машин, достигнутое в результате управляемого технологического воздействия, приводит к увеличению ресурса непрерывной работы в 1,2...1,4 раза, обеспечивает постоянство эксплуатационных параметров данных машин и создает предпосылки для дальнейшего совершенствования их конструкции.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Братков И.С. Технологические методы обеспечения стабильности формы высокоточных деталей // Повышение долговечности и надежности машин и приборов. Тез. докл. Всесоюзной конф. - Куйбышев, 1981. - С.28-29.

2. Дальский А.М., Братков И.С. Технологическое управление остаточными напряжениями поверхностных слоев высокоточных деталей // Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов: Материалы Всесоюзного семинара. - М., 1981. - С.39-42.

3. Братков И.С. Технологическое обеспечение стабильности формы высокоточных деталей алмазным выглаживанием // Информационный научно-технический сборник. Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - 1984. - № 9.- С.3-5.

4. Братков И.С.,Царапкин А.В., Экарев М.С. Исследование процесса изготовления колец для шпуль ткацких станков "Рюти" в целях повышения стабильности их формы // Улучшение эксплуатационных свойств технологической оснастки текстильного оборудования: Сб. научных трудов. - М., 1983. - С.44-51.

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА