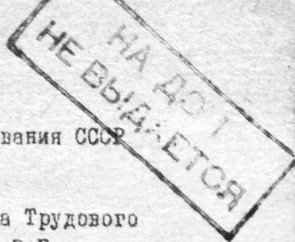


М383304



Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московские
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

СОКОЛОВ Владимир Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВА
ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

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

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

Научный руководитель

- Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор ДАЛЬСКИЙ А.М.

Официальные оппоненты

- Доктор технических наук, профессор ДУБОВИКОВ В.А.

Кандидат технических наук, доцент

СТРОГАНОВ Г.А.

Ведущее предприятие

- Второй Государственный подшипниковый завод

Защита состоится " 9 " по
специализированного Совета г
К 053.15.15. МВТУ имени Н.Э.
Б-5, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно
МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваши отзывы и предложен
рах, заверенные печатью, пр
су.

Автореферат разослан "

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
кандидат технических наук
доцент

М383307

МД-86271 от 22-09-81г.

Заказ № 1248

Тип. МВТУ имени Н.Э.Баумана

М383304

Актуальность темы. Одной из важнейших задач, поставленных XXVI съездом КПСС, является дальнейшее повышение качества выпускаемых изделий, снижение их себестоимости. В настоящее время в проектно-конструкторских учреждениях, на промышленных предприятиях широко используются различные системы управления качеством выпускаемой продукции. Среди них одно из ведущих мест принадлежит системе организации бездефектного труда, которая представляет собой комплекс организационных, инженерно-технических, воспитательных и экономических мероприятий, направленных на обеспечение высокого качества изделий. При изготовлении высокоточных изделий этого бывает недостаточно. Необходимо, чтобы при меняемые технологические методы обеспечивали получение его заданных свойств.

Большое влияние на формирование заданного качества высокоточных изделий оказывает явление технологического наследования, которое заключается в трансформировании свойств заготовки готовой детали под воздействием технологических факторов.

В связи с этим актуальным является изучение закономерностей явления технологического наследования с целью их использования для установления путей повышения качества изделий, управления им, снижения себестоимости обработки.

Методы исследования. Проведенные исследования базировались на методах статистического моделирования, методах математической теории оптимальных процессов и синтеза оптимальных систем, теории вероятностей, теории графов, теории надежности, методах дисперсионного анализа, статистических методах планирования и обработки результатов эксперимента. При выполнении работы широко использовались средства вычислительной техники. Экспериментальные исследования проводились в лабораториях МВТУ имени Н.Э. Баумана и в производственных условиях.

Цель работы. Исследование влияния технологического наследования на формирование качества высокоточных деталей с учетом вероятностной природы технологических процессов.

Научная новизна. В работе рассмотрены основные этапы количественной и качественной оценки проявления технологического наследования, пути его практического использования для повышения качества высокоточных деталей.



Сформулированы некоторые особенности технологического процесса с позиции технологического наследования, в соответствии с ними построена типовая модель формирования свойств детали.

Разработана классификация наследственных связей.

Продемонстрирована возможность использования для определения численных характеристик технологического наследования статистического моделирования процесса на ЭВМ.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Положения, содержащиеся в работе, могут быть использованы при анализе формирования качества различных высокоточных деталей, определении оптимальных параметров заготовки, маршрута и режимов обработки. Статистическое моделирование при проведении количественной оценки проявления технологического наследования дает возможность отказаться от имевших ранее в аналогичных исследованиях допущений о его детерминированной природе и рассматривать его как вероятностный, что позволяет обеспечить объективную достоверность результатов и повысить их точность, вести анализ не только для существующих технологических процессов, но и учитывать данное явление при разработке новых.

Для автоматизации определения характеристик технологического наследования разработаны алгоритм и структура программы расчета на ЭВМ.

Разработанная методика использования технологического наследования для выявления резервов повышения качества высокоточных деталей, управления им внедрена на ряде машиностроительных предприятий.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертационной работы докладывались на: УП конференции молодых ученых и специалистов ВНИИМАШ, г.Москва, 1979 год, IV Всесоюзной научно-технической конференции "Влияние повышения эффективности работ в области стандартизации и метрологии на качество выпускаемой продукции", г.Харьков, 1980 год (работа удостоена Диплома I степени), кафедре "Технология конструкционных материалов" МВТУ им.Н.Э. Баумана, г.Москва, 1980, 1981 гг.

Основные положения диссертации изложены в 3 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, изложенных на 120 страницах машинописного текста. Содержит 6 таблиц, 77 рисунков, 8 приложений и список литературы из 127 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводится анализ теоретических и экспериментальных работ советских и зарубежных ученых по исследованию проявления и практического использования явления технологического наследования, рассматривается его сущность, дается общая характеристика проблематики установления наследственных связей.

Процесс изучения технологического наследования можно разделить на два этапа: изучение качественной стороны, то есть сущности явления, и получение количественных зависимостей, описывающих его проявление.

В настоящее время большинством исследователей явление технологического наследования расценивается как один из доминирующих факторов, предопределяющих надежность особенно высокоточных изделий. Этот процесс присущ многим свойствам деталей, среди них можно назвать геометрические погрешности: формы, качество поверхности, физико-механические свойства поверхностного слоя заготовки.

На первых шагах создания теории технологического наследования рассмотрение явления технологического наследования сводится в основном к эмпирическому изучению его проявления на отдельных технологических операциях, чаще — на стадиях финишной обработки, ограничивается установлением корреляционных связей между наследуемым свойством и отдельными технологическими факторами. Однако уже первые результаты показали, что исследования этого явления имеют большое практическое значение, требуют пересмотра существующих мнений об оптимальности и эффективности технологического процесса.

В отличие от первого, второй этап связан с количественным описанием данного явления, использованием полученных численных характеристик технологического наследования для анализа существующих технологических процессов. Как правило, при проводимых исследованиях не учитывалась вероятностная природа реального технологического процесса, он рассматривался как детерминированная система, элементарной частью которой является опе-

рация. Эти допущения и тот факт, что основным математическим аппаратом является дисперсионный многофакторный анализ, базирующийся на результатах весьма трудоемких экспериментов, не позволили ввести использование его результатов для оптимизации технологических процессов в повседневную практику промышленного производства.

Следовательно, определенный интерес для дальнейшего развития теории технологического наследования представляет изучение этого явления в условиях реальных технологических процессов, осуществление перехода от констатации его проявления к активному использованию для управления качеством высокоточных изделий как на стадии разработки технологических процессов их изготовления так и для существующих процессов.

В связи с этим основными задачами настоящей работы являются:

- практическое использование технологического наследования для повышения качества высокоточных изделий, его прогнозирование на базе данного явления;
- определение и математическое описание общих закономерностей технологического наследования с учетом его вероятностной природы;
- выявление критериев оптимальности изменения наследуемого свойства, путей их достижения;
- разработка основных положений методики оценки проявления технологического наследования.

Вторая глава посвящена изучению проявления технологического наследования при обработке высокоточных деталей.

Значение наследуемого свойства после обработки предопределяется в общем виде его значением до обработки и воздействием технологических факторов. При этом изменение значения наследуемого свойства имеет место на протяжении всего технологического процесса. Таким образом, любой технологический процесс при рассмотрении его с позиций технологического наследования представляет собой сложную систему, которой присущи многосвязность, конфликтность как внутри всей системы, так и на отдельных ее элементах, наличие общих закономерностей для

различных ее элементарных частей.

Выдвижение гипотезы о многосвязности системы предполагает, что наследуемое свойство формируется не локально, то есть на отдельных операциях технологического процесса, связанных непосредственно с его оборудованием, а на протяжении всего процесса обработки, так как на характер его изменения влияют не только внешние, но и внутренние факторы (такие, как энергия поверхностного слоя, твердость, предел прочности, напряжения и т.д.). При этом внутренние факторы действуют и между операциями, переходами. Исходя из этого, за элемент системы, то есть единичную наследственную связь, принят некоторый условный отрезок технологического процесса между началом обработки на двух соседних операциях или переходах.

Как любая система, данная стремится занять равновесное состояние, в связи с этим действие внешних и внутренних технологических факторов на каждой наследственной связи должно быть сбалансировано. Отсюда внутри их совокупности есть некоторая конфликтность, которая обуславливает конечное значение наследуемого свойства. То есть баланс между технологическими факторами, воздействующими положительно или отрицательно, предопределяет в какой степени будет данное наследуемое свойство увеличено или уменьшено. При этом характер воздействия одоименных технологических факторов на данное свойство при их изолированном рассмотрении внутри наследственной связи сохраняется на протяжении всей системы.

Комплексное воздействие технологических факторов на уровне наследственной связи определяет ее тип. В основу типизации наследственных связей положен характер изменения наследуемого свойства при их прохождении. Базовыми являются связи, в результате которых сохраняется первоначальное значение наследуемого свойства, то есть $y_0 = y_1$.

где y_0 — значение наследуемого свойства до данной наследственной связи; y_1 — после нее.

Этот тип наследственных связей назван аморфным. Наследственные связи, которые приводят к развитию наследуемого свойства, образуют гиперморфный тип. Для них характерно соотношение $y_0 < y_1$.

Противоположными гиперморфным наследственным связям с точки зрения их влияния на наследуемое свойство являются гипоморфные связи. Наследственные связи, которые приводят к уничтожению свойства, названы аморфными. Они обуславливают так называемые "технологические барьеры". Антиморфные наследственные связи меняют значение наследуемого свойства на противоположное. В ходе технологического наследования могут иметь место случаи, когда в результате прохождения какой-либо связи одно наследуемое свойство исчезает и возникает другое. Эти связи относятся к неаморфному типу.

Для количественной оценки воздействия наследственной связи введен параметр — коэффициент передачи наследственной связи $K = y_1/y_0$, который характеризует ее эффективность, что является важным при разработке и оптимизации технологических процессов.

Для практического использования технологического наследования в целях управления качеством высокоточных деталей необходимо уметь описывать его математически. Поэтому далее в работе рассматриваются вопросы математического выражения закономерностей технологического наследования. Единичная наследственная связь может быть выражена следующим уравнением регрессии

$$y_1 = y_0^n \cdot k_0 \cdot \Delta_1^{k_1} \cdot \Delta_2^{k_2} \cdot \Delta_3^{k_3} \dots \Delta_j^{k_j},$$

где $k_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_j$ — показатели технологических факторов $h, k_1, k_2, k_3, \dots, k_j$ — коэффициент регрессии.

Коэффициент h назван коэффициентом наследуемости, так как он показывает способность наследуемого свойства к изменению, а $k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_j$ — факторными коэффициентами.

В соответствии с положением о многосвязности технологической системы весь процесс технологического наследования описывается последовательностью подобных уравнений, записанных для каждой наследственной связи. Закономерности технологического наследования, а также требования определенности математической системы, позволили сформулировать принципы выбора анализируемого массива технологических факторов.

С целью учета вероятностной природы процесса технологического наследования предлагается при его описании воспользоваться методами статистического моделирования, которые позволяют на основе предложенной модели сформулировать некоторый массив случайных значений искомым величин, и впоследствии определить их наиболее вероятные значения и законы распределения. Для этого в уравнения наследственных связей подставляются не фиксированные значения их аргументов, а получаемые в результате разыгрывания. Данная процедура повторяется N раз, что позволяет получить N -мерный массив искомой величины. Число разыгрываний — N — выбирается в зависимости от необходимой точности и достоверности моделирования на основе предельной теоремы теории вероятности. Выборка случайных значений вероятностных величин модели осуществляется в соответствии с их законами распределения. В работе приведены примеры разыгрывания дискретных и непрерывных случайных величин. Для автоматизации статистического моделирования были разработаны структура и алгоритм программы реализации названных процедур на ЭВМ.

Далее в работе рассматривается практическая применимость полученных зависимостей. Они служат основой для выбора режимов и маршрута обработки при разработке технологических процессов, для оптимизации существующих процессов.

В связи с этим сформулированы основные критерии целесообразности изменения наследуемого свойства в ходе технологического процесса. Они заключаются в следующем. Во-первых, необходимо стремиться к монотонности формирования эффективности наследственных связей, особенно на предварительных этапах обработки, так как это обеспечивает ее минимальную себестоимость. Характер изменения наследуемого свойства можно проследить по диаграммам изменения коэффициентов передачи наследственных связей.

Оптимизация всего процесса технологического наследования достигается за счет оптимизации содержания отдельных наследственных связей путем изменения воздействия технологических факторов. Для этого предварительно следует установить вклад каждого из них в формирование наследуемого свойства. Соотношение между долями технологических факторов в значении свойства

после прохождения данной наследственной связи определяется из уравнения баланса

$$1 = \frac{h \ln \chi_{i-1}}{\ln y_i} + \frac{k_1 k_2}{\ln y_i} + \frac{k_1 \ln \Delta_1}{\ln y_i} + \dots + \frac{k_1 \ln \Delta_i}{\ln y_i}.$$

Таким образом, оценка проявления технологического наследования может рассматриваться как самостоятельный этап технологической подготовки производства, являющийся базой для управления процессом формирования качества изделий.

Организации работ по выявлению резервов повышения качества высокоточных деталей на базе технологического наследования посвящена третья глава.

Здесь рассматривается целесообразная последовательность выполнения этих работ. Она представлена на рис.1.

Процедуры 1 + 5 могут быть объединены как количественная оценка технологического наследования; 6, 7 - как качественная. Определение коэффициентов наследуемости и факторных коэффициентов может осуществляться двумя путями - на основе эксперимента и в результате статистического моделирования. При исследовании областей их применения отмечается, что первый служит для анализа уже существующих технологических процессов, второй может использоваться также и при разработке новых. Все эти этапы рассматриваются на примере анализа формирования качества подшипника 32417М. Во многом качество подшипника предопределяется погрешностью формы роликовой дорожки наружного кольца, так как именно этот показатель оказывает существенное влияние на достижение требуемого натяга или зазора. Этот параметр носит наследственный характер и формируется на протяжении всего технологического процесса его обработки. В соответствии с выдвинутыми ранее принципами определен массив воздействующих технологических факторов. Он может быть описан следующей моделью:

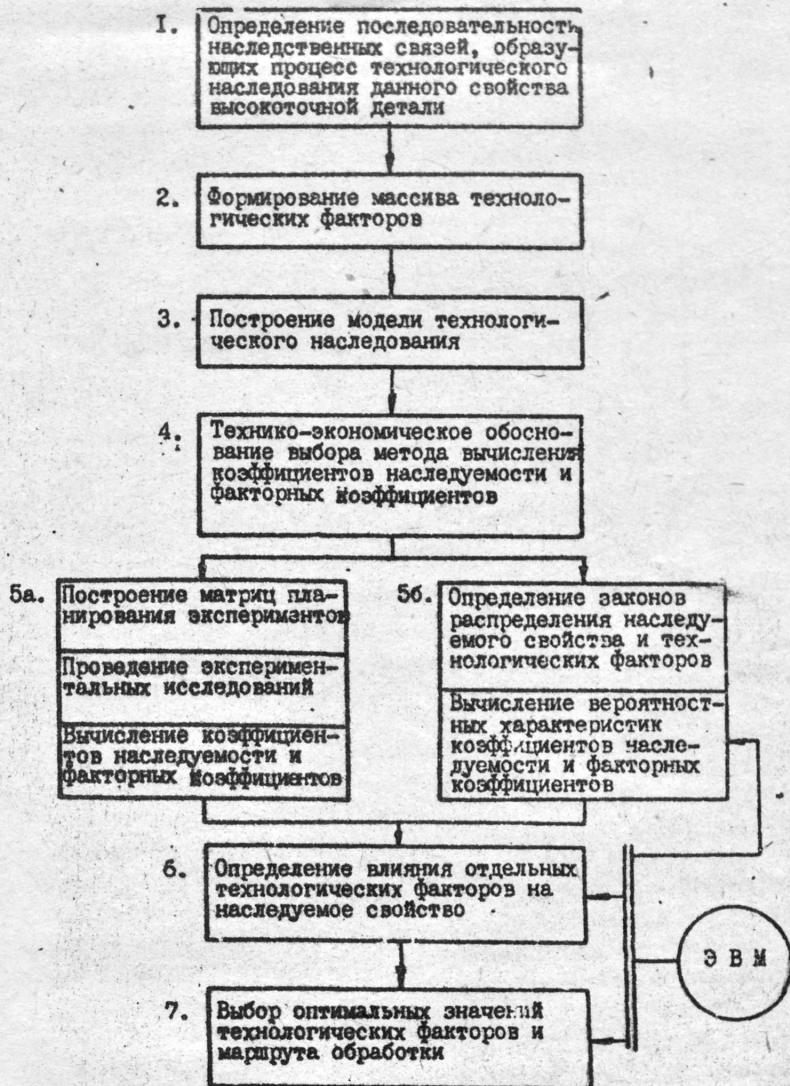


Рис.1. Блок-схема процедур оценки проявления технологического наследования

$$\begin{aligned}
 y_1 &= y_0^{h_1} \cdot k_{01} \cdot \Delta_{11} \cdot \Delta_{12} \cdot \Delta_{13} \\
 y_2 &= y_1^{h_2} \cdot k_{02} \cdot \Delta_{21} \cdot \Delta_{22} \cdot \Delta_{23} \cdot \Delta_{24} \cdot \Delta_{25} \cdot \Delta_{26} \\
 y_3 &= y_2^{h_3} \cdot k_{03} \cdot \Delta_{31} \cdot \Delta_{32} \cdot \Delta_{33} \\
 y_4 &= y_3^{h_4} \cdot k_{04} \cdot \Delta_{41} \cdot \Delta_{42} \cdot \Delta_{43} \cdot \Delta_{44} \cdot \Delta_{45} \cdot \Delta_{46} \\
 y_5 &= y_4^{h_5} \cdot k_{05} \cdot \Delta_{51} \cdot \Delta_{52} \cdot \Delta_{53} \\
 y_6 &= y_5^{h_6} \cdot k_{06} \cdot \Delta_{61} \cdot \Delta_{62} \cdot \Delta_{63} \cdot \Delta_{64} \cdot \Delta_{65} \cdot \Delta_{66} \\
 y_7 &= y_6^{h_7} \cdot k_{07} \cdot \Delta_{71} \cdot \Delta_{72} \cdot \Delta_{73} \\
 y_8 &= y_7^{h_8} \cdot k_{08} \cdot \Delta_{81} \cdot \Delta_{82} \\
 y_9 &= y_8^{h_9} \cdot k_{09} \cdot \Delta_{91} \cdot \Delta_{92} \cdot \Delta_{93} \cdot \Delta_{94} \cdot \Delta_{95} \\
 y_{10} &= y_9^{h_{10}} \cdot k_{10} \cdot \Delta_{101} \cdot \Delta_{102} \cdot \Delta_{103} \cdot \Delta_{104} \cdot \Delta_{105} \cdot \Delta_{106} \\
 y_{11} &= y_{10}^{h_{11}} \cdot k_{11} \cdot \Delta_{111} \cdot \Delta_{112} \cdot \Delta_{113} \cdot \Delta_{114} \cdot \Delta_{115} \\
 y_{12} &= y_{11}^{h_{12}} \cdot k_{12} \cdot \Delta_{121} \cdot \Delta_{122} \cdot \Delta_{123} \cdot \Delta_{124} \cdot \Delta_{125} \cdot \Delta_{126}
 \end{aligned}$$

где y_0 - погрешность формы роликовой дорожки у заготовки; y_i - после i -ой операции ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$); $\Delta_{11}, \Delta_{24}, \Delta_{31}, \Delta_{44}, \Delta_{51}, \Delta_{64}, \Delta_{81}, \Delta_{94}, \Delta_{105}, \Delta_{114}, \Delta_{125}$ - твердость; $\Delta_{12}, \Delta_{25}, \Delta_{32}, \Delta_{46}, \Delta_{52}, \Delta_{65}, \Delta_{82}, \Delta_{95}, \Delta_{106}, \Delta_{115}, \Delta_{126}$ - температура в зоне резания; $\Delta_{13}, \Delta_{26}, \Delta_{33}, \Delta_{44}, \Delta_{66}$ - усилие закрепления (); $\Delta_{21}, \Delta_{41}, \Delta_{61}, \Delta_{81}, \Delta_{101}, \Delta_{111}, \Delta_{121}$ - припуск на обработку; $\Delta_{22}, \Delta_{42}, \Delta_{62}, \Delta_{82}, \Delta_{103}, \Delta_{112}, \Delta_{122}$ - скорость; $\Delta_{23}, \Delta_{43}, \Delta_{63}, \Delta_{104}, \Delta_{124}$ - подача; $\Delta_{95}, \Delta_{102}, \Delta_{113}, \Delta_{123}$ - частота вращения; Δ_{71} - температура закалки; Δ_{72} - время термической обработки (отпуска); Δ_{73} - температура отпуска.

Несмотря на то, что технико-экономическое обоснование выбора метода количественной оценки проявления технологического наследования показало целесообразность использования в данном случае статистического моделирования, в работе продемонстрированы оба возможных способа.

При построении матриц планирования экспериментов и определении законов распределения случайных величин проводились замеры наследуемого параметра и технологических факторов на каждой наследственной связи. Методика замеров и их результаты содержатся в работе.

Статистическое моделирование осуществлялось в соответствии с разработанным алгоритмом на ЭВМ ЕС-1033 (алгоритмический язык PL/I, время просчета - 8,74 мин, необходимый объем оперативной памяти - 9,4 килобайта).

Результаты просчетов показали, что величина коэффициента наследуемости практически не меняется на протяжении всего технологического процесса и равна приблизительно 0,99. Только на операции термической обработки коэффициент h равен 0,96, что связано с качественными изменениями физико-механических свойств материала заготовки на данной операции. Подтверждено также предположение о постоянстве факторных коэффициентов при одноименных технологических факторах. Результаты обоих способов схожи.

В итоге статистического моделирования была получена следующая наиболее вероятная модель данного процесса:

$$\left\{ \begin{aligned} Y_1 &= Y_0^{0.994} \cdot 0.136 \cdot (HRC)^{-0.067} \cdot T^{0.016} \cdot P^{0.301} \\ Y_2 &= Y_1^{0.994} \cdot 0.114 \cdot t^{0.079} \cdot V^{0.016} \cdot S^{0.003} \cdot (HRC)^{-0.071} \cdot T^{0.030} \cdot P^{0.307} \\ Y_3 &= Y_2^{0.992} \cdot 0.219 \cdot (HRC)^{-0.069} \cdot T^{0.024} \cdot P^{0.298} \\ Y_4 &= Y_3^{0.992} \cdot 0.868 \cdot t^{0.008} \cdot V^{0.015} \cdot S^{0.008} \cdot (HRC)^{-0.069} \cdot T^{0.021} \cdot P^{0.280} \\ Y_5 &= Y_4^{0.984} \cdot 1.006 \cdot (HRC)^{-0.075} \cdot T^{0.025} \\ Y_6 &= Y_5^{0.997} \cdot 15.646 \cdot t^{0.001} \cdot V^{0.014} \cdot S^{0.010} \cdot (HRC)^{-0.074} \cdot T^{0.023} \cdot P^{0.100} \\ Y_7 &= Y_6^{0.996} \cdot 0.508 \cdot T_3^{0.066} \cdot T_0^{0.004} \cdot T_0^{0.003} \\ Y_8 &= Y_7^{0.998} \cdot 1.077 \cdot (HRC)^{-0.060} \cdot T^{0.020} \\ Y_9 &= Y_8^{0.995} \cdot 1.181 \cdot t^{0.034} \cdot V^{0.017} \cdot n^{0.000} \cdot (HRC)^{-0.078} \cdot T^{0.024} \\ Y_{10} &= Y_9^{0.997} \cdot 0.076 \cdot t^{0.007} \cdot V^{0.021} \cdot S^{0.010} \cdot n^{0.000} \cdot (HRC)^{-0.070} \cdot T^{0.022} \\ Y_{11} &= Y_{10}^{0.990} \cdot 0.942 \cdot t^{0.023} \cdot V^{0.013} \cdot n^{0.000} \cdot (HRC)^{-0.075} \cdot T^{0.021} \\ Y_{12} &= Y_{11}^{0.993} \cdot 1.579 \cdot t^{0.004} \cdot V^{0.017} \cdot S^{0.033} \cdot n^{0.000} \cdot (HRC)^{-0.069} \cdot T^{0.029} \end{aligned} \right.$$

где Y_i - величина наследуемого свойства, HRC - твердость, T - температура, P - усилие закрепления, S - подача, n - частота вращения, T_3 - температура закалки, T_0 - температура отпуска, t - время закалки.

После этого осуществлялась качественная оценка проявления данного процесса технологического наследования, в ходе которой были определены коэффициенты передачи наследственных связей, построена диаграмма изменения наследуемого свойства

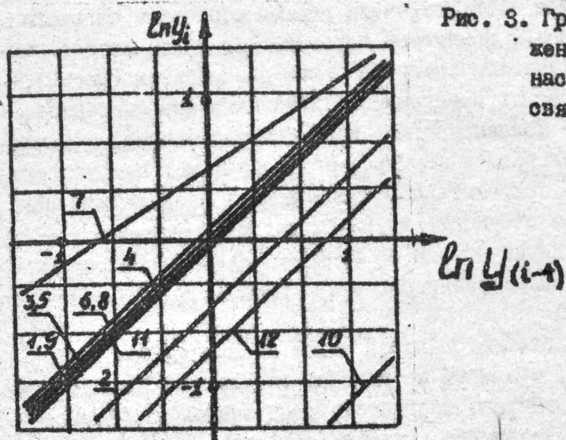
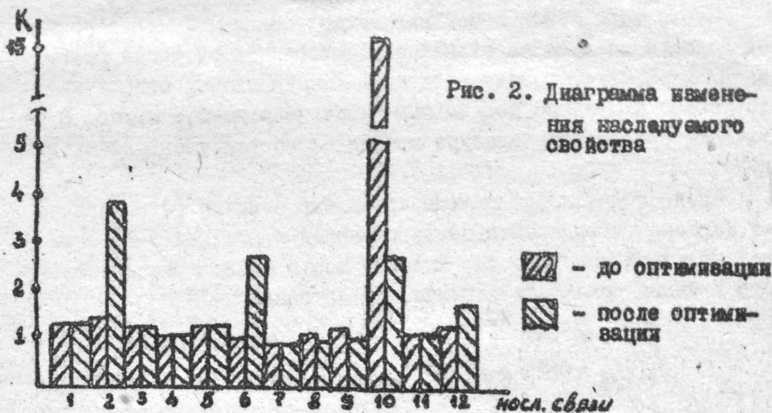
(рис.2). Графически в логарифмических координатах отображено каждое уравнение наследственной связи (рис.3). Внутри них выделены доминирующие технологические факторы. На основании уравнений баланса построены диаграммы баланса, позволяющие в относительных величинах продемонстрировать воздействие каждого фактора. Диаграмма баланса для второй наследственной связи (предварительное точение роликовой дорожки по профилю $\phi 178,3-925$) представлена на рис.4.

Анализ показывает, что наследственные связи, обуславливающие точение наружной цилиндрической поверхности кольца и термическую обработку, носят гиперморфный характер, который предопределяется действием в первую очередь таких технологических факторов, как усилие закрепления и температура в зоне обработки. Они приводят к силовым и температурным деформациям кольца. Данный технологический процесс не обеспечивает монотонности изменения наследуемого свойства, погрешность формы роликовой дорожки кольца подшипника в основном ликвидируется на финишных операциях (коэффициент передачи наследственной связи, характеризующей предварительное шлифование дорожки, равен 15,917). Отсюда следует необходимость его оптимизации.

Четвертая глава посвящена вопросам решения задач управления технологическим наследованием, использования полученных зависимостей для оптимизации технологического процесса обработки. В качестве примера рассматриваются пути ликвидации отмеченных выше недостатков технологического процесса обработки наружного кольца подшипника 32417М. Такими путями является изменение схемы закрепления, оптимизации режимов обработки.

Изменение схемы закрепления - закрепление не по наружному диаметру, а по торцу, позволило исключить силовой технологический фактор из рассмотрения. Уменьшение температуры в зоне резания достигалось за счет замены смазочно-охлаждающей жидкости и путем оптимизации режимов

резания. Для второй наследственной связи при использовании ССЖ 32 ($t = 3,7$ мм, $S = 0,6$ мм/об.) средняя температура в зоне резания равна $T = 489^{\circ}\text{C}$. При тех же режимах, но с ССЖ ОМЗА температура уменьшалась в среднем на 40° .



Кроме того, были изменены режимы резания. Точение роликовой дорожки на этом переходе проводилось при скорости резания $V = 55$ м/мин, соответствующей минимальному износу инструмента. Для этого подача была увеличена до 0,8 мм/об. В результате средняя температура в зоне обработки уменьшилась до 187°C.

После подстановки оптимизированных величин технологических факторов в уравнение наследственной связи для 2-го перехода величина некруглости, имеющая место после предварительного точения роликовой дорожки, стала равна

$$y_2 = 0,332^{0,983} \cdot 0,11 \cdot 3,720^{0,779} \cdot 55^{0,016} \cdot 0,8^{2,003} \cdot 20,9^{-0,071} \cdot 187^{0,030} = 0,094 \text{ мм}$$

Аналогично были оптимизированы режимы обработки перехода окончательного точения роликовой дорожки. Как видно из диаграммы изменения наследуемого свойства после оптимизации (рис.2), в целом удалось достичь монотонности изменения коэффициентов передач, несколько сбалансировать доли предварительной и финишных обработок подшипника в формировании допустимой некруглости роликовой дорожки, сократить объем доводочных операций. За счет этого снизилась себестоимость изделия, условный годовой экономический эффект от управления качеством на базе использования явления технологического наследования составил около 1,5 тысячи рублей.

В диссертации рассматриваются также задачи выбора параметров заготовки по заданным параметрам готового изделия, определения режимов обработки, соответствующих заданному формированию качества высокоточного изделия. Их часто приходится решать при разработке технологических процессов.

Основные выводы

1. При анализе формирования заданных свойств высокоточных деталей необходимо учитывать проявление технологического наследования, так как оно служит инструментом для выявления резервов повышения качества.

2. Определение численных характеристик процесса технологического наследования (коэффициентов передачи наследственных связей, факторных коэффициентов и т.д.), доминирующих с точки зрения влияния на наследуемое свойство технологических факторов, операций (переходов), требующих оптимизации с позиций этого явления, следует проводить в обязательном порядке при разработке технологических процессов, рассматривать как один из этапов технологической подготовки производства. При его организации целесообразно руководствоваться предложенной в работе методикой.

3. Существующие методы анализа проявления технологического наследования в основном ориентированы на детерминированную модель технологического процесса, требуют проведения трудоемких экспериментальных исследований, что подчас затрудняет их применение непосредственно в производственных условиях.

4. Оценка проявления технологического наследования должна вестись с учетом вероятностной природы реального технологического процесса, так как в этом случае значительно возрастает достоверность анализа, его практическая ценность.

5. Процесс образования наследственных погрешностей следует рассматривать на основании разработанной математической модели. Основопологающим методом определения ее параметров должно быть статистическое моделирование процесса на ЭВМ, что позволяет практически исключить экспериментальные исследования, обеспечить заданную точность.

6. Назначение режимов обработки, выбор наиболее целесообразных параметров заготовки следует производить в соответствии с изложенной методикой на основе уравнений наследственных связей.

7. Управление процессом технологического наследования должно осуществляться путем оптимизации действия доминирующих

технологических факторов, повышения эффективности наследственных связей, особенно на этапах предварительной обработки.

8. Оптимизация процесса обработки высокоточных деталей на базе явления технологического наследования является экономически оправданной, позволяет сократить потери металла за счет уменьшения припусков, сократить объем доводочных операций, обеспечить монотонность изменения наследуемого свойства, перенести центр тяжести его формирования на этапы предварительной обработки.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Соколов В.А. Оценка влияния технологического наследования на надежность и качество высокоточных деталей машин. - Сб. Тезисов докладов на Всесоюзной научно-технической конференции "Влияние повышения эффективности работ в области стандартизации и метрологии на качество выпускаемой продукции", Харьков, ХГНИИМ, 1980, с.135-137.

2. Соколов В.А. Определение наследственных погрешностей при изготовлении высокоточных деталей машин. - Научно-технический реферативный сборник "Технология, организация и экономика машиностроительного производства", НИИМАШ, 1981, № 7, с.6-8.

3. Соколов В.А. Выявление резервов повышения качества изделий на базе использования явления технологического наследования. - Сборник научно-технической информации ЦНИИТЭИ-легпищемаш, ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1981, № 12, с.49-54.