М 282877

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

САВИНА Зоя Семеновна

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВТУЛОК-ЦАПФ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

(специальность 05.02.08 - Технология машиностроения)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 1975

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент Сухов М.Ф.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Рыжов Э.В.
кандидат технических наук, доцент Душников В.М.

Ведущее предприятие – ВНИИМЕТМАШ

Автореферат разослан " " 1975 г.

Защита диссертации состоится " " 1975 г.
на заседании Совета факультета "Автоматизация и механизация производства" МВТУ имени Н.Э. Баумана по адресу: Москва,

кземплярах, заверен-
ному адресу.

библиотеке МВТУ .

Ю.А. Степанов

М 282877

к. 47 Тир. 120

Актуальность проблемы. В качестве валковых опор широко применяются подшипники жидкостного трения (ПЖТ) вследствие ряда преимуществ их по сравнению с другими видами опор: допускают удельные нагрузки до 24,5 мн/м^2 и скорость прокатки до 60 м/сек; позволяют на 25-30% увеличить диаметр шеек валков под подшипники, следовательно их прочность и жесткость; имеют малый коэффициент трения (0,002-0,003) и высокую расчетную долговечность (до 60 000-80 000 часов).

По данным металлургических заводов фактическая долговечность ПЖТ для различных станов колеблется от 100 до 10 000 часов. Для одних и тех же прокатных станов при практически одинаковых режимах работы долговечность ПЖТ колеблется в 8 и более раз. Одной из причин такого рассеяния сроков службы являются технологические особенности их производства.

Наличие между трущимися поверхностями цапфы и вкладыша масляной пленки толщиной от 4 до 20 мкм и необходимость сохранения ее в процессе всей работы подшипника предопределяют требования к точности изготовления сменной втулки-цапфы ПЖТ. Допуск на диаметр поверхности трения втулки-цапфы соответствует I классу точности (ОСТ НКМ 1011), овальность и конусообразность - в пределах половины допуска на ее диаметр, непрямолинейность образующей поверхности трения от 2 до 5 мкм на ее длине от 120 до 1000 мм.

В настоящее время, в связи с ужесточением требований к точности холоднокатаного листового проката, специалисты прокатного производства предъявляют еще более высокие требования к точности геометрической формы цапфы, так как предельные значения радиального биения поверхности бочки валка относительно опор не должны превышать 5-15 мкм.

Технологический процесс изготовления втулок-цапф был разработан на ЭЗТМ в 1950-51 г.г. Каких-либо существенных исследовательских работ при его разработке не было проведено. Между тем уже предварительные эксперименты показали, что существующий технологический процесс изготовления втулок-цапф не обеспечивает получение заданной техническими требованиями точности формы. Поэтому проблема обеспечения точности формы втулки-цапфы ПЖТ является своевременной и актуальной, ибо ее решение позволит значительно повысить как качество ПЖТ, так и точность получаемого проката.

Цель исследования. Целью исследования настоящей работы является изыскание путей повышения качества подшипников жидкостного трения.

Методы исследования. Действительная точность формы рабочей

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана

поверхности втулок-цапф исследовалась в производственных условиях с использованием теории наследственности. Количественные зависимости протекания технологического процесса определялись с помощью корреляционного анализа.

Изучение вопросов точности формы и путей ее повышения базировалось на исследовании причин возникновения погрешностей. Решение этих задач обеспечивалось проведением теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

Научная новизна. Применены положения о технологическом наследовании точностных свойств для разработки технологического процесса обработки втулок-цапф ПКТ. Определены количественные и качественные зависимости исследуемого и предлагаемого типовых технологических процессов.

Практическая ценность. Разработан научно-обоснованный технологический процесс изготовления втулок-цапф ПКТ Ø 140 - 500, обеспечивающий повышение точности формы рабочей поверхности и сборочной базы.

Диссертационная работа является частью комплекса исследований, проводимых кафедрой технологии механосборочного производства МВТУ им.Н.Э.Баумана, направленных на повышение надежности и долговечности ПКТ.

Апробация работы. По основным разделам работы сделано три доклада на научных семинарах кафедры АМ-3 МВТУ им.Н.Э.Баумана в течение 1970-72 г.г., доклады на расширенном заседании технического совета отдела главного технолога ЭЗТМ и ХУШ научно-производственной конференции ФПИ, г.Фрунзе, 1972 г.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 193 страницах, из них текстуальная часть на 140 страницах машинописного текста, содержит введение, пять глав, выводы по каждой главе и общие выводы по работе. Работа содержит 11 таблиц и 85 рисунков, сопровождается списком литературы из 84 наименований.

В первой главе дан анализ конструкций и факторов, влияющих на работоспособность подшипников жидкостного трения и определены задачи исследования.

Основными деталями, от качества которых, в основном, зависит долговечность ПКТ, являются втулка-вкладыш и сменная конусная втулка-цапфа. Втулка-вкладыш наружной поверхностью сопрягается с подушкой подшипника. Внутренняя, являющаяся рабочей поверхностью, заливается центробежным способом баббитом марки Б-83.

Втулка-цапфа сопрягается с шейкой валка по конической по-

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

поверхности (К=I:5). Наружная цилиндрическая поверхность является рабочей. Втулка-цапфа представляет из себя практически тонкостенную (нежесткую) оболочку. Ее жесткость в сборе с валком, необходимая для сохранения точностных параметров и работоспособности ПКТ, обеспечивается точностью изготовления сборочной базы.

Несущая способность масляного клина в подшипнике жидкостного трения зависит от его формы и минимальной толщины h_{min}. Но для нормальных условий работы подшипника толщина h_{min} должна превышать величину макро- и микронеровностей на поверхности трения:

$$h_{min} = h_{min}^{крит.} + h_{доп} = R_{z_A} + R_{z_B} + f + \Delta R + \Delta\ell + h_{доп},$$

где $h_{min} = (I - \chi)\frac{\Psi \cdot d}{2}$ – расчетная величина минимальной толщины масляного клина. Здесь $\chi = \frac{e}{\delta}$ – относительный эксцентриситет, e – эксцентриситет цапфы во вкладыше, $\delta = \frac{(D - d)}{2}$ – радиальный зазор, D и d – диаметры расточки вкладыша и цапфы, $\Psi = \frac{(D - d)}{d}$ – относительный зазор в подшипнике;

$h_{min}^{крит}$ – критическая толщина масляной пленки, при которой ПКТ начинает работать в режиме жидкостного трения;

$h_{доп}$ – минимальная, сверхкритическая толщина масляного слоя, которая необходима для создания устойчивого режима работы подшипника в условиях жидкостного трения, равная I,5 – 2 мкм;

R_{z_A}, R_{z_B} – шероховатости поверхностей вкладыша и цапфы;

f – максимальный прогиб цапфы;

$\Delta R, \Delta\ell$ – некруглость и непрямолинейность образующей рабочей поверхности цапфы.

Критическая толщина смазочного слоя в схеме расчета подшипника представляет основную исходную величину, определяющую прочие расчетные параметры подшипника, и является критерием надежности его работы в режиме жидкостного трения. При $\frac{h_{min}}{h_{min}^{крит}} > I$ существует запас надежности режима жидкостного трения. Следовательно, величины ΔR и $\Delta\ell$ является резервом повышения надежности работы подшипника в режиме жидкостного трения.

Основной вид повреждений ПКТ – усталостные выкрашивания баббитовой заливки. Главные причины возникновения усталостных выкрашиваний заключаются в характере приложения нагрузки.

В связи с периодическим изменением минимальной толщины масляного клина при вращении некруглой цапфы возникает серия волн давлений, действие которых аналогично действию ударной нагрузки,

вызывающей усталостные разрушения поверхности баббита во вкладыше. Чем больше число вершин огранки и величина некруглости цапфы, тем интенсивнее происходит усталостный износ вкладыша. Предварительными экспериментами установлено, что некруглость рабочей поверхности втулок-цапф диаметром от 400 мм и выше представляет шестивершинную огранку, а у втулок-цапф диаметром 140-350 мм - овальность. Неслучайно, что долговечность ПКТ диаметром свыше 400 мм значительно ниже (200-4 000часов), чем ПКТ диаметром 140-350 мм (до 10 000 часов). Места разрушений баббита, по осевой координате, возникают первоначально со стороны наибольшей некруглости цапфы.

Кроме этого в ПКТ наблюдается абразивный износ втулки-цапфы выступающими твердыми кристаллами Sn Sb баббитового слоя. Интенсивность изнашивания зависит от твердости рабочей поверхности. Образовавшиеся продукты износа частично уносятся маслом, частично вдавливаются в баббит, интенсифицируя процесс изнашивания. В результате износа уменьшается диаметр цапфы d, изменяются условия жидкостного трения. Поэтому для сохранения работоспособности ПКТ твердость поверхности трения втулки-цапфы необходимо повысить до HRC 40-42.

Анализ факторов, влияющих на эксплуатационные показатели ПКТ, позволил наметить следующие основные задачи исследования:

1. Выявить точностные возможности типового технологического процесса обработки втулок-цапф ПКТ диаметром 140-500 мм, в том числе по обеспечению круглости и прямолинейности образующей рабочей поверхности.

2. Увязать допуски на некруглость конусного отверстия (сборочной базы) и поверхности трения втулок-цапф.

3. Исследовать возможности повышения точности формы рабочей поверхности втулок-цапф по сравнению с заданными техническими условиями на существующем оборудовании.

4. Разработать научно-обоснованные рекомендации по обеспечению точности формы втулок-цапф и ее сохранению с течением времени и внедрить их в производство ПКТ.

Во второй главе дан анализ типового технологического процесса изготовления втулок-цапф ПКТ. За основу взят технологический процесс изготовления, действующий на Электростальском заводе тяжелого машиностроения, являющемся единственным изготовителем ПКТ в Советском Союзе и в пределах стран СЭВ.

Ввиду того, что конечные свойства и точность втулки-цапфы закладываются на заготовительных операциях и формируются в ходе

всего технологического процесса изготовления, были проведены анализ и производственные исследования по ходу его выполнения.

Заготовки втулок-цапф получают из слитков свободной ковкой. Анализ литературных и производственных данных показал нерациональное построение температурного режима нагрева холодных слитков, в результате которого возможны разрушения металла под действием термических напряжений, вызванных структурной неоднородностью, наличием усадочных рыхлостей и пустот, низкой пластичностью осевых зон слитков. В большинстве случаев отсутствует операция обкатки наружной поверхности поковки. Это приводит к появлению дефектов: "чешуйчатости", рванин и трещин. Кроме этого при осадке и прошивке без последующей обкатки, в результате неравномерной деформации заготовки, возникает анизатропия в различных направлениях и сечениях поковки. Это, в свою очередь, при механической обработке вызывает неравномерность остаточных напряжений.

Основными дефектами заготовок втулок-цапф являются местные неровности, погрешности формы, искривленность оси. Анализ точности поковок показал, что они не отвечают требованиям ГОСТ 7829-70 и ГОСТ 7062-67 и иногда существенно превышают допуски и припуски, предусмотренные заводской технологией ковки.

Погрешность установки при обдирке поковок увеличивает колебание припуска в пределах одной заготовки. Оно достигает 30 мм у поковок для втулок-цапф Ø 220 и 40 мм – для втулок-цапф Ø 300.

Выявить в суммарной погрешности формы после обдирки составляющую, связанную с копированием погрешностей поковки, не удалось ввиду многопроходной обработки, больших погрешностей формы, вызванных деформацией при закреплении заготовок и геометрических неточностей оборудования. Влияние неравномерности припуска при обдирке проявляется только после выполнения операции улучшения. Коэффициент корреляции $r_{xy} = 0{,}92$, близкий по значению к единице, характеризует значительное влияние неравномерности припуска при обдирке на изменение формы после улучшения.

Исследование формирования точности на операциях получистового обтачивания выявило влияние предыдущей погрешности формы обрабатываемой поверхности после выполнения операции стабилизирующего отпуска по изменению некруглости.

Закрепление втулки-цапфы четырьмя кулачками вызывает появление овальности. Остаточные напряжения от сил закрепления релаксируют значительно быстрее при термических операциях, поэтому такое закрепление при чистовой обработке конусного отверстия приводит к

потере точности с течением времени.

Чистовое обтачивание рабочей поверхности втулок-цапф диаметром 140-350 мм выполняется на токарном станке с установкой их на оправках. Базирование втулок-цапф осуществляется по конусному отверстию (К=1:5). Закрепление обеспечивается осевым натягом втулки на оправку. Обработанная поверхность наследует неточности установочной базы втулки-цапфы, оправки, станка, вращающегося центра. Основным фактором, влияющим на величину некруглости обработанной поверхности, является погрешность установочной базы. Об этом свидетельствует величина коэффициента корреляции $r_{xy} = 0,76$.

Шлифование и притирка рабочей поверхности втулки-цапфы осуществляется при аналогичной установке. Для характеристики влияния некруглости базы на некруглость обрабатываемой поверхности удобно пользоваться коэффициентом наследования $\lambda_н = \frac{\Delta_{ф.п}}{\Delta_{ф.б.п}}$. Здесь $\Delta_{ф.п}$ - некруглость обработанной поверхности, $\Delta_{ф.б.п}$ - некруглость базовой поверхности.

Значения $\lambda_н$ колеблются от 0,8 до 1,35. При уменьшении овальности конусного отверстия $\lambda_н$ возрастает, т.к. удельный вес отклонений формы, вызванных неточностями станка и оправки, увеличивается в суммарной некруглости. При значении $\lambda_н > 1$ некруглость обработанной поверхности больше некруглости базы. Коэффициенты корреляции зависимости некруглости обработанной поверхности от некруглости установочной базы даны для трех сечений втулки-цапфы $r_{1xy} = 0,96$; $r_{2xy} = 0,91$; $r_{3xy} = 0,83$ в порядке возрастания толщины стенки втулки-цапфы.

Финишная операция притирки выполняется свободным абразивом с помощью чугунного притира, которому сообщаются осциллирующие колебания вдоль обрабатываемой поверхности. Качественным спектральным анализом подтверждено шаржирование поверхности абразивом. Спектральный анализ выполнялся на кварцевом спектрографе ИСП-30.

В связи с тем, что сопутствующим абразивному является коррозионный износ, проводились исследования по коррозионной устойчивости рабочей поверхности втулки-цапфы. Испытывались финишные методы обработки: притирка по заводскому варианту, суперфинишированне абразивными и алмазными брусками, тонкое шлифование ($\nabla 9$), анодно-механическое суперфинишированне мягкими брусками.

Релаксация остаточных напряжений приводит к короблению втулок-цапф с течением времени. Поэтому для сохранения полученной точности формы необходимо обеспечить минимальные остаточные напряжения и с небольшой глубиной распространения их. В связи с

этим были проведены измерения остаточных напряжений ($\sigma_{ост}$) по ходу технологического процесса.

Для исследований $\sigma_{ост}$ по основным операциям техпроцесса и ряду финишных операций использовались кольца, нарезанные из одной поковки. Измерения $\sigma_{ост}$ производились по методу Н.Н.Давиденкова. Эффективным методом, с точки зрения наведения минимальных остаточных напряжений и обеспечения более высокой коррозионной стойкости, является анодно-механическое суперфинишированиe мягкими брусками.

Конструкция втулки-цапфы вызывает дополнительные деформации, связанные с асимметрией $\sigma_{ост}$ (прорезка глубокого шпоночного паза и разные методы обработки по внутренней и наружной поверхностям).

В третьей главе проведено исследование факторов, влияющих на точность изготовления втулок-цапф.

Влияние погрешностей изготовления заготовок на конечную точность формы и изменение ее с течением времени изучалось на двух исследуемых партиях втулок-цапф Ø 180 и Ø 300, обработанных в производственных партиях. Для этого разработана методика I этапа исследований типового технологического процесса обработки втулок-цапф и заготовительных операций.

Экспериментальные исследования операций проводились при использовании прибора для измерения некруглости "Калибр-218", специальных аттестованных приборов для измерения непрямолинейности образующей цилиндрической и внутренней конической поверхностей, конусности отверстия.

Для исследований погрешностей заготовок втулок-цапф измерялся текущий радиус-вектор в пяти фиксированных по осевой координате сечениях и в 24 точках по окружности. Отклонения текущего радиуса-вектора измеряли с помощью индикатора, устанавливаемого в резцедержателе токарно-карусельного станка модели I53, лимба поперечной подачи. За начало измерений принималось одно осевое сечение. Это сечение в дальнейшем служило началом записи круглограмм при измерении на приборе "Калибр-218". Оценка величины некруглости производилась в соответствии с ГОСТ I0356-63.

Для исследования изменений полученной точности формы рабочей поверхности со временем (ежемесячно, в течение года) производились измерения некруглости, непрямолинейности образующей, конусности отверстия. Запись круглограмм производили по сечениям с фиксированным по осевой координате шагом I0 мм. Измерения конусности были выполнены в двух осевых сечениях, проходящих по малой и

большой осям овала. Непрямолинейность измерялась по четырем образующим в этих сечениях и по четырем – в сечениях, в которых измеряли неравномерность припуска при обдирке.

Ввиду того, что реальные конические поверхности втулки и оправки имеют отклонения от круглости, непрямолинейности образующей конусного отверстия, отклонения от заданной конусности, происходит неполное их прилегание, вследствие этого наблюдается неравномерная деформация обрабатываемой поверхности как в поперечном, так и в осевом сечениях.

На втором этапе выполнялись исследования деформации обрабатываемой поверхности. При исследованиях за постоянную величину принималась величина осевого перемещения втулки-цапфы относительно оправки. Перед исследованиями сопрягаемые втулки-цапфы и оправки аттестовывались по всем параметрам. После запрессовки оправки во втулку-цапфу производилась запись круглограмм исследуемой поверхности в фиксированных сечениях по осевой координате. Последовательно, после шлифования втулки-цапфы, не снимая и сняв ее с оправки, производились записи круглограмм в тех же сечениях. После этого повторно запрессовывалась оправка, сохраняя то же относительное расположение, производились измерения деформаций. Окружные деформации замерялись в 48 точках, расположенных на 4-х образующих исследуемой поверхности с помощью датчиков сопротивления и прибора для измерения статических деформаций СИ-60АТ.

Экспериментально установлено, что основное влияние (до 90%) в суммарном отклонении формы приходится на долю неравномерности деформации вследствие наличия некруглости конусного отверстия втулки-цапфы. При осевом перемещении свыше 0,10 мм происходит превышение овальности обработанной поверхности над овальностью отверстия, т.к. на величину деформации влияет неравенство конусностей по большой и малой осям овала установочной базы втулки-цапфы.

Как показывают некоторые авторы, при сборке втулки-цапфы с валком в прокатных цехах натяги в 2-2,5 раза больше, чем при установке ее на оправку для шлифования. Это вызовет еще большую величину некруглости при сборке. Учитывая требования точности формы цапфы ($\Delta_ф$ = 10 мкм), необходимо ужесточить допуск на овальность сборочной базы (конусного отверстия) и регламентировать его в пределах 7 - 8 мкм для ПКТ Ø 140 - 400 мм.

Проведенные исследования напряженно-деформированного состояния втулки-цапфы при установке на оправку показали, что имеет

место объемное напряженное состояние. Причем, влияние σ_x на напряженное состояние и деформацию обрабатываемой поверхности втулки-цапфы незначительное. Они изменяют ее деформацию на 6-10 %, и в практических расчетах ими можно пренебречь.

Аналитически и экспериментально показано, что одна и та же овальность установочной поверхности оправки и конусного отверстия втулки-цапфы влияют по-разному на деформацию обрабатываемой наружной поверхности. Большее влияние оказывает некруглость конусного отверстия втулки-цапфы.

Ввиду разной конусности отверстия в сечениях, проходящих по большой и малой осям овала, происходит неравномерная деформация обрабатываемой поверхности вдоль образующей; отсюда разная форма и величина непрямолинейности образующей в этих сечениях. Разница достигает 3 мкм. Это, в свою очередь, затрудняет приработку вкладыша и цапфы.

Втулки-цапфы Ø 400 и более обрабатываются на облегченных оправках с прерывистой опорной поверхностью по углу поворота и вдоль образующей конусного отверстия. Оправка имеет 6 ребер, на которые устанавливаются шесть сменных планок, имеющих выборку для облегчения шлифования по конусу. В результате натяга втулки на такую оправку возникает асимметричный характер распределения контактного давления. В этом случае обрабатываемая поверхность наследует отклонения не только установочной базы, но и конструкцию оправки. В сечении малого диаметра конуса появляется овальность. В сечении по большому диаметру конуса результирующая форма - овальность с наложением шестивершинной огранки.

При установке втулок-цапф на ребристые оправки исследовалось влияние некруглости отверстия, отклонения конусностей сопрягаемых конусов и величина осевого перемещения втулки относительно оправки. Исследования проводились на моделях с геометрическим подобием втулкам-цапфам Ø 450 и оправкам с масштабным коэффициентом 3,3.

На натурных образцах были проведены контрольные исследования радиальных перемещений. Максимальная величина некруглости превышала допускаемую более чем в 6 раз.

Проводились исследования возникновения овальности конусного отверстия при установке в 4-х кулачковом патроне с независимым перемещением кулачков. Установлено, что величина овальности непостоянна по длине втулки-цапфы и зависит от конструкции (с фланцем, без фланца), от последовательности закрепления каждой парой

кулачков и соотношения сил, приложенных к каждой паре кулачков. Исследования производственных партий втулок-цапф Ø 180 (40 шт.) и Ø 300 (20 шт.) показали, что фактическая овальность превышает допустимую техническими требованиями до 2 раз. Кроме этого, получается разная конусность в сечениях по большой и малой осям овала. Разность их значений достигает 0,030-0,035 мм при настройке станка на номинальную конусность К= I:5.

Особенно опасно винтовое расположение овальности, т.е. в каждом сечении большая ось овала смещена на угол, зависящий от степени деформации при закреплении. При шлифовании рабочей поверхности, в случае базирования по конусному отверстию, наблюдается наследование винтового расположения овальности. Такая форма поверхности трения цапфы способствует "вжиманию" смазки из зазора между цапфой и вкладышем, что ухудшает условия жидкостного трения.

Исследованиями установлено, что форма рабочей поверхности меняется со временем, причем изменения некруглости рабочей поверхности втулки-цапфы и конусности отверстия, конусности отверстия и непрямолинейности образующей рабочей поверхности взаимосвязаны. Как показали исследования, основной причиной изменения формы является релаксация остаточных напряжений, вызванных наложением непластичных деформаций от сил резания и сил закрепления. В результате релаксации остаточных напряжений происходит переход деформаций в пластические.

Ввиду меньшей величины непрямолинейности образующей по сравнению с некруглостью, удалось выявить влияние неравномерности съема припуска на изменение непрямолинейности образующей в исследуемых сечениях ($r_{xy} = 0,29$). Но влияние это более слабое, чем остаточных деформаций от сил закрепления при шлифовании отверстия. На это указывает коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,745$, связывающий изменение конусности и непрямолинейности образующей рабочей поверхности. При изменении непрямолинейности от совместного действия неравномерности припуска и восстановления непластичных деформаций от сил закрепления максимальная ее величина достигает I2 мкм, что превышает допустимую в 6 раз. Кроме этого, в каждом сечении величина непрямолинейности различная, что затрудняет приработку вкладыша. Поэтому для обеспечения допускаемой величины непрямолинейности (2 мкм) сформулированы требования точности заготовок, установки втулок-цапф при обработке конусного отверстия и наружной поверхности.

Поиск возможностей повышения точности формы рабочей поверхности втулок-цапф ПКТ, наряду с вопросами установки втулок-цапф и влияния погрешностей заготовок, включал изучение влияния конструктивных и точностных параметров карусельно-шлифовальных станков на точность формы.

Исследовалось также влияние жесткости технологической системы на интенсивность исправления погрешностей формы при шлифовании и влияние числа выхаживающих проходов на остаточные напряжения. При шлифовании на прецизионном карусельно-шлифовальном станке фирмы "Bezthiez" и повышение жесткости системы крепления шлифовального круга до 9,6 кн/мм (980 кгс/мм) позволило довести овальность рабочей поверхности втулок-цапф Ø140 - 500 до 4-5 мкм при 2-3 выхаживающих проходах.

В четвертой главе выведены баланси суммарной погрешности при шлифовании рабочей поверхности и разработаны технологические мероприятия по повышению качества втулок-цапф.

Для выявления основных причин появления некруглости рабочей поверхности втулок-цапф при изготовлении по заводскому варианту был составлен баланс первичных погрешностей в суммарном отклонении формы.

В связи с преобладающим влиянием деформации обрабатываемой поверхности, вызываемой некруглостью установочной базы втулки-цапфы, необходимо выбрать другой вариант базирования и закрепления. Для этого были проанализированы типовые схемы установки деталей типа гильз с точки зрения возможности применения их при обработке втулок-цапф. Наиболее эффективным является базирование втулок-цапф на шлифованный торец фланца и закрепление силами магнитного притяжения стола станка или патрона. При этом шлифование конусного отверстия и наружной поверхности выполняется с одной установки. Для втулок-цапф без фланца рассматривался вариант установки с помощью разрезного кольца.

Для сравнения влияния основных факторов на суммарную некруглость при предложенном и заводском вариантах установки втулок-цапф в таблице приведено процентное соотношение первичных погрешностей, вызываемых технологическими факторами: деформацией обрабатываемой поверхности под действием сил закрепления (δ_R), геометрическими неточностями станка ($\Delta_{ст}$), копированием первичных погрешностей заготовки в условиях упругой технологической системы (Δ_y), погрешностью установки (ε_y).

Первичные погрешности формы	Погрешность, %			
	Шлифование на кругло-шлифовальном станке, установка на оправке		Шлифование на карусельно-шлифовальном станке втулок-цапф	
	круглой	ребристой	исполнения I	исполнения II
δ_R	70	90	50-60	-
$\Delta_{ст}$	20	7	35-40	90-95
Δ_y	до 5	-	до 10	5-10
ε_y	до 5	3	-	-

Проведенные исследования позволили разработать практические рекомендации по получению заготовок (методом электрошлакового переплава), отвечающих предъявляемым требованиям по точности формы, припускам и качеству металла; по изменениям в технологическом процессе, касающимся схем базирования и закрепления на различных этапах при шлифовании отверстия и рабочей поверхности, введения поверхностной закалки поверхности трения, стабилизирующего отпуска после съема асимметричных припусков и стабилизирующего старения между черновым и чистовым шлифованием, замены притирки анодно-механическим суперфинишированием.

Результаты, полученные при выполнении данной работы, позволили разработать и внедрить на Электростальском заводе тяжелого машиностроения рекомендации по изменению в технологическом процессе изготовления втулок-цапф $\varnothing$ 140-500, обеспечивающие получение точности формы рабочей поверхности и конусного отверстия выше заданной техническими требованиями и сохранение ее в процессе работы ПКТ и с течением времени.

В пятой главе приведены технико-экономические показатели внедрения изменений в технологическом процессе изготовления втулок-цапф.

Расчет экономической эффективности нового варианта технологического процесса велся по линии определения дополнительных вложений ЭЗТМ для осуществления нового техпроцесса как капитальных ($\Delta К$), так и в процессе производства ($\Delta С$) и экономии эксплуатационных затрат у потребителя. Определены показатели технико-экономической эффективности: срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $Т_{ок} = 2,75$ года, коэффициент эффективности $Е_н = 0,365$.

В Ы В О Д Ы

I. В целях повышения надежности работы ПКТ в режиме жидкостного трения для втулок-цапф диаметром I40-500 мм следует ограничить некруглость рабочей поверхности до 5 мкм при числе граней не более двух и непрямолинейность образующей до 2-3 мкм.

2. Исследования существующего типового технологического процесса обработки втулок-цапф диаметром I40 - 350 мм показали, что действительные допуски на овальность рабочей поверхности превышают заданные техническими условиями в 2-3,5 раза. Овальность отверстия втулки-цапфы превышает в некоторых случаях заданный допуск на овальность в I,5-2 раза.

3. Отклонения формы рабочих поверхностей втулок-цапф при обработке их по заводскому типовому техпроцессу и изменения формы с течением времени носят наследственный характер и в значительной степени объясняются нерациональной схемой закрепления при обработке конусного отверстия.

4. После шлифования величина овальности конусного отверстия в сечениях, расположенных по осевой координате втулки-цапфы, непостоянная и зависит от конструкции втулки, усилий закрепления и последовательности приложения их к каждой паре кулачков 4-х кулачкового патрона.

5. При обработке втулок-цапф диаметром свыше 400 мм на оправках, имеющих ограниченную опорную поверхность, образуется овальность с наложением шестивершинной огранки со стороны тонкой стенки втулки; величина некруглости превышает заданную техническими требованиями в 6 раз.

6. Исходя из требований обеспечения жидкостного трения при работе ПКТ, необходимо ужесточить допуск на овальность конусного отверстия до 8-I0 мкм для втулок-цапф Ø I40-500?

7. При шлифовании с установкой втулок-цапф на ребристые оправки в разных сечениях возникает непрямолинейность образующей рабочей поверхности, величина которой различна и достигает 6-20 мкм. Это превышает допуск, заданный техническими требованиями, в 3-I0 раз. Приработка вкладыша и цапфы, имеющей указанные погрешности, весьма затруднена. Поэтому при обработке рабочей поверхности необходимо устанавливать втулку-цапфу на торец и закреплять силами магнитного притяжения.

8. Базирование втулок-цапф на торец и закрепление силами магнитного притяжения при обработке на прецизионном карусельно-шлифовальном станке позволило снизить овальность втулок-цапф исполнения II диаметром 140-500 мм до 4-6 мкм и конусного отверстия - до 8 мкм.

9. Повышение долговечности ПЖТ может быть обеспечено за счет увеличения твердости поверхности трения втулки-цапфы (закалкой ТВЧ до HRC 42), замены притирки свободным абразивом анодно-механическим суперфинишированием мягкими брусками.

10. Проведение исследований типового технологического процесса изготовления втулок-цапф диаметром 140-500 мм на базе технологической наследственности позволило разработать рекомендации по его изменению. Разработанные рекомендации внедрены на Электростальском заводе тяжелого машиностроения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. З.С. Савина. Проблемы надежности подшипников жидкостного трения прокатных станов. Труды Фрунзенского политехнического института. Машиностроение, вып. 45, Фрунзе, 1971.

2. М.Ф. Сухов, З.С. Савина. Факторы, влияющие на износоустойчивость втулки-цапфы подшипников жидкостного трения прокатных станов. Известия ВУЗов. Машиностроение, 1973, №12.