М389687

НЕ ВЫНОСИТСЯ

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

ПИВОВАР Любомир Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ТОКАРНЫХ МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ АВТОМАТОВ ПО ЭКСТРЕМАЛЬНОМУ УРОВНЮ

Специальность 05.03.01

Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1982 г.

Работа выполнена в Киевском специальном конструкторском бюро многошпиндельных автоматов и в Московском высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Клебанов М.К.
кандидат технических наук, доцент Полтавец О.Ф.

Ведущее предприятие – Московский станкозавод им.С.Орджоникидзе

Защита диссертации состоится ___ 1982 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.13 в Московском высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах печатью, просим направлять по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "___"

Ученый секретарь
к.т.н., доцент

Л- 77050 от 12.05.82г.
Ротапринт МВТУ. 107005,Москва

М389687

НТБ МГТУ им.Н.Э.
1389687
Пивовар Л.Е.Исследование и

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема повышения технического уровня и качества токарных многошпиндельных автоматов связана с решением важнейших задач, поставленных перед станкостроительной промышленностью XXУI съездом КПСС.

Условия эксплуатации токарных многошпиндельных автоматов характеризуются интенсивным теплообразованием, переменным характером действующих сил и скоростей относительного скольжения тел, что осложняет получение стабильной точности обработки в пределах партии деталей. При длительной эксплуатации происходит потеря точности обработки. Поэтому актуальными становится разработка методов оценки и прогнозирования точностной надежности токарных многошпиндельных автоматов, а также - научно обоснованных рекомендаций по повышению их надежности.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является разработка метода прогнозирования и исследование технологической (точностной) надежности токарных многошпиндельных автоматов с учетом влияния тепловых деформаций и износа, определение эффективных путей повышения их надежности и долговечности.

№ 389687

Поставленные задачи включают вопросы: I) построение модели потери автоматом работоспособности; 2) исследование режимов нагружения и экстремальных условий эксплуатации автоматов; 3)прогнозирование технологической надежности автоматов в экстремальных условиях теплового режима работы; 4) разработка методики расчета направляющих на износ при переменных режимах нагружения; 5) исследование износа основных сопряжений, прогнозирование потери автоматами работоспособности; 6) анализ экстремальных и аварийных ситуаций, определение причин повышенного износа и повреждаемости основных сопряжений.

Методы исследований. Поставленные задачи решаются на базе метода расчета и прогнозирования параметрической надежности сложных изделий, метода расчета тепловых деформаций станков, теории расчета сопряжений на износ, теории вероятностей и теории надежности, теоретических основ изнашивания и повреждаемости при трении.

Научная новизна диссертации состоит в следующем: I) разработана методика оценки и прогнозирования технологической надежности автоматов в экстремальных условиях эксплуатации; 2) выявлены и изучены закономерности формирования процесса тангенциального смещения шпиндельного блока вследствие тепловых деформаций;

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

3) разработана методика расчета направляющих на износ при переменных режимах нагружения; 4) исследованы условия аварийных ситуаций и причины повышенного износа и повреждаемости основных сопряжений; 5) разработаны методы повышения технологической надежности и долговечности, а также эффективности эксплуатации токарных многошпиндельных автоматов.

Практическая ценность. Разработанные в диссертации положения позволяют оценивать технологическую надежность автоматов в любых условиях теплового режима работы, повышать точность расчета и прогнозирования эпюр износа направляющих при переменных режимах нагружения, предсказать потерю работоспособности автоматов в эксплуатации, обосновать эффективные методы повышения технологической надежности автоматов и увеличения их ресурса.

Реализация работы. Проведенные исследования позволили разработать практические рекомендации по повышению технологической надежности автоматов, определению условий и методов их рациональной эксплуатации. Внедрение ряда рекомендаций на Киевском станкостроительном производственном объединении и ГПЗ-23 (г.Вологда) дало экономический эффект в сумме 78 000 руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на республиканских научно-технических конференциях "Эффективность внедрения типовых механизмов станков-автоматов и станков с программным управлением" (г.Киев,1980г.) и "Повышение технического уровня, качества и надежности кинематических пар и редукторов" (г.Киев, 1981г.); на республиканских семинарах "Повышение технико-экономической эффективности токарных автоматов и револьверных станков" (г.Киев,1979г. и 1981г.); на постоянно действующем семинаре "Физические основы трибологии и надежности машин" (г.Киев, 1981г.); на заседании кафедры "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Баумана в 1979г. и полностью доложена в 1981г.; на технических советах Специального конструкторского бюро многошпиндельных автоматов в 1977-82гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы,из них 3 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав,общих выводов и приложений. Содержит 145 страниц машинописного текста, 66 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 92 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы задачи исследования. В качестве объектов исследования выбраны шестишпиндельные автоматы и полуавтоматы ряда 1Б265.

В первой главе приведен обзорный анализ по теоретическим основам достижения высоких показателей качества машин и их сохранения в течение необходимого времени эксплуатации. Отмечается большой вклад в создание и развитие науки о точности советских ученых. Однако, до настоящего времени, в основном, изучались вопросы исследований и анализа точности всей технологической системы и недостаточно развивались исследования по оценке качественных показателей станков, их изменения в процессе эксплуатации и влияния на точность обрабатываемых деталей. Влияние станка на качество изготавливаемых деталей, как правило, является решающим. Поэтому технологическая надежность станков, характеризующая их способность сохранять качественные показатели технологического процесса (точность обработки и качество поверхности), становится основным объектом рассмотрения теории и практики.

Исследование и прогнозирование технологической надежности автоматов базируются на общих методологических положениях расчета и прогнозирования параметрической надежности сложных изделий и теории расчета сопряжений на износ, разработанных проф. А.С. Прониковым.

Широкая вариация режимов и условий эксплуатации порождают множество реализаций поведения автоматов в эксплуатации. Рассмотреть все множество реализаций практически весьма затруднительно. Вместе с тем наибольшую ценность представляют сведения о работоспособности автоматов в экстремальных условиях, так как экстремальные реализации изменения выходных параметров определяют верхнюю границу области состояний автоматов и формируют область наступления постепенных отказов при наименьших значениях наработки. Это и предопределило выбор метода исследований.

Анализ технологических процессов, факторов, определяющих изменение точности на автоматах, структурной схемы их технологической надежности показывает, что наибольшее влияние на смещение уровня настройки автоматов оказывают тепловые деформации шпиндельного блока, а на потерю работоспособности - износ сопряжений продольного суппорта. Основными параметрами точности, лимитирующими технологическую надежность автоматов, являются точность

размера и формы при обработке с продольного суппорта.

На базе общей схемы потери машиной работоспособности, предложенной проф.А.С.Прониковым, разработана модель потери автоматами работоспособности с учетом погрешностей, отражающих их специфику. В общем случае погрешность обработки на автомате Δ является функцией многих переменных и отражает влияние погрешностей: геометрической $\Delta_г$, от упругих деформаций $\Delta_ж$, от влияния перераспределения зазоров в сопряжениях $\Delta_з$, настройки на партию деталей $\Delta_н$, фиксации (рассеивание конечных положений) узлов $\Delta_{фу}$, от быстро протекающих процессов $\Delta_б$, от процессов средней скорости $\Delta_с$ и от процессов медленной скорости $\Delta_м$. По мере износа автомата влияние указанных погрешностей возрастает и его резерв точности $K_т$ и вероятность безотказной работы $P(t)$ снижаются. Эти показатели позволяют оценить технологическую надежность автомата за межналадочный период (при $t = T_{мн}$):

$$K_т = \delta / (\delta - \delta_т) , \qquad (1)$$

$$P(t) = 0{,}5 + \Phi\left\{\frac{\delta - \left[\Delta_г + \Delta_ж + \Delta_з + \sqrt{\left(\frac{\Delta_н}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{фу}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_б}{2}\right)^2} + \bar{\Delta}_{ср} + \bar{\Delta}_{сф}\right]}{\frac{1}{3}\sqrt{\left(\frac{\Delta'_н}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta'_{фу}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta'_б}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta'_с}{2}\right)^2}}\right\}, \qquad (2)$$

где δ – допуск на размер; $\delta_т$ – резерв точности; Φ – нормированная функция Лапласа, $0 \leqslant \Phi \leqslant 0{,}5$; $\bar{\Delta}_{ср}$, $\bar{\Delta}_{сф}$ – средние значения смещения уровня настройки автомата вследствие изменения соответственно точности размера и формы из-за влияния процессов средней скорости; $\Delta'_н, \Delta'_{фу}, \Delta'_б, \Delta'_с$ – значения погрешностей $\Delta_н, \Delta_{фу}, \Delta_б, \Delta_с$ (при шестисигмовой зоне рассеивания) в конце межналадочного периода $T_{мн}$.

Вторая глава посвящена исследованию влияния тепловых деформаций на точность автоматов и прогнозированию их технологической надежности в экстремальных условиях теплового режима работы.

Тепловые деформации автоматов происходят главным образом в шпиндельном блоке. Поэтому изменение соосности рабочих и инструментальных шпинделей, устанавливаемых на продольном суппорте, происходит за счет смещения рабочих шпинделей. Величина изменения

соосности Δ_c может быть определена как

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_p^2 + \Delta_т^2} \quad , \qquad (3)$$

где Δ_p , $\Delta_т$ - соответственно радиальное и тангенциальное смещение рабочего шпинделя.

Можно считать, что

$$\Delta_p = \alpha R_ш \vartheta \quad , \qquad (4)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала барабана; $R_ш$ - радиус расположения осей шпинделей; ϑ - средняя избыточная температура шпиндельного барабана у передних опор шпинделей.

Тангенциальное смещение шпинделей (шпиндельного блока) происходит вследствие тепловых деформаций звеньев размерной цепи, включающей: шпиндельный блок, деформация которого составляет Δ_1, фиксирующий рычаг - Δ_2, и корпус шпиндельного блока - Δ_3:

$$\Delta_т = (\Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3) \frac{R_ш}{R_б} Cos\beta \quad , \qquad (5)$$

где β - угол наклона установочного замка, взаимодействующего с фиксирующим рычагом, к горизонтальной плоскости; $R_б$ - радиус шпиндельного блока.

И формула (3) принимает вид:

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_p^2 + \left[(\Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3) \frac{R_ш}{R_б} Cos\beta\right]^2} \quad . \qquad (6)$$

Исследование тепловых деформаций проводилось на автомате 1Б265П-6К при частотах вращения шпинделей n =338,532 и 805об/мин. Частоты n = 532 и n = 805 об/мин соответствуют экстремальным частотам при обработке на автоматах ряда 1Б265 соответственно сталей и легких сплавов, а n = 338 об/мин - близкая к чаще всего применяемой.

Смещения рабочих шпинделей по отношению к инструментальным описываются уравнениями:

$$\Delta_p = C_p \left(1 - e^{-B_1 t}\right) \quad , \qquad (7)$$

$$\Delta_т = C_т \left(1 - e^{-B_2 t}\right) \quad , \qquad (8)$$

где C_p , $C_т$ - соответственно радиальное и тангенциальное смещение рабочего шпинделя в установившемся режиме, мкм; B_1 , B_2 - показатели темпа нагрева, 1/ч.

Коэффициенты изменяются в пределах C_p=32...94 и $C_т$=55...130,

а B_1 и B_2 остаются неизменными: $B_1 = 1{,}35$ и $B_2 = 0{,}92$.

В начальный период работы автомата время до подналадки, в основном, определяется скоростью смещения уровня настройки вследствие тепловых деформаций. Прогнозирование безотказной работы автоматов за период до наступления теплового равновесия можно осуществить с использованием (4,5) или (7,8). Так, при точении с продольного суппорта резцом, установленным тангенциально, изменение точности обработки, обусловленное тангенциальным смещением шпинделей (8), описывается уравнением:

$$X = 2\Delta_T = 2C_T\left(1 - e^{-B_2 t}\right), \qquad (9)$$

а скорость изменения выходного параметра

$$\gamma = \frac{dX}{dt} = 2C_T B_2 e^{-B_2 t}. \qquad (10)$$

В интервалах времени $0 \ldots T_1, T_1 \ldots T_2, T_2 \ldots T_3$ и т.д. нелинейная функция (9) может быть аппроксимирована кусочно-линейными функциями. Тогда, например, для значения $t = T_3$ выражение для определения вероятности безотказной работы будет иметь вид:

$$P(T_3) = 0{,}5 + \Phi\left[\frac{X_{max} - \alpha_0 - \bar{X}_2 - \gamma_3 (T_3 - T_2)}{\sqrt{\sigma_\alpha^2 + \sigma_{\gamma_1}^2 T_1^2 + \sigma_{\gamma_2}^2 (T_2 - T_1)^2 + \sigma_{\gamma_3}^2 (T_3 - T_2)^2}}\right], \qquad (11)$$

где X_{max} – допускаемое значение параметра X; α_0 – математическое ожидание точности обработки в начальный период работы; σ_α – среднее квадратическое отклонение параметра α; $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ – математические ожидания увеличения параметра X соответственно при $t = T_1$, $t = T_2$, $t = T_3$; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – математические ожидания скорости изменения параметра соответственно в интервалах времени $0 \ldots T_1, T_1 \ldots T_2, T_2 \ldots T_3$; $\sigma_{\gamma_1}, \sigma_{\gamma_2}, \sigma_{\gamma_3}$ – средние квадратические отклонения скоростей $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

С целью выявления границ области тепловых состояний автоматов и значений скорости смещения уровня их настройки были выполнены исследования теплового режима работы автоматов при экстремальных и наиболее характерных режимах резания с обеспечением экстремальных уровней интенсивности отвода тепла из зоны резания. Результаты исследований приведены на рис.1, где изображены кривые нагрева 1...4 шпиндельных блоков автоматов 1Б265П-6К у передних опор шпинделей при их обкатке вхолостую соответственно с n = 150... 200, 338, 532 и 805 об/мин; кривые распределений температур нагрева шпиндельных блоков у передних опор шпинделей, которые подчиняются нормальному закону распределения:

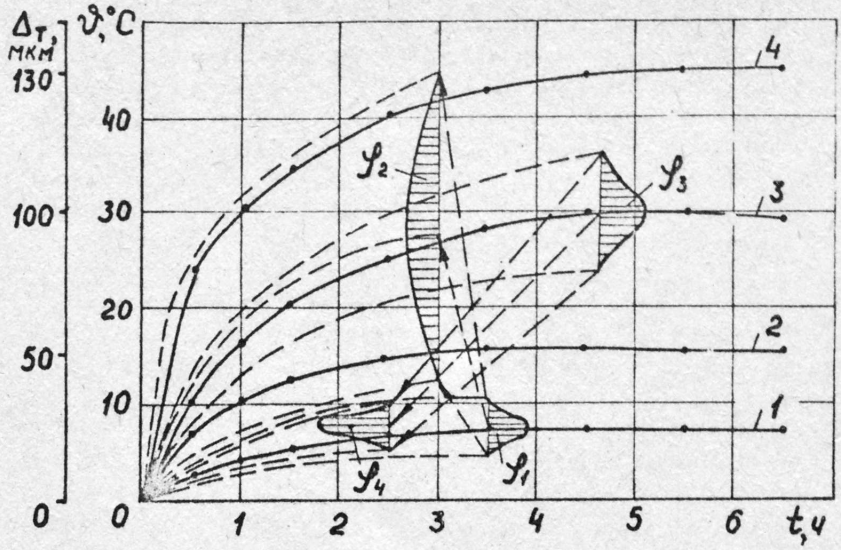


Рис.I. Графики и кривые распределения температур нагрева шпиндельных блоков у передних опор шпинделей автоматов ряда I265 при различных условиях эксплуатации

- ϑ_1 ($\bar{\vartheta}_1$ = 7,7°С; S_1 = 0,9°С) и ϑ_3 ($\bar{\vartheta}_3$ = 30°С; S_3 = 2,I°С) при обкатке автоматов IБ265П-6К вхолостую соответственно с n = I50...200 и 532 об/мин;

- ϑ_2 ($\bar{\vartheta}_2$ = 28°С; S_2 = 5,5°С) при обработке деталей из ШХI5 и 20Х2Н4А на автоматах I265М-6 с n =I50...200 об/мин ($V_{рез}$= 26 ...29 м/мин) и охлаждении сульфофрезолом от индивидуальной системы станка;

- ϑ_4 ($\bar{\vartheta}_4$ = 7°С; S_4 = 0,7°С) при обработке деталей из ШХI5 на автоматах I265ПМ-6 с n = 450...500об/мин ($V_{рез}$ =I0I...I33м/мин) и охлаждении эмульсией от централизованной системы охлаждения.

Для оценки влияния тепловых деформаций на точность автоматов на оси ординат (см.рис.I) отложены также значения тангенциальных смещений шпиндельных блоков, соответствующие температурам нагрева последних. Анализ результатов исследований и прогнозирования

показывает, что на технологическую надежность автоматов за время работы до наступления теплового равновесия решающее влияние оказывает интенсивность отвода тепла из зоны резания, определяемая теплофизическими свойствами (охлаждающими способностями) смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Технологическая надежность автоматов ряда 1Б265 при допуске на размер δ = 200мкм характеризуется параметрами:

- в условиях эксплуатации с применением СОЖ на водной основе и централизованных систем охлаждения (распределение γ_4 на рис.I) - резерв точности автоматов составляет $\delta_т$ = 69 мкм;

- в условиях эксплуатации с применением СОЖ на масляной основе (распределение γ_2 на рис.I) - вероятность необходимости осуществления подналадки автоматов велика и составляет $F(t)$ = 0,83.

В третьей главе приведены результаты исследований износа сопряжений продольного суппорта, методика расчета направляющих при переменных режимах нагружения, результаты прогнозирования потери автоматами работоспособности.

В автоматах наиболее высокие нагрузки несет продольный суппорт и износ его сопряжений оказывает наибольшее влияние на потерю ими работоспособности. Силы, нагружающие продольный суппорт, изменяются в процессе обработки деталей как по величине, так и по направлению действия. Скорость перемещения продольного суппорта в течение каждого цикла также изменяется. Следовательно, сопряжения продольного суппорта работают в условиях переменных режимов нагружения, характерных для многих пар трения.

Задачу об определении формы изношенной поверхности направляющих при переменных режимах нагружения с достаточной для практики точностью можно решить основываясь на теории расчета износа сопряжений, разработанной проф.А.С.Прониковым, и, исходя из предпосылок:

I. Величина износа U пропорциональна пути трения S и величине давления p (закон проф.М.М.Хрущова): $U = KpS$.

2. Эпюры давлений на элементарных участках длины хода суппорта при изнашивании сохраняются, а их изменение на длине общего хода в определенных местах положения суппорта происходит скачкообразно.

3. Известны кривые распределения перемещений суппорта по длине направляющих при каждой нагрузке.

Тогда общее уравнение для определения формы изношенной повер-

ности можно записать в виде

$$U(x)=\sum_{i=1}^{m}U_i(x)=K_1\sum_{i=1}^{m}S_i\int_{l_{1i}}^{l_{2i}}\varphi_i(x-l)\,f_i(x,l)\,dl\,, \qquad (12)$$

где $U(x)$ – искомая величина линейного износа U направляющих по длине x; $U_i(x)$ – величина линейного износа U_i по длине x от i – той эпюры давлений; K_1 – коэффициент износа материала направляющих; S_i – путь трения суппорта; $\varphi_i(x-l)$ – кривая распределения пути трения; $f_i(x,l)$ – уравнение i – той эпюры давлений; l_{1i}, l_{2i} – пределы интегрирования; $i=1...m$ – число элементарных эпюр давлений, вызывающих износ направляющей в данном сечении.

При известных уравнениях распределения ходов, эпюр давлений и пределах интегрирования вывод уравнений изношенной поверхности с использованием (12) не представляет особых трудностей. Но для обеспечения высокой точности расчета кривых износа направляющих важно другое – при разбивке общего хода суппорта на элементарные участки следует учитывать, что перераспределение эпюр давлений может быть вызвано не только изменением сил резания, но и – тяговой силы привода на участках изменения скорости относительного скольжения тел. На рис.2 показана одна из осциллограмм, изображающая характер силы привода продольного суппорта. В начале быстрого отвода и подвода продольного суппорта тяговая сила привода в 4...6 раз превышает среднее значение, соответствующее средней

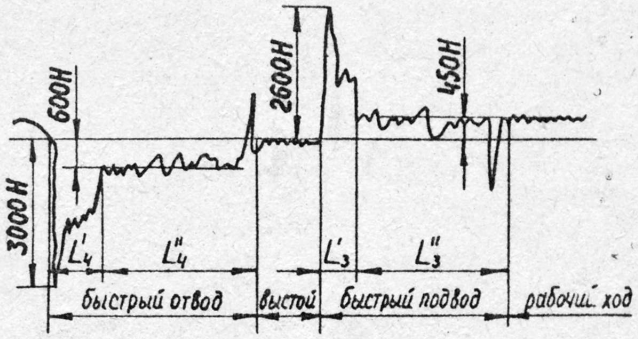


Рис.2. Осциллограмма силы привода продольного суппорта автомата 1265М-6

скорости перемещения суппорта на данных участках хода. Откуда следует, что при каждом цикле в местах, соответствующих изменению скорости относительного скольжения тел, периодически передняя и задняя направляющие втулки продольного суппорта и соответственно его центральная направляющая будут подвергаться воздействию давлений, отличающихся как по форме эпюр, так и по величине от средних значений давлений на данных участках хода продольного суппорта.

Таким образом, для повышения точности расчета кривых износа величину хода продольного суппорта, например, на участке быстрого отвода следует разбивать на два участка L'_4 и L''_4, так как на последних действуют различные эпюры давлений, соответствующие средним значениям действующих сил на этих участках. На участке L'_4 действует эпюра давлений, представляющая собой треугольник $p=p_1(1-l/l_0)$ (l – координата направляющей втулки продольного суппорта, l_0 – длина направляющей втулки), и можно считать, что только на длине хода L''_4 $-p=p_1=const$. Кривые износа центральной направляющей и втулок продольного суппорта, рассчитанные с учетом перераспределения эпюр давлений в местах изменения скорости относительного скольжения тел, имеют хорошее совпадение с экспериментальными.

Получены показатели износа материалов и зависимости для определения числовых характеристик износа деталей продольного суппорта, которые применялись при расчете и прогнозировании потери автоматами точности. Средняя скорость износа цементированной центральной направляющей из стали 20Х, отнесенная к ее радиусу, расчетная – 2,17 мкм/г ($0{,}72 \cdot 10^{-3}$ мкм/ч), экспериментальная – 2,52 мкм/г ($0{,}83 \cdot 10^{-3}$ мкм/ч), а продольного суппорта – соответственно 8,46мкм/г ($2{,}8 \cdot 10^{-3}$мкм/ч) и 8,18мкм/г ($2{,}71 \cdot 10^{-3}$ мкм/ч). Можно считать, что скорость изменения соосности рабочих и инструментальных шпинделей γ_c равна скорости износа сопряжения центральная направляющая – продольный суппорт $\gamma_{1\text{-}2}$:

$$\gamma_c = \gamma_{1\text{-}2} = 2{,}52+8{,}18 = 10{,}7 \text{ мкм/г } (3{,}54 \cdot 10^{-3} \text{мкм/ч}),$$

а погрешность обработки, например при сверлении, составит $10{,}7 \times 2 = 21{,}4$ мкм.

Прогнозирование потери автоматами работоспособности осуществлялось для условий эксплуатации, характеризуемых экстремальными режимами резания и охлаждением эмульсией от централизованной системы. В качестве начального значения принималось значение выход-

ного параметра автомата, характеризующее точность его работы в установившемся тепловом режиме при обработке деталей жестким осевым инструментом с продольного суппорта и соответствующее 98% квантилю. В этих условиях ресурс по точности шестишпиндельных автоматов ряда 1Б265 будет характеризоваться параметрами:

$T_{ср}$ = 4,54г. (13620 часов), $D(T)$ = 5,41г^2, σ_T = 2,32г.

В четвертой главе анализируются аварийные ситуации, которые проявляются в повышенном износе и повреждаемости деталей продольного суппорта, поверхностей шпиндельного блока и его ложа.

Повышенный износ и повреждаемость деталей продольного суппорта при эксплуатации автоматов связаны с нарушением условий их контакта. Нарушение условий контакта продольного суппорта и центральной направляющей может происходить вследствие деформации последней из-за неравномерного нагрева ее опор, т.к. нагрев шпиндельного блока у передних опор шпинделей значительно превышает его нагрев у задних опор шпинделей и нагрев передней стенки коробки передач, в которой смонтирована правая опора центральной направляющей. Исходя из геометрических параметров продольного суппорта, и допуская, что его заклинивание на центральной направляющей произойдет при кривизне оси, описываемой радиусом R, значение последнего и соответствующее ему значение деформации центральной направляющей (стрелки сегмента) H могут быть определены как:

$$R = \frac{1}{2}\frac{l_0 l_{01}}{\delta}, \qquad (13)$$

$$H = 2R\sin^2\frac{\varphi}{2}, \qquad (14)$$

где l_0 – длина направляющей втулки; l_{01} – длина продольного суппорта; δ – зазор между продольным суппортом и центральной направляющей; $\varphi = (180°/\pi R)L$, где L – общая длина шпиндельного блока и центральной направляющей.

Для автоматов ряда 1Б265 заклинивание продольного суппорта на центральной направляющей будет происходить при H>216 мкм. Измерения смещений центральной направляющей на автомате 1Б265П-6К показали, что при частоте вращения шпинделей n = 805 об/мин ее деформация достигает H = 180 мкм. Таким образом, при существующих размерах продольного суппорта автоматов ряда 1Б265 зазор в сопряжении продольный суппорт – центральная направляющая следует назначать больше 180 мкм.

Продольный суппорт в плоскости перпендикулярной его перемеще-

нию в большинстве случаев нагружается переменным моментом M_x, что вызывает изменение его тангенциального отжатия. В результате детали получаются неправильной формы в осевом сечении. На практике такого вида погрешности (чаще всего конусность) устраняют смещением направляющей планки. При экстремальных значениях момента M_x=2500Н·м тангенциальное отжатие продольного суппорта автоматов 1Б265 составляет 80 мкм, из-за чего погрешность формы достигает 160 мкм. Для компенсации такой погрешности на длине 25... 30 мм (например, на высоте наружного кольца радиального подшипника) необходимо сместить направляющую планку на 1 мм, что приведет к заклиниванию продольного суппорта на центральной направляющей. Смещение направляющей планки вызывает нарушение условий контакта продольного суппорта с центральной направляющей и направляющей планкой. В результате этого возрастают давления в зонах контакта, что приводит к повышенному износу и повреждаемости сопрягаемых поверхностей. Эти выводы подтверждаются также исследованиями зоны схватывания, выполненными сотрудниками института металлофизики АН УССР.

Показано, что для исключения влияния тангенциального отжатия продольного суппорта на точность обработки резцы следует располагать радиально.

Износ передних поясков ложа и шпиндельного блока вызван их трением. При неизменяющемся ходе колодки величина подъема шпиндельного блока над передней частью ложа в процессе нагрева автомата уменьшается. Для верхней границы области тепловых состояний автоматов 1Б265, вследствие разницы тепловых деформаций шпиндельных блоков по переднему и заднему пояскам, это уменьшение составляет 85...95 мкм, что следует учитывать при назначении минимальной величины подъема шпиндельного блока.

Износ и повреждаемость ложа и шпиндельного блока по задним пояскам наблюдаются при больших горизонтальных смещениях последнего и имеют место при выставке роликов поддержки шпиндельного блока в статическом состоянии, т.е. без учета их отжима силой поворота. В этих случаях шпиндельный блок касается боковой поверхности ложа, чем и обусловлен их износ.

Таким образом, для автоматов ряда 1Б265 величину подъема шпиндельного блока следует устанавливать больше 0,30 мм, а его горизонтальное смещение во время поворота не должно превышать 0,08мм.

В пятой главе дается обоснование путей повышения технологической надежности и долговечности автоматов, наиболее высокая

эффективность которых возможна в направлениях снижения влияния вредных процессов:

I. Снабжение автоматов механизмами фиксации, исключающими тангенциальное смещение шпиндельного блока. Из выражения (6) при $\beta = 0^{\circ}$ и $\beta = 90^{\circ}$ соответственно получаем:

$$\Delta_c = \Delta_{c\,max} = \sqrt{\Delta_p^2 + \left[(\Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_3)\frac{R_ш}{R_б}\right]^2}\ , \qquad (15)$$

$$\Delta_c = \Delta_{c\,min} = \Delta_p\ . \qquad (16)$$

Таким образом, тангенциальное смещение шпиндельного блока связано с конструктивным исполнением механизма фиксации и выбором положения установочного замка для фиксации шпиндельного блока.

Предложена конструктивная схема механизма фиксации шпиндельного блока, исключающая его тангенциальное смещение (авторское свидетельство № 869980).

2. Обеспечение высокой надежности работы автоматов путем поддержания их начальных параметров на заданном уровне за счет непрерывной автоматической подналадки узлов автомата, компенсирующих изменение внешних воздействий.

Предложена конструкция автомата, снабженного системой автоматического контроля и управления процессом компенсации тепловых деформаций (авторское свидетельство № 827274).

3. Создание конструкции осевого закрепления шпиндельного блока, исключающей влияние его теплового удлинения на работоспособность автоматов. Такой эффект достигается путем снабжения автоматов конструкцией осевого закрепления шпиндельного блока по авторскому свидетельству № 643234, предложенной в соавторстве.

4. Повышение надежности и долговечности автоматов путем снижения скорости износа и исключения случаев повреждаемости основных сопряжений.

Рассмотрение характера функций износа центральной направляющей $U(x)$ и продольного суппорта $U(l)$, анализ основных факторов, входящих в зависимости для их определения, позволяют указать эффективные методы повышения долговечности автоматов:

- обеспечение минимальных давлений в сопряжениях и одновременное сохранение постоянства условий касания (контакта) тел в процессе полной обработки детали;

- обеспечение оптимальных величин перемещений суппортов на участках рабочих и холостых ходов, что одновременно позволит сни-

зить нагрузки в приводе на участках изменения скорости относительного скольжения тел;

- совмещение тангенциального смещения продольного суппорта вследствие отжатия и износа его деталей с тангенциальным смещением рабочих шпинделей вследствие тепловых деформаций;
- применение азотированных направляющих.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Разработана методика исследования и прогнозирования технологической надежности автоматов, которая включает построение модели потери автоматом работоспособности, исследование режимов нагружения и экстремальных условий эксплуатации, прогнозирование точности и изменения работоспособности автоматов в экстремальных условиях, исследование и анализ аварийных ситуаций.

2. Получены математические зависимости, описывающие процесс изменения геометрической точности автоматов под влиянием тепловых деформаций, позволяющие прогнозировать их технологическую надежность за период работы до наступления теплового равновесия, оценивать точностные параметры автоматов в любых условия эксплуатации, прогнозировать их изменение под влиянием износа.

3. Установлено, что изменение точности обработки на автоматах за межналадочный период обусловлено тепловыми смещениями рабочих шпинделей в двух направлениях: радиальном и тангенциальном.

Тангенциальное смещение шпиндельного блока происходит из-за тепловых деформаций звеньев размерной цепи, включающей шпиндельный блок, корпус шпиндельного блока и фиксирующий рычаг. При расположении фиксатора и замка для фиксации шпиндельного блока в вертикальной плоскости его симметрии достигается наиболее высокая точность автоматов, т.к. в этом случае тангенциальное смещение шпиндельного блока равно нулю.

Предложена конструктивная схема механизма фиксации шпиндельного блока, исключающая его тангенциальное смещение (авторское свидетельство № 869980).

4. Показано, что наиболее высокая технологическая надежность автоматов обеспечивается при высокой интенсивности отвода тепла из зоны резания, что достигается применением централизованных систем охлаждения с использованием СОЖ на водной основе.

5. Условия эксплуатации автоматов с применением СОЖ на масляной основе, например сульфофрезола, формируют верхнюю границу

области тепловых состояний, для которой скорость смещения уровня настройки автоматов соответствует экстремальным реализациям. При точении с продольного суппорта тангенциально установленным резцом средняя скорость смещения уровня настройки в течение первого часа работы автомата составляет $\bar{\gamma}_1$ = 67,7 мкм/ч при σ_{γ_1} = 11,2 мкм/ч.

6. Разработана методика расчета направляющих на износ при переменных режимах нагружения, которая позволяет повысить точность расчета кривых износа. Это достигается тем, что уравнениями кривых износа для отдельных участков учитываются перераспределения эпюр давлений при изменении как сил резения, так и силы привода на участках холостого хода суппорта.

7. Доминирующее влияние на ресурс автоматов по точности оказывает износ деталей продольного суппорта: центральной направляющей, втулок суппорта и направляющей планки.

При цементированной центральной направляющей продольного суппорта в условиях эксплуатации, характеризуемых экстремальными режимами нагружения и экстремальным уровнем интенсивности отвода тепла из зоны резания, ресурс по точности автоматов ряда 1Б265 составляет 4,54 года или 13620 часов при σ_T = 2,32 года (7006 часов).

Азотирование центральных направляющих из стали 38ХМЮА повышает их износостойкость в 5 раз.

8. Прогноз области возможных состояний и анализ экстремальных и аварийных ситуаций при эксплуатации автоматов позволяют изучить причины протекания вредных процессов с максимальными и недопустимыми скоростями. Аварийные ситуации при эксплуатации автоматов проявляются в повышенном износе и повреждаемости сопряжений продольного суппорта, основной базовой поверхности шпиндельного блока и его ложа и связаны с нарушением условий их работы и контакта.

9. Влияние тангенциального отжатия продольного суппорта на точность обработки становится минимальным при радиальном расположении резцов.

10. Эпюры износа центральных направляющих и втулок продольных суппортов различных моделей автоматов имеют соответственно одинаковую форму и характеризуются наличием участков повышенного износа, вызванного возрастанием нагрузок вследствие изменения скорости перемещения суппорта на этих участках.

Линейный износ продольного суппорта и центральной направляющей (на участках, определяющих точность ав.оматов) при нагрузках холостого хода составляет 50...75% от общей величины линейного износа этих деталей в любом сечении. Это объясняется тем, что, кроме возрастания нагрузок на участках изменения скорости относительного скольжения тел, путь трения продольного суппорта на обследованных автоматах при нагрузках холостого хода в I2... I5 раз больше его пути трения при рабочих нагрузках.

II. Доказано, что исключение случаев износа и повреждаемости поверхностей шпиндельного блока и его ложа достигаются:

- назначением технических условий на величину подъема шпиндельного блока с учетом разницы тепловых деформаций последнего по переднему и заднему пояскам;

- регулированием положения переднего ролика поддержки, ограничивающего горизонтальное смещение шпиндельного блока во время его поворота, с учетом отжима узла ролика силой поворота.

I2. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий по повышению технологической надежности автоматов на Киевском станкостроительном производственном объединении и ГПЗ-23 (г.Вологда) составил 78000 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

I. Пивовар Л.Е. Пути повышения надежности токарных многошпиндельных автоматов.- В сб.: Вопросы повышения производительности токарных многошпиндельных автоматов. - Киев.: Знание, 1979, с.I4-20.

2. А.с. 643234 (СССР). Многошпиндельный токарный автомат. /Л.Е.Пивовар, О.И.Гуров, Г.Н.Стельмах.- Опубл.в Б.И., 1979, № 3.

3. А.с. 827274 (СССР). Многошпиндельный токарный автомат. /Л.Е.Пивовар, И.Б.Автеньев.- Опубл. в Б.И., 1981, № 17.

4. А.с. 869980 (СССР). Токарный многошпиндельный автомат. /Л.Е.Пивовар.- Опубл. в Б.И., 1981, № 37.

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА