№ 325814

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

АТАЕВ ПАВЕЛ ЛЕВАНОВИЧ

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА "ДИСКИ" НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения
(научные основы технологии машиностроения и
по отраслям: станкостроение и инструментальная
промышленность, автотракторостроение)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва 1977

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

Научные руководители – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор КОРСАКОВ В.С.; кандидат технических наук, доцент БУРЦЕВ В.М.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор ЧАРНКО Д.В.; кандидат технических наук, доцент УСОВ Б.А.

Ведущее предприятие – Московский станкостроительный завод "Красный пролетарий" им.А.И.Ефремова.

Защита диссертации состоится "19" декабря 1977 г. на заседании специализированного Совета по технологии машиностроения шифр К-053.15.15. МВТУ им.Н.Э.Баумана по адресу: 107005. Москва, Б-5, 2-ая Бауманская, 5.

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

Ваши отзы[illegible]экземпля-рах, завере[illegible]ному адресу.

Автореферат[illegible]

[illegible]ЯКОВ Р.

[illegible]ору

Тип.МВТ[illegible] Зак.№ 1631

Д80540

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1325814
Атаев П.П. Исследование пу

Актуальность проблемы. Широкая автоматизация единичного и мелкосерийного производства на базе использования станков с ЧПУ является одним из направлений повышения точности и производительности механической обработки.

Наиболее многочисленной группой в номенклатуре выпускаемых станков с ЧПУ являются токарные, которые находят растущее применение. Имеются многочисленные примеры успешного использования токарных станков (ТС) с ЧПУ, на которых обрабатываются детали трёх классов – валы, втулки, диски.

Как показывают производственные исследования, выполненные на ряде заводов, точность обработки деталей на ТС с ЧПУ по диаметральным размерам не выше 3–5 классов. Причем, 3 класс точности обеспечивается при больших номинальных значениях размеров. Средняя точность обработки деталей по осевым размерам составляет 0,20–0,25 мм. В имеющихся исследованиях по использованию ТС с ЧПУ рассматриваются, в основном, вопросы точности и производительности обработки деталей по диаметральным размерам. Вопросы точности обработки деталей по осевым размерам в литературе освещены недостаточно. Более 45% деталей класса "Диски", обрабатываемых в патроне ТС, имеют допуск на осевые размеры менее 0,15 мм, обеспечение которого часто вызывает значительные технологические трудности.

Актуальность задачи повышения точности осевых размеров и производительности обработки подтверждается большим удельным весом деталей с допусками 0,10–0,15 мм и менее на осевые размеры, возможностью их окончательной обработки на ТС с ЧПУ.

Цель исследования. Изыскание путей повышения качества и производительности обтачивания торцовых поверхностей (ТП) и точности выполнения осевых размеров деталей класса "Диски", обрабатываемых на ТС с ЧПУ, с установкой заготовок в патроне.

Методы исследования. Теоретические исследования погрешностей обработки проводились на базе основ технологии машиностроения и других общетехнических дисциплин (теоретической механики, сопротивления материалов, основ технических измерений и [illegible]) с применением прикладной математики. Для анализа составляющих суммарной погрешности использовались статистический и расчетно-аналитический методы.

Экспериментальные исследования проводились на разработанных

и изготовленных автором установках в лабораториях кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана и НПО "Оргстанкинпром" с применением современной регистрирующей и измерительной аппаратуры (токо-вихревые преобразователи, шлейфовый осциллограф Н115, электронно-измерительная система мод. 217), специальных приспособлений. Исследования выполнялись на ТС мод. 16К20ФЗСЧ с системой ЧПУ 2М907. Обработка всех экспериментальных данных производилась на ЭВМ.

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование точности выполнения осевых размеров при патронной обработке деталей класса "Диски" на ТС с ЧПУ. Разработана методика аналитического расчета погрешностей, вызываемых тепловыми деформациями шпиндельного узла от совместного действия технологических факторов во времени в условиях многопереходной концентрированной обработки. Установлен факт влияния последовательности выполнения переходов на точность обработки, а также возможность компенсации осевых тепловых смещений базы патрона и погрешностей установки заготовки. Исследовано влияние различных факторов на точность размерной наладки технологической системы на осевые размеры. На этой основе разработана методика аналитического расчета осевых наладочных размеров. Выявлены факторы, влияющие на точность формы и шероховатость ТП. Предложены способы рациональной размерной наладки технологической системы на осевые размеры.

Практическая ценность. Разработано устройство для компенсации погрешностей, вызываемых тепловыми деформациями шпиндельного узла и погрешностей установки заготовки. Установлена оптимальная область (границы) использования обтачивания ТП способом ступенчатого изменения скорости резания. Предложены устройства для наладки технологической системы. Выявлены пути и резервы повышения производительности обтачивания ТП без дополнительных капитальных затрат. Разработаны рекомендации по составлению управляющих программ (УП). Основные положения и выводы исследования могут быть распространены и на обработку деталей классов "Валы" и "Втулки".

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

Апробация работы. Основные разделы работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана, на 19-ой Всесоюзной межвузовской

научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении", г.Москва, январь, 1975 г., на УП-й республиканской научно-технической конференции "Организация и исследования в области повышения эффективности программного управления в машиностроении", г.Ташкент, октябрь, 1976г.

Объём работы. Диссертационная работа изложена на 147 страницах машинописного текста, включающих введение, пять глав, выводы по главам и общие выводы. Содержит 25 таблиц, 95 рисунков и список литературы из 93 наименований.

В первой главе проведен анализ литературных и производственных исследований, посвященных проблеме точности и производительности механической обработки деталей на ТС с ЧПУ, отражены состояние и перспективы их эффективного использования в металлообработке, обоснована цель исследования.

Имеющаяся переводная зарубежная литература носит описательный характер и констатирует факт использования ТС с ЧПУ в той или иной отрасли промышленности. В отечественной литературе указаны пути повышения точности и производительности обработки на ТС с ЧПУ, отражен опыт, накопленный заводами в области их эффективного использования. Однако в имеющихся работах вопросы точности осевых размеров практически не рассматриваются.

Литературный обзор и производственные исследования точности обработки деталей класса "Диски" на ТС с ЧПУ показали, что точность осевых размеров во многих случаях не выдерживается. Кроме того, обтачивание ТП с постоянной частотой вращения шпинделя $n = Const$ приводит к значительному изменению шероховатости по радиусу обработки. Длительность токарной обработки ТП составляет 60-90% от штучного времени. Поэтому целесообразно изыскание путей повышения производительности обтачивания ТП.

Анализ структуры и баланса суммарной погрешности обработки ТП, связанных осевым размером, выявил основные погрешности:
Δy - погрешности обработки, возникающие в результате упругих деформаций технологической системы под влиянием усилий резания;
ΔH - погрешности размерной наладки технологической системы;
ΔT - погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы; ε - погрешности установки заготовки.

Погрешность Δy, в основном, зависит как от собственной

жесткости детали, так и от способа её крепления; ΔH – от количества пробных деталей для наладки технологической системы при обработке малой партии; ΔT – от условий эксплуатации ТС с ЧПУ при многопереходной концентрированной обработки заготовок малыми партиями; ε – от конструкции патрона и схемы закрепления заготовок кулачками.

Обоснована необходимость уменьшения трудоемкости наладки при одновременном повышении точности её выполнения. Отсутствуют активные средства устранения погрешности ε. Погрешности, вносимые системой ЧПУ, существенного влияния не оказывают на суммарную погрешность обработки осевых размеров.

В соответствии с целью исследования в диссертации ставились следующие задачи: 1) определить качественную и количественную зависимости суммарной погрешности от технологических факторов; 2) разработать методику расчета наладочных размеров и способы размерной наладки инструментов на осевые размеры; 3) исследовать методы обтачивания ТП деталей класса "Диски" с целью выявления резервов повышения точности и производительности обработки; 4) разработать рекомендации по повышению точности и производительности обработки деталей класса "Диски" на ТС с ЧПУ.

Во второй главе проводится теоретическое и экспериментальное исследование влияния доминирующих технологических факторов на точность осевых размеров и ТП при патронной обработке деталей класса "Диски".

Исследования тепловых смещений шпиндельного узла (ШУ) проводились с целью качественной и количественной их оценки в зависимости от основных параметров обработки – частоты вращения шпинделя n, нагрузки на шпинделе, которую характеризуют радиальная сила P, момент от силы резания M и длительность работы станка τ в условиях многопереходной концентрированной обработки деталей.

Температурное поле станка измерялось хромель-копелевыми термопарами и записывалась двумя 12-ти канальными электронными автоматическими потенциометрами мод. ЭПП-09М2. Моделирование крутящего момента на шпинделе, который возникает в процессе резания, осуществлялось с помощью нагрузочного порошкового тормоза ПТ16М. Радиальная сила P моделировалась динамометром через подшипник на оправке. Тепловые смещения ШУ по всем

координатным осям измерялись индикаторами с ценой деления 0,001 мм. Выполненные исследования показали, что тепловые смещения ШУ по всем координатным осям изменяются во времени по зависимости, близкой к экспоненциальной. Наибольшее влияние на тепловые смещения ШУ оказывает частота вращения шпинделя. В меньшей степени они зависят от величины крутящего момента и практически не зависят от радиальной силы P. Помимо смещений наблюдается разворот ШУ в плоскостях XOZ и XOY. Характер изменения тепловых смещений во времени, когда рассматриваемый режим работы станка вызывает их рост, практически не зависит от температурного поля станка, предшествующего данному режиму. Если в процессе работы тепловые смещения уменьшаются, то состояние температурного поля станка, предшествующее этому режиму, оказывает заметное влияние на характер их изменения.

Показано, что последовательность чередования частот вращения в пределах выбранного сочетания и продолжительности практически не влияет на среднюю величину тепловых смещений $\Delta T_{ср}$ и отклонений W по обе стороны от $\Delta T_{ср}$. Однако последовательность чередования частот вращения шпинделя в условиях концентрированной обработки изменяет соотношения тепловых смещений шпиндельного узла при выполнении отдельных переходов внутри выбранного сочетания частот вращения.

В отличие от ранее выполненных исследований установлено, что показатели темпа нагрева $B_н$ и охлаждения B_0 существенно зависят от времени и частоты вращения шпинделя, т.е. $B_н = f(\tau, n)$ и $B_0 = f(\tau, n)$.

Показатели темпа нагрева $B_н^z$ и охлаждения B_0^z ШУ по оси z определяются по формулам

$$B_н^z = (-0{,}0000003n^2 + 0{,}001n - 0{,}31)\tau_н^2 + (0{,}000004n^2 - 0{,}005n + 1{,}36)\tau_н + (-0{,}0000015n^2 + 0{,}0053n - 0{,}7); \quad (1)$$

$$B_0^z = -0{,}01\tau^2 + 0{,}127\tau_0 + 0{,}373, \quad (2)$$

где n – частота вращения шпинделя, об/мин; $\tau_н, \tau_0$ – длительность нагрева и охлаждения ШУ, час.

Формулы для определения тепловых деформаций ШУ от совместного действия технологических факторов во времени имеют вид

$$\Delta T_н^z = 0{,}115 n^{0{,}21}(M+1)^{0{,}18}(1 - e^{-B_н^z \tau_н}) + \Delta_0 e^{-B_н^z \tau_н}; \quad (3)$$

$$\Delta T_0^z = \Delta_0 e^{-B_0^z \tau_0},$$

где $\Delta T_н^z$, $\Delta T_о^z$ – тепловые деформации ШУ по оси z при нагреве и охлаждении, мкм; M – крутящий момент на шпинделе, кгсм; – основание натурального логарифма; Δ_0 – начальное значение теплового смещения (деформации), мкм. Ошибка расчета по формулам (3) и (4) не более 10–12%.

Разработана методика расчета погрешностей, вызываемых тепловыми смещениями ШУ в условиях многопереходной концентрированной обработки. Показано доминирующее значение тепловых смещений ШУ по оси z (0,10–0,15 мм). Установлено, что при многопереходной концентрированной обработке деталей, если обработка отдельных поверхностей ведется на разных частотах вращения шпинделя, тепловое равновесие станка не наступает. В этом случае предварительным прогревом станка нельзя устранить погрешности, вызываемые тепловыми деформациями ШУ.

Были также исследованы: а) точность и трудоемкость внестаночной наладки; б) точность установки инструментов на станке; в) применяемый инструмент с позиций возможности бесподналадочной работы после поворота режущей пластинки на очередную грань или ее замены. Разработана методика расчета осевых наладочных размеров при патронной обработке деталей.

Инструменты вне станка могут быть налажены с высокой точностью (0,010–0,015 мм), но при этом повышается трудоемкость наладки (8–10 минут на один инструмент). Погрешности взаимного расположения инструментов, установленных на станке, достигают настолько больших величин (0,3–0,4 мм), что исключается возможность работы станка без дополнительной наладки.

Статистический анализ показал, что поле рассеивания положений режущих кромок одной и той же пластинки при повороте на очередную грань соизмеримо или превосходит величину поля допуска на выполняемый размер и доходит до 0,10–0,30 мм.

В работе дан анализ конструкций режущего инструмента и исследованы погрешности размерной наладки. Выявлена возможность сокращения затрат на внестаночную наладку и оснащения станка быстродействующей оснасткой для непосредственной наладки инструментов на станке через корректоры пульта ЧПУ.

Для станков с ЧПУ, работающих несколькими инструментами одно-

временно или последовательно, наиболее часто применяется статическая наладка. Приводится методика расчета осевых наладочных размеров при обработке малой партии деталей

$$l_{нр\,j\,i} = l_{j\,min} + \Delta н + (\Delta T_{max} - \Delta T_{тек}) + \sqrt{\Delta l^2_{\Sigma\,j\,i} + \Delta^2_{изм} + R^2_{z\,i} + (\Delta_{сп}/2)^2 + \delta^2}, \qquad (5)$$

где $l_{j\,min}$ – минимальный осевой размер детали от измерительной базы до заданной j-й ТП; $R_{z\,i}$ – высота микронеровностей в i-м осевом сечении; ΔT_{max} – величина тепловых смещений базы патрона в момент наступления теплового равновесия станка; $\Delta T_{тек}$ – величина тепловых смещений от начала работы станка к моменту размерной наладки; $\Delta l_{\Sigma\,j\,i}$ – погрешности, обусловленные минимальными упругими отжатиями технологической системы; $\Delta_{изм}$ – погрешность измерения готовой детали (часть заданного допуска остается на покрытие погрешностей измерения при окончательном контроле деталей); $\Delta_{сп}$ – часть поля рассеивания размеров, характеризующая данный метод обработки и выраженная в виде случайных погрешностей (зависящих от точности позиционирования исполнительных органов и системы ЧПУ станка); $j = 1,2, \ldots, m$ – порядковый номер радиального сечения детали, отсчитываемого от базового торца; $i = 1,2, \ldots, n$ – порядковый номер сечения детали, параллельного осевому сечению и отсчитываемого от него в радиальном направлении; $K = 1,2$ – коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения погрешностей от нормального закона.

Экспериментальные исследования показали, что статическая наладка может быть применена как предварительная, так как она не обеспечивает высокой точности (5 класс и ниже).

В диссертации выполнены теоретические и экспериментальные исследования погрешностей, обусловленных упругими деформациями технологической системы. В этих исследованиях отражена специфика влияния концентрированной обработки деталей на ТС с ЧПУ. Выведены формулы для расчета погрешностей, обусловленных упругими деформациями технологической системы, учитывающие упругую податливость шпиндельных опор и дополнительные отжатия, вызываемые тангенциальной составляющей силы резания.

Для проверки предложенных формул были выполнены эксперименты с целью сравнения фактически полученной погрешности с расчетной. Чтобы оценить влияние упругих деформаций на точность обработки,

необходимо было исключить влияние других факторов.

Влияние тепловых смещений ПУ было исключено предварительным нагревом станка. Для устранения влияния тепловых деформаций резца и детали на величину погрешности было применено обильное охлаждение. Размерный износ учитывался измерением фактического размера резца в начале и конце обработки детали. Силы резания определялись с помощью резца-динамометра.

Сопоставление расчетной погрешности с фактической показало, что ошибка расчета составляет 18–22%. Чем больше собственная жесткость обрабатываемой детали, тем меньше расхождение между расчетной и фактической погрешностью, обусловленной упругими деформациями технологической системы. Основным фактором, определяющим величину погрешностей, обусловленных упругими деформациями технологической системы, является схема установки и жесткость заготовки.

С целью установления количественной оценки погрешностей установки заготовок в патроне и их влияния на точность выполнения осевых размеров были выполнены экспериментальные исследования. Было установлено, что погрешности установки зависят от:
а) шероховатости базирующих поверхностей и материала заготовки; б) длины контакта заготовки с кулачками; в) точности изготовления и сборки элементов патрона; г) жесткости патрона; д) непостоянства усилия закрепления.

Статистическая обработка экспериментальных данных свидетельствует, что погрешности установки заготовок соизмеримы или даже превосходят допуски на осевые размеры. С помощью критерия согласия χ^2 Пирсона установлено, что распределение погрешностей установки соответствует закону Гаусса при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$. Центр группирования погрешностей установки заготовок на черные базы практически совпадает с центром группирования погрешностей установки заготовок на чистовые базы. При этом расстояние от базы патрона до центра группирования погрешностей установки заготовок доходит до 0,10–0,25 мм. Поле рассеивания погрешностей установки заготовок на чистовые базы значительно меньше, по сравнению с полем рассеивания погрешностей установки заготовок на черные базы, и доходит до $6\sigma = 0{,}05$–$0{,}09$ мм.

Приведен анализ факторов, влияющих на величину погрешностей установки заготовки.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований точности и производительности обтачивания ТП. Дан сравнительный анализ способов точения ТП по производительности: а) обтачивание с постоянной скоростью резания; б) обтачивание с постоянной частотой вращения шпинделя; в) обтачивание методом ступенчатого изменения частоты вращения шпинделя.

Если принять во всех трех методах одинаковую начальную скорость резания V_{max}, время обточки одной и той же поверхности получится различным. Отношение основного времени, необходимого для обточки ТП с постоянной скоростью резания к основному времени обтачивания той же поверхности с постоянной частотой вращения шпинделя равно I/2. По величине основного времени метод ступенчатого изменения скорости резания находится между двумя первыми методами. Однако простое сопоставление длительности основного времени без учёта фактической стойкости режущего инструмента полностью не может выявить преимущества сравниваемых методов обтачивания ТП.

Сравнительный анализ способов точения ТП необходимо проводить при одинаковой размерной стойкости инструмента. В этом случае отношение, показывающее увеличение времени обработки ТП с постоянной частотой вращения шпинделя равно I,3I.

На станках токарной группы со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя ТП обрабатывается с переменной скоростью резания. В этом случае частота вращения шпинделя устанавливается по скорости резания для наибольшего (наружного) диаметра. Эта схема обработки ТП приводит к недоиспользованию инструмента по стойкости, снижает производительность и увеличивает неоднородность шероховатости ТП.

Такая же схема обработки обычно применяется и на ТС с ЧПУ. Для её совершенствования ТП детали типа диска можно разбить на концентрические зоны. При их протачивании частота вращения шпинделя устанавливается так, чтобы каждую зону обработать на выбранной, или близкой к выбранной, скорости резания.

В диссертации разработана методика обтачивания ТП способом ступенчатого изменения скорости резания на ТС с ЧПУ, допускающих изменение частоты вращения шпинделя под нагрузкой. Показана экономическая целесообразность обработки ТП методом ступенчато-

го изменения скорости резания. С целью уменьшения трудоёмкости подготовки УП разработаны блок-схемы алгоритмов расчета координат опорных точек и соответствующих им частот вращения шпинделя на ЭВМ.

В работе также показана возможность обтачивания ТП с повышенной начальной скоростью резания. В этом случае частота вращения шпинделя устанавливается так, чтобы обеспечить выбранную скорость резания на некотором "среднем диаметре" с учетом стойкости инструмента при разных скоростях резания. Установлены границы применимости этого метода обтачивания ТП.

Было выполнено комплексное исследование основных факторов, определяющих суммарную погрешность геометрической формы ТП. Структурная формула $\Sigma\Delta\phi$ с учетом взаимной компенсации ее отдельных составляющих имеет вид: а) при подаче "к центру"

$$\Sigma\Delta'\phi = \left| -\Delta T_g - \Delta T_p + \Delta И - \Delta y - \Delta T_{ст} - \Delta Г \right|; \qquad (6)$$

при подаче "от центра"

$$\Sigma\Delta''\phi = \left| \Delta T_g + \Delta T_p - \Delta И - \Delta y + \Delta T_{ст} - \Delta Г \right|, \qquad (7)$$

где ΔT_g, ΔT_p и $\Delta T_{ст}$ – соответственно погрешности, вызываемые тепловыми деформациями детали, резца и ШУ; $\Delta И$ – погрешности из-за размерного износа инструмента; $\Delta Г$ – погрешности, обусловленные геометрическими неточностями станка.

Первичные погрешности, способствующие образованию неплоскостности ТП в виде выпуклости, имеют знак "плюс", в виде вогнутости – "минус". Опыты предусматривали исследование погрешности формы $\Sigma\Delta\phi$ в зависимости от: 1) направления подачи; 2) материала заготовки; 3) схемы базирования и закрепления; 4) режимов резания.

Силы резания определялись с помощью тарированного резца – динамометра. Погрешность формы измерялась электронно-измерительной системой мод.217 завода "Калибр". Деталь после обработки остается в патроне, а в резцедержателе устанавливается преобразователь системы взамен резца. Наконечник преобразователя приводится в соприкосновение с торцом детали. При этом система настраивается на нуль. Поперечным перемещением резцедержки преобразователь перемещается от периферии к центру детали. Траектория наконечника преобразователя записывалась в круговых координатах на диаграммной ленте самописца мод. Н321-1.

В результате проведенных исследований установлено, что: а) при подаче "от центра" $\Sigma\Delta\varphi$ = (7–10) мкм меньше, чем при подаче "к центру" $-\Sigma\Delta\varphi$ = (25–30) мкм; б) в случае применения СОЖ $\Sigma\Delta\varphi$ = (10–12) мкм меньше при подаче "к центру", чем при подаче "от центра" – $\Sigma\Delta\varphi$ = (20–25) мкм (на примере обработки ТП диаметром 200 мм); в) с повышением скорости резания $\Sigma\Delta\varphi$ уменьшается; г) $\Sigma\Delta\varphi$ в значительной степени зависит от схемы базирования и закрепления заготовки, что указывает на доминирующее влияние Δy, так как остальные погрешности, входящие в (6) и (7), почти не зависят от схемы базирования и закрепления заготовки.

Было исследовано влияние ступенчатого изменения скорости резания на $\Sigma\Delta\varphi$ и шероховатость ТП. В местах смены частоты вращения шпинделя на ТП образуются характерные риски. В момент изменения частоты вращения заготовки нагрузка на резце падает до нуля, происходит упругое восстановление технологической системы, что приводит к образованию риски. Эксперименты показали, что шпиндель мгновенно набирает заданную частоту вращения. Задержка в подаче револьверной головки является причиной образования риски на ТП. При совмещении команд на изменение частоты вращения шпинделя и минутной подачи в одном кадре задержка в подаче практически исключается. В этом случае шероховатость ТП по радиусу обработки находится в пределах допустимых отклонений. Тогда как шероховатость ТП при обтачивании с $n = Const$ изменяется от периферии к центру в два раза (R_z = 0,020–0,040 мм).

При выполнении чистового перехода УП должна быть составлена так, чтобы команды на изменение частоты вращения шпинделя и минутной подачи были совмещены в одном кадре, а подача не превышала 0,15–0,20 мм/об. Это обеспечит шероховатость ТП по радиусу обработки в пределах допустимых отклонений.

<u>В четвертой главе</u> излагаются рекомендации по проектированию, изготовлению и эксплуатации устройства, компенсирующего осевые тепловые смещения базы патрона и погрешности установки заготовки. Дано описание устройств, предназначенных для наладки инструментов на осевые размеры, а также разработаны рекомендации по размерной наладке инструментов, по уменьшению погрешностей, обусловленных упругими деформациями технологической системы.

Вышеназванные устройства были разработаны, изготовлены и исследованы автором в лаборатории МВТУ им. Баумана.

При создании устройства, предназначенного для повышения точности осевых размеров путем компенсации осевых тепловых смещений базы патрона и погрешности установки заготовки, исходили из возможности обеспечения полуавтоматической коррекции наладочного размера.

При решении поставленной автором задачи: I) выполнена модернизация патрона; 2) разработана механическая часть для установки преобразователя электронно-измерительной системы мод.2I7, входящей в устройство; 3) разработана аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Патрон снабжается специальным плавающим диском, который дает возможность количественно определить смещение заготовки по оси Z

$$\Delta L = \Delta T + \varepsilon_3 , \qquad (8)$$

где ΔT – тепловое смещение базы патрона к моменту установки очередной заготовки; ε_3 – погрешности установки (закрепления) заготовки. Наконечник преобразователя, поддерживаемого специальной штангой внутри шпинделя, контактирует с эталонной поверхностью плавающего диска. Неизменность положения преобразователя является необходимым условием точной регистрации смещения базы патрона. Кронштейн, поддерживающий штангу, прикреплен к заднему торцу станины.

Механическое перемещение измерительного наконечника преобразователя преобразуется в аналоговый сигнал постоянного напряжения, пропорциональный перемещению (8). Отсчет показаний ведется по показывающему прибору.

Периодически восстанавливая исходное положение базы патрона путем сдвига "нуля" станка, удается исключить погрешность (8). Сдвиг "нуля" может осуществляться как вручную с помощью корректоров пульта ЧПУ, так и автоматически. При автоматическом сдвиге "нуля" выходной сигнал выдается дискретно АЦП в виде электрических импульсов постоянного напряжения, пропорциональных величине механического перемещения наконечника преобразователя в I0 мкм, которые поступают в корректор пульта ЧПУ.

Экспериментальные исследования показали, что использование устройства эффективно и поле рассеивания осевых размеров уменьшается в 2,0–2,5 раза. В работе также приводятся функциональные схемы электронной части устройства. Исследованы погрешности,

вносимые самим устройством, и даны рекомендации по их уменьшению.

Показана эффективность корректировки наладочных размеров с пульта ЧПУ в сочетании с быстродействующей несложной оснасткой. Разработана методика практического ее выполнения. Программируемые перемещения револьверной головки определяются из условия, что она находится в "нулевой" точке и инструменты занимают строго определенное положение в соответствии с картой наладки. Достаточно определить с необходимой точностью фактическое расстояние от базы патрона до одного из инструментов. Это расстояние сравнивается с расчетным и вводится коррекция через корректоры ЧПУ. Затем определяются отклонения положений инструментов относительно того инструмента, до которого определялось фактическое расстояние от базы патрона. Эти отклонения (погрешности) вводятся через соответствующие корректоры пульта ЧПУ.

Определение погрешностей взаимного расположения инструментов в наладке станка при помощи автоматизированного или механизированного устройства по заранее составленной УП уменьшает трудоёмкость наладки в 2–3 раза и повышает её точность (0,020–0,030 мм). Предложенные устройства и методика размерной наладки сводят к минимуму затраты на внестаночную наладку. Дано экспериментальное подтверждение эффективности применения предложенного метода наладки, исследованы погрешности, вносимые самими устройствами.

Были исследованы возможные схемы базирования деталей, которые показали, что при закреплении заготовок малой жесткости "обратными" кулачками упругие отжатия по оси Z характеризуются значительной неравномерностью по углу поворота. Даны рекомендации с целью выравнивания жесткости по углу как введением дополнительных опор, так и изменением схемы базирования. Показана возможность устранения погрешности формы ТП путем предыскажения траектории движения резца.

Разработаны рекомендации для обтачивания ТП. Ступенчатое изменение скорости резания преследует две цели: сократить основное время и обеспечить шероховатость ТП в пределах допустимых отклонений. Чем больше наружный диаметр и меньше внутренний, тем эффективнее обработка ТП предложенным методом. Наибольший эффект получается при многопроходной обработке. При наибольшем диаметре обработки менее 75 мм абсолютное сокращение основного времени

незначительно и им можно пренебречь. В этом случае применение этого метода может быть оправдано лишь при высоких требованиях к однородности шероховатости ТП. Приведен пример составления УП.

В пятой главе приводится расчет технико-экономической эффективности предложенных методов обработки деталей класса "Диски". Рассматривается обработка группы деталей, включающей три типоразмера по 5 (малая партия) и 20 штук (средняя партия). В базовом варианте обработка деталей ведется по заводскому технологическому процессу. По II варианту ТП деталей обрабатываются методом ступенчатого изменения скорости резания на ТС с ЧПУ, а дополнительная обработка выполняется на обычном станке. В III варианте ТП деталей обрабатывается так же как и во втором варианте, но с использованием предложенного устройства для компенсации погрешностей осевых размеров, исключающего необходимость дополнительной обработки деталей. Расчеты показали, что трудоёмкость обработки по II варианту уменьшается на 15% и по III - на 25%. Себестоимость по второму варианту обработки уменьшается на 14%, а по третьему варианту - на 23%.

Условный годовой экономический эффект на единицу оборудования при обработке партий по 5 и 20 штук соответственно составляет: по второму варианту 895 и 4160 рублей, по третьему варианту 1120 и 5032 рубля.

Общие выводы

1. Погрешности, вызываемые тепловыми и упругими деформациями технологической системы, установки заготовки и наладки инструмента являются основными. Значительная часть допуска (50-65%) на осевой размер идет на компенсацию погрешности формы торцовой поверхности.
2. Оснащение токарных станков с ЧПУ внешними измерительными устройствами, контролирующими положение заготовки и корректирующими наладочные размеры с помощью пульта ЧПУ путем сдвига "нуля" станка, является перспективным направлением повышения точности обработки деталей малыми партиями.
3. Введением измерительного устройства, контролирующего осевое положение детали, устраняется влияние осевых тепловых смещений базы патрона и погрешностей установки заготовки на точность осевых размеров. При допуске на осевой размер детали 0,15-0,20 мм и менее, обработку необходимо вести с полуавтоматической коррекцией наладочного размера.

4. Перед началом размерной наладки станок обычно прогревают на холостом ходу. Длительность прогрева достигает на практике одного часа и более. Её можно сократить в два-три раза, произведя расчет длительности прогрева по предложенным в работе эмпирическим формулам, устанавливающим связь между режимами работы станка и его тепловыми деформациями.

5. При высоких требованиях к точности размеров и геометрической форме детали, обработку всех поверхностей необходимо вести на одной частоте вращения шпинделя. Это уменьшает влияние тепловых деформаций станка на точность обработки

6. С целью исключения неисправимого брака при обработке малой партии деталей часть наладочных работ необходимо выполнять непосредственно на станке и дополнительную наладку производить с пульта ЧПУ с учётом погрешностей взаимного расположения инструментов, определяемых по предложенной методике.

7. Предложенные устройства и методика выполнения размерной наладки уменьшают затраты времени в 2-3 раза и повышают точность её выполнения, исключают возможность получения неисправимого брака обработки первых деталей.

8. При отсутствии возможности обтачивания с постоянной скоростью резания торцовые поверхности деталей класса "Диски" необходимо обтачивать способом ступенчатого изменения скорости резания, который уменьшает основное время в I,0-I,6 раза в зависимости от отношения диаметра центрального отверстия к наружному диаметру.

9. Во избежание получения на торце детали характерного следа (риски) резца в местах смены частоты вращения шпинделя, при подготовке УП команды на изменение частоты вращения шпинделя и минутной подачи необходимо вводить в одном кадре. При чистовом переходе подача не должна превышать 0,I5-0,20 мм/об.

I0. С целью уменьшения суммарной погрешности формы торцовой поверхности обтачивание следует выполнять с подачей "к центру" при применении СОЖ или с подачей "от центра" без применения СОЖ.

II. Предыскажение траектории движения резца, с целью устранения погрешности формы торцовой поверхности при обработке малой партии деталей, следует выполнять на основании расчетной величины погрешности. Расхождение между расчетной и фактической величиной погрешности не превышает I8-22%.

I2. Результаты исследования, разработанные рекомендации и мето-

дики переданы в бюро станков с ЧПУ завода "Динамо" им.С.М.Кирова для использования при проектировании технологических процессов механической обработки.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Корсаков В.С.,Бурцев В.М., Атаев П.Л. Производительность обтачивания торцовых поверхностей."Известия вузов.Машиностроение", 1976, № 8.

2. Корсаков В.С.,Бурцев В.М., Атаев П.Л. Компенсация погрешностей размеров деталей при патронной обработке на токарных станках."Известия вузов. Машиностроение", 1976, № 9.

3. Атаев П.Л. Влияние тепловых деформаций токарного станка на точность обработки."Известия вузов.Машиностроение", 1977, № 4.

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА