

М 207300

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Валерий Иосифович СВЯТОЧЕВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

(Специальность 05.02.08 — Технология машиностроения)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НЕ ВЫДАЕТСЯ НА ДОМ



ОУЧ. ЦЕНТАЛЬНАЯ

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
засл. деятель науки и техники РСФСР, доктор технических
наук, профессор Корсаков В. С.

Официальные оппоненты:
профессор Саксельцев В. Г.,
кандидат технических наук Комаров В. В.

Ведущее предприятие — Государственный проектно-техно-
логический и экспериментальный институт «Оргстанкин-
пром».

Авто:

1973 г.

Заш:

1973 г.

на засе
зация
Трудов
имени
ская ул

и механи-
а и ордена
го училища
2-я Бауман-

Ваш
сим выс

чатую, про-

С д
лица.

отеке Учи-

M207300

Учен
канд

нов Ю. А.

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы предусматривается опережающий рост производства металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением и увеличение их выпуска за пятилетку не менее, чем в 3,5 раза.

В настоящее время на долю мелкосерийного производства приходится до 80% выпуска машиностроительной продукции. Этот вид производства оснащен универсальным оборудованием, которое позволяет осуществлять быструю переналадку с выпуска одного вида продукции на другой, но обладает низкой производительностью. В связи с этим возникает резкое противоречие между его мобильностью и производительностью. Оно устраняется применением станков с числовым программным управлением /ЧПУ/.

В настоящее время широкое использование этих станков сдерживается рядом причин. До сих пор недостаточно четко определена область рационального применения этого типа оборудования, не решен ряд проблем, связанных с повышением точности и производительности этих станков, нет достаточного количества подготовленного обслуживающего персонала.

В настоящей работе, выполненной в лаборатории кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ имени Н.Э.Баумана, исследованы некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения точности обработки деталей на токарных станках с ЧПУ.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Большой вклад в исследование точности обработки деталей на металлорежущих станках внесли проф. Б.С.Балашкин, проф. В.М.Кован, проф. В.С.Корсаков, проф. А.П.Соколовский и другие исследователи.

Станки с числовым программным управлением сравнительно новый тип оборудования. Их изучению посвящено много работ, однако большинство из них относится к области разработки новых конструкций этих станков, систем управления ими. В этой области большое значение имеют труды работников ЭНИИСа, Ленинградского и Харьковского политехнического института, а также ряда других организаций. Значительно меньше внимания уделяется вопросам влияния технологических факторов на точность обработки деталей.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1207300

Исслед. Святочевский В.И.

Производственные наблюдения показали, что в настоящее время на этих станках стабильно достигается лишь четвертый класс точности. Контролю подвергались детали классов валов, втулок и дисков. Только некоторые из них имели размеры в пределах третьего класса точности.

Такое положение не удовлетворяет требования промышленности. Поэтому целью настоящей работы является исследование точности обработки деталей на токарных станках с ЧПУ и разработка мероприятий по ее повышению.

В работе рассмотрены наиболее распространенные схемы обработки валов, втулок и дисков. Порядок разработки технологического процесса для каждой из этих схем идентичен. Особенностью станков с ЧПУ является то, что помимо обычных этапов проектирования необходимо преобразовать геометрическую информацию, характеризующую деталь, в формообразующую программу обработки, рассчитать координаты опорных точек, выбрать интервал и характер интерполирования, записать программу на программноносител и воспроизвести ее.

Вследствие этого кроме погрешностей, вызываемых упругими деформациями технологической системы под влиянием сил резания / Δ_y / , тепловыми деформациями системы / Δ_T / и размерным износом режущего инструмента / $\Delta_{\text{и}}$ / , погрешностей установки / ϵ / , настройки / Δ_H / и суммарной погрешности формы / $\sum \Delta \Phi$ / , при обработке на станках с ЧПУ возникает дополнительная, вносимая системой программного управления-

$\Delta_{\text{пу}}$. Она включает погрешности подготовки / $\Delta_{\text{п.пр.}}$ / и воспроизведения / $\Delta_{\text{в.пр.}}$ / программы. Кроме того на точность обработки влияет погрешность позиционирования рабочего органа станка / $\Delta_{\text{поз}}$ /. Поэтому при обработке деталей на станках с ЧПУ баланс суммарной погрешности обработки / Δ_{Σ} / будет отличаться от баланса Δ_{Σ} на обычных станках.

Для рассмотренных классов деталей структуры суммарных погрешностей обработки идентичны, но их составляющие отличаются по величине и направлению в зависимости от схем установки и обработки деталей. С целью изучения факторов, влияющих на точность обработки, и изыскания путей для ее повышения при проведении работы ставились следующие задачи:

1. Исследовать первичные погрешности обработки и выявить доминирующие в балансе суммарной погрешности обработки.
2. Разработать методику расчета ожидаемой точности обработки.

3. Разработать мероприятия по повышению точности обработки деталей на токарных станках с ЧПУ.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ.

Упругие деформации технологической системы под влиянием сил резания оказывают влияние на систематическую и случайную составляющие суммарной погрешности обработки, а также на величину суммарной погрешности формы обрабатываемой поверхности / $\pm \Delta \phi$ /. Для расчета этой погрешности использовался метод, предложенный проф. В.С.Корсаковым. Упругие отжатия элементов системы вызывают изгиб и смещение оси вращения детали. Их величина определяется из выражения

$$y = P_1 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \omega_{\text{ад}} + P_2 \left(\frac{x}{l}\right)^2 \omega_{\text{зд}} + P_3 \omega_{\text{суп}} + \frac{K^2 (l-x)^2}{3 E J l^3} P_1 \quad \text{I-II}$$

где $\omega_{\text{ад}}$, $\omega_{\text{зд}}$ и $\omega_{\text{суп}}$ - податливости передней бабки, задней бабки и суппорта станка; x - расстояние от переднего центра до резца; l - длина детали.

Расчет упругих деформаций ступенчатых валов связан с большим количеством вычислений. Замена ступенчатого вала эквивалентным гладким валом диаметром d_3 и такой же длиной l значительно упрощает определение прогибов. Эквивалентный диаметр рассчитывается по формуле 2-II для валов с односторонним утолщением и по формуле 3-II для валов с утолщением посередине.

$$d_3 = \frac{\sum d_i l_i}{l} \quad (2-II) \quad d_3 = \sqrt{\frac{\sum d_i^4 l_i}{l}} \quad (3-II)$$

Здесь d_i , l_i - диаметр и длина i -ой шейки вала.

Ошибка этого метода определялась экспериментально. Фактические замеры прогибов 15 типо-размеров ступенчатых валов и эквивалентных им гладких валов показали, что при отношениях диаметров шеек к их длинам более 0,3 ошибка расчета не превышает 10-15%. Эти цифры характеризуют ошибку определения максимального прогиба вала. При расчете погрешности формы отдельной поверхности, вызываемой

неравномерной податливостью технологической системы, погрешность расчета уменьшается и составляет 2-3%. При отношениях диаметров шеек к их длинам $/K/$ менее 0,3 расхождение велико. Оно достигает 50% номинальной величины прогиба вала. Следовательно, эти формулы можно с высокой степенью точности использовать для расчета упругих деформаций ступенчатых валов имеющих относительно высокую жесткость $/K$ более 0,3 /. Это утверждение справедливо в тех случаях, когда шейки испытываемых образцов незначительно отличаются по длине. Если на валу имеется местное утолщение большого диаметра и малой длины / фланец на конце или узкий буртик посередине /, то его не следует учитывать при расчете.

Исследование влияния точности изготовления центровых отверстий на погрешность формы обрабатываемой поверхности при установке детали в центра показало, что некруглость центровых гнезд незначительно влияет на погрешность формы обрабатываемой поверхности в поперечном сечении. Изменение некруглости обрабатываемой поверхности по длине детали не наблюдалось. Поэтому только при высоких требованиях к точности формы обрабатываемой поверхности, когда допуск на нее не превышает 5 мкм, следует ограничивать некруглость центровых отверстий до 5-8 мкм, что достигается растачиванием или шлифованием зацентрованного отверстия.

В тоже время смещение центровых отверстий оказывает заметное влияние на погрешность формы обрабатываемой поверхности в осевом сечении. Увеличение смещения осей центровых отверстий вызывает рост этой погрешности по зависимости, близкой к экспоненциальной. На величину постоянной экспоненты влияют величина силы резания, длина детали и длины отдельных ее поверхностей. По результатам исследований рекомендуется допускаемая величина смещения, не превышающая 0,1-0,2 мм.

Значительную долю в балансе суммарной погрешности обработки занимает погрешность настройки. Ее величина достигает 50-80 мкм, что составляет 40-45% всей Δ_2 .

Специфичным для токарных станков с ЧПУ является то, что резец настраивается в точку, расположенную вне детали.

Она называется нулевой и является началом цикла обработки. В целях сокращения вспомогательного времени широко применяется настройка вне станка, которая заключается в быстрой смене взаимозаменяемых резцовых блоков, предварительно настроенных на размер в оптических или механических приспособлениях. Погрешность этого метода $\Delta_{\text{нвс}}$ зависит от погрешности измерительного устройства $\Delta_{\text{изм}}$, погрешности изготовления инструментальной оснастки $\Delta_{\text{изг. бл.}}$, погрешности закрепления инструмента или быстросменного блока $\Delta_{\text{зак.}}$. Тогда

$$\Delta_{\text{нвс}} = K \sqrt{\Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{изг. бл.}}^2 + \Delta_{\text{зак.}}^2}.$$

Для определения количественных зависимостей нами были проведены исследования составляющих этой погрешности. Установлено, что при закреплении резца поле рассеяния положений его вершины в радиальном направлении составило 40 мкм, а при закреплении блока - 20 мкм. Величина $\Delta_{\text{изм.}}$ зависит от типа измерительного прибора и колеблется в пределах 2-20 мкм. В общем $\Delta_{\text{нвс}}$ достигает 40-50 мкм.

Погрешность фиксации возникает при повороте револьверной головки или поворотной резцедержки из-за наличия зазоров в механизмах фиксации и поворота. Расчетная величина составляет приблизительно 30 мкм, однако, эксперимент показал, что фактически она равна 16-18 мкм. Это объясняется тем, что практически головка занимает более стабильное положение, т.к. зазоры в процессе поворота и фиксации выйдут в одну сторону. С достаточной достоверностью можно считать, что $\Delta_{\text{фик.}}$ колеблется в пределах 15-20 мкм. В общем виде погрешность настройки рассчитывается по формуле

$$\Delta_{\text{н}} = K \sqrt{\Delta_{\text{нд}}^2 + \Delta_{\text{нвс}}^2 + \Delta_{\text{фик.}}^2 + \Delta_{\text{поз.}}^2},$$

где $\Delta_{\text{нд}}$ - погрешность настройки инструмента по пробным деталям.

Ввиду того, что перечисленные составляющие имеют значительную величину, рекомендуется настройку вне станка производить как предварительную, а окончательную - осуществлять по пробным деталям.

Для станков с ЧПУ характерна концентрированная обработка с частой сменой **типоразмеров** обрабатываемых деталей, поэтому обработка обычно производится в нестационарном тепловом режиме. В результате погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы, достигают величин, соизмеримых с полями допусков на получаемые размеры. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей практически убирает погрешности, вызванные нагревом резца и детали при точении, однако, как показали исследования, тепловые деформации станка при расчете ожидаемой точности обработки следует учитывать, т.к. они колеблются в значительных пределах и достигают 10–15% величины Δ_z .

Эксперименты проведены на станке ИК62ПУ. Установлено, что с ростом чисел оборотов шпинделя и натяга в переднем подшипнике максимальные значения деформаций возрастают. Зазор в переднем подшипнике шпинделя мало влияет на величину его тепловых смещений. Существенное влияние оказывают на них зазоры /натяги/ в передних опорах промежуточных валов коробки скоростей. Это позволяет соответствующей их регулировкой изменять тепловое поле передней стенки коробки скоростей, а следовательно и тепловые смещения шпинделя. Кроме того наблюдается разворот шпинделя в горизонтальной и вертикальной плоскостях, имеющий случайный характер. Его величина составляет примерно ± 10 мкм на длине 350 мм и ее следует учитывать при расчете точности обработки детали в патроне.

Погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента, составляет 10–20% Δ_z . Имеющиеся зависимости размерной стойкости инструмента от скорости резания позволяют определить режим обработки, при котором износ инструмента будет минимальным. Практически реализовать такой режим обработки можно только на станках, позволяющих в процессе обработки изменять числа оборотов шпинделя. Если это невозможно, скорость вращения шпинделя определяется по поверхности большего диаметра, что вызывает повышенный износ резца на остальных поверхностях.

Для повышения размерной стойкости инструмента необходимо определить оптимальное число оборотов шпинделя исходя

из того, что сумма отклонений фактических скоростей резания по отдельным поверхностям от оптимальной должна быть минимальной. На основании этого выведена формула для расчета числа оборотов шпинделя.

$$n = \frac{1000 \text{ c.l.}^m}{\pi T^m \left[\frac{1}{L} (L_i \sqrt{D_i}) \right]^m}$$

где L_i, D_i — длина и диаметр i ^{ой} поверхности детали;
 L — длина детали.

Для проверки этой формулы при обточке ступенчатых валов контролировалось количество деталей, обработанное за время, в течение которого размерный износ достигал 25 мкм. Скорость резания рассчитывалась по существующей методике и по приведенной формуле. Оказалось, что в последнем случае количество деталей в партии, обработанной за период размерной стойкости инструмента, возросло на 20–30%.

При обработке деталей на станках с ЧПУ система программного управления вносит дополнительную погрешность обработки, включающую в себя погрешности подготовки и воспроизведения программы. Погрешность подготовки программы складывается из погрешностей аппроксимации и интерполяции контура детали, для воспроизведения которого необходимо рассчитать координаты опорных точек, выбрать характер воспроизведения отрезков между ними и ввести эти данные в интерполяционное устройство. Если кривая $y = f(x)$ аппроксимируется кривой $y = \psi(x)$, должно соблюдаться условие

$$|f(x) - \psi(x)| \leq \varepsilon$$

где ε — заданная мера точности. Обычно она составляет 0,2–0,25 допуска на готовое изделие и рассчитывается в зависимости от доли ее в балансе суммарной погрешности обработки.

Большое влияние на надежность работы системы оказывает выбор программноносителя. Магнитная лента, широко применяющаяся в настоящее время для управления станками с ЧПУ, при несомненных достоинствах имеет ряд существенных недостатков. Большое влияние на качество записи оказывает величина сигнала на записывающей головке и тип ленты, т.к. в процессе хранения возможно ее размагничивание. Кроме того, при использовании этого программноносителя недопустимы

обрывы и пр., т.к. все это приводит к потере импульсов, снижает надежность работы системы, а следовательно и качество продукции. От этих недостатков свободны перфоленты на бумажной основе и на киноплёнке. Поэтому их применение более предпочтительно с точки зрения точности обработки.

Погрешность позиционирования суппорта / $\Delta_{\text{поз}}$ / оказывает существенное влияние на точность обработки. Совместное влияние многих факторов, часть из которых является случайными, не позволяет аналитически определить ее величину. Упрощенные зависимости не дают достаточно достоверного результата. Поэтому нами были проведены исследования факторов, влияющих на характер и величину этой погрешности. Точность перемещения суппорта контролировалась тензодатчиками, с которых сигнал подавался на усилитель 8УНЧ-7м, а затем на шлейф осциллографа Н700.

Для изучения влияния скорости перемещения суппорта на $\Delta_{\text{поз}}$ последний многократно перемещался по программе "вперед-назад" в одну точку с подачами 10, 80, 120, 160 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$. Анализ кривых распределения показал, что с ростом подачи растут систематическая и случайная составляющие погрешности позиционирования. Их резкое увеличение наблюдается при скоростях перемещения суппорта, превышающих 90-100 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$.

Влияние сил сопротивления перемещению на $\Delta_{\text{поз}}$ исследовалось по той же программе. К каретке суппорта прикладывались нагрузки 10 кГ и 20 кГ. Оказалось, что с увеличением силы погрешность позиционирования уменьшается.

Исследование влияния длины пути на $\Delta_{\text{поз}}$ производилось при перемещении суппорта на величину 40 мм, 0,2 мм и 0,02 мм. С увеличением длины пути поле рассеяния погрешности позиционирования практически не изменялось. Также незначительно изменялась и ее систематическая составляющая.

Отсюда следует, что $\Delta_{\text{поз}}$ исполнительного органа станка в основном зависит от скорости его перемещения, которая при повышенных требованиях к точности обработки не должна превышать 90-100 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$. Если скорость перемещения суппорта превышает эту величину, следует предусматривать ступенчатое торможение при подходе его в заданное положение.

ГЛАВА III. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ.

Суммарная погрешность обработки является следствием влияния ряда факторов, рассмотренных в гл. II. Исходя из этого, ее можно выразить в общем виде функциональной зависимости

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta_T, \Delta_{пу}, \Delta_{нов}) \quad \text{I-III}$$

Каждый из аргументов этой функции не зависит друг от друга и определяется конкретными условиями построения технологического процесса. Они складываются из ряда первичных погрешностей.

$$\Delta_T = f / \Delta_y, \epsilon, \Delta_H, \Delta_H, \Delta_T, \Sigma \Delta \Phi /;$$

$$\Delta_{пу} = f / \Delta_{аппр}, \Delta_{инт}, \Delta_{\lambda} /;$$

$$\Delta_{нов} = f / S, P_H, l /.$$

Приступая к расчету ожидаемой точности обработки, технолог должен иметь исчерпывающую информацию о заготовке, станке, инструменте и системе программного управления. На ее основании разрабатывается структура технологической операции и по известным правилам назначаются режимы резания. Расчет ожидаемой точности производится для "опасного" сечения, т.е. сечения, в котором податливость системы максимальна. Суммарная погрешность обработки определяется по методике, изложенной ниже. После расчета производится проверка. Если величина суммарной погрешности обработки окажется меньше допуска на размер, то производится окончательное назначение режимов резания и расчет настроечных размеров. Если это условие не выдерживается, производится анализ баланса Δ_{Σ} , выявление доминирующих погрешностей и разработка мероприятий по их уменьшению. Затем опять следует проверка. Очевидно, что расчет ожидаемой точности по предлагаемой методике есть задача многовариантная. Для ее решения целесообразно использовать ЦВМ.

Формула суммарной погрешности обработки партии деталей имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_H^2 + 3\Delta_K^2 + 3\Delta_T^2 + \Delta_{\text{Поз}}^2} + \Delta_{\text{ПУ}} + \Sigma \Delta \Phi$$

В зависимости от характера технологической операции те или иные слагаемые в этом выражении не учитываются. Так, при обработке деталей типа дисков величина Δ_K весьма незначительна. Погрешность подготовки программы следует учитывать лишь при обработке криволинейных или конических поверхностей и т.д. Элементарные погрешности, входящие в эту формулу, рассчитываются по зависимостям, приведенным в гл. II.

Баланс Δ_{Σ} на станках с ЧПУ значительно отличается от баланса Δ_{Σ} для обычных станков / табл. I /.

Таблица I

Наименование погрешности	Погрешность %	
	IK62	IK62ПУ
Δ_y	10-18	5-10
Δ_H	17-26	40-45
Δ_K	10-20	10-20
Δ_T	10-15	10-15
$\Sigma \Delta \Phi$	20-27	30-35

Повышение удельного веса погрешности формы и погрешности настройки при обработке на станках с ЧПУ объясняется спецификой их конструкции и системы управления. Так интерполяция и аппроксимация увеличивает погрешность формы обрабатываемого контура, а настройка вне станка значительно повышает удельный вес Δ_H в Δ_{Σ} . Погрешности, вызываемые действием других факторов, почти не отличаются по величине от аналогичных погрешностей обработки на универсальных станках. В общей сложности величина суммарной погрешности обработки на станке IK62ПУ может достигать 0,15-0,20 мм, что подтверждается экспериментом.

Методика расчета суммарной погрешности обработки одной детали ничем не отличается от вышеизложенной. Ее формула будет иметь вид:

$$\Delta_{\Sigma \text{д}} = \Delta_y + \varepsilon + \Delta_H + \Delta_K + \Delta_{\text{ПУ}} + \Delta_{\text{оф}}$$

Элементарные погрешности суммируются алгебраически, т.к. следует учитывать возможность их частичной или полной компенсации. Здесь Δ_y представляет собой погрешность формы, которая вызвана неравномерной податливостью технологической системы в различных сечениях.

$$\Delta_y = t_{\text{ост.мах.сеч.}} - t_{\text{ост.мин.сеч.}}$$

$\Delta_{\text{оф}}$ - погрешность формы обработанной поверхности, вызванная тепловыми деформациями и геометрическими неточностями станка.

$$\Delta_{\text{оф}} = \Delta_T \frac{l_i}{L} + \left(A_{\text{зп}} \pm \frac{\Delta_{\text{зп}}}{L} \right) \frac{l_i}{L}$$

где l_i - расстояние от торца шпинделя до расчетного сечения; L - длина заготовки; $\Delta_{\text{зп}}$ - поле рассеяния положения заднего центра под влиянием усилия закрепления; $A_{\text{зп}}$ - геометрическая погрешность положения заднего центра.

ГЛАВА IV. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ.

Основными технологическими методами повышения точности обработки являются:

1. Оптимизация режимов резания.
2. Применение самонастраивающихся / адаптивных / систем управления станками.
3. Предыскажение управляющей программы.

Применение ЦВМ для расчета оптимальных режимов резания затруднено сложностью учета переменных параметров обработки / припуска, твердости материала заготовки и др./, отсутствием точных базовых зависимостей для новых станков и сплавов. В этих случаях применение ЦВМ целесообразно для решения общих задач проектирования технологических процессов.

Частные задачи повышения точности обработки за счет регулирования ее параметров решаются адаптивными системами. Оснащение ими станков с ЧПУ весьма эффективно, т.к. многие узлы управления уже имеются в пультах станков. Регулируемые приводы подачи и шпинделя позволяют этим системам компенсировать погрешности обработки регулированием режимов резания.

Использование самонастраивающихся систем дает возможность повысить точность обработки и снизить ее себестоимость в 2-5 раз. Однако, существующие адаптивные системы управления обычно стабилизируют параметры обработки, т.е. сокращают величину случайной составляющей суммарной погрешности. Кроме того, при широком диапазоне изменения входных параметров они не всегда эффективны.

В этом случае возрастает значение предсказания управляющей программы, т.е. введения в нее заранее рассчитанной коррекции с целью сокращения систематической составляющей суммарной погрешности обработки. Как отмечалось выше, положение и характер образующей обработанной поверхности определяется уравнением I-II. Если резец в процессе обработки перемещать по траектории, которая является зеркальным отражением этой кривой и смещена относительно оси центров на величину отжатия передней бабки, то произойдет компенсация погрешностей. Такая управляющая программа была нами записана и реализована. Оказалось, что при точении валиков диаметром 30 мм и длиной 300 мм по обычной программе погрешность формы деталей достигла в среднем 0,113 мм, а при точении с предсказанной программой - 0,044 мм. Таким образом при обработке деталей этим методом погрешность размера сократилась примерно в 1,5-2 раза, а суммарная погрешность формы - в 2-3 раза.

Одним из достоинств станков с ЧПУ является возможность осуществлять обработку с переменной подачей. Это позволяет по-заранее известной зависимости изменять силу резания и уменьшать погрешности, которые вызываются неравномерной податливостью технологической системы. Исходя из этих условий, нами была обработана партия аналогичных валиков. В этом случае погрешность формы деталей сократилась в среднем в 1,8 раза.

Несомненным достоинством этого метода повышения точности обработки является его простота. Нет необходимости применять дорогостоящее оборудование / самонастраивающиеся системы /.

ГЛАВА V. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ.

Применение рекомендуемых методов повышения точности обработки позволяет получать детали по 2а-3 классам точности. Эту же точность можно достичь, производя предварительную обработку на станке с ЧПУ, а окончательную - на шлифовальном станке. Эффективность того или иного метода обработки определяется себестоимостью изготовления деталей, которая в свою очередь зависит от размера партии деталей. Сравнение указанных вариантов по технологической себестоимости показало, что окончательная токарная обработка экономична при малых периодически повторяющихся партиях деталей / 5-10 / штук. При больших партиях оказывается эффективнее второй вариант.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. Производственные наблюдения показали, что точность обработки на токарных станках с ЧПУ колеблется в пределах 2а-5 классов. Это не удовлетворяет требования промышленности. Результаты выполненных исследований позволяют повысить точность обработки до 2а-3 классов.

2. Установлено, что наибольший удельный вес в балансе суммарной погрешности обработки имеют погрешности формы обработанной поверхности / 30-35% / и настройки / 40-45% /.

3. При высоких требованиях к точности формы обрабатываемой поверхности в поперечном сечении / $\Delta \Phi < 5$ мкм /, некрутость центровых отверстий заготовки не должна превышать 5-8 мкм. Для этого они должны выполняться зацентровкой с последующим растачиванием или шлифованием.

4. Для уменьшения тепловых смещений оси шпинделя рекомендуется выравнивать тепловое поле передней стенки коробки скоростей, что достигается регулировкой радиальных зазоров передних опор шпинделя и промежуточных валов. Шпиндель рекомендуется располагать по оси симметрии передней бабки станка.

5. Для упрощения расчета упругих деформаций детали целесообразно заменять ступенчатый вал эквивалентным гладким валом, когда шейки вала незначительно отличаются по

длине, а отношение диаметров и длин шеек превышает 0,3. Местные утолщения при расчете учитывать не следует.

6. Для уменьшения погрешности позиционирования исполнительного органа станка, перемещающегося со скоростями, превышающими 90–100 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$, следует предусматривать ступенчатое торможение при подходе его в заданное положение.

7. Уменьшение закономерно изменяющейся погрешности формы обрабатываемой поверхности большой протяженности обеспечивает обработка с "предсказанием" управляющей программы или с переменной подачей. Первый метод позволяет сократить погрешность формы в осевом сечении в 2–3 раза, а второй – в 1,5–2 раза.

8. Окончательная токарная обработка валов по 2а–3 классам точности на станках с ЧПУ не всегда целесообразна. Она зависит от периодически повторяющейся партии деталей. Если партия превышает 5–10 штук, то экономичней производить предварительную обработку валов на станках с ЧПУ, а окончательную – на шлифовальных станках.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Святочевский В.И. и др. Исследование технологических возможностей механической обработки на станках с цифровым программным управлением. Материалы 3-й Всесоюзной научно-технической конференции МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1970.

2. Святочевский В.И. Влияние погрешности позиционирования суппорта токарного станка с ЧПУ на точность обработки. "Известия ВУЗов Машиностроение", №11, 1972.