

17421768
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

КОРОЛЬКОВ Борис Алексеевич

УДК 621.91 - 531.7

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА ТОКАРНЫХ
СТАНКАХ С ЧПУ

(Специальность 05.02.08 - Технология маши-
ностроения)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва

1984

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

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ГОРНЕВ В.Ф.

кандидат технических наук, старший
научный сотрудник ШЕМЕТОВ М.Г.

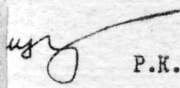
Ведущее предприятие - НПО "Оргстанкинпром"

Защита диссертации состоится "18" ~~июня~~ 1984 г. на заседании специализированного совета по технологии машиностроения шифр К-053.15.15 Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

... в одном экземпляре, заверенный
казанному адресу.

1984 г.


Р.К.МЕЩЕРЯКОВ

М421768

В соответствии с выработанным XXV и XXVI съездами партии курсом на интенсификацию производства, ЦК КПСС и Совет Министров СССР в Постановлении "О мерах по ускорению научно-технического прогресса в народном хозяйстве" (август 1983 г.) определили в качестве основного из главных направлений работы промышленности в условиях серийного производства широкую автоматизацию технологических процессов на основе применения гибких автоматизированных систем. Эти положения получили дальнейшее развитие на декабрьском (1983 г.) и внеочередном февральском (1984 г.) Пленумах ЦК КПСС, их актуальность была подчеркнута в речи Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Черненко К.У. перед избирателями Куйбышевского избирательного округа Москвы по выборам в Верховный Совет СССР одиннадцатого созыва.

Комплексная автоматизация производства означает усложнение технологической системы, увеличение количества ее элементов. Для обеспечения высокой точности и стабильности технологических процессов необходимо использовать элементы повышенной надежности. Это определяет направление работ по совершенствованию технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ: в частности, путем применения прогрессивных конструкций инструмента, систем автоматического управления процессом формообразования, а также выявления технологических закономерностей процессов обработки деталей и построения их математических моделей, что необходимо для оптимизации параметров технологических процессов и управления ими.

Высокие требования предъявляют к обработке поверхностей внутреннего контура, которые используют в качестве технологических баз при последующей обработке и сборке. Вопросам повышения точности размеров деталей, обрабатываемых на токарных станках, посвящен ряд работ, однако, технологические способы обеспечения точности формы и расположения поверхностей изучены недостаточно. Поэтому исследования, направленные на разработку новых и совершенствование существующих способов повышения точности и надежности обработки отверстий на токарных станках с ЧПУ, являются актуальными особенно в условиях гибкого автоматизированного производства (ГАП).

Цель работы. Исследование и разработка способов повышения точности обработки отверстий на токарных станках с ЧПУ, расшире-

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1421768

Корольков Б. А. Исследование



ние их технологических возможностей путем применения прогрессивных конструкций инструмента и систем автоматического управления точностью обработки.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения и общетехнических дисциплин (теории колебаний, теории систем автоматического регулирования и др.). Разработка математических моделей переходов обработки, отражающих закономерности формирования погрешностей обработки, базируется на основных положениях теории точности механической обработки и методов планирования эксперимента. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью ЭВМ.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлено влияние доминирующих факторов (упругие деформации, износ инструмента) на отклонение формы, взаимного расположения и шероховатость поверхности для переходов обработки сверлами и резцами, оснащенными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава (ОНП). Показана необходимость и возможность управления процессом формообразования, разработана и экспериментально исследована принципиально новая конструкция системы автоматического управления. Разработана методика определения эффективных условий выполнения переходов обработки отверстий с учетом требуемой точности и производительности.

Практическая ценность. Даны технологические рекомендации по применению сверл, оснащенных неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава и системы стабилизации положения вершины расточного резца в процессе обработки на токарных станках с ЧПУ. Разработана инженерная методика выбора рациональных условий выполнения переходов обработки.

Показано, что применение сверл, оснащенных неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, и системы стабилизации положения вершины расточного резца в процессе обработки обеспечивает повышение точности формы и расположения в 1,2 - 1,5 раза, позволяет уменьшить промежуточные припуски на 20-30%, в том числе и под шлифование, сократить количество переходов. При этом обеспечивается сокращение основного времени обработки в 3-5 раз.

Предложенные решения позволяют расширить технологические возможности станков с ЧПУ, встраиваемых в ГАП, за счет улучшения стружкодробления и обеспечить более эффективное их исполь-

зование на переходах сверления и растачивания вследствие повышения точности и надежности процесса обработки.

Реализация результатов работы. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований использовались при выполнении важной народнохозяйственной темы, направленной на повышение эффективности использования промышленных роботов на операциях механической обработки, а также внедрены в условиях серийного производства с ожидаемым экономическим эффектом 18,2 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана, на Республиканской научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития технических наук в Киргизии" г. Фрунзе, на шестой научно-технической конференции, посвященной 110-й годовщине со дня рождения Владимира Ильича Ленина, г. Калуга, на межзональной научно-технической конференции г. Фрунзе.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация изложена на 149 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и общих выводов, содержит 30 таблиц, 100 рисунков и список литературы из 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена характеристика ее направленности и научной новизны.

В первой главе проанализированы способы и определены резервы повышения точности и производительности обработки отверстий на токарных станках с ЧПУ.

На основании литературного обзора и статистических производственных исследований на станкостроительных заводах "Красный пролетарий" и им. С.Орджоникидзе установлены требования к точности поверхностей внутреннего контура (ВК) деталей, обрабатываемых в патроне на токарных станках с ЧПУ.

Наибольший удельный вес (45%) имеют детали с отверстием диаметром 20-65 мм и отношением длины к диаметру (l/d) в пределах

и, $\pm 5,0$ (60%). Требования к точности формы по VI-VII степеням точности ГОСТ 24643-81, размеров по 7-9 qualitетам.

Анализ технологических процессов обработки этих деталей показал, что режимы резания на переходах обработки в большинстве случаев ниже нормативных и назначаются без учета требований по точности формы и расположения. В связи с этим снижается эффективность применения токарных станков с ЧПУ.

Большой вклад в развитие теории точности механической обработки внесли: Соколовский Н.П., Кован В.М., Балакшин Б.С., Корсаков В.С., Дальский А.М., Проников А.С., Подураев В.Н., Горнев В.Ф., Базров Б.М., Колесов И.М. и др.

Анализ способов снижения отклонений формы в поперечном сечении и расположения обработанных поверхностей показывает, что возможны три пути повышения точности: 1) за счет снижения чувствительности технологической системы к входным воздействиям; 2) путем уменьшения уровня входных воздействий; 3) применением систем с обратной связью, в которых управляющее воздействие компенсирует смещение формообразующей вершины резца.

Практически используемыми способами снижения чувствительности технологической системы является повышение жесткости, применение различных конструкций виброгасителей. Однако возможности повышения жесткости технологической системы на переходе растачивания ограничены, а применение виброгасителей, повышающих устойчивость технологической системы, не обеспечивает заметного повышения точности формы и расположения обработанных поверхностей. Уменьшения уровня воздействий на технологическую систему достигают подбором геометрии режущего инструмента, режимов резания, что в ряде случаев ведет к снижению производительности обработки.

Применением систем автоматического управления процессом обработки является перспективным способом снижения отклонения формы и расположения. В случае использования этих систем для управления отклонениями формы в поперечном сечении и расположения возникают трудности, связанные с обеспечением высокого быстродействия исполнительного устройства. Сравнение эффективности систем автоматического управления точностью обработки построенных на принципе управления по возмущению и отклонению контролируемого параметра точности обработанной детали показало, что в последнем случае можно обеспечить большую точность и быстродействие системы.

На основании проведенного анализа сформулирована, указанная выше, цель работы и определены ее основные задачи:

- выявить закономерности формообразования поверхностей внутреннего контура деталей, обрабатываемых при закреплении в патроне на токарных станках с ЧПУ, на переходах сверления и растачивания инструментом, оснащенным непереключаемыми пластинами из твердого сплава;

- провести комплексное исследование переходов сверления и растачивания с целью определения доминирующих погрешностей и выявления технологических методов управления процессом, обеспечивающих получение высокой точности;

- разработать методику расчета точности обработки (отклонение формы и расположения поверхностей), базируясь на расчетно-статистическом методе исследования процесса, позволяющую определять оптимальные, с точки зрения точности, параметры указанных переходов;

- обосновать возможность применения системы автоматического управления отклонением формы и расположения, разработать конструкцию системы и исследовать эффективность ее работы;

- проанализировать методику проектирования токарной операции ЧПУ и разработать технологические рекомендации, с учетом результатов работы, по ее совершенствованию.

Во второй главе проведен анализ процесса формообразования поверхности отверстия при обработке сверлами ОНП и растачивании консольными оправками, дана методика расчета элементарных составляющих и суммарных отклонений формы и расположения.

Установлено, что процесс переноса погрешностей расположения, возникшей на этапе врезания инструмента, на последующие участки обработанного отверстия, характерный для случая обработки спиральными сверлами, при использовании сверл ОНП, не имеющих базирования по обработанной поверхности, не наблюдается. Эта особенность инструмента, а также сходное с растачиванием силовое воздействие на технологическую систему, позволяет применять единые методы анализа точности на переходах сверления и растачивания.

В общем случае смещение формообразующей вершины инструмента возникает в результате как кинематического, так и силового воздействия на технологическую систему

$$\Delta r_z = \sum_q A_q U_q + \sum_q A_q P_q$$

где U_q — элементарное кинематическое, а P_q — элементарное силовое воздействие; A — оператор системы, означающий задание способа, с помощью которого при известных воздействиях определяется составляющая смещения технологической системы.

В работе показано, что основную часть смещения формообразующей вершины составляют смещения, вызываемые силовым воздействием. Возникающая в процессе обработки сила резания может быть представлена в виде суммы $P(\varphi) = P_0 + P_{\text{лар}}(\varphi)$. Оператор A , величина которого при рассмотрении системы без учета инерционных сил равна податливости системы (W), также не остается постоянным в пределах одного оборота шпинделя $W(\varphi) = W_0 + W_{\text{лар}}(\varphi)$. Таким образом, смещение вершины инструмента, вызванное силой резания равно

$$U(\varphi) = P_0 W_0 + P_{\text{лар}}(\varphi) W_0 + W_{\text{лар}}(\varphi) P_0 + W_{\text{лар}}(\varphi) P_{\text{лар}}(\varphi),$$

где P_0 и W_0 — постоянные, а $P_{\text{лар}}(\varphi)$ и $W_{\text{лар}}(\varphi)$ — переменные по углу поворота шпинделя составляющие силы резания и податливости системы.

Отклонения формы и расположения образуются под действием факторов, изменяющих свою величину в пределах одного оборота заготовки. Таким образом, в реальных условиях имеет место не перенос, а преобразование исходных погрешностей заготовки. Однако учитывая, что составляющая $W_{\text{лар}}(\varphi)$ мала, можно приближенно считать, что отклонения формы и расположения заготовки копируются на обработанной детали. Это позволяет применить понятие коэффициента уточнения к этим погрешностям обработки.

Для перехода сверления в работе предложена методика оценки составляющих силы резания, основанная на разбиении общей глубины резания на участки, причем скорость резания на каждом из них определяется расстоянием до оси вращения заготовки

$$P_{q1} = C_{Pq} \left(\frac{a}{2n} \right)^{x_{Pq}} S^{y_{Pq}} K_{Pq} \sum_{i=1}^n \left[\frac{2\pi W_0}{1000} \left(R_{\text{от}} - \frac{a}{2n} i \right) \right]^{n_{Pq}},$$

$$P_{q1} = C_{Pq} \left(\frac{R_{\text{от}} + f - a + 2\delta}{2n} \right)^{x_{Pq}} S^{y_{Pq}} K_{Pq} \sum_{i=1}^n \left[\frac{2\pi W_0}{1000} \left(R_{\text{от}} - \frac{a}{2} - \frac{R_{\text{от}} + f - a + 2\delta}{2n} i \right) \right]^{n_{Pq}},$$

$$P_{q2} = C_{Pq} \left(\frac{R_{\text{от}} + f - a + 2\delta}{2n} \right)^{x_{Pq}} S^{y_{Pq}} K_{Pq} \sum_{i=1}^n \left[\frac{2\pi W_0}{1000} \left(\frac{a}{2} - f + \frac{R_{\text{от}} + f - a + 2\delta}{2n} i \right) \right]^{n_{Pq}},$$

$$P_{q3} = C_{Pq} \left(\frac{a - 2f}{2n} \right)^{x_{Pq}} S^{y_{Pq}} K_{Pq} \sum_{i=1}^n \left[\frac{2\pi W_0}{1000} \left(\frac{a}{2} - f \right) i \right]^{n_{Pq}}, \quad q = X, Y, Z.$$

где n – количество участков разбиения; a – длина участка режущей кромки; $\delta, \uparrow$ – соответственно перекрытие центра вращения заготовки и участков режущей кромки; W_g – число оборотов шпинделя; $R_{от}$ – радиус обрабатываемого отверстия.

Составляющие силы резания для сверла ОНП в целом определяются векторным суммированием составляющих для каждого из участков режущей кромки. Предложенная методика может быть использована для расчета геометрических параметров сверл ОНП. В этом случае геометрические параметры инструмента выбирает таким образом, чтобы тангенциальная и радиальная составляющие, для сверла в целом, были равны нулю.

Как показывает анализ, при токарной обработке отверстий основной вклад в постоянную составляющую податливости технологической системы вносит суппортная группа, а в переменную – трехкулачковый токарный патрон.

Для анализа переходов сверления и растачивания выбрана плоская расчетная схема, в которой параметры суппортной группы и расточной оправки учтены независимо. Это упрощает расчеты при изменении условий выполнения переходов, т.к. параметры оправок легко определяются аналитически.

При анализе погрешностей, возникающих вследствие упругих отжатий суппортной группы станка учтены смещения по осям X и Y , а также разворот вокруг оси Z . Движение суппортной группы и оправки описаны системой из четырех лианеризованных дифференциальных уравнений.

Неравномерная по углу поворота жесткость трехкулачкового токарного патрона является причиной разворотов заготовки и изменения составляющих сил резания. Угол разворота заготовки (β) и переменная составляющая осевой силы резания ($\Delta P_{ос}$) определяются по следующим зависимостям:

$$\beta(\varphi) = \left[\frac{A}{3} (m+1) \left(2 \cdot \frac{1}{R} - \frac{1}{L} \right) + \frac{A\sqrt{3}}{3B} (r_1 - mr_2) \left(\left(2 + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2L} \right) \sin\varphi - \left(\frac{1}{2R} - \frac{1}{2L} \right) \sqrt{3} \cos\varphi \right) \right] \sin\varphi + \left[\frac{A}{3} (m+1) \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{L} \right) + \frac{A\sqrt{3}}{3B} (mr_2 - r_1) \left(\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{L} \right) \sin\varphi - \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{L} \right) \sqrt{3} \cos\varphi \right) \right] \sqrt{3} \cos\varphi;$$

$$\Delta P_{ос}(\varphi) = K_p \frac{b_n}{2} \left[A_c \frac{2\Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3}{3R} \sin\varphi + A_c \frac{\sqrt{3}(\Delta_2 - \Delta_3)}{3R} \cos\varphi - \frac{B}{3} (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3), \right]$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – осевые деформации кулачков патрона; R – радиус базовой поверхности заготовки; A_c – параметр сверла, характери-

случайное расположение участков режущей кромки и равный $A_c = R_0 + 2R_1 - 2R_2 - R_i$ (R_1, R_2, R_3, R_0 - радиусы границ участков); K_p - коэффициент пропорциональности между сечением срезаемого слоя и силой резания; k, l - соотношения жесткостей кулачков патрона; m - соотношение осевых составляющих на периферийной и центральной участках режущей кромки сверла, A - осевая деформация кулачка патрона.

Отклонения формы и расположения, возникшие на переходе сверления, определяются суммированием разворотов заготовки и упругих откатов суппортной группы.

Методика определения суммарных отклонений формы и расположения, предложенная в работе, учитывает, что элементарные составляющие являются случайными векторами. При суммировании двух элементарных составляющих с амплитудами C_k^1 и C_k^2 суммарное отклонение равно:

$$C_k^0 = \sqrt{(C_k^1)^2 + (C_k^2)^2 + C_k^1 C_k^2 \cos \beta}$$

В реальных условиях обработки амплитуды (C_k^1, C_k^2) элементарных составляющих распределены по закону Релея, а угол между векторами (β) - по закону равной вероятности на отрезке $0 \leq \beta \leq 2\pi$.

На основании положений теории вероятности в ряде случаев можно перейти к более простому выражению для определения суммарной дисперсии, если пренебречь слагаемым (или суммой слагаемых), которое на порядок меньше величины наибольшей дисперсии. Возникающая при этом ошибка не превысит 5%.

В третьей главе экспериментально определено силовое воздействие на технологическую систему при сверлении, параметры суппортой и шпиндельной групп станка 16K20Ф3, исследовано влияние режимов резания и износа инструмента на точность обработки.

Экспериментальная проверка соотношений для расчета составляющих силы резания проведена с использованием сверл диаметром 35 и 45 мм в диапазоне режимов резания: $V = 89-221$ м/мин; $S = 0,06-0,2$ мм/об для обработки стали 45 ($\sigma_s = 750$ Н/мм²) и $V = 89-176$ м/мин; $S = 0,142-0,38$ мм/об - для обработки чугуна СЧ15. Получены следующие эмпирические зависимости:

- для стали - $P_k = 4213 D S^{0,66} V^{-0,16}$ (Н); $M_{k\tau} = 45 D S^{0,75} V^{-0,16}$ (Нм);
- для чугуна - $P_k = 325 D S^{0,61}$ (Н); $M_{k\tau} = 263 D S^{0,77}$ (Нм),

где P_x — осевая составляющая силы резания; $M_{кр}$ — крутящий момент.

Расхождение между результатами эксперимента и расчета не превышает 22% при обработке стали и 15% при обработке чугуна. Величина осевой составляющей силы резания примерно на 30%, а крутящий момент на 15% и меньше, чем для спиральных сверл.

Далее приведены результаты комплексного исследования параметров упругой системы станка 16К20Ф3. При нагружении осевой силой (15 кН) отжатие переднего торца шпинделя складывается, в основном, из трех частей: смещения передней бабки (24 мкм), деформации ее задней стенки (21 мкм) и деформации шпинделя (47 мкм).

Измерение смещений и разворотов заготовки, установленной в трехкулачковом токарном патроне, показало, что их величина зависит от радиуса и углового положения, относительно кулачков патрона, точки приложения осевой силы, радиуса базовой поверхности заготовки. В случае нагружения силой 8,33 кН на радиусе 20 мм величина упругих отжатий в пределах оборота заготовки колеблется от 11 до 25 мкм, а угол разворота от $14 \cdot 10^{-5}$ до $24 \cdot 10^{-5}$ рад. Результаты эксперимента подтвердили правильность выбранной расчетной схемы.

Для суппортной группы получены следующие значения податливостей: в направлении оси Y — $1,35 \cdot 10^{-5}$ мм/кН; в направлении оси X — $3,36 \cdot 10^{-5}$ мм/кН; крутильная податливость — $W_\varphi = 1,21 \cdot 10^{-9}$ рад/Н.мм. Динамические испытания показали, что в диапазоне частот 2–70 Гц коэффициент динамичности можно принять равным единице. В работе проведено комплексное исследование точности обработки отверстий сверлами ОНП на станке 16К20Ф3. Исследовалось влияние параметров технологической системы и режимов резания на величину радиального биения Δ_{rg} , значения спектра амплитуд C_g , составляющих гармоник отклонения формы в поперечном сечении, на параметры качества поверхности: величину поперечной волнистости W и параметр шероховатости R_a .

Установлено, что осевое биение участков режущей кромки сверла, имеющее величину 0,5 мм при использовании нешлифованных пластин класса допуска Ц, оказывает заметное влияние на точность обработки. Допустимая величина торцевого биения режущих кромок не должна превышать 0,05 мм, что достигается применением пластин класса допуска Б.

По результатам регрессионного анализа экспериментальных данных были получены математические модели перехода сверления, по-

позволяющие прогнозировать ожидаемую величину отклонения формы и расположения в зависимости от уровня режимов резания. Для величины радиального биения получена следующая зависимость:

$$\Delta r_B = 6,77 \cdot 10^{-2} - 4,09 \cdot 10^{-4} S - 2,69 \cdot 10^{-4} SV + 4,24 S^2 + 3,5 \cdot 10^{-1} V^2,$$

адекватная экспериментальным данным в диапазоне режимов резания $V = 113-226$ м/мин; $S = 0,1-0,3$ мм/об. Установлено, что величина подачи является доминирующим фактором, и ее увеличение ведет к росту погрешностей, а увеличение скорости резания — к их снижению. При величине подачи $S = 0,1$ мм и скорости резания $V = 226$ м/мин радиальное биение обрабатываемого отверстия не превышает $0,015$ мм.

Уменьшение жесткости технологической системы при увеличении вылета сверла приводит к росту радиального биения поверхности. Так, при вылете оправки $l = 155$ мм на режимах резания $S = 0,1$ мм/об и скорости $V = 158$ м/мин достигается $\Delta r_B = 0,02$ мм, а при вылете $l = 185$ мм на тех же режимах $\Delta r_B = 0,031$ мм. Это подтверждает тот факт, что на образование отклонений формы и расположения при сверлении оказывают влияние упругие отжатия суппортной группы станка.

Анализ спектра вибросмещения расточной оправки показал, что наибольшие амплитуды имеют составляющие с частотами, равными и кратными частоте вращения шпинделя. Кроме того, отмечено возрастание амплитуд виброскорости на частотах, близких к собственной частоте оправки ($2,7$ кГц), а на частотах, близких к собственной частоте суппортной группы, увеличения амплитуд виброскорости не установлено. Зависимости амплитуд вибросмещений от технологических факторов на частотах, равных f_0 и $2f_0$ (где f_0 — частота вращения шпинделя), качественно идентично зависимости составляющих силы резания от этих факторов.

Исследование влияния износа режущих кромок инструмента на параметры точности, являющиеся показателем стабильности процесса формообразования, показало, что для перехода сверления оно более существенно, чем для растачивания. Это связано с неравномерным износом участков режущей кромки сверла, что приводит к изменению как величины, так и характера нарушения технологической системы. При обработке отверстий в заготовках из стали 45 сверлами, оснащенными неизносостойкими пластинами из твердого сплава, радиаль-

ное биение, равное 0,027 мм при неизношенном сверле, увеличивает- ся до 0,035 мм после обработки 500 мм и до 0,042 мм после обра- ботки 1000 мм. Стабилизация точности формы и расположения дости- гается изменением режимов резания, в частности, снижением пода- чи. Как показывают исследования, ее влияние в этом случае более значительно, чем при неизношенном инструменте. Учитывая специфи- ку упругих отжатий технологической системы и износа инструмента, возможно проектирование наладок, в которых эти два фактора вза- имно компенсируются, и таким образом уменьшается поле рассеяния размера партии деталей.

В работе получены математические модели перехода сверления, связывающие с одной стороны точность обработки с уравнем режимов резания при различной величине износа режущих кромок инструмента.

В четвертой главе сформулированы требования к системе управ- ления, позволяющей повысить точность формы и расположения обраба- тываемой поверхности, разработана конструкция и проведено экспе- риментальное исследование ее работы.

Для эффективного снижения отклонений формы и расположения обработанной поверхности в поперечном сечении необходимо высокое быстродействие системы стабилизации положения вершины расточного реза (СНВР). Как показано в работе, это обеспечивается приме- нением системы, работающей на принципе управления по отклонению вы- ходной величины и использованием в качестве привода исполнитель- ного устройства пьезоэлектрического электромеханического преоб- разователя. Выбор в качестве контролируемой выходной величины смещения формообразующей вершины реза с номинальной траектори- ей позволил обеспечить эффективное снижение отклонений формы и расположения.

Существенное упрощение конструкции системы достигнуто огра- ничением полосы частот, в которой работает цепь обратной связи. Учитывая, что наибольшую величину имеют лишь первые 5-6 гармони- ческих составляющих отклонения формы и расположения, она выбра- на в пределах 2-300 Гц.

Предложенная система содержит: управляемую расточную оправ- ку, на которой расположены датчики тензометрического типа, изме- ряющие ее деформацию, преобразователь сигналов датчика, дифферен- цирующее с замедлением звено, предварительный и окончанный усил-

тели, корректирующее звено. Система СПВР работает следующим образом. Сигнал, пропорциональный деформации оправки, снимается с преобразователя сигнала датчиков и подается на дифференцирующее с замедлением звено, которое выделяет переменную составляющую. После усиления сигнал подается на управляемую расточную оправку, и ее смещения компенсируют возникшие упругие отжатия. Корректирующее звено служит для формирования требуемой амплитудно-фазочастотной характеристики системы СПВР. В качестве привода управляемой расточной оправки применен пьезодвигатель в виде набора дисков толщиной 0,3 мм из пьезокерамики ЦТС-23. При толщине набора 60 мм такой пьезопакет обеспечивает перемещение ± 25 мкм.

В работе приведены экспериментально измеренные передаточные функции реальных звеньев системы и на их основании получены передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы СПВР.

При анализе работы системы СПВР учтен нелинейный характер амплитудной характеристики пьезоэлектрического электромеханического преобразователя. Связь между исходными погрешностями, точностью обработки и коэффициентом усиления цепи обратной связи выражается следующей зависимостью:

$$\frac{1}{\delta_{11}} A_1 K_p + A_1 \frac{\delta_{21}}{\delta_{11}} \left[\frac{2K_y}{\pi} \left(\arcsin \frac{b}{A_1} + \frac{b}{A_1} \sqrt{1 - \frac{b^2}{A_1^2}} \right) \right] = C_{k1} K_p + A_1 \omega_1 m,$$

где δ_{11} , δ_{21} , δ_{31} — податливости управляемой оправки в направлении составляющих силы резания P_x , P_y и усилия управления; A_1 — амплитуда гармонической составляющей отклонения формы детали; K_p — коэффициент пропорциональности между глубиной и силой резания, равный $K_p = C_p S^{1/2} V^{-1/2} X_p t^{X_p-1}$; K_y — коэффициент усиления цепи обратной связи; C_{k1} — амплитуда гармонической составляющей отклонения формы заготовки; b — длина линейного участка амплитудной характеристики пьезопакета; m — масса колеблющейся части оправки.

Для обеспечения высокой эффективности системы рекомендуется коэффициент усиления цепи обратной связи выбирать на основании заданной точности заготовки и детали, причем, режимы резания назначаются из условий устойчивости технологической системы при отключенной цепи обратной связи.

Экспериментальное исследование эффективности системы СПВР проводилось при обработке заготовок из стали 45 на режимах резания $V = 113-226$ м/мин, $S = 0,1-0,2$ мм/об, $t_{min} = 0,25$ мм, радиальное биение обрабатываемой заготовки в пределах 0,25-0,5 мм.

Критерием эффективности работы системы служил коэффициент уменьшения отклонения формы и расположения по сравнению с обработкой при отключенной цепи обратной связи.

Анализ результатов показал, что при работе управляемойточной оправки на линейном участке статической характеристики с увеличением уровня режимов резания эффективность системы возрастает. Среднее значение коэффициента уменьшения отклонений формы и расположения, в указанном диапазоне режимов резания составляет 6-7. При исходном радиальном биении поверхности заготовки в 1 мм обработка с системой СПВР обеспечивает за один проход радиальное биение 0,01 мм.

В пятой главе приведена методика назначения рациональных условий выполнения переходов обработки отверстия. Рассмотрена технико-экономическая эффективность применения сверл ОНМ и системы СПВР.

Методика выбора условий выполнения переходов обработки отверстия учитывает явление копирования отклонений формы и расположения, в также то обстоятельство, что заданная точность размера, формы и расположения должны обеспечиваться одновременно. Заданные значения отклонений формы и расположения рассматриваются при этом как случайные, распределенные по закону Реллея. Для расчетов отклонений формы и расположения на смежных переходах использованы полученные в работе их математические модели.

В работе показано, что основными техническими преимуществами применения сверл ОНМ и системы СПВР является увеличение технологической производительности обработки в 3-5 раз, возможность на 10-15% уменьшить величины промежуточных припусков, а также снизить на 40-60% их неравномерность, что особенно важно в тех случаях, когда детали подвергаются химико-термической обработке.

Экономическая эффективность внедрения результатов работы определена для случая обработки детали-представителя и составляет 6,3 тыс. рублей на один станок.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований переходов обработки отверстий на токарных станках с ЧПУ

сверлами и резцами, оснащенными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, разработаны адекватные модели образования отклонений формы и взаимного расположения, базирующиеся на теории точности механической обработки и позволяющие осуществить управление процессом с целью достижения высокой точности и производительности обработки. Внедрение рекомендаций работы позволяет в 1,2 - 1,5 раза снизить отклонение формы обработанных отверстий, уменьшить на 10-15% промежуточные и общий припуски, а также на 40-60% их неравномерность. Основное время на переходах сверления уменьшается до 3 раз, на переходах растачивания до 30%.

2. Установлено, что процесс образования геометрических отклонений при сверлении и растачивании инструментом, оснащенным неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, подчиняется общим закономерностям, это позволило разработать единую модель их образования. В общем балансе погрешностей упругие деформации технологической системы, связанные с линейными и угловыми перемещениями ее элементов, составляют до 80%.

3. За счет выбора рациональных параметров инструмента и условий обработки на переходах сверления может быть достигнуто радиальное биение отработанных отверстий не более 0,04 мм, отклонение от круглости не более 0,008 мм и шероховатость (по параметру R_a) не более 2,5 мкм. За счет правильной пространственной ориентации режущих кромок сверла и путем уменьшения подачи при износе инструмента в 1,5-2 раза уменьшается поле рассеяния размера партии деталей и снижается влияние износа режущих кромок сверла.

4. Показано, что наиболее эффективным способом повышения точности и производительности растачивания отверстий является управление (стабилизация) положением вершины расточного резца в процессе обработки с использованием предложенной системы, работающей на принципе компенсации отклонений выходного параметра точности обработанной детали. Система стабилизации характеризуется низкой чувствительностью к уровню режимов резания, высоким быстродействием и обеспечивает в диапазоне режимов резания $S = 0,1-0,2$ мм, $V = 113-141$ м/мин, глубине резания $t_{\text{min}} = 0,25-0,5$ мм и исходном радиальном биении поверхности заготовки до 1-1,5 мм радиальное биение не более 0,03 мм, что до 8 раз меньше, чем при обработке без применения системы стабилизации.

5. Закономерности процесса, полученные при исследовании переходов сверления и растачивания позволили разработать инженерную методику назначения рациональных условий выполнения этих переходов. Показано, что в условиях гибкого автоматизированного производства на станках с ЧПУ применение сверл, оснащенных неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, дает возможность получить высокую точность и производительность, повысить надежность процесса, обеспечив активное стружкодробление. Расточка отверстий с применением системы стабилизации на 20-30% повышает фактическую производительность из-за уменьшения необходимого количества переходов и интенсификации режимов резания.

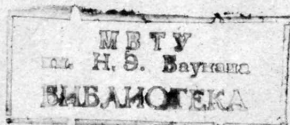
6. Результаты исследований внедрены на ряде предприятий с ожидаемым экономическим эффектом 18,2 тыс.рублей.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Мещеряков Р.К., Корольков Б.А. Эффективность применения сверл с неперетачиваемыми пластинами при обработке отверстий на токарном станке с ЧПУ. - Состояние и перспективы развития технических наук в Киргизии: Тез. докл. Респ. научно-техн. конференции - Фрунзе, 1980, с.119-122.
2. Исследование чувствительности технологической системы к переменному силовому воздействию. /Корольков Б.А., Мещеряков Р.К., Мякина В.А. и др. -Шестая научно-техн. конференция, посвященная 110-й годовщине со дня рождения В.И.Ленина: Тез. докл. Респ.научно-техн.конференции. - Калуга, 1980, с.162-164.
3. Корольков Б.А. Точность токарной обработки при использовании системы стабилизации положения инструмента. - Проблемы совершенствования технологической оснастки в машиностроении: Тез. докл. Респ. научно-техн.конференции. - Фрунзе, 1981, с.71-72.
4. Мещеряков Р.К., Корольков Б.А., Рытов П.С. Пути повышения точности обработки при растачивании - Управление качеством в механосборочном производстве: Тез. докл. Респ.научно-техн. конференции. - Пермь, 1981, с.161-162.

5. Корольков Б.А. Сверла с неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава - Информационный листок - М.:/ГОСНТИ, 1981, №198-81, 3 с.
6. Мещеряков Р.К., Корольков Б.А. Точность формообразования поверхностей вращения на токарных станках с ЧПУ - Труды /МВТУ, 1982. №376, с.101-111.

Мещеряков



Подл. к печ. 15.05.84 Зак. 884 Объем 1 п.л. Тир. 100 экз.
Типография МВТУ. 1070056 Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5
№ д - 83130