1414690

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

ВОРОБЬЕВ АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ

УДК 621.992.32

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1983

ВНИИ

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 Подураев В.Н.

– кандидат технических наук, с.н.с. Черный А.П.

Ведущее предприятие – Московское производственное объединение "Станкостроительный завод им. С.Орджоникидзе"

Защита состоится "_____"_____1984 г. на заседании специализированного Совета К053.I5.I5 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана
...уманская 5.
...я в библиотеке МВТУ им. Н.Э.

...ляре, заверенный пе-
...v.

_____198 г.

...ЩЕРЯКОВ Р.К.

М414690

...г. № Д- II4 4I3
...506

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с выработанным XXУ и XXУI съездами КПСС курсом на интенсификацию общественного производства ЦК КПСС и Совет Министров СССР в Постановлении "О мерах по ускорению научно-технического прогресса в народном хозяйстве" (август 1983г.) определили в качестве одного из главных направлений работы промышленности в условиях серийного производства широкую автоматизацию технологических процессов на основе комплексной автоматизации машиностроения и применения гибких автоматизированных систем. Это определяет направления работ по совершенствованию технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ, в частности путем выявления физических закономерностей процессов обработки деталей и построения их математических моделей, что необходимо для комплексной оптимизации параметров технологических процессов и операций.

М1414690

В станкостроении 90% деталей типа валов должны быть изготовлены с резьбой 5-6 степеней точности по ГОСТ I6 093-8I. Одним из самых точных и универсальных способов резьбообработки таких деталей является нарезание резьбы резцом на токарных станках. Обработку таких деталей целесообразнее выполнять на токарных станках с ЧПУ с использованием принципа концентрации переходов обработки, включая резьбонарезание по автоматическому циклу. Это позволит повысить производительность переходов нарезания резьбы по сравнению с универсальным оборудованием в 3-4 раза, а в целом производительность токарной операции в I,7-2,2 раза.

Однако, комплексная обработка деталей на станках с ЧПУ внедряется медленными темпами. Одна из причин - имеющиеся рекомендации по нарезанию резьбы часто не учитывают специфику применения станков с ЧПУ и не позволяют получать резьбы с точностью выше 7-8 степени и высокой производительностью. Поэтому исследования, направленные на разработку новых и на совершенствование существующих способов нарезания резьбы, особенно в условиях гибкого автоматизированного производства (ГАП), являются актуальными.

Цель работы. Исследование и разработка способов повышения точности и производительности нарезания резьбы на токарных станках с ЧПУ, расширение технологических возможностей и области их

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1414690
Воробьев А.Ю. Исследование

применения путем назначения эффективных условий обработки на основе стохастической модели случайного процесса формирования погрешностей, разработанной схемы резания и системного подхода к решению задачи.

Методы исследований. Изучение процесса нарезания резьбы проводилось на основе представления условий обработки как элементов сложной системы. Исследование и разработка математических моделей процесса, отражающих физические закономерности формирования погрешностей обработки, базируется на основных положениях теории точности механической обработки и методах математического планирования эксперимента. При обработке экспериментальных данных и оценках их достоверности использованы методы теории вероятностей, корреляционного анализа и теории случайных процессов. Для экспериментальных исследований разработана система оперативной обработки информации и контроля за ходом проведения эксперимента на базе микропроцессора. Определение эффективных условий резьбонарезания с учетом точности и производительности осуществлялось методами нелинейного математического программирования.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований показано, что процесс формирования погрешностей резьбы является случайной функцией. При расчете точности резьбонарезания использована теория нестационарных случайных процессов, что позволяет определить точностную надежность и фактическую производительность обработки.

Предложена новая схема резьбонарезания для станков с ЧПУ (ромбическая схема, А.С.СССР № 782963) и установлены ее технологические закономерности и область применения, реализация которых позволяет сократить число переходов обработки, повысить качество нарезаемой резьбы и улучшить процесс стружкодробления.

Разработана методика определения эффективных условий резьбонарезания на основе выделенных связей сложной системы, включающая параметрическую оптимизацию режимов по переходам ромбической и профильной схем обработки с учетом точности нарезаемой резьбы и требуемой производительности.

Анализ полученных закономерностей позволил определить способы повышения точности и производительности нарезания резьбы на токарных станках с ЧПУ.

Практическая ценность. Методика определения условий резьбо-

нарезания, как перехода токарной операции, разработана на примерах метрической резьбы с шагами I,25–3,0 мм для деталей типа валов, диапазон диаметров нарезаемых резьб лежит в пределах 20–I40 мм. Использование полученных рекомендаций позволяет повысить точность обработки до 5–6 степени или до 40%, уменьшить шероховатость поверхности резьбы с $Ra = 2,5$ мкм до $Ra = I,25...0,63$ мкм, увеличить производительность в I,5–2,5 раза, вдвое сократить трудоемкость подготовки управляющих программ. Предложенная схема резания (ромбическая) позволяет эффективно применять переход нарезания резьбы комплексной токарной операции в условиях ГАП за счет улучшенного стружкодробления и повышенной стабильности процесса.

Создано математическое обеспечение для обработки экспериментальной информации, получаемой при исследованиях физических закономерностей обработки. Разработан комплект программ для расчетов технологических параметров резьбонарезания на основе микропроцессорных устройств, которые могут быть использованы в качестве подпрограмм систем оперативного управления станком.

Реализация результатов работы. Результаты исследований внедрены в условиях серийного производства на двух машиностроительных заводах г. Москвы, использованы при разработке технических условий на твердосплавные резьбовые пластины (ВНИИинструмент) и системы автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки (МИЭМ). Годовой экономический эффект, полученный от внедрения перехода резьбонарезания токарной операции только в П/О "Станкостроительный завод им. С.Орджоникидзе", составил I5,5 тыс. рублей на один токарный станок с ЧПУ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и положительно оценены на научно-технических семинарах кафедр "Технология механосборочного производства" МВТУ(г. Москва, I979–I983г.г.) и "Прикладная математика" МИЭМ (г. Москва, I980 г.); на научно-техническом семинаре "Повышение эксплуатационной надежности использования станков с ЧПУ" в ПДНТП (г. Пенза, 1982 г.); на республиканской научно-технической конференции "Состояние и перспективы применения вычислительной техники в машиностроительной промышленности Узбекистана" (г. Ташкент, I982 г.); на республиканской научно-технической конференции "Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении" (г. Ереван, I982 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, из них 2 авторских свидетельства СССР.

Объем работы. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста и состоит из введения, семи глав, выводов; содержит 103 рисунка, 14 таблиц, библиографию из 126 наименований, 6 приложений.

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 резьбонарезания на токарных станках с ЧПУ, сформулирована цель работы и поставлена задача определения условий резьбонарезания, как сложной системы.

Большой вклад в изучение и развитие расчетно-аналитического метода вычисления точности обработки внесен Кованом В.М., Соколовским А.П., Балакшиным Б.С., Базровым Б.М., Гавриловым А.Н., Дальским А.М., Корсаковым В.С., Подураевым В.Н., Прониковым А.С. и др. Применительно к резьбонарезанию вопросы точности обработки и выбора схем резания исследованы Бобровым В.Ф., Бокиным М.Н., Горневым В.Ф., Медведевым И.В., Моисеевым А.В., Никифоровым А.Д., Обловым В.К., Цуховским Е.С., Пушминым Б.М., Садовым В.А., Тауритом Г.Э., Черным А.П., Ямниковым А.С. и др. Изучение закономерностей процесса осуществлялось без учета реального стохастического характера формирования погрешностей резьбы и их изменения во времени.

Для повышения эффективности резьбонарезания Вульфсоном И.А., Эстерзоном М.А. и Ковнацким Л.М. предложен способ нарезания резьбы на станках с ЧПУ с попеременным образованием зазора между сторонами профиля и режущей кромкой резца. Дальнейшим этапом совершенствования процесса резьбонарезания является разработка эффективной для станков с ЧПУ схемы резания (ромбическая схема), на которую получено авторское свидетельство [2]. Отличие разработанной схемы от известных заключается в том, что при нарезании резьбы с шагом P часть черновых переходов выполняется с осевым смещением резца на величину Δ_2 до получения вспомогательной многозаходной резьбы с числом заходов H, шагом захода,

равным Δ_z, причем $P = \Delta_z H$. В работе поставлена задача изучения технологических возможностей схемы резания и сокращения времени на подготовку управляющих программ.

Резервом повышения производительности обработки на токарных станках с ЧПУ является использование твердосплавных пластин в качестве бесподналадочного инструмента и повышение стабильности обработки. Влияние профиля вершины режущей части на стабильность обработки и стойкость резцов исследовано Антоновым Н.П., Лифарем Л.К., Сидоровым А.Т.. Ими определены оптимальные параметры вершины, но без учета требований к точности формирования впадины резьбы, определенных ГОСТ 16 093–81.

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

– разработать комплексную методику определения условий резьбонарезания как сложной системы, включающую оптимизацию режимов резания, расчет фактической производительности и точности, повышение стабильности обработки за счет оптимальных параметров вершины режущей части резьбового резца;

– выявить физические закономерности и построить математическую модель формирования суммарной погрешности резьбы и точностной надежности в виде случайного процесса;

– определить технологические параметры способа образования профиля резьбы по ромбической схеме и разработать систему подготовки управляющих программ на базе микропроцессора типа "ИСКРА-1256";

– определить необходимые условия для использования пластин в качестве бесподналадочного инструмента.

Во второй главе определены контролируемые параметры резьбы и средства для их измерения, интегрированный критерий оценки технологической стойкости резцов, методика проведения исследований и обработки опытных данных, применяемая аппаратура.

Исследования физических закономерностей проведены в два этапа: 1 – изучение точности резьбонарезания на станке мод. 16К20Ф3 с системой управления Н22-1М в производственных условиях; 2 – исследование упругих отжатий элементов технологической системы и вызывающих их сил резания, определение технологических параметров ромбической схемы резания на токарно-винторезном станке мод. 16К20ПФ1 в лабораторных условиях.

При проведении экспериментов нарезались метрические резьбы с шагами 1,5-2,5 мм на деталях из сталей 45,40Х, 40ХІЗ, ХІ8НІОТ, номинальный наружный диаметр заготовок - 40-50 мм. Резьба нарезалась резцовыми блоками с механическим креплением твердосплавных неперетачиваемых пластин ромбической и прямоугольной формы. В качестве материала режущей части использован твердый сплав ТІ5К6 Т5КІО. Углы заточки пластин - стандартные: $\gamma = 0^{\circ}$, $\alpha = 6^{\circ}$, $\varepsilon = 59^{\circ}\ 30'$. Интервал скоростей резания 70-130 м/мин.

При исследовании точности обработки на каждой из резьбовых шеек на длине 20-60 витков находились элементарные составляющие погрешности среднего диаметра, половины угла профиля и шага резьбы. Измерения параметров резьбы проведены на универсальном измерительном микроскопе УИМ-23.

При определении погрешностей от упругих деформаций технологической системы составляющие силы резания определены на экспериментальной установке, включающей в себя: токарный станок І6К20ПФІ вычислительный комплекс "ИСКРА-І256"; блок предварительной настройки инструмента ПН-02Г; динамометр УДМ-600; осциллограф КІ2І. Для получения статистически приемлимых результатов количество опытов принято равным 30-ти. Обработка полученных данных осуществлялась общепринятыми методами математической статистики с использованием критериев Стьюдента, Фишера и др.

Использование в экспериментальной установке микропроцессора позволяет оперативно рассчитывать условия обработки и анализировать результаты измерений, при необходимости результаты выводятся на мозаичное печатающее устройство "ДАРО-І154" в виде протокола эксперимента.

Критерии точности резьбы и затупления резца определены из условия обеспечения полной взаимозаменяемости и свинчиваемости резьбового соединения. В результате экспериментов установлено, что линейный износ u по вершине резца с радиусом R и соответствующее изменение внутреннего диаметра резьбы $\Delta d_{вн}$ определяют интегрированный технологический критерий затупления инструмента при контроле резьбы предельными калибрами с допуском на приведенный средний диаметр Td_2 : $2u = \Delta d_{вн} \leq Td_2$ при $R \geq R_{min}$, где R_{min} - минимальное значение R, определяемое из условия стабильности протекания техпроцесса и нормального изнашивания режущей части пластины: $R_{min} = 0{,}1P \leq R \leq R_{max} = 0{,}144P$.

В третьей главе определены элементарные погрешности параметров резьбы, силовые зависимости, используемые при расчетах упругих отжатий системы в виде случайных функций, погрешность наладки, возникающая при замене пластины или ее повороте.

При исследовании закономерностей копирования погрешностей установлено, что доминирующим фактором в упругих отжатиях системы, влияющим на точность нарезаемой резьбы, является смещение профиля резца, обусловленное разворотом пластины в основной плоскости под действием силы резания. Это приводит к возникновению погрешности половины угла профиля, что составляет 20–40 мкм в приведенной погрешности среднего диаметра резьбы. Установлено, что основной причиной этой погрешности является низкая жесткость узла базирования и закрепления пластины, которая в 4–10 раз меньше жесткости других узлов технологической системы и равна 4 000–7 000 Н/мм.

При изучении силовых закономерностей математические ожидания случайных функций составляющих силы резания аппроксимированы нелинейными зависимостями вида $y = a x^{b} e^{cx}$ в соответствии с методикой Грановского Г.И. Дисперсии процессов определены как стационарные (постоянные во времени) центральные моментные функции второго порядка, например, для составляющей P_y: $D\{P_y\} = 30$ Н. Мгновенный закон распределения процессов – нормальный. Неизвестные значения параметров определены эмпирически по методике регрессионного анализа и теории случайных процессов для ромбической, профильной и генераторной схем резания и представлены в работе.

В четвертой главе рассматривается методика определения радиуса при вершине резьбового резца, определяющего стабильность обработки и стойкость инструмента, обеспечивающая выполнение требований по точности нарезаемой резьбы в соответствии с критерием.

Стабильность стойкости инструмента характеризуется в работе отношением максимальной T_{max} к минимальной T_{min} стойкости пластин (показатель стабильности) и зависит от радиуса при вершине R (область {R} см. в гл.2): $T_{max}/T_{min} = (R_{max}/R_{min})^{1,21}$. Для условий ГАП большой разброс стойкости недопустим, поэтому целесообразно ввести разбраковку пластин по радиусу на группы с уменьшенными на число групп допусками. По ТУ 48-19-113-74 допуск на радиус TR = 0,2 мм, показатель стабильности при этом равен 40; при разбраковке пластин на 10 групп с допуском TR' = 0,02 мм в группе с R = 0,1 ± 0,01 мм показатель стабильности равен 1,3. Это позволяет использовать пластины с заранее известной гаранти-

рованной стойкостью.

В результате измерений партии из 50-ти пластин определено, что в пределах одной пластины погрешность радиуса равна 0,03 мм и показатель стабильности равен I,I9. В пределах партии при произвольном выборе пластины погрешность радиуса увеличивается до 0,I2 мм, $R = 0{,}209 \pm 0{,}058$ мм и показатель стабильности равен 2.

В производственных условиях резцы одного типоразмера используются для нарезания резьб с разными шагами в некотором диапазоне $[P_{min}, P_{max}]$. В работе показано, что для удовлетворения требований ГОСТ I6 093-8I на точность резьб с шагом I,0-5,5 мм необходимо использовать 4 типоразмера резцов, причем соответствующими резцами из каждого комплекта можно нарезать резьбы с шагом I,0-I,25; I,5-2,0; 2,5-3,5; 4,0-5,5 мм. В общем случае необходимо выдерживать соотношение $P_{max} \leq 1{,}44\, P_{min}$.

Возможность бесподналадочного использования резцов ограничивается точностью нарезаемых резьб, погрешностью настройки технологической системы $\Delta_н$ и величинами других элементарных погрешностей. При этом необходимым условием является выполнение неравенства $2k_н\Delta_н \leq T d_2$, где $k_н$ – коэффициент, зависящий от баланса прочих элементарных погрешностей, ориентировочно $k_н > 2$.

При замене изношенной пластины $\Delta_н = \sqrt{4\Delta^2 d_{вп} + 47\Delta^2 \frac{\alpha}{2}}$, где $\Delta d_{вп}$ – погрешность диаметра вписанной окружности, мкм; $\Delta \frac{\alpha}{2}$ – – погрешность половины угла профиля пластины, рад. При перевороте пластины $\Delta'_н = 6{,}86\,\Delta \frac{\alpha}{2}$. По измеренным значениям $\Delta_н = 0{,}I47$ мм при замене пластины и 0,054 мм при ее повороте, а $\Delta'_н = 0{,}008$ мм. Погрешность методики аналитического расчета $\Delta_н$ по сравнению с экспериментом составила I9%.

Оценка полученных результатов показывает, что при замене пластины до 90% всей погрешности составляет величина $\Delta d_{вп}$. Для уменьшения погрешности настройки предложена новая схема базирования пластины с использованием принципа совмещения баз. В этом случае базирование осуществляется по задним поверхностям рабочей стороны пластины так, что зажимное усилие поджимает пластину к базовым элементам. Погрешностью настройки при этом можно пренебречь как при замене пластины, так и при ее повороте.

Пятая глава посвящена расчету точности резьбонарезания на основе стохастической модели формирования погрешности, рассматриваемой в виде случайного процесса, и определению фактической

производительности обработки.

Копирование погрешности многопереходной обработки за счет упругих отжатий технологической системы в радиальном направлении определено с помощью коэффициента уменьшения погрешности многопереходной обработки: $k_y = 2 k_{py} c_p k_{сл} k_{тр1} k_{тр2} S_{pN} tg \frac{\alpha}{2} / \mathcal{Y}$ где k_{py} – коэффициент пропорциональности в формуле $P_y = k_{py} P_z$ c_p – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства обрабатываемого материала; $k_{сл}$ – коэффициент сложности формирования стружки; $k_{тр1}$ – коэффициент трения по задней рабочей поверхности инструмента; $k_{тр2}$ – коэффициент трения по нерабочей стороне профиля резца; S_{pN} – радиальная подача на последнем переходе резьбонарезания; $\mathcal{Y}$ – коэффициент жесткости технологической системы в радиальном направлении.

В результате экспериментальных исследований установлено, что смещение вершины резца обусловлено низкой жесткостью узла крепления пластины и связано с угловым поворотом пластины под действием составляющей P_x силы резания. Суммарный коэффициент уменьшения приведенной погрешности $k_{y\Sigma}$, учитывающий угловой поворот и радиальные упругие отжатия, равен:

$$k_{y\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{2 k_{py} k_{сл} \tilde{k} S_{pN} tg \frac{\alpha}{2}}{\mathcal{Y}}\right)^2 + \left[\frac{3440 (k_{px})_{пп} \tilde{k} (S_{p1} + R) tg \frac{\alpha}{2}}{\mathcal{Y}_{инс}}\right]^2},$$

где $\mathcal{Y}_{инс}$ – коэффициент крутильной жесткости резцового блока; $(k_{px})_{пп}$ – коэффициент пропорциональности для определения составляющей P_x на этапе врезания; $\tilde{k}$ – обобщенный коэффициент, равный $\tilde{k} = c_p k_{тр1} k_{тр2}$.

При измеренных значениях радиальной жесткости системы СПИД в 20 000 Н/мм и крутильной жесткости 7 700 Н/рад $k_{y\Sigma} = 0{,}17$; при этом доля радиальных упругих отжатий составила 15%.

В экспериментальной части исследований установлено, что упругие отжатия системы и вызывающие их силы резания изменяются во времени обработки и существенно зависят от износа (состояния) инструмента. Полученные результаты позволяют установить стохастическую взаимосвязь между износом, силой резания и настроечным размером системы и описать ее с помощью аппарата случайных функций.

Рассматриваемые случайные функции составляющих силы резания и внутреннего диаметра резьбы – $P_z(L)$, $P_y(L)$, $d_{вн}(L)$ являются одномерными зависимостями, где L – путь резания, эквивалентный времени. Случайные функции являются нестационарными случайными

последовательностями, т.к. параметры процесса зависят от начала отсчета времени (пути резания) и определяются периодически после изготовления одной или нескольких деталей. К полученным результатам применимы выводы эргодической теории нестационарных процессов и критерий сходимости в среднеквадратическом смысле.

Все элементарные погрешности, влияющие на точность резьбы, разделены на случайные величины и случайные процессы. Группа погрешностей, рассматриваемых в виде случайных величин, формирует постоянную во времени погрешность со средним квадратическим отклонением

$$\sigma_{const} = \sqrt{\sigma^2(f(\Delta_y)) + \sigma^2(f(\Sigma\Delta_{ст})) + \sigma^2(f(\Delta_{су})) + K_T\sigma^2(f(\Sigma\Delta_T)) + \sigma^2(f(\Delta_{пп}))},$$

где $\sigma(f_i)$ – среднее квадратическое отклонение элементарной приведенной погрешности; $f(\Delta_y)$ – суммарная диаметральная компенсация упругих отжатий технологической системы с учетом радиальных и угловых перемещений пластины; $f(\Sigma\Delta_{ст})$ – суммарная диаметральная компенсация геометрических погрешностей технологической системы; $f(\Delta_{су})$ – – приведенная погрешность системы управления; $f(\Delta_{пп})$ – приведенная погрешность от действия переходных процессов; $f(\Sigma\Delta_T)$ – приведенная погрешность тепловых деформаций технологической системы; K_T – – коэффициент относительного рассеяния погрешности $\Sigma\Delta_T$. Погрешности наладки и подналадки технологической системы рассматриваются ниже при построении модели процесса.

К группе погрешностей, рассматриваемых в виде случайных процессов, относятся элементарные погрешности, изменяющиеся во времени и зависящие от износа инструмента.

При работе до подналадки математическое ожидание среднего диаметра резьбы $M\{d_2(L)\}$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma\{d_2(L)\}$ определяются следующими зависимостями:

$$M\{d_2(L)\} = M\{d_2(0)\} + 0{,}23L^{-0{,}19}e^{0{,}1L} + 0{,}438L^{0{,}649}e^{0{,}046L}/J;$$

$$\sigma\{d_2(L)\} = \sqrt{\sigma^2_{const} + \sigma^2(\Delta_H) + \{\sigma^2_u(L) + \sigma^2_P(L) + 2[r_{uP}\sigma_u(L)\sigma_P(L) + r_{Pd}\sigma_P(L)\sigma(\Delta_H)]\}},$$

где $\sigma(\Delta_H)$ – среднее квадратическое отклонение погрешности наладки технологической системы; $\sigma_u(L), \sigma_P(L)$ – средние квадратические отклонения износа резца и силы резания Ру; r_{ij} – коэффициент корреляции рассматриваемых погрешностей. В фигурных скобках зак-

лючена переменная часть погрешности $\sigma\{d_2(t)\}$.

При обработке деталей после подналадки с момента времени t_{nogi} процесс описывается параметрами:

$$M\{d_2(t_{nogi},t)\} = M\{d_2(t_{nogi})\} + [M\{d_{вн}(t)\} - M\{d_{вн}(t_{nogi})\}] +$$

$$+ [M\{d_2(P_y(t))\} - M\{d_2(P_y(t_{nogi}))\}], \quad t \in [t_{nogi}, t_{nog(i+1)}];$$

$$\sigma\{d_2(t_{nog}, t)\} = \sqrt{\sigma^2_{const} + \sigma^2_{nog} + \sigma^2_p(t) + \sigma^2_u(t) + [K_u [M\{d_2(t)\} - M\{d_2(0)\}]]^2 + 2\sum r_{ij}\sigma_i\sigma_j},$$

где σ_{nog} – среднее квадратическое отклонение погрешности подналадки технологической системы. Рассмотренная модель учитывает, что во время подналадок ряд погрешностей компенсируется изменением настроечного размера.

Считается, что процесс обработки, определенный на множестве $\{t\}$, обеспечивает заданную точность при обработке партии деталей из Π штук, если для каждого момента $t_к$ выполнено неравенство $P_{бр}(t_к) < [P_{бр}]$, $t_к \in \{t\}$, где $P_{бр}(t)$ – вероятность выхода поля рассеяния погрешности обработки за пределы поля допуска; $[P_{бр}]$ – предельно допустимый уровень брака, определяемый технико-экономическими условиями обработки. Выполнение неравенства является критерием оценки точности обработки.

Для построения алгоритма расчета точности обработки критерий $P_{бр}(t_к) < [P_{бр}]$ разбивается на 2 необходимых и 2 достаточных условия, обеспечивающих: 1 – возможность первичной наладки технологической системы (первое необходимое условие); 2 – обработку без подналадок заданного количества деталей с начала работы (первое достаточное условие); 3 – возможность подналадки системы в процессе работы (второе необходимое условие); 4 – обработку минимально допустимого количества деталей Π' между двумя подналадками (второе достаточное условие). Величина Π' определяется средствами контроля деталей и системой подналадки, $\Pi' \geq 1$.

Для определения фактической производительности обработки разработан алгоритм пошагового расчета точностной надежности, реализованный на вычислительном комплексе "ИСКРА-1256". Выходными данными расчета являются точность обработки на каждый момент времени и вероятное количество годных деталей $K_{годн}$, обработанных за период стойкости инструмента; количество подналадок

для обработки партии деталей; количество смен инструмента. На их основе определена фактическая производительность токарной операции, учитывающая точность нарезаемой резьбы и применяемого оборудования:

$$Q = \frac{\eta_{ис}\,\gamma_{п}\,П}{[\sum_{i}(t_{pi}+t_{xi})+t_{всп}+\Sigma t_{с}]\,П+\Theta_{нал}+n_{см}\,\Theta_{пер}},$$

где $\eta_{ис}$ – коэффициент использования оборудования с учетом организационных простоев, равный 0,80; $\gamma_{п}$ – коэффициент выхода готовой продукции; $\Sigma(t_{pi}+t_{xi})$ – суммарное время рабочих и несовмещенных холостых ходов с учетом всех переходов чистового обтачивания и резьбонарезания; $t_{всп}$ – вспомогательное время ручных операций для установки и снятия деталей; $\Sigma t_{с}$ – собственные внецикловые потери; $\Theta_{нал}$ – среднее время единичной наладки станка на обработку партии деталей; $n_{см}$ – ожидаемое количество смен инструмента, определяемое как целая часть от деления размера партии $П$ на вероятное количество годных деталей $K_{годн}$; $\Theta_{пер}$ – среднее время переналадки станка при замене пластины.

Результаты расчетов показывают, что на токарных станках с ЧПУ типа 16К20Ф3 могут обрабатываться резьбы 5–6 степеней точности, что эквивалентно уменьшению суммарной приведенной погрешности среднего диаметра на 25–40 мкм по сравнению с ранее применявшейся технологией. При снижении требований к точности резьбы с 6 до 8 степени (увеличение допуска на приведенный средний диаметр с 0,150 до 0,300 мм) производительность повышается на 14% ($\omega_{ц}$ = 1/30, $\gamma_{п}$ = 0,95, $\Theta_{нал}$ = 15 мин, $\Theta_{пер}$ = 15 мин, $П$ = 50 шт). При сокращении времени переналадки с 20 до 10 минут производительность повышается с 0,27 до 0,37 шт/мин, т.е. на 27%, а использование пластин в качестве бесподналадочного инструмента эквивалентно дополнительному повышению производительности на 35%.

Применение ромбической схемы по сравнению с профильной позволяет повысить производительность на 14% за счет сокращения числа переходов обработки (шаг 1,5 мм). Определено, что производительность зависит также от сочетания размерной стойкости инструмента и партионности. В случае, когда размер партии меньше, но близок к гарантированной стойкости резца, производительность максимальна, возрастая при этом на 10–20%.

В шестой главе определен метод решения нелинейной задачи математического программирования, приводятся данные по оптимизации

условий обработки, причем в качестве целевой функции используется технологическая себестоимость обработки.

В рассматриваемых схемах резания целевая функция является аддитивной и для профильной схемы закон распределения припуска по переходам неизвестен. Поэтому для профильной схемы задача оптимизации параметров $\{V_i, S_{pi}\}$ решена методом динамического программирования с использованием основного функционального уравнения динамического программирования – уравнения Беллмана.

Оптимизация режимов ромбической схемы проводится в расширенной области $\{V_i, S_{pi}, \Delta_{zi}\}$, поэтому задача оптимизации усложняется, но количество возможных вариантов пространственного графа состояний сокращено за счет определенных закономерностей формирования ромбического сечения. Поэтому разработанный алгоритм оптимизации может быть реализован на микропроцессорных устройствах с объемом оперативной памяти 4К.

Выходными данными программы, представленной на машинно-ориентированном языке микропроцессора "ИСКРА-1256", является распечатка управляющей программы для системы управления станком. Полученные подпрограммы могут использоваться в системах автоматизированного проектирования условий резания на станках с ЧПУ.

В работе приведены примеры расчета оптимальных режимов и распечатки управляющих программ. Например, для нарезания резьбы М39х1,5–6g по стали 45 резцом Т15К6, R_{min} = 0,15 мм, требуется 4 перехода при обработке в условиях ГАП по ромбической схеме со скоростью 95 м/мин (800 об/мин). При этом радиальные подачи S_{pi} по переходам и осевые смещения резца Δ_{zi} равны: $S_{p1} = S_{p2} = 0{,}428$ мм; $\Delta_{z1} = 0{,}471$ мм; $\Delta_{z2} = -0{,}235$ мм; $S_{p3} = 0{,}408$ мм; $\Delta_{z3} = 0$; $S_{p4} = 0{,}100$ мм. При обработке резьбы М39х2–6g и повышенных требованиях к стружкодроблению число переходов возрастает до 7-ми: $S_{p1} = S_{p2} = S_{p3} = 0{,}412$ мм; $\Delta_{z1} = \Delta_{z2} = \Delta_{z4} = 0{,}463$ мм; $S_{p4} = S_{p5} = S_{p6} = 0{,}401$ мм; $\Delta_{z3} = -0{,}695$ мм; $\Delta_{z5} = -0{,}231$ мм; $\Delta_{z6} = 0$; $S_{p7} = 0{,}100$ мм ($R_{min} = 0{,}2$ мм).

<u>В седьмой главе</u> на основе трансформированного графа нахождения эффективных условий обработки и полученных зависимостей разработан алгоритм комплексного определения условий резьбонарезания на токарных станках с ЧПУ. Проведена оценка эффективности рассмотренных в работе способов повышения точности и производительности обработки.

Использование алгоритма позволяет уменьшить приведенную пог-

решность среднего диаметра резьбы на 15–20 мкм только за счет рационального выбора радиальных подач на первом и последнем переходах обработки, что составляет 10–15% от общего поля допуска. Учет и согласование размера партии с вероятной стойкостью инструмента позволяет повысить производительность обработки на 10–20%.

В приложениях описан аналитический метод расчета коэффициента уменьшения погрешности одно- и многопереходной обработки, представлены программы расчета оптимальных режимов ромбической и профильной схем обработки, показано применение ромбической схемы к разработке новых конструкций резьбообразующего инструмента, проведен расчет параметров пластины с плоской вершиной.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании установленных в работе физических закономерностей резьбонарезания исследованы и разработаны способы повышения точности и производительности обработки на токарных станках с ЧПУ. Их реализация позволяет повысить точность резьбонарезания по сравнению с ранее применявшейся технологией с 7–8 до 5–6 степени точности (по среднему диаметру) за счет уменьшения суммарной приведенной погрешности на 25–40 мкм. Одновременно в 1,5–2,5 раза повышается фактическая производительность обработки.

2. Установлено, что в суммарной погрешности параметров резьбы от упругих деформаций технологической системы угловой поворот пластины в базовом гнезде резца доходит до 90%. Показано, что за счет оптимального назначения радиальной подачи на первом и последнем технологических переходах, а также использования измененной конструкции резцового блока точность резьбы увеличивается за счет сокращения погрешности обработки на 20–40 мкм или на 18–30% для резьбы среднего класса точности.

3. Закономерности процесса, используемые при расчетах точности обработки, определены в виде случайных функций, что позволило построить стохастическую модель формирования суммарной погрешности случайного процесса резьбонарезания и установить фактическую производительность обработки. Назначение режимов резания с учетом рассчитанных по модели оптимальных соотношений точности резьбы, применяемого оборудования, стойкости резца и партионности дает возможность увеличить производительность на 25–30%.

4. Исследованы различные схемы резьбонарезания на токарных станках с ЧПУ и разработана новая схема резания (ромбическая схема, авторское свидетельство СССР № 782963). Использование ромбической схемы сокращает число переходов обработки в среднем на 2–3 перехода (15–25%) по сравнению с профильной схемой (производительность при этом повышается на 10–20%) и повышает точность обработки за счет уменьшения радиальных упругих отжатий в 1,5–2 раза. Шероховатость поверхности резьбы уменьшается с $Ra = 2,5$ мкм до $Ra = 1,25...0,63$ мкм. Экономический эффект от внедрения ромбической схемы по сравнению с профильной составляет 800 руб/ при годовой программе 20 тыс. деталей с двумя резьбовыми шейками каждая.

5. Определены условия повышения производительности обработки за счет бесподналадочного использования твердосплавных пластин. Предложенное изменение конструкции узла базирования и закрепления пластины обеспечивает бесподналадочное использование пластин и сокращает время на переналадку технологической системы в среднем с 15–20 до 2–3 минут, что эквивалентно повышению производительности в 2–2,5 раза в условиях серийного производства. Время простоев станка из-за потерь на переналадки уменьшается на 80–90

6. Установлено, что в условиях гибкого автоматизированного производства одним из способов повышения стабильности процесса и стойкости инструмента является разбраковка пластин по радиусу при вершине. Это уменьшает количество поломок пластин из-за хрупкого выкрашивания вершины на 60–70% и на 40–60% повышает фактическую производительность обработки. Для повышения надежности процесса определены условия обработки, обеспечивающие процесс активного стружкодробления.

7. Составлена библиотека программ для оптимизации условий резьбонарезания на вычислительных комплексах типа "ИСКРА-1256" с печатающим устройством типа "ДАРО-1154", что позволяет автоматизировать и вдвое сократить трудоемкость подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ при работе по ромбической схеме. Разработанные алгоритмы оптимизации позволяют уменьшить технологическую себестоимость на 13–30% по сравнению с действующими нормативами.

8. Результаты исследований внедрены на двух предприятиях г. Москвы, в МИЭМе и ВНИИинструменте. Годовой экономический эффект, полученный от внедрения технологических рекомендаций по построе-

ния токарной операции, связанной с переходом резьбонарезания, только в Московском П/О "Станкостроительный завод им. С. Орджоникидзе" составил 15,5 тыс. рублей на один токарный станок с ЧПУ.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, указанных в списке библиографии. Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Воробьев А.Ю., Петрушин С.И. О точности обработки деталей резцами.- Изв. ВУЗов. Машиностроение, 1977, № 2, с. 138-142.

2. А.С. 782963 (СССР). Способ многопроходного нарезания резьбы на станках с ЧПУ / МВТУ им. Н.Э.Баумана; авт. изобрет. Р.К.Мещеряков, А.Ю.Воробьев.- Заявл. 31.01.79, № 2719115/25-08; Опубл. в Б.И. 1980, № 44.

3. Воробьев А.Ю. Аналитические методы расчета коэффициента уменьшения погрешности. МВТУ. М., 1982.- 10с.,ил. Библиогр. 4 назв. (рукопись деп. в НИИМАШе 28 июля 1982 г., № 188мш-Д82).

4. Воробьев А.Ю., Корендясев К.А. Точность резьбонарезания на станках с ЧПУ с учетом погрешности резьбовых пластин.- Респ. научно-техн. конференция. Технологические пути повышения качества в машиностроении и приборостроении.: Тез. докл.-Ереван,1982.--с. 110.

5. Воробьев А.Ю., Мещеряков Р.К. Современные способы многопроходного нарезания резьбы на станках с ЧПУ.- Респ. научно-техн. конференция. Состояние и перспективы применения вычислительной техники в машиностроительной промышленности Узбекистана.: Тез. докл.- Ташкент, 1982.- с. 77-78.

6. Воробьев А.Ю., Музыкант Я.А. Взаимосвязь геометрических параметров режущей части и области применения резьбовых резцов.-- В кн.: Новые высокопроизводительные конструкции режущего инструмента, технология его изготовления и рациональная эксплуатация. М., 1982.- с. 24-30.

МВ
им. Н.Э.
БИБЛИО