

М 474057

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

Жуйков Валерий Анатольевич

УДК 621.941.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ НЕЧЕРСТКИХ
ВАЛОВ МНОГОРЕЗЦОВЫМ ТОЧЕНИЕМ С УРАВНОВЕШИВАНИЕМ
СИЛ РЕЗАНИЯ

Специальность 05.02.03 - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1988

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

Научные руководители - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Корсаков В.С.
- кандидат технических наук, доцент Бурнев В.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Чернянский П.М.
кандидат технических наук
Пегов В.В.

Ведущее предприятие - Кировское электромашиностроительное предприятие имени

спец
нина,
Знаме
ресу:

ни Н.

печать

кандид

на заседании
о ордена Ле-
ового Красного
умана по ад-
д.Б.
ке МВТУ име-

заверенный

Г.

ков Р.К.

М 474057

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Актуальность темы. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1986 - 1990 гг. и на период до 2000 года предусмотрено повышение производительности труда в машиностроении не менее, чем в 1,5...2,0 раза.

Решение поставленной задачи возможно только на основе все более полной автоматизации машиностроительного производства. Наибольший эффект достигается тогда, когда объектом автоматизации являются технологические процессы, использующие высокопроизводительные методы формообразования и схемы построения операций. К такому относится исследуемый в настоящей работе способ многолезцового обтачивания, при котором резцы расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси центров станка, с равномерным угловым шагом. При переходе от обработки одной ступени вала к другой резцы синхронно перемещаются в радиальном направлении по заданной программе. Многолезцовая параллельная обработка с уравниванием сил резания, присущая данному способу, обеспечивает уменьшение упругих отжатий заготовки, многократное повышение производительности труда. Этот способ успешно решает проблему эффективной обработки нежестких валов на токарных станках с ЧПУ.

Исследования, выполненные в нашей стране и за рубежом, направленные на совершенствование конструкций исполнительных органов станков, выявление особенностей формирования погрешностей обработки и динамической устойчивости технологической системы (ТС), способствовали популяризации и все возрастающему вниманию к данному методу.

Вместе с тем до настоящего времени отсутствуют комплексные исследования, обеспечивающие возможность управлять точностью обработки с ограничениями по динамической устойчивости ТС, что предопределило актуальность исследований в этой области.

Цель работы. Назначение условий выполнения операции многолезцовой токарной обработки с уравниванием сил резания деталей типа нежестких валов, обеспечивающих заданные параметры точности.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



Методы исследований. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования проводились на базе основ технологии машиностроения с использованием основных положений теории колебаний, теории резания металлов, методов численного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений и статистической обработки результатов измерений. Расчеты выполнялись на ЭМ ЕС-1033. Основные теоретические выводы подтверждены практически. Экспериментальные исследования выполнены на токарных станках с ЧПУ с использованием безынсертционной бесконтактной измерительной аппаратуры.

Научная новизна. Разработана математическая модель взаимосвязей технологических факторов с параметрами точности и динамической устойчивости ТС в условиях точения несколькими резцами с уравниванием сил резания. На основе машинных и натуральных экспериментов вскрыты закономерности протекания процесса многорезцового формообразования; обуславливающие потерю устойчивости ТС и формирование погрешностей формы и взаимного положения поверхностей. Обоснована методика назначения условий обработки, обеспечивающих достижение требуемой точности размеров и формы и устойчивое протекание процесса.

Практическая ценность. Экспериментальные и теоретические исследования доказали эффективность использования метода многорезцового точения с уравниванием сил резания для обработки деталей типа нежестких валов. Предложена методика и математические зависимости для назначения режимов резания, геометрии инструментов и погрешностей размерной настройки, обеспечивающих заданные значения выходных параметров процесса на стадии технологического проектирования. Разработано математическое и программное обеспечение для прогнозирования выходных параметров точности и динамического состояния ТС, комплекс технологической оснастки для реализации метода и приведенных в работе рекомендаций. Изготовлен опытно-промышленный образец многорезцовой оснастки для станка с ЧПУ.

Реализация работы. Результаты исследований и разработок приняты к внедрению на КЭМПО им. Лепсе с ожидаемым экономическим эффектом 9,3 тыс. рублей на единицу модернизируемого оборудования. Техническая документация на многорезцовую тех-

нологическую оснастку передана в Кировский межотраслевой территориальный ЦНТИ (шифр КД 86 - 002) и 12 машиностроительным предприятиям по их запросам. Сведения о люнете - виброгасителе, использованном при подготовке образцов, включены в "Справочник токаря-универсала" (Под ред. М.Г.Шеметова. - М.: Машиностроение, 1987. - С. 355-356).

Апробация работы. Материалы исследований и диссертации в целом докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедр "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1984 - 1987 годах; на областных научно-практических семинарах НТО Машпром Кировской области в 1982 - 1987 годах; на областной научно-технической конференции "Научный потенциал вузов - народному хозяйству", апрель 1987 года, г. Киров; на республиканском научно - практическом семинаре "Системное проектирование гибких автоматизированных производств", декабрь 1985 года, г. Владимир; на научно - техническом семинаре "Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов", май 1986 года, г. Москва; на всесоюзной научно - технической конференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки", октябрь 1986 года, г. Ленинград.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 11 работ, в том числе 5 авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 8 таблиц, 86 рисунков, список литературы из 115 наименований, 7 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы исследования точности и динамической устойчивости процесса многорезцово́й токарной обработки с уравниванием сил резания деталей типа нежестких валов, обоснован выбор объекта и

поставлены задачи исследований.

Анализ и классификация известных схем формообразования поверхностей вращения несколькими резцами, расположенными в одной плоскости, перпендикулярной оси центров станка, позволили обосновать совокупность признаков, обеспечивающих априорно наибольшую эффективность метода. Установлено, что отсутствуют сравнительные данные по влиянию количества резцов на выходные параметры точности и виброустойчивости процесса. Обработка по методу деления толщины срезаемого слоя имеет ряд преимуществ: упрощается наладка резцового блока, обеспечивающая уравнивание сил резания, она обладает большей мобильностью и упрощенной конструкцией привода при обработке на станках с ЧПУ.

На основании вышеизложенного в качестве объекта исследований выбрана операция многорезцовой токарной обработки с разделением удаляемого слоя металла по толщине среза с количеством резцов в наладке 2, 3 и 4. В исследуемой ТС была реализована схема формообразования без поднастройки резцового блока или резцов по силам резания.

Исследованиями, выполненными в работах Купцова С.Г., Козлова А.И., Дюнова А.В., Калинина С.Г., Нагорняка С.Г., Мертсона И.В., Дорохина Н.Б., Пегова В.Б. и других, доказано, что при токарной обработке несколькими резцами с уравниванием сил резания существенно повышаются производительность и точность формы и размеров деталей вследствие уменьшения упругих деформаций подсистемы заготовки. В большей степени этот эффект проявляется при адаптивном управлении поперечными суппортами.

По результатам исследований выявлены факторы, обуславливающие формирование составляющих погрешности размера и формы поверхностей, получены зависимости, обеспечивающие возможность расчета доминирующей погрешности, определяемой упругими деформациями ТС. Вместе с тем указанные методы практически не уменьшают исходное искривление оси заготовки, для устранения которого рекомендуется оснащать резцовый блок люнетом охватывающего типа. Отсутствуют комплексные исследования влияния геометрии инструментов, режимов резания, физико-механических

свойств материала заготовки, погрешностей размерной настройки и других факторов на выдерживаемые параметры точности.

Мало изучены вопросы динамической устойчивости процесса обработки рассматриваемыми методами. Исследования носят прикладной экспериментальный характер, выполнены для конкретных условий обработки без теоретического обоснования и обобщения их результатов. Зависимости влияния отдельных факторов на виброустойчивость, выявленные разными авторами, имеют противоречивый характер. Нет работ, направленных на решение задачи обеспечения заданной точности обработки и одновременно динамической устойчивости процесса.

Из сказанного следует, что по результатам ранее выполненных исследований не представляется возможным достичь поставленной в работе цели без создания математической модели процесса, отражающей все его особенности. В связи с этим был проведен анализ существующих наиболее распространенных моделей, используемых при исследованиях процессов токарной обработки.

В большинстве работ эти модели представляют одно или систему дифференциальных уравнений движения сосредоточенных масс, связанных между собой невесомыми пружинами и демпферами, находящихся под действием сосредоточенных сил. На основе этих моделей исследуются, как правило, обобщенные (интегральные) свойства ТС (условия динамической устойчивости) и связь их с параметрами ТС, начальными условиями и возмущающими воздействиями. Для этого используются различные критерии (Михайлова, Найквиста, Рауса-Гурвица и др.). Для исследования сложной многомассовой многоконтурной, замкнутой через несколько процессов резания, динамической системы при недостатке достоверной информации о закономерностях влияния технологических факторов на ее состояние (движение), необходимо иметь полную информацию о всех изменениях ее вектора состояния в любой момент времени. Это возможно при использовании математического аппарата дифференциально-разностных уравнений, решение которых осуществляется численными методами с использованием ЭВМ.

На основании изложенного и в соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

1. Создать математическую модель процесса многорезцового обтачивания деталей типа нежестких валов с учетом особенностей влияния основных технологических факторов на динамическую устойчивость ТС.

2. Выявить основные технологические факторы, значимо влияющие на выходные параметры точности и виброустойчивости.

3. Разработать программное обеспечение для реализации модели на ЕС ЭИМ.

4. На основе машинного и натурного экспериментов исследовать влияние основных технологических факторов на погрешности обработки и виброустойчивость ТС.

5. Разработать методику проектирования операции многорезцового обтачивания деталей типа нежестких валов, обеспечивающую достижение заданных параметров точности и виброустойчивости.

Вторая глава посвящена исследованию и разработке методики машинного и натурного экспериментов.

Экспериментальные исследования проводились на двух токарных станках с ЧПУ моделей 1K62ФЗ01 и 16K20ФЗСЗ2, оснащенных многорезцовыми головками в двух, трех или четырех симметрично расположенных радиальных пазах которых были установлены поперечные суппорты, кинематически связанные с программным приводом перемещений поперечных салазок.

Образцы для проведения натуральных и машинных экспериментов имели длину 480 мм и были изготовлены из холодноотянутого и горячекатанного проката диаметром 16 и 17 мм двух групп конструкционных сталей – углеродистой 45 ГОСТ 1050-74 и легированной 30ХГСА ГОСТ 4543-71. Часть их предварительно обрабатывалась с использованием оригинального люнета до диаметра 16 h10 для удаления исходных погрешностей формы.

Для создания математической модели процесса на базе отечественного и зарубежного опыта моделирования динамических систем токарных станков для одноконтурного точения и результатов исследований жесткости многорезцовой ТС, позволивших выявить необходимое и достаточное число степеней свободы и направления нормальных координат для подсистем заготовки и поперечных суппортов, была разработана расчетная схема. Она

включала сосредоточенные в зоне резания массы указанных подсистем с соответствующими приведенными инерционными, жесткостными и диссипативными характеристиками, определяемыми экспериментально для каждого исследуемого по длине заготовки сечения. Связь между подсистемами в замкнутой технологической системе осуществлялась через процессы резания.

Состояние (движение) многорезцовой ТС в соответствии с расчетной схемой описывалось системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка

$$m_y \ddot{y} + h_y \dot{y} + C_y y = R_y(y, \dot{y}, z, \dot{z}, \dots, q_{ij}, \dot{q}_{ij}, \dots, \dot{q}_{n,3})$$

$$m_z \ddot{z} + h_z \dot{z} + C_z z = R_z(y, \dot{y}, z, \dot{z}, \dots, q_{ij}, \dot{q}_{ij}, \dots, \dot{q}_{n,3})$$

$$m_{q_{ij}} \ddot{q}_{ij} + h_{q_{ij}} \dot{q}_{ij} + C_{q_{ij}} q_{ij} = P_{q_{ij}}(y, \dot{y}, z, \dot{z}, \dots, q_{ij}, \dot{q}_{ij}, \dots, \dot{q}_{n,3}),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ — число поперечных суппортов; y, z — нормальные координаты подсистемы заготовки; q_{ij} — j -я нормальная координата i -го поперечного суппорта, в исследуемой ТС

$j = 1, 2, 3$; m — приведенные массы; h — коэффициенты линейного (вязкого) демпфирования; C — жесткости; $R(\dots)$, $P(\dots)$ — операторы правых частей, отражающие фазовый сдвиг между изменениями силы резания и толщины среза и влияние "следа" от предыдущего инструмента.

Отличительными особенностями модели, выявленными в процессе ее разработки путем анализа причин расхождений расчетных и экспериментальных данных, являются:

1. Разделение в операторах правых частей сил резания на силы стружкообразования и силы трения на задних поверхностях с учетом функциональных связей их статических и динамических составляющих с параметрами процесса резания.

2. Учет статических и динамических составляющих сил трения на вспомогательных задних поверхностях.

Для решения системы уравнений на ЭЦМ применен математический аппарат численного интегрирования дифференциальных уравнений второго порядка. В программное обеспечение так же вошли подпрограммы обработки результатов расчета для оценки виброустойчивости процесса и точности обработки. В последней расчи-

тивался массив текущих по углу поворота значений радиусов-векторов точек поперечного сечения обработанной поверхности и производилась оценка погрешностей обработки по результатам его гармонического анализа. Расчет шероховатости осуществлялся после создания массива радиусов-векторов точек профиля в одном осевом сечении по методике определения среднего арифметического высоты профиля.

При исследованиях основным критерием виброустойчивости был принят затухающий характер переходных процессов доминирующей колебательной системы, вызываемых ограниченными по величине внешними возмущениями. Оценка динамического состояния ТС осуществлялась по расчетным и эмпирическим осциллограммам в нескольких сечениях по длине заготовки.

Для измерения параметров вибраций подсистемы заготовки в процессе обработки разработаны и изготовлены бесконтактные, безинерционные фотометрические преобразователи линейных перемещений, сигналы с которых после усиления регистрировались светолучевым осциллографом.

Необходимые для моделирования значения постоянных времени стружкообразования, характеризующие отставание изменения силы резания от изменения толщины среза, определялись экспериментально для исследуемой области варьирования режимов резания.

По результатам отсеивающих экспериментов, проведенных с использованием сверхнасыщенного плана Флакетта-Бермана, из 11 анализируемых первоначально факторов для дальнейших исследований оставлены шесть: толщина и ширина среза - a и b , высота фасок на главной h и вспомогательной h' задних поверхностях, жесткость подсистемы заготовки C , количество резцов n .

Третья глава посвящена исследованию влияния основных технологических факторов на виброустойчивость процесса многорезцового обтачивания.

Моделированием и экспериментально установлен факт уменьшения амплитуды вибраций в сечениях с меньшей жесткостью. Это подтверждает эффективность использования исследуемого метода для обработки нежестких валов.

Характерной особенностью процесса является переход количественных изменений основных факторов в качественные изменения динамического состояния ТС.

Натурные эксперименты, проведенные в идентичных условиях с разным количеством резцов ($n = 1, 2, 3, 4$), показали, что при $n > 2$ динамическая устойчивость сохраняется вне зависимости от изменения ширины среза и жесткости подсистемы заготовки, при этом увеличение ширины среза способствует снижению амплитуды установившихся колебаний. При $n = 2$, аналогично однорезцовому точению, виброустойчивый процесс обработки был невозможен, если $b \geq 0,5$ мм.

Влияние ширины среза на виброустойчивость процесса зависит от величины износа резцов по задним поверхностям. При работе острыми резцами ($h \leq 0,1$ мм) увеличение ширины среза способствует возрастанию вибраций, а при увеличении толщины среза $a > 0,1$ мм – к потере устойчивости.

При моделировании было установлено, что имеются четко выраженные, зависящие от степени износа резцов, ширины среза и жесткости подсистемы заготовки, значения толщины среза a_{np} , при которых резко меняется характер динамической устойчивости процесса. Увеличение толщины среза до этого значения практически не влияет на устойчивое динамическое состояние ТС и амплитуду установившихся колебаний. Незначительное же превышение a_{np} приводило к резкой потере устойчивости.

Аналогичное явление наблюдалось и в отношении высоты фасок на задних поверхностях инструментов с той разницей, что уменьшение их предельной величины вызывало потерю устойчивости. Обеспечить безвибрационный процесс можно при наличии фасок как на главных, так и на вспомогательных задних поверхностях.

Анализ этих данных и сопоставление их с практическими результатами позволили выдвинуть предположение о возможности виброустойчивого протекания исследуемого процесса при определенном соотношении между толщиной среза и высотой фасок на задних поверхностях. По результатам большого числа машинных экспериментов были построены в координатах $a - h$ границы, разделяющие зоны виброустойчивой и неустойчивой обработки для крайних значений исследованных диапазонов ширины среза и жесткости подси-

системы заготовки (рис.1). На практике можно пользоваться зависимостью $h \geq 0,45a^{0,25}$, обеспечивающей безвибрационное протекание процесса при любых сочетаниях технологических факторов в пределах исследованных диапазонов их изменения.

При обработке результатов машинных экспериментов выявлены такие специфические особенности исследуемого процесса, как 1) сокращение длительности переходных процессов после возбуждения ТС внешними силами по сравнению с однорезцовой обработкой, что является положительным фактором при работе в области виброустойчивости; 2) практическая независимость динамического состояния ТС от диссипативных свойств доминирующей колебательной подсистемы заготовки в широком диапазоне изменения величины коэффициента демпфирования. Последнее свидетельствует о преобладающем влиянии на виброустойчивость при многорезцовом обрабатывании демпфирующих свойств нескольких процессов резания.

Исследование частотных зависимостей подтвердило автоколебательный характер вибраций. Увеличение частоты колебаний по мере перемещения зоны обработки от опор к середине длины заготовки позволило предположить, что несколько процессов резания создают подвижную дополнительную опору, повышающую динамическую жесткость подсистемы заготовки. Об этом же свидетельствуют амплитудо-частотные характеристики подсистемы заготовки, полученные в разных сечениях по ее длине возбуждением посредством контактного пьезокерамического вибратора.

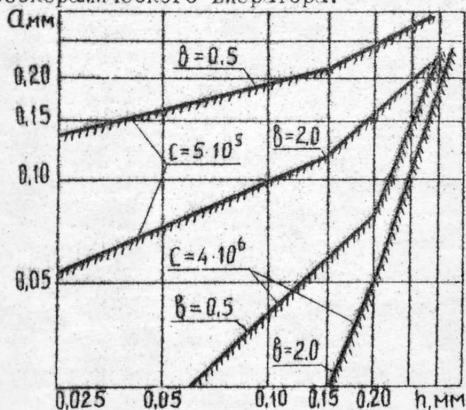


Рис. 1

В четвертой главе представлены результаты исследований погрешностей обработки при многолезцовом обтачивании с уравниванием сил резания, проведенных в выявленной зоне виброустойчивости.

Упругие деформации подсистемы заготовки по разному влияют на формирование погрешностей формы в зависимости от причин, вызывающих появление неуравновешенной силой резания.

Установлено, что если последняя возникает вследствие погрешностей настройки резцов в осевом ΔS или радиальном Δt направлениях, то погрешности формы имеют соответственно седлообразный или бочкообразный вид. Это обуславливается изменением положения оси вращения заготовки относительно вершин резцов под действием неуравновешенной силы резания, вектор которой не зависит от угла поворота заготовки. Величина допустимой погрешности настройки может быть определена из зависимостей:

$$\Delta S = \frac{[\Delta d(x)] \cdot C(x)}{2\tau_p B \sin \varphi (1+1/B)}$$

$$\Delta t = \frac{[\Delta d(x)] \cdot C(x) \cdot \sin \varphi}{2\tau_p [\alpha \cdot (1+1/B) + 0,65h]},$$

где $[\Delta d(x)]$ – заданный допуск на диаметральный размер в сечении с координатой X , $C(x)$ – приведенная жесткость подсистемы заготовки в этом сечении, τ_p , B – параметры для расчета сил резания. Выявленная особенность процесса может быть использована для целенаправленного формирования указанных профилей в целях, например, повышения эффективности последующей механической обработки.

Вектор неуравновешенной силы резания, появляющейся при обработке искривленных заготовок, изменяет направление синхронно с вращением заготовки. Упругие деформации под действием этой силы аналогично односторонней обработке не приводят к появлению погрешностей диаметральных размеров и формы в продольном и поперечном направлениях. Лимитирующей погрешностью в этом случае является малое уточнение исходного искривления заготовки. Вы-

явлено, что возрастание толщины среза, высоты фасок на задних поверхностях и уменьшение скорости резания способствуют увеличению остаточного искривления. Это обусловлено аналогичным влиянием указанных факторов на величину неуравновешенной силы резания. Однако, влияние это незначительно и управлять величиной остаточного искривления варьированием их не представляется возможным. Для уменьшения указанной погрешности до допустимых пределов рекомендуется смещать оси центровых отверстий относительно осей крайних шеек на величину максимального прогиба в направлении его вектора.

При использовании метода необходимо учитывать, что геометрические погрешности станка копируются в большей мере, чем при однорезцовой обработке, что обуславливается совпадением направления вектора максимальной погрешности с направлением формообразующего перемещения хотя бы одного из резцов. Так, неравномерный износ направляющих станка 1К62ФЗС1 вызывал появление при экспериментальных исследованиях систематической погрешности в виде конусности, соизмеримой с величиной износа.

Погрешности диаметральных размеров практически не зависят от жесткости подсистемы заготовки и определяются, в основном, упругими деформациями подсистем поперечных суппортов. При работе в области виброустойчивости погрешности диаметральных размеров и формы не превышают 2...5 мкм и практически не изменяются при варьировании режимов резания, геометрии инструментов, типоразмеров и материала заготовок. При возникновении вибраций погрешности размера увеличиваются пропорционально интенсивности установившихся колебаний. Это может быть следствием возрастания упругих деформаций заготовки под действием дополнительной неуравновешенной силы, появляющейся в результате неравномерной упругой деформации поперечных суппортов. Это необходимо учитывать при назначении режимов обработки, допускающих появление установившихся вибраций с амплитудой в определенных пределах.

Установлено значительное уменьшение погрешностей формы в продольном и поперечном сечениях при увеличении количества резцов свыше двух. Трех и четырехрезцовая обработка в этом отношении равноценны. Действие случайных факторов вызывает рассеяние диаметральных размеров, подчиняющееся гауссовскому закону рас-

пределения. На основе статистических исследований можно утверждать, что повышение точности формы по сравнению с однорезцовой обработкой практически всегда имеет место.

Выявленное положительное влияние уменьшения толщины среза и увеличения высоты фасок на задних поверхностях инструментов на величину погрешностей формы свидетельствует, что используя эти факторы для повышения виброустойчивости мы одновременно не увеличиваем погрешностей обработки.

Влияния ширины среза на погрешности формы при количестве резцов более двух не отмечено.

Шероховатость обработанной поверхности при многорезцовом точении определяется, в основном, погрешностями настройки резцов. Влияние других факторов аналогично однорезцовой обработке. Рекомендуется для уменьшения шероховатости выполнять на резцах переходные режущие кромки с $\varphi_k = 0^\circ$ длиной $l_{pk} \geq S_{p.n}$, что обуславливается независимостью динамического состояния процесса от длины этой кромки.

Пятая глава посвящена практической реализации на станках с ЧПУ исследуемого метода и сделанных в работе рекомендаций.

Разработан комплекс оригинальной технологической оснастки, который позволяет:

1. Осуществлять базирование и закрепление заготовок при обработке их в центрах, в том числе искривленных со смещением центровых отверстий, и выравнивать радиальную жесткость подсистемы заготовки по ее длине для повышения точности формы и динамической устойчивости ТС.
2. Регулировать жесткость подсистем поперечных суппортов для уменьшения их упругих деформаций в процессе обработки.
3. Выполнить два последовательных перехода в одной операции многорезцовой токарной обработки при использовании оснастки с двумя комплектами различных инструментов.
4. Автоматически устранять погрешности настройки инструментов в осевом направлении и уменьшить остаточное искривление.
5. Решить задачу удаления увеличенного в N раз объема сходящей стружки путем ее дробления.

Проектирование операции многорезцового обтачивания нежестких валов с использованием результатов исследований выполня-

ется в следующей последовательности. Назначается максимальное значение ширины среза из условия обработки заготовки за один рабочий ход и максимальная технологически допустимая подача на один резец или всю многорезцовую наладку, выбирается скорость резания, соответствующая заданной стойкости инструментов. Затем определяется по зависимостям $h = f(a)$ величина высоты фасок на задних поверхностях инструментов, обеспечивающая попадание в область виброустойчивости. Если параметры заготовки по жесткости выходят за пределы исследованного диапазона, то, используя разработанное математическое и программное обеспечение, производится проверочный расчет выходных параметров точности и динамического состояния ТС. Если они соответствуют допустимым значениям, то назначенные режимы передаются для дальнейших технологических расчетов и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. В противном случае производится оптимизация по неудовлетворяющим выходным параметрам. Для повышения виброустойчивости сначала увеличивают высоту фасок на задних поверхностях или используют оснастку для закрепления заготовки с регламентированной радиальной жесткостью. Затем может быть уменьшена подача. Виброустойчивый режим обработки обеспечивает достижение и заданных параметров точности, если погрешности размерной настройки резцов в осевом и радиальном направлениях не превышают расчетных значений.

Экономический эффект от внедрения результатов работы в производстве составляет на единицу модернизированного оборудования 9,3 тыс. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана математическая модель процесса многорезцовой токарной обработки с уравниванием сил резания, методика и программное обеспечение для ее реализации на ЕС ЭМ.

2. На основе машинного и натурального экспериментов выявлены закономерности протекания процесса формообразования цилиндрической поверхности, обеспечивающие динамическую устойчивость ТС и формирование погрешностей формы и взаимного положения поверхностей в зависимости от основных технологических факторов. Это обеспечило возможность управления процессом на стадии технологического проектирования.

3. Установлено, что значимые факторы, обуславливающие динамическую устойчивость процесса, не оказывают практического влияния на поддерживаемые параметры точности. Это позволяет решать вопросы точности обработки вне взаимосвязи с обеспечением виброустойчивости процесса.

4. Для управления динамической устойчивостью ТС рекомендуется варьировать толщиной среза и высотой фасок на задних поверхностях, значения которых определяются по приведенным в работе зависимостям.

5. Формированием профиля обработанной поверхности с требуемыми значениями отклонений от цилиндричности управлять посредством соответствующей настройки инструментов в осевом и радиальном направлениях.

6. В целях уменьшения остаточного искривления оси вала до допустимых значений (0,04...0,06 мм) рекомендуется смещать оси центровых отверстий относительно осей крайних шеек на величину максимального прогиба в направлении его вектора.

7. Для достижения требуемой шероховатости обработанной поверхности рекомендуется выполнять на резцах переходные режущие кромки с $\Psi_1 = 0^\circ$ длиной больше общей подачи резцовой головки, не влияющие на другие выходные параметры процесса.

8. Для реализации метода и сформулированных в работе рекомендаций предлагается комплекс технологической оснастки, защищенный 4 авторскими свидетельствами, проведена опытно-промышленная модернизация токарного станка с ЧПУ.

9. Результаты исследований приняты к внедрению в производство. Ожидаемый экономический эффект в расчете на единицу модернизированного оборудования составляет 9,3 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Васильевых Л.А., Жуиков В.А. Многорезцовая самоцентрирующая головка // Станки и инструмент.- 1985.- № 4.- С. 34-35.

2. Жуиков В.А., Апатов Ю.Л. Повышение технологической надежности токарной обработки в ГАП // Машиностроитель.- 1986.- № 2.- С. 12-13.

3. Жуиков В.А., Апатов Ю.Л. Перспективы использования многорезцовой токарной обработки в ГАП // Системное проекти-

рование ГАП: Тезисы докладов республиканского научно-практического семинара. - Владимир, 1985. - С. 48-49.

4. Жуиков В.А. Прогнозирование качества обработки и динамического состояния технологической системы при многорезцовой токарной обработке // Интенсификация технологических процессов механической обработки: Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Л., 1986. - С. 51.

5. Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л., Жуиков В.А. Комплексное технологическое оснащение интенсивного процесса токарной обработки деталей малой жесткости // Интенсификация технологических процессов механической обработки: Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Л., 1986. - С. 11-12.

6. А.с. 1194583 СССР, МКИ В 23 В 1/00. Токарный станок с программным управлением / Л.А.Васильевых, В.А.Жуиков (СССР). - Оpubл. 30.11.85 // Б.И. - 1985. - № 44.

7. А.с. 1196145 СССР, МКИ В 23 В 1/00. Токарный станок для многорезцовой обработки / Л.А.Васильевых, В.А.Жуиков, А.В.Фоминих (СССР). - Оpubл. 07.12.85 // Б.И. - 1985. - № 45.

8. А.с. 1201059 СССР, МКИ В 23 В 3/00. Токарный станок с программным управлением / Л.А.Васильевых, В.А.Жуиков, А.Н.Скопин (СССР). - Оpubл. 30.12.85 // Б.И. - 1985. - № 48.

9. А.с. 1138252 СССР, МКИ В 23 В 25/02. Устройство для дробления стружки / Л.А.Васильевых, В.А.Жуиков, В.И.Кашин (СССР). - Оpubл. 07.02.85 // Б.И. - 1985. - № 5.

10. А.с. 1349880 СССР, МКИ В 23 Q 1/00. Виброгаситель к металлорежущему станку / Л.А.Васильевых, Ю.И.Городецкий, В.А.Жуиков, М.В.Лыскова (СССР). - Оpubл. 07.11.87 // Б.И. - 1987. - № 41.

11. Жуиков В.А. Обзор и анализ технологической оснастки для многорезцового точения с уравниванием сил резания / Кировский политехнический институт. - Киров, 1987. - 27 с. - Деп. в ВНИИТЭМР 07.07.87, № 316 - мш 87.

В. Жуиков



DE 25047 Подписано в печать 23.02.88. Формат 30x42 1/8
Офсетная печать. Усл. печ. л. 1,0 Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100. Заказ 213
Кировский политехнический институт. 610000, г. Киров, ул. Коммуны 36
Лаборатория множительной техники.