

05.02.08

К 603

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

КОЛЕСНИКОВ Владимир Иванович

УДК 621.914.1

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ
ОПЕРАЦИЙ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ
С ЧПУ ПУТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Челябинск

1988

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"
Челябинского политехнического института имени Ленинского
комсомола.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и
техники РСФСР, доктор технических
наук, профессор КОРЧАК С.Н.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор СУЛТАН-ЗАДЕ Н.М.
- кандидат технических наук
ВЛАДИМИРОВ В.Н.

Ведущее предприятие - Орский ордена Трудового Красного Знамени
 завод тракторных прицепов

Защита состоится "25" апреля 1989 года в 15 часов
на заседании специализированного совета К 053.13.01 Челябинского
политехнического института имени Ленинского комсомола по адресу:
454080, г. Челябинск, пр. В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Автореферат разослан "22" марта 1989 года.

Ученый секретарь специализированного
совета, доктор технических наук,
профессор

И.Я.Мирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Для современного уровня развития техники характерно использование большого количества деталей, имеющих плоский контур сложной формы. Растущие требования к повышению производительности и точности обработки таких изделий приводят к необходимости автоматизации процессов их изготовления.

В настоящее время основным средством автоматизации механической обработки сложных контуров являются фрезерные станки с ЧПУ. Однако из-за недостаточной изученности процесса контурного фрезерования существует разрыв между постоянно возрастающими технологическими возможностями станков с ЧПУ и сложностями в обеспечении необходимой точности обработки на стадии подготовки управляющих программ. Большая трудоёмкость отладки управляющих программ объясняется необходимостью их многократного перепрограммирования, в основном с целью подбора режимов резания, обеспечивающих требуемую точность обработки. Существенное влияние на точностные показатели детали оказывает нестабильность протекания процесса обработки концевыми цилиндрическими фрезами, связанная с непрерывным изменением положения и длины активной части режущих кромок. Учет факторов силовой нестабильности протекания процесса резания производится в настоящее время в основном интуитивно, с учетом субъективного опыта разработчика управляющей программы.

Для сокращения времени отладки программ технолог зачастую идет на заведомое занижение режимов резания с целью гарантированного обеспечения точности и качества обрабатываемых поверхностей и, следовательно, на соответствующее снижение производительности процесса обработки. При этом технологические возможности станков с ЧПУ, позволяющих назначать рациональные режимы резания на любом участке контура детали, часто не используются. Такое положение дел объясняется отсутствием научно обоснованных нормативных материалов, учитывающих связь количества рабочих ходов, глубины резания, подач и других режимных параметров с качеством и, главным образом, точностью обработки. Таким образом, разработка рекомендаций по назначению минимально необходимого количества рабочих ходов, глубин резания и подач, а также учету других факторов на стадии проектирования операций контурного фрезерования на станках с ЧПУ для обеспечения качественных показателей обрабатываемых деталей является весьма актуальной. Численные связи этих параметров необходимы также для автоматизации проектирования операций, выпол-

няемых на станках с ЧПУ. Наличие значительной силовой нестабильности и многофакторности процесса контурного фрезерования, а также ограниченные возможности эмпирических силовых зависимостей, учитывающих узкий диапазон варьирования параметров резания, вызывают необходимость разработки аналитических силовых зависимостей для реализации управления режимами резания в широком диапазоне изменения точности обработки.

Цель работы. Разработка математических моделей формирования погрешностей от колебаний упругих деформаций технологической системы при обработке концевыми цилиндрическими фрезами на станках с ЧПУ на основе аналитических силовых зависимостей и управления точностью контурного фрезерования за счет выбора оптимального количества рабочих ходов и глубины резания, а также запограммированного изменения подачи вдоль обрабатываемого контура в зависимости от формы обрабатываемых поверхностей, колебания припуска и ряда других переменных технологических факторов. На базе теоретических исследований разработать нормативы по назначению количества рабочих ходов, глубин резания и подач, обеспечивающих требуемую точность обработки, а также соответствующих режимных блоков САПР.

Основные задачи. В работе решались следующие задачи:

1. Разработка расчетных зависимостей для определения положения и длины активной части режущей кромки при фрезеровании цилиндрической частью концевых фрез припуска различной формы и исследование влияния изменяющихся геометрических параметров зоны резания на нестабильность составляющих силы резания.
2. Исследование влияния силовой нестабильности процесса контурного фрезерования на точность детали.
3. Разработка на основе моделирования силового взаимодействия элементов технологической системы методики определения оптимального количества рабочих ходов и распределения припуска по рабочим ходам и аналитических зависимостей для реализации управления подачей с целью повышения точности обработки.
4. Разработка, производственная проверка и внедрение нормативов режимов резания и соответствующих блоков САПР операций контурного фрезерования, учитывающих связь назначаемого количества рабочих ходов, глубин резания и подач с требуемой точностью детали.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания металлов, законов механики и аналитической геометрии.

Достоверность полученных аналитическим путем результатов про-

верялась экспериментально в лабораторных и производственных условиях по разработанной в диссертации методике. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики с помощью ЭВМ "Искра-226". Вычисления и математическое моделирование выполнялось на ЭВМ СМ-4.

Научная новизна. 1. На базе принципа баланса работ активных и реактивных сил впервые разработаны аналитические силовые зависимости для процесса обработки концевыми цилиндрическими фрезами с учетом непрерывно изменяющихся геометрических параметров зоны резания и других влияющих на силы параметров в любом диапазоне их варьирования.

2. На основе математического моделирования силового взаимодействия элементов технологической системы определены закономерности выбора оптимального количества рабочих ходов и глубины резания, а также управления подачей с целью повышения точности обработки.

3. Разработана методика расчетного определения количества рабочих ходов, глубин резания и подач, обеспечивающих требуемую точность обработки, для непосредственного использования в режимных блоках САПР и в алгоритме работы микропроцессорных систем ЧПУ.

Практическая ценность. 1. Для фрезерных станков с системами ЧПУ класса *NC* разработаны общемашиностроительные нормативы режимов резания для операций контурного фрезерования, впервые учитывающие связь назначаемого количества рабочих ходов, глубин резания и подач с требуемой точностью обработки.

2. Разработана и внедрена на заводах программа для ЭВМ, позволяющая автоматизировать расчет количества рабочих ходов, глубин резания и режимов резания. Программа может использоваться в виде отдельного программного модуля и в качестве режимного блока САПР операций контурного фрезерования, а также в системах управления станками от ЭВМ (классы *CNC* и *DNC*).

Промышленное использование разработанных нормативных материалов позволило сократить сроки отладки управляющих программ в среднем на 40%, повысить точность получения размеров и формы обрабатываемых поверхностей в 1,5...2 раза, увеличить уровень режимов резания на 10...40%.

Реализация работы. На Челябинском автоматно-механическом заводе внедрен "Руководящий материал по режимам резания для контурного фрезерования на станках с ЧПУ (с учетом точности обработки концевыми фрезами)". На Орском ордена Трудового Красного Знамени

заводе тракторных прицепов внедрение руководящих нормативных материалов и программы автоматизированного расчета количества рабочих ходов, глубин резания и режимов резания дало экономический эффект 29,0 тыс.руб. в год на 16 фрезерных станках с ЧПУ. Внедрение руководящих нормативных материалов на ПО "Полет" дало годовой экономический эффект 25,8 тыс.руб. на 12 фрезерных станках с ЧПУ. Внедрение на четырех заводах нормативно-справочных материалов по назначению режимов резания с учетом точности обработки на фрезерных станках с ЧПУ по данным ГСПКТБ "Оргприминструмент" дало экономический эффект 78 тыс. руб. в год.

По заданию Центрального бюро нормативов по труду (ЦБНТ) при Госкомтруде СССР (тема 86/18 в плане выполнения задания № 08.01.А общесоюзной научно-технической программы 0.76.01) разработаны и опробованы на 18 предприятиях восьми министерств "Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением", раздел "Фрезерование концевыми фрезами". Экономический эффект от внедрения нормативов, по данным ЦБНТ, составит после выхода их из печати 600 тыс. руб. в год.

По заданию ГСПКТБ "Оргприминструмент" подготовлена первая редакция карт по выбору количества рабочих ходов, глубин резания и подач на операциях контурного фрезерования для сборника "Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках".

Основные положения данной работы используются в учебном процессе при чтении лекций по курсу "Технология автоматизированного производства". Разработанный на базе проведенных исследований блок САПР ТП по расчету количества рабочих ходов, глубины резания и режимов резания используется студентами при выполнении дипломных проектов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на областной научно-практической конференции "Участие молодых ученых и специалистов в реконструкции и модернизации предприятий, во внедрении новой техники и технологии", Челябинск, 1986г., на областной научно-технической конференции "Опыт технологической подготовки производства и эксплуатации станков с ЧПУ", Свердловск, 1986 г., на научно-методическом семинаре "Внедрение микропроцессорных средств в машиностроении", Челябинск, 1987 г., на республиканской научно-технической конференции "Опыт создания и эксплуатации гибких производственных систем на базе отечественного обо-

рудования с ЧПУ, промышленных роботов и вычислительной техники", Киев, 1987 г., на зональной научно-технической конференции "Участие молодежи в решении проблемы повышения качества и производительности технологических процессов в машиностроении", Омск, 1987 г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Эффективные пути повышения качества и эксплуатационной надежности машин и приборов средствами стандартизации и унификации", Махачкала, 1987 г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Технологическое и нормативное обеспечение станков с ЧПУ и гибких производственных систем", Челябинск, 1988 г., на республиканской научно-технической конференции "Опыт создания и эксплуатации гибких автоматизированных производственных систем механической обработки", Киев, 1988 г., на II Всесоюзном семинаре "Роботы и гибкие производственные системы", Челябинск, 1988 г., на научно-технических конференциях преподавателей и сотрудников Челябинского политехнического института 1986 - 1988 г.г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, получено решение ВНИИПГЭ о выдаче авторского свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 112 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 108 наименований и 17 приложений на 59 страницах. Общий объем работы 233 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Основным средством автоматизации операций обработки сложных контуров являются станки с ЧПУ, эффективность применения которых зависит от полноты и правильности использования возможностей программного управления. Как правило, контур применяемых на этих операциях заготовок не совпадает по форме с контуром готовой детали. Из-за этого припуск на обработку изменяется вдоль контура детали в широких пределах. Колебание припуска приводит к значительному колебанию силы резания и возникновению погрешности обработки.

Более полное использование возможностей программного управления для уменьшения погрешности обработки сдерживается из-за сложности и большой трудоемкости подготовки управляющих программ,

обеспечивающих заданную точность деталей. Одной из причин этого является то обстоятельство, что от технолога требуется не только рассчитать траекторию движения инструмента, но и произвести на этапе подготовки управляющей программы адаптацию режимов и других факторов процесса резания к состоянию конкретной технологической системы. Обзор литературных источников показал отсутствие четкой количественной связи числа рабочих ходов и глубин резания с условиями обработки и требованиями к ее качеству. Однако от количества рабочих ходов прямо зависит величина основного времени, а глубина резания выступает исходным данным при выборе подачи и скорости резания. Таким образом, назначаемые технологом режимы резания оказываются существенно зависимыми от его субъективных решений и требуют в дальнейшем многократных корректировок. Отсутствие четких нормативных рекомендаций по выбору количества рабочих ходов, глубин резания и подач сдерживает решение задачи повышения точности и производительности обработки на станках с ЧПУ.

Научные основы формирования погрешностей и достижения точности обработки заложены в трудах А.П.Соколовского, Б.С.Балакшина, В.С.Корсакова и других советских ученых. Исследования показывают, что доминирующей составляющей погрешности обработки на операциях контурного фрезерования является погрешность от упругих деформаций элементов технологической системы. Качество управления точностью обработки определяется адекватностью используемых силовых зависимостей реальным условиям обработки. Применение эмпирических (узкодиапазонных) зависимостей не позволяет создать гибкую и универсальную модель процесса резания для управления режимом обработки. Необходимо разработать математическую модель управления, основанную на аналитических силовых зависимостях, которые наиболее полно отражают физический процесс взаимодействия инструмента и детали и связывают режимные параметры обработки с точностными показателями детали в широком (практически любом) диапазоне варьирования переменных. Решению этой задачи посвящены следующие разделы.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ. ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СИЛЫ РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Непрерывное изменение силы резания при работе концевыми цилиндрическими фрезами обусловлено непрерывным изменением геометрических параметров зоны резания (толщины среза, положения и дли-

ны активной части режущих кромок), которое в свою очередь вызвано влиянием сложной конфигурации обрабатываемых деталей и переменностью сечения среза при вращении фрезы. Формула для расчета толщины среза при контурном фрезеровании известна. Положение и длина активной части режущей кромки каждого зуба характеризуется значениями границ φ_{ii} и φ_{2i} угла контакта его с припуском. В работе с использованием положений аналитической геометрии разработаны зависимости для расчета границ контакта режущих кромок с припуском. В соответствии с методикой С.Н.Корчака, разработанной на основе закона механики о равенстве активных и реактивных сил (сил резания и сил сопротивления обрабатываемого металла) и основных законов теории пластичности, получены зависимости для расчета составляющих силы резания, действующих в плоскости получаемых размеров по нормали P_N и по касательной P_T к обрабатываемому контуру, с учетом непрерывно изменяющихся геометрических параметров зоны резания и всех других влияющих на силы резания параметров:

$$P_N = \frac{DG_i}{\sin \omega_\varphi} \left[0,54S_z \sum_{i=1}^m \left(0,5 \int_{\varphi_{ii}}^{\varphi_{2i}} \frac{\sin \beta}{\sin \beta_i} \sin 2\varphi_i d\varphi \pm \cos \omega_\varphi \int_{\varphi_{ii}}^{\varphi_{2i}} \frac{\cos \beta}{\sin \beta_i} \sin^2 \varphi_i d\varphi \right) + \right. \\ \left. + 0,126 \ell_3 \sum_{i=1}^m ((\sin \varphi_{2i} - \sin \varphi_{ii}) \pm \mu \cos \omega_\varphi (\cos \varphi_{ii} - \cos \varphi_{2i})) \right];$$

$$P_T = \pm \frac{DG_i}{\sin \omega_\varphi} \left[0,54S_z \sum_{i=1}^m \left(\int_{\varphi_{ii}}^{\varphi_{2i}} \frac{\sin \beta}{\sin \beta_i} \sin^2 \varphi_i d\varphi + 0,5 \cos \omega_\varphi \int_{\varphi_{ii}}^{\varphi_{2i}} \frac{\cos \beta}{\sin \beta_i} \sin 2\varphi_i d\varphi \right) + \right. \\ \left. + 0,126 \ell_3 \sum_{i=1}^m (\mp (\cos \varphi_{ii} - \cos \varphi_{2i}) + \mu \cos \omega_\varphi (\sin \varphi_{2i} - \sin \varphi_{ii})) \right], \quad (I)$$

где D - диаметр фрезы; G_i - интенсивность напряжений в движущемся объеме деформируемого металла; ω_φ - угол наклона винтовой режущей кромки; S_z - подача на зуб; β - угол действия; β_i - угол сдвига; ℓ_3 - длина площадки износа зуба по задней поверхности; μ - коэффициент трения инструмента о деталь; m - количество одновременно работающих зубьев. Экспериментальные исследования по динамометрированию сил резания показали, что полученные зависимости (I) адекватно отражают влияние изменяющихся параметров процесса резания на составляющие силы резания.

Вследствие переменности припуска как вдоль контура одной де-

тали, так и в партии деталей, поле рассеяния размеров в разных точках контура отклоняется на разные величины Δ_{Σ} . Значительное изменение глубины резания в пределах обрабатываемого контура вызывает необходимо ть управления упругими перемещениями элементов технологической системы для повышения точности обработки. Компенсацию постоянной составляющей погрешности обработки можно производить коррекцией размера статической настройки (предискажением траектории движения инструмента). Следовательно, управление упругими перемещениями технологической системы сводится к управлению величиной переменной составляющей $\Delta = \Delta_{\Sigma \max} - \Delta_{\Sigma \min}$. При рассмотрении обработки одной детали величина Δ характеризует отклонение формы заданного профиля, для партии деталей - поле рассеяния погрешностей обработки вдоль нормируемого участка контура радиусом R_k . Получена формула для расчета погрешности обработки Δ :

$$\Delta = \frac{D}{\sin \omega_p} \left[S_2 \left(\frac{K_s K_R \bar{G}_{i \max}}{j_{\min}} - \frac{K_s K_R \bar{G}_{i \min}}{j_{\max}} \right) + \left(\frac{K_3 K_R \bar{G}_{i \max} P_{3 \max}}{j_{\min}} - \frac{K_3 K_R \bar{G}_{i \min} P_{3 \min}}{j_{\max}} \right) \right], \quad (2)$$

где $\bar{G}_{i \max}, \bar{G}_{i \min}$ - предельные в партии деталей значения интенсивности напряжений; $P_{3 \max}, P_{3 \min}$ - фаска износа по задней поверхности соответственно острозаточенной и предельно изношенной фрезы; j_{\min}, j_{\max} - минимальная и максимальная жесткость технологической системы в плоскости получаемых размеров; K_s, K_3, K_R - коэффициенты, учитывающие влияние на погрешность обработки соответственно подачи на зуб, площадки износа по задней поверхности зуба фрезы и радиуса обрабатываемого участка контура (с индексом 1 - для участков детали с максимальным припуском, 2 - для участков детали с минимальным припуском),

$$K_s = \sum_{i=1}^m \left(0,27 \int_{\varphi_i}^{\varphi_{2i}} \frac{\sin \beta}{\sin \beta_i} \sin 2\varphi_i d\varphi \pm 0,54 \cos \omega_p \int_{\varphi_i}^{\varphi_{2i}} \frac{\cos \beta}{\sin \beta_i} \sin^2 \varphi_i d\varphi \right);$$

$$K_3 = 0,126 \sum_{i=1}^m \left[(\sin \varphi_{2i} - \sin \varphi_i) \pm \mu \cos \omega_p (\cos \varphi_i - \cos \varphi_{2i}) \right];$$

$$K_R = \cos^{-1} \left(\arctg \frac{P_t / j_2}{R_k \pm D/2 \pm P_N / j_N} \right).$$

Расчеты по формуле (2) показали, что влияние колебания глубины резания на погрешность обработки изменяется с изменением минимальной и максимальной глубины резания. Это создает предпосылки

для решения вопроса о рациональном распределении припуска по рабочим ходам для достижения точности при многопроходной обработке.

3. УПРАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

При проектировании технологического процесса обработки детали одной из основных задач технолога-проектировщика является обеспечение требуемой точности обработки с минимальными затратами основного времени. Количество рабочих ходов инструмента при этом определяется величиной припуска и точностью изготовления детали. Величина припуска зависит от точности заготовок, характеризуемой типом производства, а точность - от служебного назначения детали.

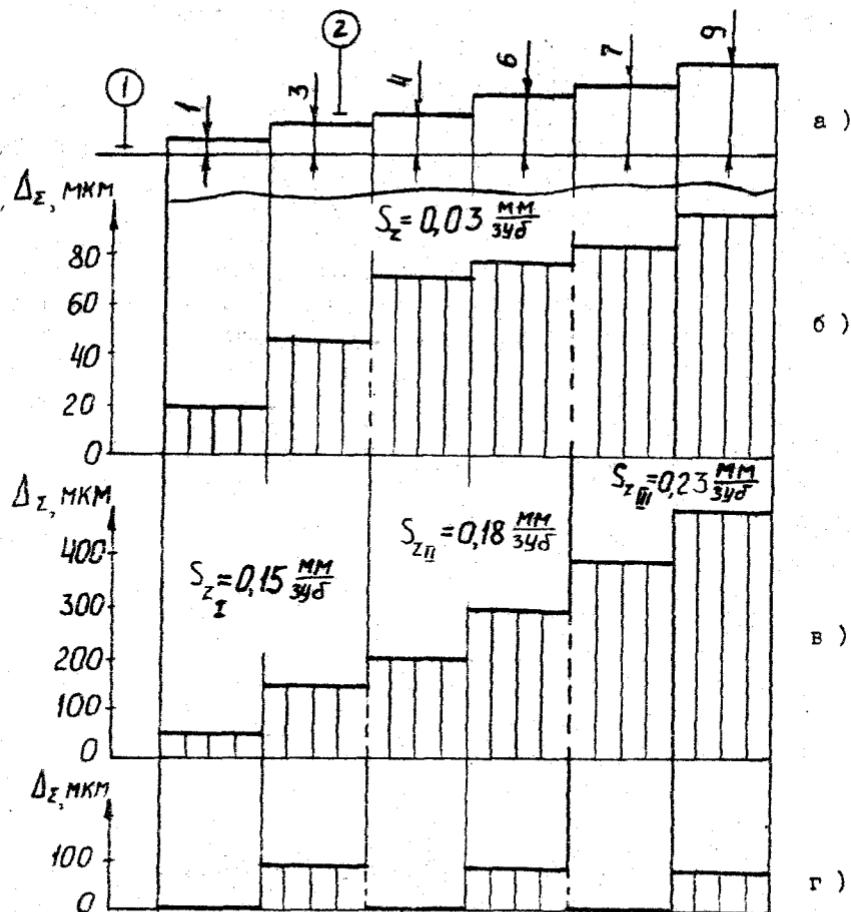
Стабилизация упругих перемещений технологической системы для одного рабочего хода легко реализуется на станке с ЧПУ путем управления силой резания за счет изменения подачи. На основе зависимости (2) разработана математическая модель управления подачей, функционально связывающая силы резания, жесткость технологической системы и погрешности обработки от колебаний её упругих деформаций.

$$S_2 = \frac{\frac{K_y \delta \sin \omega \varphi}{D} - \left(\frac{K_{31} K_{R1} \delta_{\max}}{f_{\min}} l_{3\max} - \frac{K_{32} K_{R2} \delta_{\min}}{f_{\max}} l_{3\min} \right)}{\frac{\delta_{\max}}{f_{\min}} K_{S1} K_{R1} - \frac{\delta_{\min}}{f_{\max}} K_{S2} K_{R2}} \quad (3)$$

Для проверки работоспособности разработанной математической модели (3) проводились машинное моделирование на ЭВМ СМ-4 и точностные эксперименты на фрезерном станке мод. ГФ2171 с системой ЧПУ 2С42-61. Обработка партии деталей с переменным припуском от 1 до 9 мм (рис. I, а) с постоянной подачей $S_2 = 0,03$ мм/зуб, выбранной по ныне действующим общемашиностроительным нормативам для участка с наибольшей глубиной резания, показала, что величина упругих деформаций технологической системы находится в прямой зависимости от глубины резания (рис. I, б), а погрешность от колебаний этих деформаций зависит и от величины колебания припуска в пределах рассматриваемого участка контура (рис. I, б). Сравнение теоретических и экспериментальных значений подтверждает адекватность зависимости (2).

Во второй серии опытов обрабатываемая поверхность детали бы-

Эскиз снимаемого припуска и возникающей погрешности обработки



а - эскиз снимаемого припуска;

б - погрешность обработки при работе с постоянной подачей;

в - погрешность обработки при работе с переменной подачей;

г - погрешность обработки при работе с переменной подачей и коррекцией размера статической настройки;

1 - поверхность детали;

2 - поверхность заготовки.

Рис. I

ла разбита на три участка с изменением глубины резания соответственно от 1 до 3 мм, от 4 до 6 мм и от 7 до 9 мм (рис. I, а). По зависимости (3) для каждого участка рассчитывалась подача на зуб, обеспечивающая одинаковую величину погрешности от колебаний упругих деформаций технологической системы (в пределах допуска $\delta = 0,1$ мм). На первом участке величина подачи составила $S_{z1} = 0,15$ мм/зуб, на втором - $S_{z2} = 0,18$ мм/зуб, на третьем - $S_{z3} = 0,23$ мм/зуб. При обработке партии деталей с переменной подачей значения погрешностей от колебаний упругих деформаций технологической системы на каждом из участков контура стабилизируются, не превышая допуска $\delta = 0,1$ мм (рис. I, в). После введения на каждом участке контура коррекции размера статической настройки на величину, соответствующую минимальному на этом участке отжиму инструмента от детали, погрешность обработки вдоль всего контура детали не превышает допуска (рис. I, г). Величина коррекции размера статической настройки рассчитывалась по формуле (2) и составила по участкам соответственно 0,05 мм, 0,20 мм и 0,40 мм (рис. I, в). Управление подачей согласно аналитического расчета в совокупности с коррекцией размера статической настройки позволяет повысить производительность обработки в 1,5 ... 2 раза при обеспечении заданной точности. Разработанная методика назначения подачи легла в основу способа управления процессом обработки на станке с ЧПУ, по которому получено положительное решение о выдаче авторского свидетельства.

В случае многопроходной обработки возникает задача выбора оптимального количества рабочих ходов и распределения припуска по рабочим ходам. При решении этой задачи кроме ограничений по точности и шероховатости учитывался дополнительный комплекс ограничений, накладываемых на режимы резания технологической системой. К ним относятся ограничения по прочности зуба и тела фрезы, размещаемости стружки в стружечных канавках, по прочности механизма подачи стола станка, по мощности привода главного движения резания. Ограничения, учитывающие возникающие силовые нагрузки, рассчитывались с использованием аналитических силовых зависимостей (1).

Наиболее полным критерием оптимальности при определении режимов резания является себестоимость технологической операции. К её снижению приводит, в частности, повышение производительности обработки, в том числе за счет уменьшения основного времени. В качестве целевой функции принималось уравнение основного времени:

$$T_0 = \frac{1}{n_k S_{ok}} \rightarrow \min,$$

где k - номер рабочего хода; η_k - частота вращения шпинделя; S_{ok} - подача на оборот фрезы.

На рис. 2 в виде матрицы с числом столбцов N и числом строк M изображен массив возможных состояний обрабатываемой заготовки. Параметры, определяющие состояние заготовки в каждой точке массива, приведены в таблице. Возможные схемы обработки детали изображаются на рисунке в виде ломаной линии, проходящей через вершины графа и соединяющей точки A и O , соответствующие заготовке и готовой детали. Таким образом, задача выбора оптимального количества рабочих ходов фрезы, глубин резания и подач сводится к дискретной задаче отыскания кратчайшего по времени пути из начальной вершины графа $A(N, M)$ в конечную вершину $O(0,0)$. Поставленная оптимизационная задача решена с использованием метода динамического программирования. Функциональное уравнение динамического программирования в случае контурного фрезерования имеет вид:

$$T_{i,j} = \min_{\substack{1 \leq k \leq N \\ j \leq k \leq M}} \left\{ T_{e,k} + T_{e,k}^{i,j} \right\}, \quad T_{N,M} = 0,$$

где $T_{i,j}$ - время кратчайшего пути из начальной вершины графа $A(N, M)$ в вершину с координатами (i, j) ; $T_{e,k}^i$ - время пути из вершины с координатами (i, k) в вершину с координатами (i, j) .

Разработанная методика назначения количества рабочих ходов и глубин резания и управления подачей на каждом рабочем ходу, позволяющая обеспечить требуемую точность обработки при минимальных затратах основного времени, использовалась при подготовке общемашинностроительных нормативов режимов резания для станков с ЧПУ, а также режимного блока САПР операций контурного фрезерования.

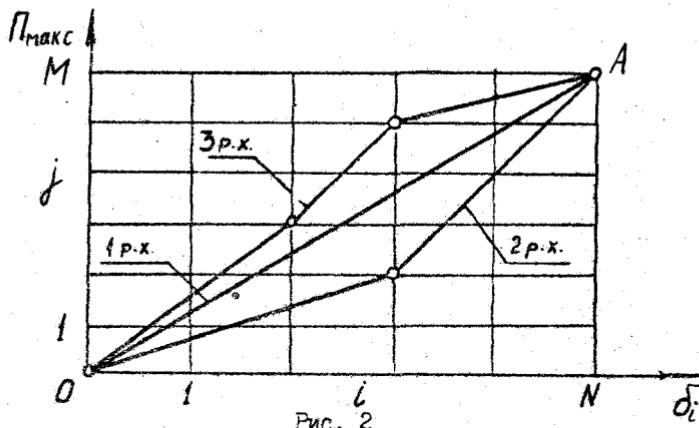
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи, состоящей в разработке научно обоснованной методики расчетного определения количества рабочих ходов, глубины резания и подач для любого диапазона варьирования переменных условий процесса контурного фрезерования с целью обеспечения требуемой точности обработки.

В работе получены следующие основные результаты:

I. Определена взаимосвязь между размерами и формой обрабатываемой поверхности и геометрическими параметрами зоны резания.

Схема выбора оптимального варианта построения операции



Таблица

Параметры, определяющие состояние заготовки

Состояние заготовки и координаты соответствующей точки на схеме (см. рис. 2)	Эскиз состояния заготовки	Величины параметров		
		Притупок наибольший, мм	Притупок наименьший, мм	Допуск на размер обработанных участков контура, мм
Начальное (N, M)		Π_{max}	Π_{min}	-
Промежуточное (l, j)		Π_{max}	Π_{min}	δ_i
Конечное $(0,0)$		0	0	δ

0328864

Разработаны зависимости, позволяющие определить положение и длину активной части режущих кромок в каждый момент поворота зуба фрезы для разных способов фрезерования, различных форм и размеров поперечного сечения припуска.

2. Получены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения составляющих силы резания в широком (практически любом) диапазоне варьирования переменных параметров процесса контурного фрезерования. На их основе проведен расчетный количественный анализ влияния переменных параметров на составляющие силы резания, их нестабильность и в конечном счете на точность обработки.

3. Получена математическая модель расчета оптимального количества рабочих ходов и глубин резания и управления подачей с целью повышения точности и производительности обработки сложных контуров. Эта модель легла в основу разработанных нормативных таблиц подач и режимного блока САП "Техтран", а также оказалась пригодной для непосредственного использования в алгоритме работы микропроцессорных систем ЧПУ.

Основные выводы по работе:

1. Процесс фрезерования концевыми фрезами характеризуется значительным (в несколько раз) изменением составляющих силы резания. Нестабильность силы резания предопределяет переменную величину упругих деформаций технологической системы, которая при стационарных режимах резания прямо зависит от глубины резания. Разработаны зависимости для аналитического расчета составляющих силы резания, а также величины упругих деформаций технологической системы и погрешности от их колебаний.

2. На основе аналитических силовых зависимостей разработана математическая модель управления подачей с целью повышения точности и производительности обработки.

3. Для случая многопроходной обработки решена задача расчета оптимального количества рабочих ходов, распределения припуска между ними и определения режимов резания на каждый рабочий ход. Разработана программа для ЭВМ СМ-4, которая может быть использована как в качестве самостоятельного программного модуля при ручной подготовке управляющих программ, так и в качестве режимного блока САПР операций контурного фрезерования.

4. Использование разработанных методов управления точностью (управление количеством рабочих ходов, глубиной резания и подачей) в производственных условиях позволило получить на 6 заводах экономический эффект 132,8 тыс. руб. в год. Экономический эффект от

внедрения разработанных общемашиностроительных нормативов в промышленность страны, по данным ЦБНТ, составит после выхода из печати 600 тыс.руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Колесников В.И. Метод управления точностью контурного фрезерования// Тез.докл.област.науч.-практ.конф."Участие молодых ученых и специалистов в реконструкции и модернизации предприятий, во внедрении новой техники и технологии", Челябинск, окт. 1986 г.-Челябинск, 1986.- С. 33-34.

2. Колесников В.И. Метод обеспечения точности контурного фрезерования в процессе подготовки программы для станка с ЧПУ //Тез.докл.област.науч.-техн.конф."Опыт технологической подготовки производства и эксплуатации станков с ЧПУ", Свердловск, нояб. 1986г.-Свердловск, 1986.- С. II-12.

3. Батуев В.А., Колесников В.И. Применение ЭВМ для моделирования процесса обработки концевыми фрезами на станках с ЧПУ //Тез.докл.науч.-метод.семинара"Внедрение микропроцессорных средств в машиностроении", Челябинск, февр.1987 г.-Челябинск, 1987.- С. 37.

4. Батуев В.А., Колесников В.И. Резервы повышения точности и производительности операций контурного фрезерования на станках с ЧПУ// Тез.докл.науч.-техн.конф."Автоматизация и механизация в машиностроении", Кемерово,май 1987 г.-Кемерово, 1988.- С. 17-18

5. Г зработка исходных данных по учету точностных параметров в нормативах режимов резания для токарных и фрезерных станков с ЧПУ: Отчет о НИР (заключит.)/ Челяб.политехн. ин-т (ЧПИ); Руководитель С.Н.Корчак.- № ГР 01840019208; Иnv.№ 02870032745.- Челябинск, 1987.- 97 с.

6. Колесников В.И. Аналитический расчет параметров режимов резания с учетом точности обработки деталей для операций контурного фрезерования на станках с ЧПУ // Тез.докл.зональн.науч.-техн.конф."Участие молодежи в решении проблемы повышения качества и производительности технологических процессов в машиностроении", Омск, июнь 1987 г.- Омск, 1987.- С. 10.

7. Батуев В.А., Колесников В.И. Нормативно-справочная база для проектирования операций концевого фрезерования на станках с ЧПУ // Тез.докл.Всесоюзн.науч.-техн.конф."Технологическое и нормативное обеспечение станков с ЧПУ и гибких производственных систем", Челябинск, янв. 1988 г.- Челябинск, 1988.- С. 10-II.

8. Разработка САПР технологических процессов на базе СМ и ЕС ЭВМ. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков

с ЧПУ: Отчет о НИР (заключит.) / Челяб. политехн. ин-т (ЧПИ); Руководитель С.Н.Корчак.- № ГР 01.85.0033689; Изв. № 02880022657.- Челябинск, 1987.- 103 с.

9. Назначение режимов резания при точении и фрезеровании концевыми фрезами с учетом точности обработки, включая алгоритмическое оснащение микропроцессоров / С.Н.Корчак, В.И.Гузеев, В.А.Батуев, В.И.Колесников и др.- М.: ВНИИТЭМР, 1987.- 36 с.

10. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 2. Фрезерные работы: Проект I-ой редакции.- М.: ЕВМП Статуправления Московск.обл., 1987.- 303 с.

11. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для технического нормирования работ на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания: Проект I-ой редакции.- М.: ВНИИТЭМР, 1987.- 425 с.

12. Батуев В.А., Колесников В.И. Нормативная база проектирования операций для фрезерных станков с ЧПУ // Тез.докл.П Всесоюзн. семинара "Роботы и гибкие производственные системы", Челябинск, май 1988 г.- М.: Изд. ин-та проблем управления, 1988.- С. 136-137.

13. Корчак С.Н., Батуев В.А., Колесников В.И., Рассказов В.Н. Программа расчета оптимального количества рабочих ходов, глубин резания и режимов резания с помощью мини- и микро- ЭВМ при контурном фрезеровании на станках с ЧПУ: Инф...исток о науч.-техн. достиж. № 88-40.- Челябинск: Изд. Челяб. ЦПТИ, 1988.- 5с.

14. А.с. ... СССР, МКИ⁴ В 23 Q 15/00. Способ управления процессом обработки на станке с числовым программным управлением / В.И.Колесников, В.А.Батуев (СССР).- № 4245907/31-08/079039/- Заявлено 15.05.87; Положит. решение ВНИИГПЭ от 30.05.88.

83 Kat

Подписано к печати 17.03.89. ФБ08063. Формат 60Х90 1/16.
Печ. л. 1. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 101/266.

УОП ЧПИ. 454080. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.