

Контрольный
экземпляр

На правах рукописи



Батуев Виктор Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ
ЧИСТОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ СО СТУПЕНЧАТЫМ ПРИПУСКОМ**

Специальность 05.02.08 — «Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2007

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ).

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор
В.И. Гузеев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Н.М. Султан-заде
кандидат технических наук,
доцент
В.П. Пургин

Ведущее предприятие — ООО «ЧТЗ-УралТрак», г. Челябинск.

Защита диссертации состоится 18 декабря 2007 года, в 12:00, на заседании диссертационного совета Д212.298.06 в ауд. 107 главного корпуса Южно-Уральского государственного университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЮУрГУ.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим высылать по указанному адресу.

Автореферат разослан «__» _____ 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



И.А. Щуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

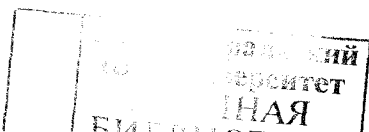
Актуальность. В современном машиностроении существует потребность в изготовлении большого количества деталей пространственно-сложной формы. К таким деталям относится и формообразующая оснастка: штампы, пресс-формы, металлические модели для точного литья и др. Характерной особенностью рабочих поверхностей формообразующей оснастки являются высокие технические требования по точности (8 – 11 квалитеты), шероховатости ($Ra \leq 0,63$) и, как следствие, большая трудоемкость изготовления, достигающая десятков нормочасов.

Наиболее распространенным методом обработки поверхностей пространственно-сложной формы является фрезерование концевыми радиусными фрезами на станках с ЧПУ, а основным средством автоматизированной подготовки управляющих программ являются Computer Aided Manufacture (CAM) системы (“ADEM”, “Pro Engineer”, “Power Mill” и др.), для которых исходными данными являются объемная модель детали, траектории движения инструмента, режимы резания и технологические команды.

Укрупненно технологический процесс обработки пространственно-сложных поверхностей с применением фрезерных станков с ЧПУ состоит из операций чернового фрезерования, чистового фрезерования и доводочной (слесарной) операции. На операции чернового фрезерования производится предопределенное САМ системой послышное снятие напуска, что приводит к появлению ступенчатого припуска под чистовое фрезерование. На операции чистового фрезерования производится снятие ступенчатого припуска и обеспечение заданной точности формы пространственно-сложной поверхности. На доводочной операции достигается заданная шероховатость.

Обработка пространственно-сложных поверхностей концевыми радиусными фрезами на станках с ЧПУ связана с непрерывным изменением геометрических параметров зоны резания, что вызывает силовую нестабильность протекания процесса резания. В свою очередь нестабильность сил резания может вызвать значительные колебания погрешности обработки в пределах одной пространственно-сложной поверхности.

Факторы силовой нестабильности процесса чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском учитываются технологом интуитивно, т.к. САМ системы оставляют вопросы выбора вектора подачи (ее величины и направления) на усмотрение технолога, что снижает эффективность применения этих систем. Поэтому задачи по обоснованному выбору величины и направления подачи относительно ступенчатого припуска, обеспечивающему точность и производительность, при



проектировании операции чистового фрезерования на станках с ЧПУ являются актуальными.

Цель работы. Повышение точности и производительности чистового фрезерования на основе математического моделирования погрешности обработки пространственно-сложных поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи.

1. Разработать расчетные зависимости для определения изменяющихся геометрических параметров зоны резания при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском.

2. Разработать методику расчета составляющих силы резания с учетом изменяющихся геометрических параметров зоны резания при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском.

3. Разработать математические модели погрешности размера динамической настройки чистового фрезерования, позволяющие назначать обоснованные величину и направление подачи при обработке пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском.

4. Разработать методику инженерного проектирования производительной операции чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском при обеспечении заданной точности.

Научная новизна

1. Определена функциональная зависимость изменения толщины срезаемого слоя, положения и длины активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба фрезы с изменением углов наклона обрабатываемой поверхности и величины ступенчатого припуска.

2. Установлено, что ступенчатый припуск вызывает изменение более чем в 2 раза трех составляющих силы резания в пределах малых линейных перемещений инструмента соизмеримых с величиной подачи на оборот при фиксированных углах наклона обрабатываемой поверхности.

3. Разработаны аналитические зависимости для расчета областей допустимых параметров вектора подачи относительно ступенчатого припуска, обеспечивающих заданную точность при наибольшей производительности. Установлено влияние вектора подачи и величины ступенчатого припуска на погрешность размера динамической настройки.

Практическая ценность

1. Для ручной подготовки управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ разработаны справочные материалы – таблица поправочных коэффициентов на подачу, обеспечивающую требуемую точность обработки.

2. Разработан алгоритм расчета вектора подачи, который может быть введен в САМ систему с целью автоматизированного назначения величины и направления подачи на различных участках обрабатываемой поверхности пространственно-сложной формы.

3. Для технологов, производящих подготовку управляющих программ с использованием САМ систем, разработана инженерная методика проектирования производительной операции чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском при обеспечении заданной точности. Применение методики позволяет повысить производительность операции чистового фрезерования в 2 – 4 раза.

Внедрение результатов работы

1. Разработанные таблицы подачи для объемного чистового фрезерования с учетом влияния углов наклона обрабатываемой поверхности на точность обработки вошли в справочник “Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением”, М: Машиностроение, 2005.

2. Разработанная методика инженерного проектирования операций производительной обработки пространственно-сложных поверхностей принята к внедрению компанией ООО “АДЕМ Technologies” в САМ систему “АДЕМ” (г. Москва).

3. Руководящие материалы по назначению вектора подачи, обеспечивающие наибольшую производительность при объемном чистовом фрезеровании, внедрены на предприятии ЗАО ТехАртКом (г. Челябинск) при изготовлении штампов для а/м ВА3 1118 “Калина”.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях в ЮУрГУ (2004, 2005, 2006 г.), международных конференциях (г. Волгоград. 2003 г., г. Барнаул. 2004 г.). Результаты работы прошли промышленную апробацию.

Публикации по теме. По теме работы опубликовано 9 печатных работ (в том числе из них 2 по списку ВАК) в виде научных статей, справочных материалов в издательстве “Машиностроение” и тезисов докладов на международных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 101 странице машинописного текста, содержит 68 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 108 наименований, 5 приложений. Общий объем работы 208 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, и дается аннотация диссертации.

В первой главе проведен анализ работ А.И. Травина, С.Н. Егорова, В.А. Батуева, В.И. Гузеева и др. по изучению процесса объемного фрезерования. Рассмотрены существующие полуаналитические и аналитические зависимости по расчету составляющих силы резания при объемном фрезеровании и способы управления точностью обработки. Показано, что наиболее полно описывающие данный процесс зависимости получены В.И. Гузеевым и В.А. Батуевым. Но данные зависимости разработаны для объемного фрезерования в условиях равномерного припуска, который встречается не более чем на 30% обрабатываемых деталей, а управлять точностью предлагается через регулирование подачи.

В.А. Выборщик рассматривал силовую нестабильность частного случая процесса объемного фрезерования при работе по схеме “поперек”, т.е. под углом 90° относительно ступенек. А управление точностью предлагал осуществлять количеством уточняющих переходов.

Анализ имеющихся работ показал:

— отсутствует аналитическое описание изменяющихся геометрических параметров зоны резания (толщины срезаемого слоя, положения и длины активной части режущей кромки) в каждый момент поворота зуба фрезы при изменении углов наклона обрабатываемой поверхности и величины ступенчатого припуска;

— слабо изучено влияние геометрических параметров зоны резания на нестабильность сил резания при фрезеровании поверхностей пространственно-сложной формы со ступенчатым припуском;

— не исследован вопрос, связанный с управлением через назначение величины и направления подачи чистового фрезерования относительно ступенчатого припуска для получения требуемой точности формы пространственно-сложной поверхности при наибольшей производительности.

На основании этих выводов сформулирована рабочая гипотеза, цель и задачи исследования, представленные выше.

Вторая глава содержит описание методики проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Для проведения теоретических и экспериментальных исследований с целью повышения производительности и точности процесса объемного фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском выбраны методы исследований и обработки полученных результатов.

Также выбрано оборудование, образцы и дано описание проведения экспериментальных исследований.

Дано описание методики теоретических исследований изменяющихся геометрических параметров зоны резания, влияния конфигурации обрабатываемой поверхности на силы резания и их изменение.

Для подтверждения результатов теоретических исследований дано описание методики экспериментальных исследований, состоящей из следующих групп экспериментов: по оценке влияния геометрических параметров зоны резания на составляющие силы резания; по проверке адекватности формул для расчета сил резания при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском; по проверке разработанных рекомендаций для управления точностью фрезерования пространственно-сложных поверхностей. Экспериментальные исследования проводились на трехкоординатном вертикально-фрезерном станке с ЧПУ мод. ГФ2171С с системой ЧПУ FMS-3000. Измерение составляющих силы резания проводилось универсальным динамометром мод. УДМ-600. Величины трех составляющих силы резания и характер их изменения за каждый оборот фрезы регистрировались с помощью светолучевого осциллографа К-121.

Третья глава посвящена разработке методики расчета составляющих силы резания при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей имеющих ступенчатый припуск.

Методика расчета составляющих силы резания при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей, имеющих ступенчатый припуск, состоит из выполнения четырех этапов:

1. Определение вида зависимости для расчета составляющих силы резания с учетом особенностей объемного фрезерования.

2. Расчет геометрических параметров зоны резания при объемном фрезеровании.

3. Определение переменных параметров расчетной схемы действия сил и напряжений на передней и задней поверхностях инструмента.

4. Расчет составляющих силы резания.

На первом этапе обосновано применение аналитических зависимостей для расчета элементарных составляющих силы резания.

Для выполнения второго этапа на основе аналитической геометрии в пространстве разработаны формулы, позволяющие определять толщину срезаемого слоя, положение и длину активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба фрезы.

На рис. 1 приведена расчетная схема для определения толщины срезаемого слоя.

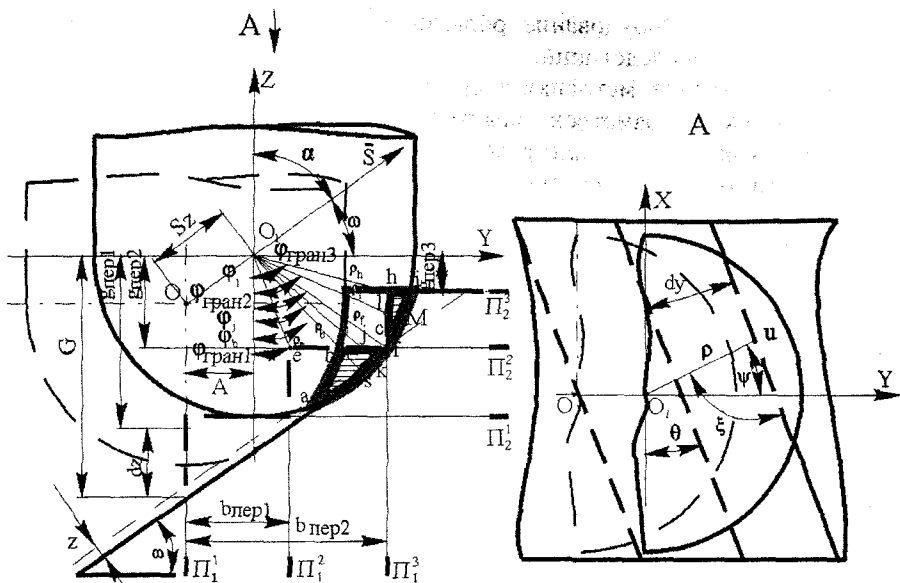


Рис.1. Расчетная схема для определения толщины срезаемого слоя при фрезеровании поверхности со ступенчатым припуском

Определение толщины срезаемого слоя для вертикального участка (a_j) и горизонтального участка (a_j) ступенчатого припуска производится по формулам:

$$a_j = R - ((n-2) \cdot dy + A) \frac{\sin(90-\theta) \sin \varphi_1}{\sin(\psi+\theta)}$$

$$a_j = R - \frac{G - \operatorname{tg} \omega A - dz \cdot (n-1)}{\cos \varphi_j}$$

где R — радиус фрезы; n — порядковый номер плоскости, формирующей ступеньку; dy — ширина ступеньки; A — расстояние, пройденное фрезой от исходного положения с шагом равным подаче на зуб; θ — угол поворота вертикальной плоскости, образующей ступенчатый припуск, относительно направления движения подачи; φ — угол профиля режущей кромки; ψ — угол контакта зуба фрезы; G — расстояние от начала координат до основания первой ступеньки; ω — угол наклона, обрабатываемой поверхности (в направлении движения подачи) к плоскости XOY ; dz — высота ступеньки.

При любых траекториях движения концевой радиусной фрезы, обрабатывающей пространственно-сложную поверхность со ступенчатым припуском, происходит перемещение и изменение величины контакта инструмента с заготовкой вдоль криволинейной режущей кромки. Разработаны зависимости, позволяющие описать "пятно контакта" фрезы с припуском и тем самым определить положение и длину активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба фрезы для разных схем резания, углов наклона обрабатываемой поверхности и величины ступенчатого припуска. Длина рассчитывается путем определения центральных граничных углов $\varphi_{вп}$ и $\varphi_{нп}$.

На третьем этапе производится расчет переменных параметров схемы действия сил и напряжений на передней и задней поверхностях инструмента.

Для выполнения четвертого этапа зависимости расчета составляющих силы резания P^{Σ} , разработанные В.И. Гузеевым и В.А. Батуевым, модифицированы в части определения геометрических параметров зоны резания для условий фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском:

$$P_z^{\Sigma} = \sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(1,15 \sigma_i \int_{\varphi_{нпj}}^{\varphi_{впj}} \frac{a}{\sin \beta_1} \cos \beta R d\varphi + 0,252 \mu \sigma_i \int_{I_3} R d\varphi \right); \quad (1)$$

$$P_x^{\Sigma} = \sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(1,15 \sigma_i \int_{\varphi_{нпj}}^{\varphi_{впj}} \frac{a}{\sin \beta_1} \sin \beta \cos \varphi R d\varphi + 0,252 \sigma_i \int_{I_3} \cos \varphi R d\varphi \right); \quad (2)$$

$$P_y^{\Sigma} = \sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(1,15 \sigma_i \int_{\varphi_{нпj}}^{\varphi_{впj}} \frac{a}{\sin \beta_1} \sin \beta \sin \varphi R d\varphi + 0,252 \sigma_i \int_{I_3} \sin \varphi R d\varphi \right), \quad (3)$$

где z — количество зубьев фрезы; k — количество участков активной части режущей кромки; σ_i — интенсивность напряжений; $\varphi_{вп}, \varphi_{нп}$ — граничные углы профиля активной части режущей кромки; a — толщина срезаемого слоя на рассматриваемом участке активной части режущей кромки; β_1 — угол сдвига; β — угол действия; R — радиус фрезы; μ — коэффициент трения; I_3 — величина площадки затупления.

На четвертом этапе производится расчет составляющих силы резания. Расчеты, проведенные по зависимостям (1), (2) и (3) показали, что изменение составляющих силы резания происходят не только при изменении углов наклона обрабатываемой поверхности, но и при перемещении инструмента

относительно ступенчатого припуска за каждый оборот фрезы. На рис.2 приведены графики изменения составляющих силы резания при изменении “пятна контакта” инструмента со ступенчатым припуском, возникающем при перемещении фрезы относительно последнего с шагом $\Delta A=0,24$ мм.

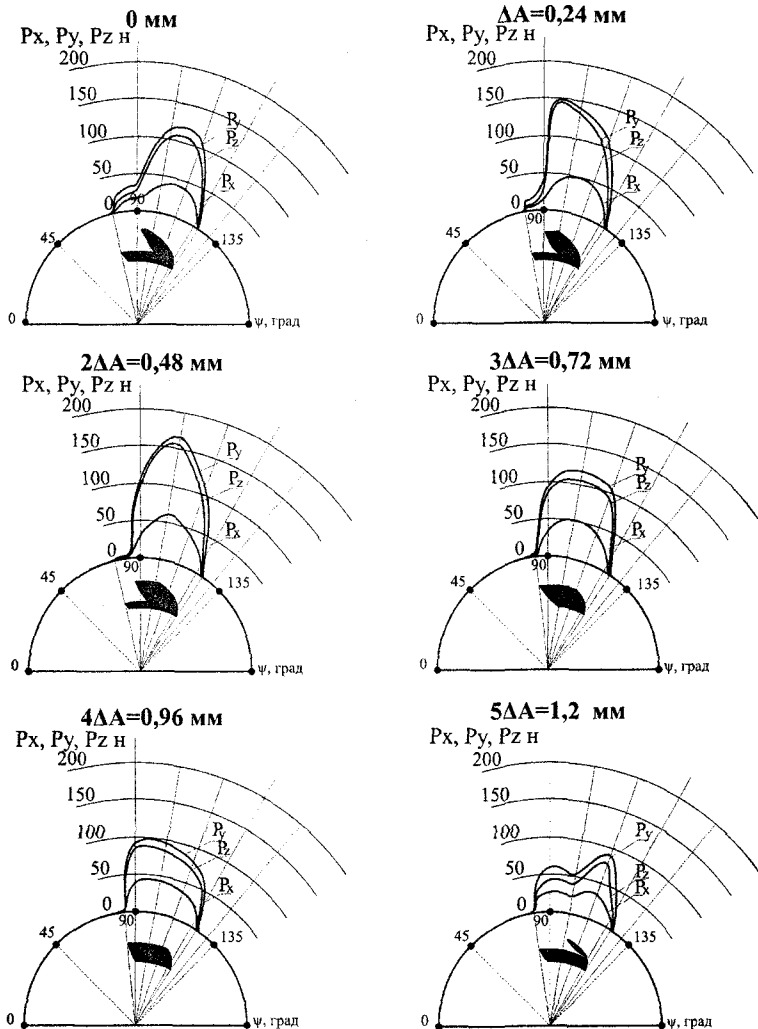


Рис. 2. Влияние формы и положения “пятна контакта” на составляющие силы резания при перемещении фрезы относительно ступенчатого припуска с шагом $\Delta A=0,24$ мм

Из графиков видно изменение составляющих силы резания более чем в 2 раза в пределах малых линейных перемещений инструмента соизмеримых с величиной подачи на оборот при фиксированных углах наклона обрабатываемой поверхности.

Экспериментальные исследования путем динамометрирования сил резания показали, что полученные зависимости адекватно отражают влияние геометрических параметров зоны резания на составляющие силы резания. Погрешность экспериментальных и расчетных значений при этом не превышает 15%.

В четвертой главе приведены исследования влияния силовой неустойчивости на точность объемного фрезерования поверхности со ступенчатым припуском.

Из работ Б.С. Балакшина, А.П. Соколовского и др. ученых известно, что в результате изменения сил резания возникают погрешности размера динамической настройки. Отличительной особенностью возникновения этих погрешностей при объемном фрезеровании является их зависимость от всех трех координатных составляющих упругого отжатия. С учетом формул для определения составляющих силы резания, текущее отклонение ΔN точек реальной поверхности от номинальной поверхности в направлении нормали к нормируемому участку номинальной поверхности определяется из полученной математической модели погрешности размера динамической настройки:

$$\Delta N = \frac{\sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(\begin{array}{c} \varphi_{\text{вн}j} \\ \varphi_{\text{нн}j} \end{array} \right) j l_1 1,5 \sigma_1 S_z \frac{a}{\sin \beta_1} \left[\frac{l^3}{3 E J_{\text{нп}}} \left(\cos \beta \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial x} + \cos \psi \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \right. \right.}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 + 1}} + \left. \left. \sin \beta \cdot \sin \varphi \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial y} - \cos \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\sin \beta \cos \varphi}{j_{z\text{с}}} \right] R d \varphi}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 + 1}} + \frac{\sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(\begin{array}{c} \varphi_{\text{вн}j} \\ \varphi_{\text{нн}j} \end{array} \right) j 0,252 \sigma_1 l_3 \left[\frac{l^3}{3 E J_{\text{нп}}} \times \right.}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 + 1}} \quad (4)$$

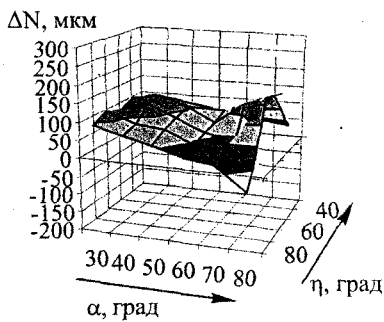
$$\left. \times \left(\mu \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial x} + \cos \psi \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \sin \varphi \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial y} - \cos \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\cos \varphi}{j_{z\text{с}}} \right] R d \varphi \right)$$

где E — модуль упругости; $J_{пр}$ — приведенный момент инерции; $\partial z/\partial x$, $\partial z/\partial y$ — частные производные функции $z = \varphi(x, y)$ по аргументам x и y (тангенсы углов наклона обрабатываемой поверхности относительно направления подачи); $\frac{1}{j_{zc}}$ — податливость станка.

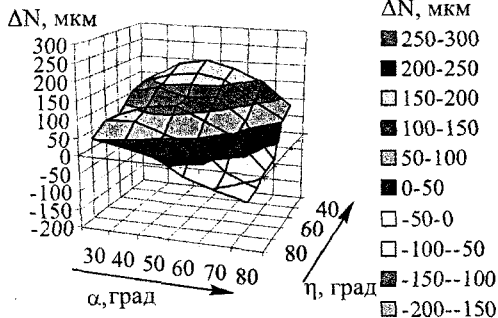
Компьютерные расчеты по формуле (4) показали, что величина погрешности размера динамической настройки зависит от направления движения фрезы относительно ступенчатого припуска, схем фрезерования (“вверх”, “вниз”, “строка слева”, “строка справа”) и углов наклона обрабатываемой поверхности, и может изменяться более чем в 8 раз. На рис. 3 приведены графики погрешности размера динамической настройки при изменении направления движения фрезы, определяемого углами наклона обрабатываемой поверхности α (в направлении движения подачи) и η (в направлении перпендикулярном движению подачи), относительно ступенчатого припуска и схем обработки (строка слева “ $-S_{пер}$ ”, строка справа “ $+S_{пер}$ ”). Из графиков видно прямое влияние направления движения фрезы на погрешность размера динамической настройки.

Для стабилизации размера динамической настройки существует несколько методов, в том числе — за счет управления величиной подачи и управления направлением подачи. Для реализации первого метода может быть применена математическая модель, разработанная В.А. Батуевым и В.И. Гузеевым, и модифицированная для случая обработки пространственно-сложной поверхности со ступенчатым припуском (5).

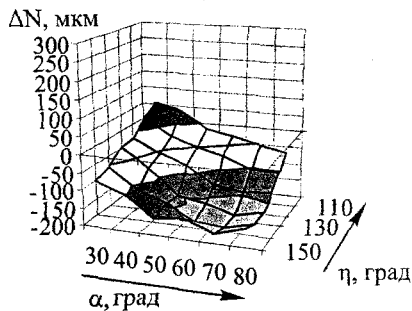
$$S_z = \frac{\Delta N \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} + 1 - \sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(\frac{\varphi_{anj}}{\varphi_{nj}} \int_{0,252}^{\varphi_{anj}} \sigma_1 l_3 \times \right. \\ \left. \sum_{n=1}^z \sum_{j=1}^k \left(\frac{\varphi_{anj}}{\varphi_{nj}} \int_{1,15}^{\varphi_{anj}} \sigma_1 \frac{a}{\sin \beta_1} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[\frac{l^3}{3EJ_{пр}} \left(\mu \left(\cos \psi \frac{\partial z}{\partial y} + \sin \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \sin \varphi \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial y} - \cos \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right) + \frac{\cos \varphi}{j_{zc}} \right] R d \rho \right) \right. \\ \left. \times \left[\frac{l^3}{3EJ_{пр}} \left(\cos \beta \left(\cos \psi \frac{\partial z}{\partial y} + \sin \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \sin \beta \sin \varphi \left(\sin \psi \frac{\partial z}{\partial y} - \cos \psi \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right) + \frac{\sin \beta \cos \varphi}{j_{zc}} \right] R d \rho \right) \right) \quad (5)$$



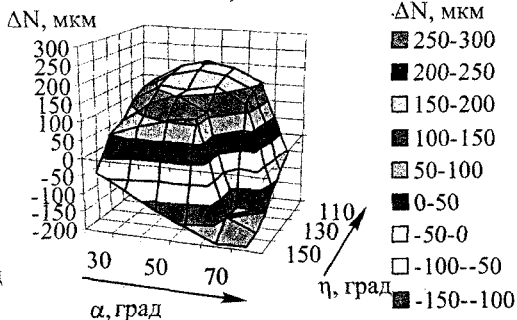
а)



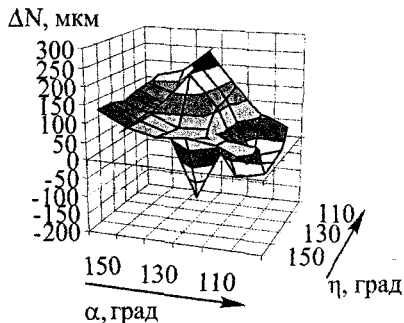
б)



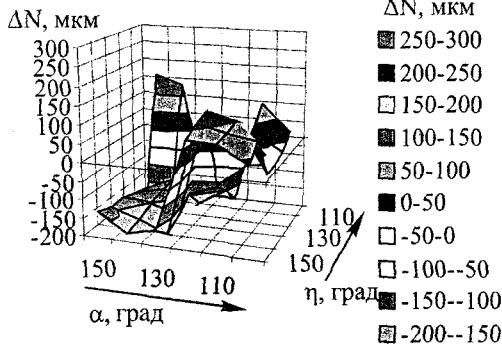
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Графики погрешности размера динамической настройки в зависимости от углов наклона обрабатываемой поверхности α и η при $Sz=0,1$ мм/зуб, $dz=2$ мм, “+Спер”=1,5 мм (а, в, д), “-Спер”=-1,5 мм (б, г, е)

Экспериментальная проверка метода управления величиной подачи, рассчитанной по формуле (5) показала, что фактическая погрешность при обработке характерного участка длиной L находится в пределах границ допустимых значений погрешности размера динамической настройки (рис. 4). На этом же рисунке показана рассчитанная по формуле (4) и фактическая погрешность обработки при фрезеровании с постоянной, произвольно назначенной подачей $S_z=0,1$ мм/зуб.

Для реализации второго метода (управление направлением подачи относительно ступенчатого припуска) были рассчитаны и построены контурные диаграммы (по аналогии с графиками, представленными на рис. 3), отражающие зависимость погрешности размера динамической настройки от углов наклона обрабатываемой поверхности, схемы обработки и высоты ступенчатого припуска. Полученные диаграммы служат для выбора направления подачи на конкретных участках детали при заданной точности обработки. Проведенные эксперименты по обработке поверхностей с обоснованно назначенным направлением подачи относительно ступенчатого припуска, обеспечивающим заданную точность, показали адекватность второго метода управления (рис. 5).

В пятой главе приведено практическое использование результатов исследования.

С целью выбора вектора подачи обеспечивающего заданную точность разработана методика инженерного проектирования операции чистового фрезерования. Методика включает в себя следующие этапы:

1. Разбиение поверхности пространственно-сложной формы на элементарные участки путем проецирования сетки с заданным размером ячейки на пространственно-сложную поверхность с целью их анализа и последующего формирования из них зон обработки.

2. Определение углов наклона элементарного участка.

3. Определение ожидаемых погрешностей размера динамической настройки в пределах элементарного участка при разных направлениях вектора подачи относительно этого участка.

4. Путем решения комбинаторной задачи о покрытиях, формирование зон обработки (односвязных областей), где допускается одинаковая проекция вектора подачи, обеспечивающего заданную погрешность размера динамической настройки.

5. Окончательное формирование контура зон обработки с учетом перекрытия смежных областей и ввод параметров вектора подачи в САМ систему.

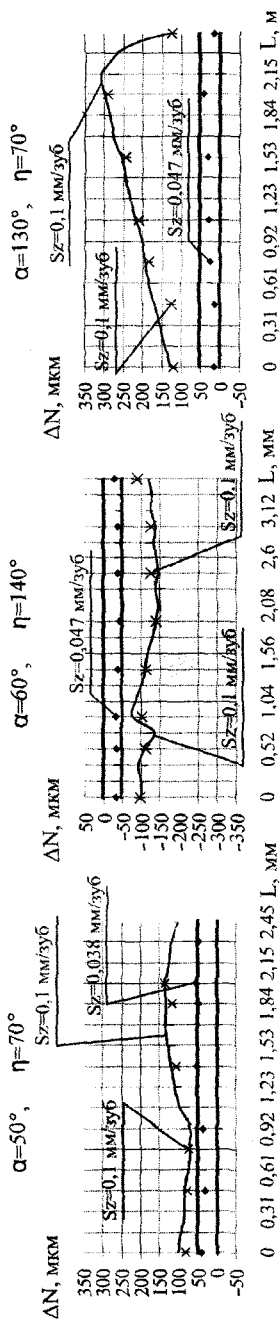


Рис. 4. Экспериментальная проверка адекватности метода управления величиной подачи по формуле (5) и формулы (4) расчета погрешности размера динамической настройки: ——— расчетная погрешность обработки при $Sz=\text{const}=0,1 \text{ мм/зуб}$; $\times \times \times$ — фактическая погрешность при $Sz=\text{const}=0,1 \text{ мм/зуб}$; $\blacklozenge \blacklozenge$ — границы допустимых значений погрешности размера динамической настройки

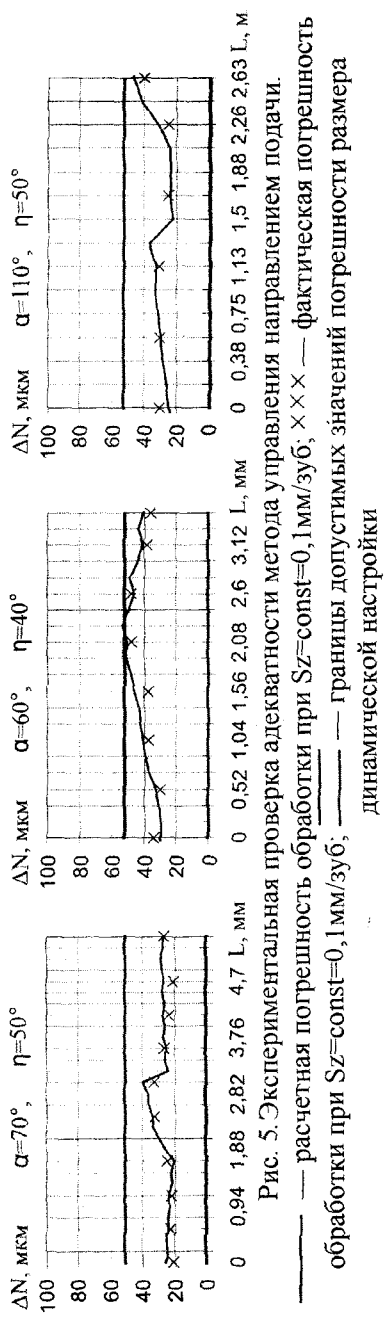


Рис. 5. Экспериментальная проверка адекватности метода управления направлением подачи: ——— расчетная погрешность обработки при $Sz=\text{const}=0,1 \text{ мм/зуб}$; $\times \times \times$ — фактическая погрешность обработки при $Sz=\text{const}=0,1 \text{ мм/зуб}$; ——— границы допустимых значений погрешности размера динамической настройки

Для подтверждения эффективности разработанной методики проведен анализ влияния разных вариантов чистового фрезерования пространственно-сложной поверхности на точность и производительность. В качестве примера было рассмотрено три возможных варианта обработки пространственно-сложной поверхности, представленной на рис. 6 и 7:

1. Обработка всей пространственно-сложной поверхности в одном направлении, с постоянной подачей: а) с подачей $S_z=0,1$ мм/зуб, рекомендуемой фирмой Sandvik Coromant для рассматриваемых условий (рис. 6, а); б) с лимитирующей подачей $S_z=0,021$ мм/зуб, рассчитанной по формуле (5) для участка с наиболее неблагоприятными условиями резания (рис. 6, б).

2. Обработка пространственно-сложной поверхности в одном направлении, но с переменной подачей, обеспечивающей заданную точность и рассчитанной по формуле (5) для разных участков траектории (рис. 6, в).

3. Обработка пространственно-сложной поверхности с постоянной подачей $S_z=0,1$ мм/зуб, рекомендуемой фирмой Sandvik Coromant, и разным направлением (углы α и η) вектора подачи выбранным по контурным диаграммам для разных зон обработки (рис. 7).

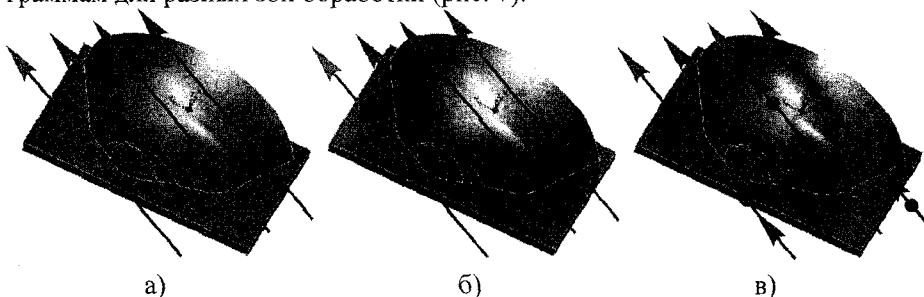


Рис. 6. Пространственно-сложная поверхность, фрезеруемая в одном направлении: а — $S_z=\text{const}=0,1$ мм/зуб; б — $S_z=\text{const}=0,021$ мм/зуб; в — $S_z=\text{var}$

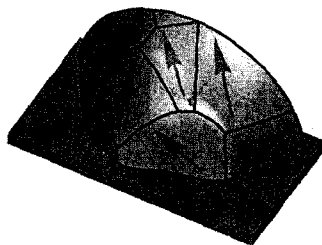


Рис. 7. Пространственно-сложная поверхность, разбитая на зоны обработки и фрезеруемая с разными направлениями вектора подачи

Сравнение производительности разных вариантов обработки рассматриваемой пространственно-сложной поверхности проведено с применением САМ системы "АДЕМ 8.0". Анализ полученных результатов показал, что в первом варианте при обработке с подачей $S_z=0,1$ мм/зуб требуемая точность фрезерования достигается лишь на двух из десяти участках обрабатываемой пространственно-сложной поверхности и время обработки составляет 11 ч 25 м 47 с; при обработке с подачей $S_z=0,021$ мм/зуб требуемая точность достигается на всей поверхности детали, но время фрезерования увеличивается в 5 раз из-за назначения подачи по лимитирующему участку; во втором варианте, требуемая точность достигается на всей поверхности детали, но время обработки составляет 43 ч 21 м 44 с; в третьем варианте, требуемая точность достигается на всех участках при наибольшей производительности обработки – 10 ч 46 м 21 с. Таким образом, при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей имеющих ступенчатый припуск наиболее эффективным для стабилизации погрешности размера динамической настройки является метод управления направлением подачи.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика расчета составляющих силы резания с учетом геометрических параметров зоны резания при фрезеровании пространственно-сложной поверхности со ступенчатым припуском. Данная методика позволяет рассчитать составляющие силы резания с учетом непрерывно изменяющихся в процессе объемного фрезерования толщины срезаемого слоя, положения и длины активной части режущей кромки.

2. В процессе объемного фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском изменение геометрических параметров зоны резания приводит к изменению составляющих силы резания P_x , P_y и P_z более чем в 2 раза в пределах малых линейных перемещений инструмента.

3. Нестабильность сил резания приводит к возникновению погрешности размера динамической настройки, которая изменяется более чем в 8 раз на разных участках пространственно-сложной поверхности.

4. Разработана математическая модель возникновения погрешности размера динамической настройки чистового фрезерования (4), позволяющая реализовать два способа управления: изменением величины подачи (5) и направления подачи относительно ступенчатого припуска с целью повышения точности и производительности обработки.

5. При чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей, имеющих ступенчатый припуск, наиболее эффективным для стабилизации погрешности размера динамической настройки является метод

управления направлением подачи, позволяющей обеспечить заданную точность на всех участках обрабатываемой детали.

6. Разработанная методика инженерного проектирования производственной операции чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском прошла производственную апробацию и принята к внедрению в САМ систему "ADEM". Применение разработанной методики позволяет повысить производительность операции чистового фрезерования в 2 – 4 раза при обеспечении заданной точности.

Основные положения и результаты диссертации

опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией

1. Батуев, В.В. Влияние положения и длины активной части режущей кромки на составляющие силы резания при фрезеровании пространственно-сложной поверхности со ступенчатым припуском / В.В. Батуев // Известия вузов. Машиностроение. — 2006. — №10. — С. 23–24.

2. Батуев, В.В. Подача для чистовой обработки. Фрезерование пространственно-сложных поверхностей / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков // Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник / под ред. В.И. Гузеева. — М.: Машиностроение, 2005. — С.237–240.

В других изданиях

3. Батуев, В.А. Размерно-точностное проектирование последовательности операций обработки пространственно-сложных поверхностей / В.А. Батуев, В.В. Батуев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. — С.28–31.

4. Гузеев, В.И. Учет влияния следов предшествующей обработки на точность фрезерования пространственно-сложных поверхностей / В.И. Гузеев, В.В. Батуев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С.115–117.

5. Батуев, В.А. Обеспечение точности чистового фрезерования пространственно-сложных поверхностей с учетом влияния стратегий черновой обработки / В.А. Батуев, В.В. Батуев // Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства: сб. материалов международной научной конференции. — Волгоград, 2003. — С.60–63.

6. Батуев, В.А. Управление подачей с целью обеспечения точности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ / В.А. Батуев, В.В. Батуев // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. — Барнаул: Изд-во АГТУ им. И.И. Ползунова, 2003. — С.11–12.

7. Батуев, В.В. Обеспечение производительности при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей в условиях заданной точности / В.В. Батуев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. — С.91–94.

8. Гузеев, В.И. Влияние допущений принятых в расчетах толщины срезаемого слоя на составляющие силы резания при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей / В.И. Гузеев, В.В. Батуев // Современные технологии и бизнес: сб. науч. тр. — Челябинск: Издание ЧНЦ РАЕН, ЧРО МААНОИ, ЧООО РС НИО, ЧелЦНТИ, 2006. — С. 33–36.

9. Батуев, В.В. Расчет толщины срезаемого слоя при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей, имеющих ступенчатый припуск / В.В. Батуев // Известия Челябинского научного центра. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006.

Батуев Виктор Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ЧИСТОВОГО
ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
СО СТУПЕНЧАТЫМ ПРИПУСКОМ**

Специальность 05.02.08 — «Технология машиностроения»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

Подписано в печать 09.11.2007. Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Тираж 80 экз. Заказ 399 / 79.

Отпечатано в типографии издательства ЮУрГУ. 454080, Челябинск,
пр. им. В.И. Ленина, 76