



ВЕСТНИК за́водностроене́я

ЕХЕМЕСАЧПЫЁ ПАБЧПО-ТЕВПНЧЕСКНЁ Н ПРОИВОДСТВЕППЫЁ ХОРПАЛ

9
2007

Орган информации

ВЕНЕСТЕРСТВА ПРОВЫШЛЕННОСТЁ
Ё ЗНЕРГЕТЁНЁ РФ

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алексейчук Г.П., Алешин Н.П., Братухин А.Г.,
Воронцов А.Л., Гусейнов А.Г., Дмитриев А.М.
(председатель секции обработки материалов без
снятия стружки), Драгунов Ю.Г., Древалёв А.Е.
(председатель секции технологии заиностроене-
ния), Дроздов Ю.Н. (председатель секции кон-
струирования и расчёта заоин), Кутин А.А.,
Логунов А.В., Омельченко И.Н. (председатель
секции организации и экономики производства),
Пименов А.Ф., Попов Д.Н., Салтыков М.А.,
Трегубов Г.П., Цыганкова И.А. (ответственный
секретарь)

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1926 ГОДА

*Журнал входит в перечень утвержденных
ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней*

Журнал переводится на английский язык,
перездается и распространяется
во всем мире фирмой
"Аллертон Пресс" (США)

Ордена Трудового Красного Знамени
ОАО «Издательство "Машностроение"»
07076, Москва, Стромынский пер., 4

Адрес редакции:

129626, Москва,

проспект Мира, д. 106, а/я 78.

Телефоны: (495) 687-63-37, (495) 682-77-11

E-mail: vestmash@mashin.ru

www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за
№ 77-12421 в Комитете Российской Федерации по
патентам

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: 70120 ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Подольская периодика",
142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Яковлев В. В. — Конструктивная прочность изделий в свете теории устойчивости процесса деформирования и пластичности.....	3
Кулиш Е. В., Турыгин Ю. В. — Методика расчета прессовых полисоединений . . .	9
Бирюков В. И. — Методика расчета амплитуды и частоты автоколебаний в камере ЖРД с термическим разложением гидразина	11
Мамедов А. Ф. — Кинематический анализ движения ведомого цилиндрического зубчатого колеса с прямыми зубьями.....	15
Александров И. К. — Энергетический КПД машины с частичной рекуперацией энергии.....	17

Цикл статей

"Проблемы трения — проблемы, связанные с трением и смазкой"

Колесников В. И., Сычев А. П., Сергиенко В. П., Купреев А. В. — Тепловые эффекты и структурные изменения материалов в маслоохлаждаемых frictionных парах трения	19
---	----

Металлургическое оборудование и прокатное производство

Поляков Б. Н. — Напряженно-деформированные состояния и оптимальные конструктивные параметры станин заготовочных и листовых прокатных станов	3
---	---

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Кутин А. А., Пирогов В. В. — Методы обеспечения требуемой точности обработки слоистых деталей с учетом технологических особенностей многокоординатного фрезерования	19
Бахареv В. П., Куликов М. Ю., Верещака А. С. — Регулирование микродоводных процессов финишной обработки минералокерамики путем применения эффективных СОТС.....	35
Еренков О. Ю. — Химико-механический подход к обработке полимерных материалов резанием	40
Кабалдин Ю. Г., Биленко С. В., Муравьев С. Н. — Информационная модель самоуправления синтеза наноматериалов	43
Коротаев Д. Н. — Выбор оптимального способа упрочнения прецизионных поверхностей трения	50
Латышев В. Н., Наумов А. Г., Раднюк В. С., Подгорков В. В. — К вопросу о проникновении СОТС на контактные площадки при резании металлов.....	53

Обработка материалов без снятия стружки

Воронцов А. Л. — Новая теория осадки цилиндрической заготовки	55
---	----

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. — Метод эволюционного синтеза слоистых технических объектов с использованием экспертных знаний	65
Омельченко И. Н., Лазаренко А. Г. — Графоаналитическое решение логистической задачи о максимальном сетевом потоке минимальной стоимости	71
Меньшиков В. В., Козлов Г. В., Ерошин С. Е. — Метод построения рейтинговой системы оценок эффективной деятельности.....	73

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сызранцев В. Н., Голофаст С. Л., Обакшин П. А., Змызгова Т. Р. — Особенности фильтрации цифровых изображений реакции датчиков деформаций интегрального типа для оценки поврежденности деталей и конструкции машин	77
Иванов А. Н. — Выставка "Мир инструмента-1007"	78
Иванов А. Н. — Выставка "Интерлакокрапка-1007"	81

История науки и техники

Шелест П. А. — От паровой машины Д. Ватта до газовой турбины А. Н. Шелеста . . .	83
Потапова Г. С. — Обзор зарубежньх изданий.	93
Реклама	51, 64
Вниманию читателей.....	76

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

Yakovlev V. V. — Product mechanical strength from the standpoint of the stability theory of the deformation and ductility process	3
Koulish Ye.V., Turygin Yu.V. — Press poly-joints design procedure	9
Biryukov V. I. — Calculation technique of the amplitude of self-oscillations and vibration frequency in the liquid-fuel rocket engine chamber with hydrazine thermal decomposition	11
Mamedov A. F. — Kinematic analysis of the driven spur gear	15
Alexandrov I. K. — Energy efficiency of a machine with energy partial recuperation	17

Series of articles

"Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication"

Kolesnikov V. I., Sychiou A. P., sergiuenko V. P., Koupreev A. V. — Materials thermal effects and structural changes in oil-cooled frictional pairs	19
---	----

Metallurgical equipment and rolling

Polyakov B. N. — Deflected mode and optimal and design factor of the billet and sheet mills stands	3
--	---

MANUFACTURING TECHNOLOGY

Kutin A. A., Pirogov V. V. — Assurance of the working accuracy requirement for complex components considering multicoordinate milling process features	19
Bakharev V. P., Koulikov M. Yu., Vereschaka A. S. — Control of the operational microdeveloping processes at ceramic mineral final polishing by applying effective cooling lubricants	35
Yerenkov O. Yu. — Chemical-mechanical approach to cutting polymeric materials	40
Kabalidin Yu.G., Bilenko S. V., Mouraviov S. N. — Information models of nano-materials self-controlled synthesis	43
Korotayev D. N. — Precision rubbing surface optimal strengthening decision	50
Latyshiev V. N., Naumov A. G., Radnyuk V. S., Podgorkov V. V. — On the problem of the cooling lubricants penetration onto contact areas at metal cutting	53

Chipless materials working

Vorontsov A. L. — New theory of the cylindrical blanks upsetting	55
--	----

PRODUCTION ORGANIZATION AND ECONOMICS

Andreychikov A. V., Andreychikova O. N. — Evolutionary synthesis procedure of complex technical objects by using expertise	65
Omelchenko I. N., Lazarenko A. G. — Graphic-analytical logistic task solution on maximal network flow of minimum value	71
Menshikov V. V., Kozlov G. V., Yeroshin S. Ye. — Method of building effectiveness rating system	73

TECHNICAL INFORMATION

syzrantsev V. N., Golofast S. L., Obakshin P. A., Zmyzгова T. R. — Characteristic properties of digital image filtering of the strain integral gauge response to estimate failure rate of components and machine hardware	77
Ivanov A. N. — "ISET (Tool World)1007" exhibition	78
Ivanov A. N. — The "Interlakokraska1007" exhibition	81

History of science and engineering

shelest P. A. — From D. Watt's steam-engine to A. N. Shelest's gas turbine	83
Potapova G. S. — Review of foreign journals	93

Художественный редактор Т. Н. Галицына

Технический редактор О. А. Ефремова

Корректор М. Г. Джавадиян

Сдано в набор 02.07.2007. Подписано в печать 16.08.2007.

Формат 60 S 88 1/8. Буцаа офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,76. Уд.-изд. л. 14,59. Заказ 122.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

УДК 621.914.7.001.891.573

А. А. Кутин, д-р техн. наук, В. В. Пиро́фов, канд. техн. наук (МГТУ "Станкин")

Методы обеспечения требуемой точности обработки сложных деталей с учетом технологических особенностей многокоординатного фрезерования

Представлено создание топологических структур на основе аналитических сплайновых кривых с плавающими областями определения. Предлагается метод расчета траектории движения инструмента с учетом особенностей многокоординатного фрезерования. Разработанные алгоритмы являются основой прикладного программного обеспечения CAD/CAM системы, позволяющей по конструкторской информации автоматизированно программировать обработку сложных деталей на многокоординатных станках с ЧПУ. Новый метод подготовки управляющих программ позволил существенно повысить точность обработки.

Topological structure creation on the base of analytic spline curves with floating definitional domain is covered. Tooling mechanical trajectory calculation procedure is suggested considering multicoordinate milling process features. Developed algorithms are the base for the CAD/CAM applied software system, enabling to programme machining of complex components on multiaxes NC machines by designer's information. The new procedure of control programmes preparation allows for significant increase in working accuracy.

1. Введение

В последнее время существенно возросли возможности вычислительной техники, что позволяет в десятки раз повысить скорость программирования процессов обработки деталей с использованием широко распространенных методов. С другой стороны, широкое внедрение в производство высокоскоростной и многокоординатной обработки требует нового математического обеспечения описания сложных поверхностей деталей. Вместе с этим конструкторы постоянно совершенствуют и усложняют изделия, что создает дополнительные сложности технологам. Эти проблемы невозможно решить с использованием широко распространенных известных алгоритмов.

В качестве примера рассмотрим турбинное колесо, формообразующая поверхность лопатки которого имеет двойную кривизну (рис. 1). Конструкторы с целью увеличения нагнетающей способности колеса удвоили число полных лопаток и, соответственно, число усеченных. При этом уменьшилась толщина лопаток. Реальное время обработки такого колеса должно было удвоиться, на самом деле оно увеличилось почти в 10 раз: раньше на обработку одного канала затрачивали 1 ч, те-

перь — 6 и 20 мин. Это обусловлено: 1) использованием инструмента меньшего диаметра, из-за чего рабочую подачу снизили с 200 до 80 мм/мин; 2) введением дополнительных проходов, так как из-за уменьшения толщины лопатки при большом съеме материала возникали большие деформации детали.

Для сокращения времени обработки детали требуется введение высокоскоростного резания и новых технологических методов многокоординатного фрезерования. Данное обстоятельство потребовало разработки новых методов программирования формообразующих движений инструмента для увеличения скорости и точности расчетов.

2. Использование топологических структур при создании математических моделей обработки деталей

Повышение точности и геометрической сложности современных изделий требует новых подходов к разработке математического обеспечения систем программирования обработки деталей на станках с ЧПУ. Расчеты

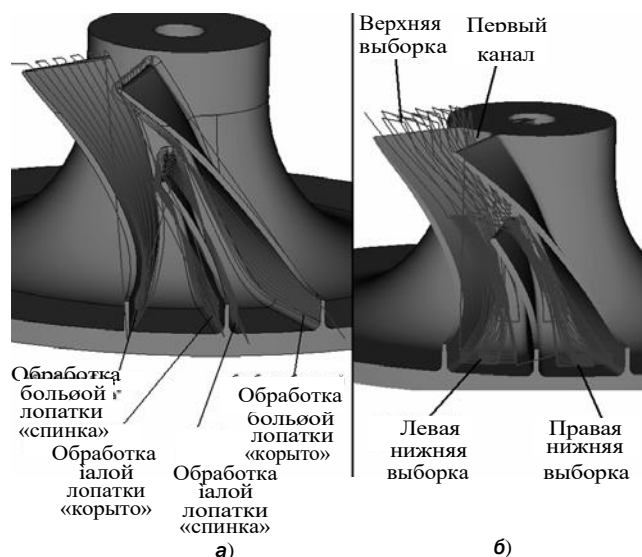


Рис. 1. Турбинное колесо с лопатками первоначальной формы (а) и измененными (б)

показывают, что при увеличении точности аппроксимации на порядок скорость вычислений уменьшается на два порядка. Для решения данной проблемы, возникающей на Этапе моделирования траекторий, необходимы постоянный пересчет модели первого приближения и ее уточнение для пересчета сопрягающего вектора в зависимости от направления инструмента, а время, потребное для такого пересчета, очень велико.

Приведем обобщенную зависимость для определения кривой в виде аналитического сплайна:

$$C(t) = \begin{cases} x(t) = \frac{1}{2} a_{x0} + \sum_{k=1}^{n_x} \left[a_{xk} \cos\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) + b_{xk} \sin\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) \right]; \\ y(t) = \frac{1}{2} a_{y0} + \sum_{k=1}^{n_y} \left[a_{yk} \cos\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) + b_{yk} \sin\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) \right]; \\ z(t) = \frac{1}{2} a_{z0} + \sum_{k=1}^{n_z} \left[a_{zk} \cos\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) + b_{zk} \sin\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) \right]. \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим систему (1) с точки зрения алгоритмического обеспечения функций математической модели. Получив обобщенные зависимости для всех видов кривых, расчетную базу наиболее удобно строить на основе матричных произведений. Определим совокупности коэффициентов, а именно векторы коэффициентов a и b :

$$\begin{cases} a_{c0} = (a_{x0}, a_{y0}, a_{z0}); \\ a_{c1} = (a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}); \\ \dots \\ a_{cN} = (a_{xN}, a_{yN}, a_{zN}), \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} b_{c0} = (0, 0, 0); \\ b_{c1} = (b_{x1}, b_{y1}, b_{z1}); \\ \dots \\ b_{cN} = (b_{xN}, b_{yN}, b_{zN}). \end{cases} \quad (3)$$

Для выбора значения числа N наиболее логично

применить правило наивысшего значащего коэффициента:

$$N = \max(n_x, n_y, n_z). \quad (4)$$

Исходя из принятых уравнений (2) и (3), на основании системы (1) запишем общую формулу

$$C(t) = \frac{1}{2} a_{c0} + \sum_{k=1}^N \left[a_{ck} \cos\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) + b_{ck} \sin\left(k \frac{2\pi}{T} t\right) \right], \quad (5)$$

где $N = \max(n_x, n_y, n_z)$.

Далее, сформировав матрицы коэффициентов в виде векторов N -го измерения и внося поправку, которая составляет $1/2$, внутрь вектора a_{c0} , определим:

$$\begin{cases} A_c = (a_{c1}, a_{c2}, K, a_{cN}); \\ B_c = (b_{c1}, b_{c2}, K, b_{cN}); \\ a_c = \left(\frac{1}{2} a_{x0}, \frac{1}{2} a_{y0}, K, \frac{1}{2} a_{z0} \right). \end{cases} \quad (6)$$

Для расчетной части саддимся векторами $(N-1)$ измерения косинусов и синусов:

$$\begin{cases} C = \left[\cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right), \cos\left(\frac{4\pi}{T} t\right), K, \cos\left(N \frac{2\pi}{T} t\right) \right]; \\ S = \left[\sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right), \sin\left(\frac{4\pi}{T} t\right), K, \sin\left(N \frac{2\pi}{T} t\right) \right]. \end{cases} \quad (7)$$

Из систем (6) и (7) получаем общую математическую структуру вычислений:

$$C(t) = a_c + (A_c \cdot C_c) + (B_c \cdot S_c). \quad (8)$$

Определив равенство (8) как математическое основание для вычисления геометрических параметров кривых по всей модели детали, можно получить все расчетные алгоритмы по всем Элементом в параллельном режиме. Далее, формируя векторные матрицы C_c и S_c , используя их скалярное произведение с векторными матрицами A_c и B_c и делая поправку на вектор a_c , можно проводить расчеты на всех ребрах внутри цикла и на всех циклах одновременно. Такой режим вычислений позволяет сократить число повторяющихся операций до наименьшего для однотипных ребер в модели детали. В результате время расчета сократится приблизительно в 5,5 раза. Это связано с процессом подготовки вычислительных структур A_c и B_c для кривых.

Аналогично для поверхности, основанной на u и v кривых, можно представить следующие уравнения расчета:

$$S(u, v) = \begin{cases} x(u, v) = \frac{1}{2} [a_{x0} + \tau v(c_{x0} - a_{x0})] + \\ + \sum_{k=1}^n \left\{ [a_{xk} + \tau v(c_{xk} - a_{xk})] \cos\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) + \right. \\ \left. + [b_{xk} + \tau v(d_{xk} - b_{xk})] \sin\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) \right\}; \\ y(u, v) = \frac{1}{2} [a_{y0} + \tau v(c_{y0} - a_{y0})] + \\ + \sum_{k=1}^n \left\{ [a_{yk} + \tau v(c_{yk} - a_{yk})] \cos\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) + \right. \\ \left. + [b_{yk} + \tau v(d_{yk} - b_{yk})] \sin\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) \right\}; \\ z(u, v) = \frac{1}{2} [a_{z0} + \tau v(c_{z0} - a_{z0})] + \\ + \sum_{k=1}^n \left\{ [a_{zk} + \tau v(c_{zk} - a_{zk})] \cos\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) + \right. \\ \left. + [b_{zk} + \tau v(d_{zk} - b_{zk})] \sin\left(k \frac{2\pi}{T} u\right) \right\}, \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } a_{xk} = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x_l(\tau) \cos\left(k \frac{2\pi}{T} \tau\right) d\tau; \quad b_{xk} = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x_l(\tau) \sin\left(k \frac{2\pi}{T} \tau\right) d\tau;$$

$$c_{xk} = -\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x_r(\tau) \cos\left(k \frac{2\pi}{T} \tau\right) d\tau; \quad d_{xk} = -\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x_r(\tau) \sin\left(k \frac{2\pi}{T} \tau\right) d\tau$$

при $k \in [0; n_x]$.

3. Создание топологической модели объединения поверхностей для расчета траектории движения инструмента

Созданная модель представления базовых геометрических Элементов для расчета траектории движения инструмента ориентирована на многоосевую фрезерную обработку с возможностью параметрического задания технологических параметров. Доля многокоординатного фрезерования среди других видов металлообработки с каждым годом увеличивается. Однако наряду с Элементарными требованиями обеспечения обработки за одну установку без смены технологических баз возникает и ряд принципиально новых задач, которые можно разбить на три основные группы:

- 1) обеспечение максимальной скорости обработки и сокращение сроков выпуска готового изделия;
- 2) сокращение числа технологических переходов путем повышения точности промежуточных Этапов обработки;
- 3) повышение точности изготовления изделия для обеспечения новых требований заказчиков.

Все представленные выше тенденции должны адекватно учитываться при технологической подготовке производства. Таким образом, CAD/CAM система, в которой рассматриваются управляющие программы, должна точно описывать геометрию детали, обладать гибкостью задания относительного положения инструмента и детали, а также иметь возможность учитывать особенности процесса резания. При этом в структуре самой системы должны быть учтены и особенности ведения всей Электронной документации, поступающей с Этапа конструирования. Именно такие виды исходной информации являются основными при моделировании обработки.

Решения подобных задач реализуются в специализированных программных модулях, выполненных для совместного использования с программным комплексом T-Flex в рамках CAM системы T-Flex UPU 10.0 совместной разработки МFTУ "Станкин" и компании "Топ-системы". Для демонстрации параметров и операций, выполняемых этими модулями, рассмотрим пример расчета управляющей программы для обработки деталей с пространственно-сложными поверхностями (ПСП).

Пространственную сложность поверхностей рассматриваемых деталей (рис. 2) определяют следующие факторы:

1. *Геометрическая сложность.* Детали состоят из поверхностей двойной кривизны и плавных сопряжений, полученных на Этапе гидродинамического или газодинамического анализа при расчете технических характеристик агрегатов. Этот аспект не позволяет проводить расчеты траекторий движения инструмента на основе

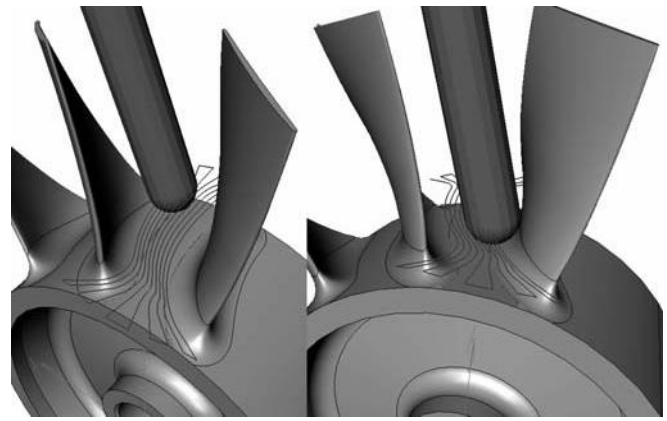


Рис. 2. Пример пространственной сложности поверхностей

линейчатых переходов по подобным контурам, перетекающим от направляющих к ограничивающим. Необходимо учитывать координаты каждой точки на поверхности и направления нормалей в них для точного расчета координат положения и наклона инструмента. Прием учета непрерывности перехода от точки к точке необходимо контролировать минимум до второй производной, анализируя процесс изменения кривизны.

2. *Технологическая сложность.* Особенности взаимного расположения поверхностей обрабатываемых деталей приводят к образованию "теневых зон" и сужений. Кроме того, технологический эффект "проскальзывания" инструмента также составляет учитывать касание вершиной фрезы обрабатываемых и ограничивающих поверхностей изделия, так как именно это приводит к подрезам поверхностей. Наклон инструмента в этом случае необходимо задавать так, чтобы исключить задевание периферийной частью инструмента других поверхностей и обеспечить уход вершины фрезы из граничных положений касательного пятна.

3. *Геометрическо-технологическая сложность.* Соотношение геометрических размеров элементов детали (например, высоты и толщины лопатки), а также место перехода базовых образующих поверхностей дают неравномерное распределение жесткости вдоль всей обрабатываемой поверхности. Именно различные величины обратной податливости геометрических элементов детали не позволяют использовать постоянные усилия резания, что, в свою очередь, обуславливает невозможность задания постоянных переходных технологических параметров (припуска на обработку, подачи на проходе и т. д.). Все это приводит к необходимости формирования определяющих условий на основе технологических параметров в непрерывно переменной зависимости при расчетах управляющих программ.

В функции модулей расчета траекторий и подготовки управляющей программы системы T-Flex UPU включены специализированные алгоритмы, позволяющие учитывать эти особенности.

Основными функциями подготовительного Этапа параметрической обработки являются: расчет базовых областей определения каждой поверхности, формирующих вид прохода траектории относительно детали; cos-

дание единой габаритной структуры путем задания технологическим дополнительными геометрическими Элементами модели и определения составляющих обрабатываемых и ограничивающих граней. Для использования Этого алгоритма необходимо построить 3D-контур на основе ограничивающих граней, а затем перейти к заданию геометрических параметров подготовки управляющей программы. Последовательно выбирая модель детали (твердое тело) и указывая на ней направляющий 3D-путь (верхний контур) и ограничивающий 3D-путь (нижний контур), технолог определяет геометрическую компоненту траектории (пути могут быть замкнутыми). Дальнейшими шагами расчета являются следующие:

1) поверхности, ограниченные выбранными путями, программно "сшиваются" в единую поверхность;

2) к образованной поверхности строится Эквидистанта, величина смещения которой определяется радиусом инструмента;

3) рассчитываются точки траектории, лежащие на Этой поверхности, с учетом равномерного перехода параметрической соны от верхней ограничивающей грани, где принимается $V = 0$, до нижней ограничивающей грани, где принимается $V = 1$. Прием в зависимости от типа выбранных проходов можно получить набор замкнутых витков траектории: каждая точка витка идет либо с постоянной составляющей по $V = \text{const}$ — "петля" или "zigzag", либо с постоянной величиной углубления по $V' = V + dV$ — спиральная линия с постоянным шагом углубления.

Этот способ позволяет не только получить траекторию движения инструмента с точно определенным его положением относительно поверхности, но и учесть форму ограничивающих контуров, задающих форму проходов. Такой вид формообразования переходного уровня можно обеспечить, исходя из основных расчетных зависимостей аппроксимирующих функций, реализующих скользящую параметрическую сону без использования дополнительных порций. Это позволяет на Этапе изготовления детали учесть ее функциональные особенности (рис. 3), а именно формирование остаточного гребешка на рабочих поверхностях детали в направлениях, соответствующих протеканию рабочих по-

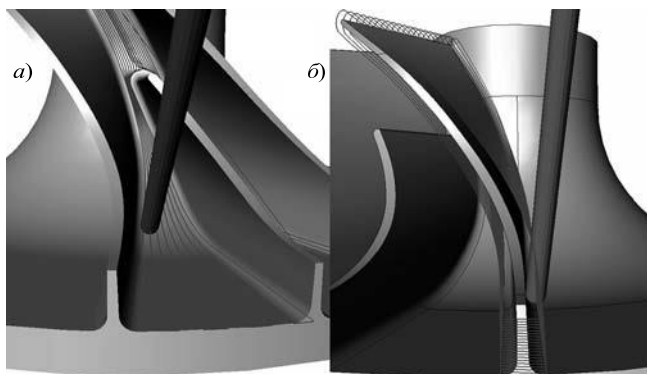


Рис. 3. Пример учета функциональных особенностей детали при расчете траекторий формообразования:
a — обработка ступицы ("корыто" ограничивает); *b* — обработка лопатки (ступица ограничивает)

токов при функционировании данного колеса в составе готового изделия.

Основные особенности использования топологической модели, в которую входят все обрабатываемые поверхности, заключаются в равномерной параметрической соне, которая на каждой порции не изменяет параметризацию текущей изолинии, но при Этом имеет равномерную область определения в обоих направлениях: по U и по V . Таким образом, построение траектории движения инструмента по спирали сводится к равномерному перетеканию параметров, а для снятия начального гребешка достаточно добавления двух проходов с $V = \text{const}$.

Преимущества описанного способа расчета движения инструмента при обработке по спиральной траектории очевидны:

1) непрерывный и постоянный срез материала. При постоянном накопленном шаге, переходящем от точки к точке по параметру V , происходит постепенное углубление инструмента, что, в свою очередь, исключает образование скользящих зон врезания инструмента на поверхности, как в случае обработки по замкнутым проходам при переходе на следующий проход. Кроме того, при формировании траекторий с замкнутыми проходами появляется возможность определения точки сбега для расчета плавного отскока на врезание;

2) время обработки определяется процессом резания. Исключаются вспомогательные переходы с одной высоты на другую и необходимость корректировки условий поверхностей, сопрягающих основные геометрические Элементы.

4. Расчет траекторий движения инструмента с учетом особенностей многокоординатного фрезерования

К таким особенностям можно отнести различные параметрические способы задания угла опережения, параметрического позиционного фрезерования и параметрического определения припуска. Правильный расчет положения инструмента относительно обрабатываемой детали определяет ее геометрические размеры. Для удобства настройки технологического оборудования, наладки инструмента и привязки технологической оснастки программирование пятикоординатной обработки обычно выполняют по центру режущего инструмента. Такой выбор базовой точки фрезы позволяет не только создавать более упрощенные управляющие программы, но и исключить фактор влияния угла установки фрезы на линейные перемещения. Однако при обработке изделий на станках и получении конечной детали качество изготавливаемых поверхностей во многом зависит от технологических режимов резания, а также от углового положения инструмента относительно формируемой поверхности. Это придает большую значимость способу задания углов опережения, а также критериев их определения относительно текущего движения инструмента. Еще одним вопросом при реализации алгоритмов задания углов опережения являются динамические составляющие станочного оборудования, иными словами, любое перемещение манипулятора ве-

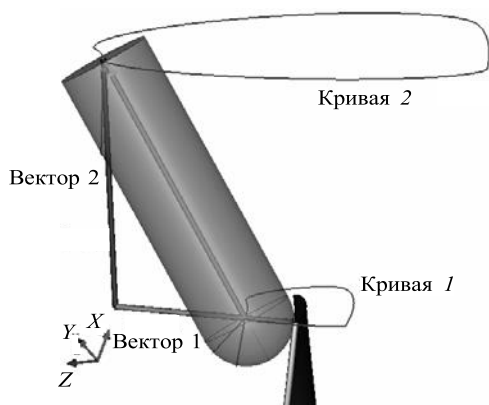


Рис. 4. Пример построения ориентирующих кривых при расчете траекторий движения инструмента

дет к дополнительному разложению вектора скоростей и ускорений, который зависит от полосы пропускания приводов, шага интерполятора и величины добротности.

Для расчета углов опережения в системе T-Flex УПУ существует несколько возможностей:

1) углы опережения задаются как наклон инструмента вдоль и перпендикулярно к направлению движения;

2) наклон инструмента задается ориентирующим контуром;

3) угол опережения — двойная Эквидистанта. В этом случае ось инструмента проходит через соответствующие точки на двух пространственных кривых (рис. 4): кривая 1 — это траектория движения центра сферы инструмента, рассчитанная по методу объединенной поверхности; кривая 2 — это пространственная линия, полученная преобразованием кривой 1 в такой последовательности: вектор 1 определяет Эквидистантное расширение линии в направлении нормали с исходной поверхности; вектор 2 задает величину подъема расширенной траектории относительно плоской грани детали. Таким образом, полученная кривая 2 подобна кривой 1, а наклон инструмента учитывает также направление нормали в точке контакта инструмента и модели.

Такой способ позволяет задать постоянный угол наклона инструмента относительно обрабатываемой поверхности в направлении, перпендикулярном к движению, а не относительно исходного положения инструмента на траектории, что отличает этот способ от традиционного.

Однако для рассматриваемой поверхности двойной кривизны обработка с изменяемым углом наклона в каждой точке траектории является избыточной. Поскольку в двух соседних точках поверхности разное направление нормали, то согласно расчету при обработке наклон инструмента будет изменяться. Для гладких поверхностей с малой кривизной это будет негативно отражаться на качестве обработанной поверхности. Открытая поверхность может быть обработана с фиксированным углом наклона относительно системы координат детали;

4) позиционное фрезерование. Обработка ведется на пятикоординатном оборудовании с фиксированными угловыми координатами с учетом линейных перемещений. Модуль 5D-сонное фрезерование системы T-Flex

УПУ поддерживает одновременное использование позиционной и пятикоординатной обработки при расчете траектории движения инструмента.

В диалоговом режиме возможно задание диапазонов и значений изменения углов опережения. Диапазон определяется параметрическим способом как интервал длины первого выбранного 3D-пути. Значения углов опережения по/перпендикулярно движению откладываются от выбранного направления в соответствующих ортогональных плоскостях.

Для вентиляторного колеса при установленных значениях была получена обработка со следующими характеристиками (рис. 5):

1) боковые поверхности лопатки — трехкоординатное фрезерование с фиксированными угловыми координатами (3D + 2D);

2) поверхности скругления — пятикоординатное фрезерование (5D).

С технологической точки зрения это наиболее оптимальное сочетание: формообразование при трехкоординатном фрезеровании и непрерывность спиральной траектории благодаря пяти координатным перемещениям. Дополнительно при расчетах таких траекторий появляется возможность снизить влияние динамических составляющих станка на качество изготавливаемых изделий. Это особенно актуально при формообразующих движениях инструмента вдоль основного профиля, который является элементом, определяющим работоспособность всего изделия. При наличии базовых сечений стыковка заготовки с инструментальной поверхностью проходит в автоматическом режиме, а распределение задачи аппроксимации учитывается на обрабатываемой поверхности.

Аналогичным образом для подобных деталей необходим алгоритмический инструмент, обеспечивающий дополнительные способы внесения геометрических корректировок в формообразующие движения инструмента для обеспечения ряда конструкторских требований. Одной из наиболее сложных задач в решении этого вопроса является пересчет базовой геометрии в середине поля допуска. Сделать модель детали с учетом таких

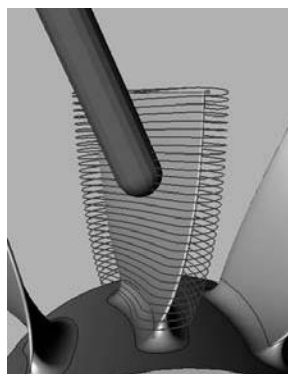


Рис. 5. Пример расчета движения пятикоординатной траектории для высокоскоростной обработки



Рис. 6. Рабочая зона фрезерного станка с ЧПУ

требований практически невозможно, потому что основная часть проектной структуры по изделию готовится в специальных системах газодинамического анализа установок, а конструктор получает только Электронные образы обменных файлов и данные по базовым профилям.

На Этапе технологической подготовки изготовления деталей на станках с УПУ одной из основных задач является обеспечение заданных требований точности геометрических размеров.

Элементы деталей с ПСП, например лопатки вентиляторного колеса, конструируются в виде набора сечений/профилей с переменными геометрическими параметрами. Соответственно, допуски на размеры этих сечений изменяются в зависимости от высоты их расположения. При изготовлении эта неоднородность дополняется различными значениями жесткости лопатки в верхнем и нижнем (у ступицы колеса) сечениях, внося тем самым существенные погрешности размеров обрабатываемой лопатки из-за отжимов, происходящих во время резания.

Для корректировки этих искажений и обеспечения середины поля допуска в системе реализована возможность задания как увеличивающего, так и уменьшающего переменного припуска, если необходимо выдержать размер с отрицательным полем допуска. Прием изменение припуска двунаправленное. Первое направление определяется плоскостью 3D-пути, в которой в параметрах длины пути задаются значения припусков. Высота лопатки, ограниченная двумя 3D-путями, задает второе направление. Припуск изменяется линейно от значения на верхнем сечении до нижнего.

Разработка стратегии и управляющей программы обработки данной лопатки ведется с одной моделью и с одной траекторией движения инструмента. Задание же переменного параметрического припуска позволяет разбить все поверхности тела на зоны, с выделением "проблемных", и ввести необходимые коррекции в соответствии с геометрическими особенностями модели и технологическими особенностями обработки.

Лучшими показателями Эффективности применения рассмотренного алгоритмического и программного аппарата учета технологических аспектов обработки являются реализация в системе T-Flex УПУ специальных модулей, а также детали, изготовленные с использованием управляющей программы, подготовленной в этой системе.

5. Примеры использования разработанных методов в стоматологических CAD/CAM системах

В последние годы быстрыми темпами стали развиваться и внедряться в практику стоматологические CAD/CAM системы для моделирования формы зубов и их изготовления на многокоординатных настольных станках с УПУ.

Стоматологическая CAD/CAM система включает в себя: сканер; математическое обеспечение для работы со сканером и реставрированными моделями; настольный фрезерный станок с УПУ (рис. 6); математическое обеспечение для работы с фрезерным станком с УПУ.

Сканер — это оптомеханическое устройство для бесконтактного оптического измерения поверхностей моделей зубов. Сканер состоит из стоматологической трехмерной камеры, держателя и трехкоординатного стола (с двумя линейными и одним угловым перемещениями). Стоматологическая модель размещается на столе. Перемещение модели позволяет регистрировать и реконструировать ее составляющие части. В итоге отдельные реконструированные поверхности модели зуба объединяются посредством математического обеспечения в единое целое.

Основные характеристики системы:

Точность, μm :	
измерения поверхностей зубов.....	25
изготовления поверхностей зубов.....	40
Время программирования обработки, мин.....	Не более 10
Габаритные размеры фрезерного станка с ЧПУ, mm	490 S 460 S 370
Масса фрезерного станка с ЧПУ, кг.....	Не более 50

Выводы

1. При работе со специализированными модулями САМ системы технолог-программист использует минимальное число геометрических элементов, необходимых для выбора стратегии обработки, что невозможно осуществить, используя стандартный подход моделирования в САМ системе. Это позволяет сократить время программирования обработки сложных деталей в 4—5 раз.

2. Для обеспечения геометрической точности изготавливаемой детали сам процесс формообразующих перемещений необходимо реализовывать как непрерывную модель с использованием эквидистантных поверхностей, что позволяет существенно повысить точность обработки деталей.

3. В САМ системе основным критерием технологической гибкости является возможность задания ориентации инструмента в зависимости от технологических особенностей обработки детали. Таким образом, можно использовать все преимущества многокоординатной обработки на станках с УПУ.

4. Заданная точность обработки и минимизация брака обеспечивается на двух этапах расчетов траекторий: 1) выведение траекторий в середину поля допуска; 2) учет переменной податливости детали в двух направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. М.: Наука, 1983.
2. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980.
3. Корячко В. П., Курейчик В. М., Норенков И. П. Теоретические основы САПР. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Петров А. В., Черненко В. М. Разработка САПР. М.: Высшая школа, 1990.
5. Шикин Е. В., Плис А. И. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по сплайнам для пользователей. М.: Диалог-МИФИ, 1996.
6. Шпур Г., Краузе Ф. Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988.