

*Ван Хайфын, Ван Бинь, Ли Сюэхуа*  
КНР, Сиань, Шэньси

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

### Введение

С развитием авиационной техники детали и узлы авиационных двигателей усложняются, становятся все более и более точными, изготавливаются из все более труднообрабатываемых материалов.

Для того, чтобы удовлетворять проектным требованиям, некоторые ключевые детали должны быть обработаны на оборудовании с ЧПУ. Традиционные методы подготовки программ для станков с ЧПУ сложны, специализированы, имеют длительный цикл подготовки, низкую эффективность, допускают большое количество ошибок, причем методы обработки и параметры резания выбираются нестабильно, что оказывает негативное влияние на качество и эффективность обработки деталей. Следовательно, моделирование и автоматизация программирования ЧПУ имеет большое значение.

В этой статье описана положительная роль использования методов статистической регрессии пакета MINITAB, диаграммы потока причины и следствия, анализа эффективности и сравнительного поведения стереотипов, исследованы параметры резания, обобщен большой опыт обработки и программирования, оптимизированы параметры обработки с ЧПУ, методы резания и последовательность обработки. Для автоматизации программирования подготовлен шаблон обработки, обеспечивающий повышение эффективности, снижение уровня ошибок в программировании и получение более сжатой спецификации программирования.

### 1. Содержание исследования

Технология ЧПУ включает в себя множество аспектов, в основном, в следующих областях:

– широкий спектр оборудования с ЧПУ, в том числе токарные, электро искровые, фрезерные станки с ЧПУ, обрабатывающие центры и т.д;

– разнообразные процессы и технологии обработки на различных типах оборудования с ЧПУ (в том числе последовательность обработки, метод обработки, параметры резания и т.д.),

– UG NX – высококлассное программное обеспечение, одна из лучших CAD/CAM-систем.

CAD включает в себя создание геометрической модели, инженерный анализ, анализ изделий, динамическое моделирование, автоматическое черчение и т.д. CAM включает числовое управление, проектирование техпроцесса, управление роботом, гибкой производственной системой (FMS), управление предприятием и т.д. Как выбрать наиболее подходящую для обработки функциональную модель, сохранить наилучшие технологические решения и создать нормативные шаблоны.

Вышеприведенные области исследуются опытным путем, а полученные данные сравниваются и систематизируются, чтобы задать наиболее рациональную последовательность обработки и оптимальные параметры резания. Используя наиболее подходящие функциональные модули обработки в UG NX, получают простой и эффективный общий шаблон ЧПУ и все виды специальных шаблонов ЧПУ. Итак, основной частью исследования является метод для определения оптимальных параметров обработки, а также программирование станков с ЧПУ на основе шаблонов.

#### 1.1. Типизация моделирования

Использован статистический метод регрессии пакета MINITAB для исследования параметров режущего инструмента и научно обоснованного выбора параметров резания при обработке; построены функции, связывающие износ инструмента с



шириной резания, глубиной резания и скоростью вращения шпинделя. Это позволяет определить численную основу теории и выполнить оптимизацию параметров резания при обработке на станке с ЧПУ.

### 1.1.1. Типизация режущих параметров

1) Типизация параметров высокоскоростной фрезерной обработки

Режущий инструмент, используемый в исследовании, – сферическая фреза диаметром 8 мм, скорость резания 6000 мм/мин; обрабатываемый материал Н13, твердость HRC58-62.

Путем экспериментов и сравнения данных находят экономически выгодные параметры резания. Экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Используя статистическое программное обеспечение пакета MINITAB, анализируются отношения между ключевыми факторами: шириной резания, глубиной резания и скоростью вращения шпинделя, которые оказывают влияние на стойкость

фрезы. Получается зависимость между износом инструмента, шириной резания, глубиной резания и скоростью вращения.

$$H = 0.354561 - 1.46386 Z + 1.50053 \times Z^2, \quad (1)$$

глубина резания в диапазоне от 0.4 мм ~ 0.6 мм и износ инструмента меняется медленно.

$$H = 0.168924 - 0.936087 X + 1.48106 \times X^2, \quad (2)$$

ширина резания в пределах от 0.2 мм ~ 0.4 мм и износ инструмента меняется медленно.

$$H = 0.358226 - 0.0000429 S + 0.0000009 \times S^2, \quad (3)$$

скорость вращения в пределах (13000 ~ 15000) об/мин и износ инструмента меняется медленно.

2) Типизация численных параметров фрезерования

Используя полученную зависимость между износом инструмента, шириной резания, глубиной резания и скоростью вращения шпинделя, путем

Таблица 1.

Экспериментальные параметры процесса высокоскоростного фрезерования

Скорость об/мин	Ширина резания X/мм	Глубина резания Z/мм	Износ кромки ΔH/ мм	Комментарий
8000	0.2	0.6	0.024	Износ передней и задней граней сбалансированный, относительно годный инструмент
8000	0.6	0.2	0.005	Износ передней и задней граней сбалансированный, годный инструмент
8000	0.1	0.8	0.09	Сильный износ передней и задней граней, потеря работоспособности с местным выкрашиванием
8000	0.4	0.4	0.028	Износ передней и задней граней сбалансированный, относительно годный инструмент
8000	0.4	0.7	0.15	Сильный износ передней и задней граней. Полная потеря работоспособности с выкрашиванием
8000	0.7	0.1	0.31	Сильный износ передней и задней граней. Полная потеря трудоспособности с выкрашиванием
14000	0.4	0.4	0.021	Износ передней и задней граней сбалансированный, относительно годный инструмент
18000	0.4	0.4	0.024	Износ передней и задней граней сбалансированный, относительно годный инструмент
14000	0.4	0.7	0.041	Износ передней и задней граней сбалансированный, относительно годный инструмент

Таблица 2.

Параметры резания для типовой фрезы, используемой на станках с ЧПУ (цилиндрическая фреза)

Общая длина инструмента, мм	Длина режущей кромки, мм	Подача, мм/мин		Скорость вращения шпинделя, об/мин		Удлиненная фреза, мм	
		черновая	чистовая	черновая	чистовая	Общая длина инструмента	Длина режущей кромки
178	53	2-50	100	140	300		
178	53		120	150	280		
145	45		130	160	320		
102	40		150	260	370	140	75
90	32		180		370	122	65
90	32		190		360		
82	25		120			110	55
70	22		120		380	95	45
62	20		160				
57	13		180		480		
52	7	180					

Таблица 3.

Параметры резания для типовой фрезы, используемой на станках с ЧПУ (сферическая фреза)

Общая длина инструмента, мм	Длина режущей кромки, мм	Подача, мм/мин		Скорость вращения шпинделя, об/мин		Удлиненная фреза, мм	
		черновая	чистовая	черновая	чистовая	Общая длина инструмента	Длина режущей кромки
178	53	2 ~ 50	730	130	800		
178	53		950	150	860		
145	45		1160	160	900		
145	45		700	180	930		
102	40		600 ~ 800	240	980	125	55
90	32		600 ~ 800		1020	122	65
90	32		600 ~ 800		750		
82	25		600			110	50
70	22		250	300		95	45
57	13		200		750	73	26
55	10		180			63	19
52	7		150				

обобщения опыта получаем соответствующие параметры резания для типовых сферической и цилиндрической фрез. Параметры типовых фрезы приведены в табл. 2 и табл. 3.

### 1.1.2. Типизация процесса обработки

Используя анализ причины и следствия, обобщаем большой опыт обработки на станках с ЧПУ и методов программирования, а также оптимизируем и фиксируем параметры обработки, методы резания, последовательность обработки для того, чтобы повысить повторное использование опыта, снизить количество ошибок и повысить качество и эффективность обработки. Также сравниваем предшествующие данные (эффективность обработки, точность обработки, коэффициент ремонта) партии изделий, чтобы найти наилучший вид обработки и параметры резания. Типизируем метод обработки ЧПУ таких изделий и значительно повышаем качество изделий, обеспечиваем стабильность. Этот метод основывается на сравнении данных и на мето-

де анализа причины и следствия. Метод анализа причины и следствия показан на рис. 1.

### 1.2. Создание шаблона ЧПУ

После оптимизации и комбинирования параметров резания и методов обработки, оптимизируем другие параметры, например, выбор фрез, порядок обработки. Основные направления исследования показаны на рис. 2.

#### 1.2.1. Создание шаблона цехового склада резцов

Учитываем обычные фрезы и вводим характерные параметры — длину, диаметр, материал стандартных фрез — в среду обработки UG и выполняем типизацию. Унифицируем цеховой запас фрез и нормализуем процесс выбора. Процесс задания параметров фрез показан на рис. 3.

#### 1.2.2. Создание шаблона партий управляющих программ

Из эксперимента определяем метод и параметры фрезерования, которые обеспечивают требуемое



Рис. 1. Метод анализа причины и следствия



Рис. 2. Основные направления исследования моделирования заказа

качество и высокую эффективность производства, и типизируем обработку на оборудовании с ЧПУ для таких изделий. Затем типизируем оптимизируемый процесс и параметры обработки и создаем шаблон, включая порядок обработки, методы обработки и конкретные параметры.

1) Сравниваем типовые детали и часто используемые методы обработки для выбора и типизации общих методов обработки. Типизация метода обработки показана на рис. 4.

2) Сравниваем типовые детали и часто используемые методы резания для выбора и типизации общих методов резания, используемых на практике. Типизация методов резания показана на рис. 5.

3) Сравниваем эмпирические параметры, методы, подвод и отвод фрезы для типовых деталей и часто используемых методов резания. Типизация подвода и отвода фрезы и других параметров резания показана на рис. 6.

4) Создаем шаблон управляющих программ. Согласно регламенту создания устанавливаем шаблон типовых операций и сохраняем документ шаблона, а также устанавливаем документ шаблона и присоединяем его к UG CAM. Создание шаблона

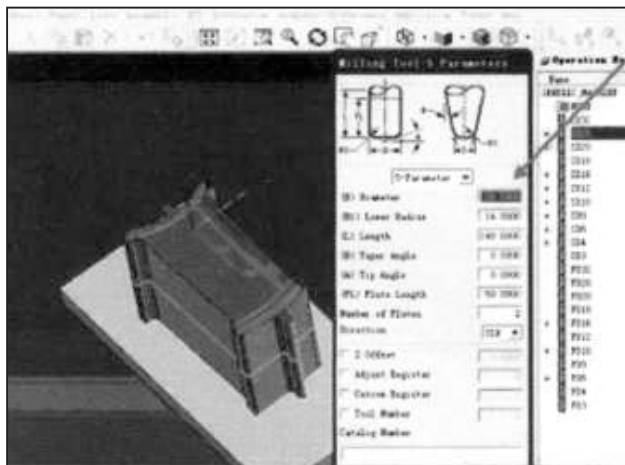


Рис. 3. Задания параметров цехового запаса фрезы

управляющих программ показано на рис. 7.

Для последующего программирования обработки на оборудовании с ЧПУ нужно лишь вызвать базу данных шаблонов операций и можно исключить выбор фрез и параметров в процессе обработки.

### 1.2.3. Создание «универсального шаблона партии управляющих программ»

Производим интегрирование типовых методов обработки на оборудовании с ЧПУ, типов резания и параметров для получения обобщенного шаблона автоматической

подготовки управляющих программ.

Конкретный процесс создания универсального шаблона заключается в классификации методов обработки индивидуальной малой партии деталей, выборе фрез, последовательности обработки, метода обработки, метода фрезерования, параметров резания, параметров фрез и сравнении данных. Получение простых, эффективных методов обработки и типизация методов обработки.

Как и при создании шаблона партий управляющих программ, для последующего программирования оборудования с ЧПУ, нужно лишь вызвать базу данных шаблонов операций, исключив выбор фрез и параметров в процессе обработки. Этот метод просто и эффективно решает проблемы нестабильности качества, эффективности обработки и другие вопросы, связанные с индивидуальной малой партией деталей. Результат использования общего шаблона показан на рис. 8.

### 1.2.4. Создание специального шаблона партии управляющих программ

Производим интегрирование методов обработки, типов фрезерования, параметров резания некоторых деталей, обрабатываемых на оборудовании с ЧПУ,



Рис. 4. Типизация метода обработки

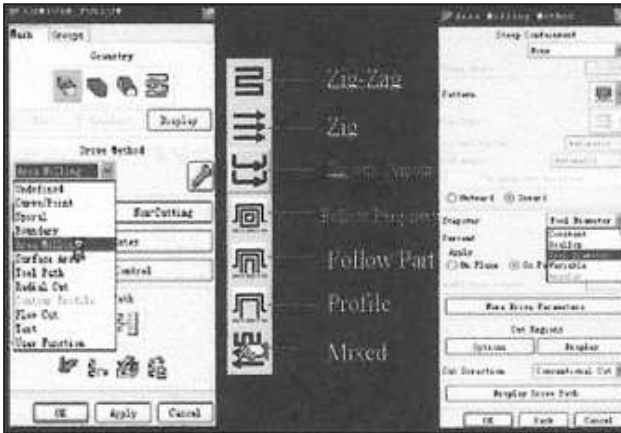


Рис. 5. Типизация методов резания



Рис. 6. Типизация параметров резания, подвода

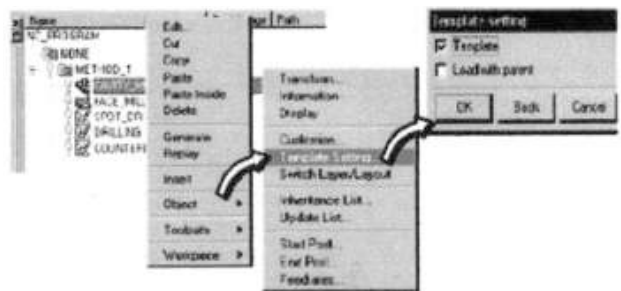


Рис. 7. Процесс создания метода САМ шаблона



Рис. 8. Диаграмма результатов применения универсального шаблона партии управляющих программ

партий деталей, специального оборудования ЧПУ для получения специального шаблона автоматической подготовки управляющих программ.

Производим автоматизацию подготовки управляющих программ для токарных, электроискровых, фрезерных станков с ЧПУ и 4-осевых обрабатывающих центров. Результат использования специального шаблона для обработки на оборудовании с ЧПУ точных штампованных лопаток показан на рис. 9.

## 2. Анализ результатов применения

После создания шаблона управляющих программ для последующего программирования обработки на оборудовании с ЧПУ нужно лишь вызвать базу данных шаблонов программ. Конкретные операции программирования:

- Применение шаблона управляющих программ;
- Создание системы координат и выбор области обработки;
- Расчет управляющих программ;
- Автоматическое формирование списка программ. Процесс вызова шаблона показан на рис. 10.

Использование настраиваемых шаблонов для управляющих программ позволяет руководить процессом подготовки управляющих программ путем упрощения применения системы, обеспечения стандартизации программирования и поддержания режима обработки партиями. Практика показывает, что применение шаблона управляющих программ имеет следующие преимущества:

- 1) Повышение эффективности программирования ЧПУ. Поскольку при программировании на основе шаблонов управляющих программ, шаблон уже был испытан на практике, а комплект фрез и различные технологические параметры обработки были оптимизированы и типизированы, то может существенно повыситься эффективность программирования, значительно снизиться коэффициент ошибок, а точность обработки и эффективность обработки могут в полной мере удовлетворить предъявляемым требованиям.

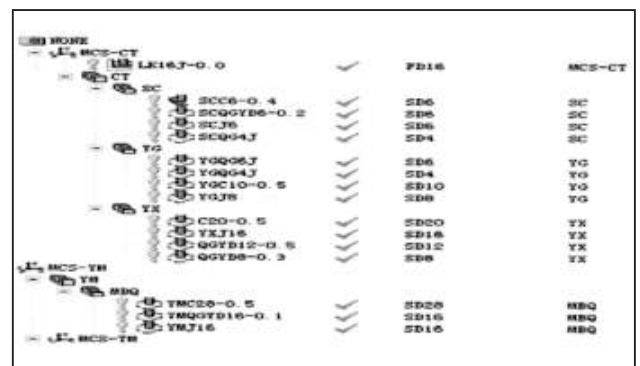


Рис. 9. Диаграмма результатов применения специального шаблона партии управляющих программ для обработки точных штампованных лопаток

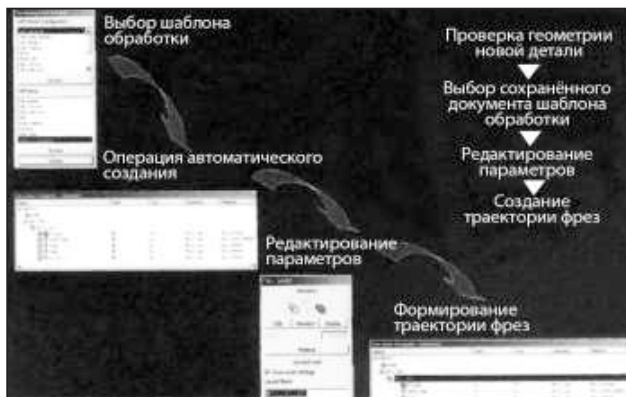


Рис. 10. Использование моделирования

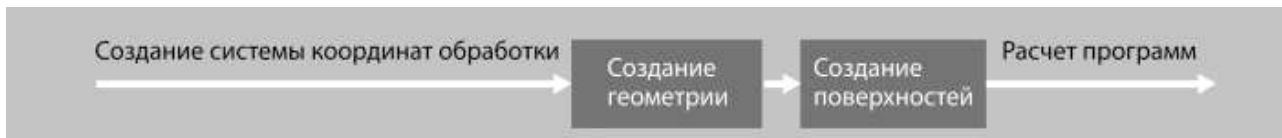


Рис. 11. Схема использования шаблона управляющих программ

Традиционный метод программирования ЧПУ с помощью UG

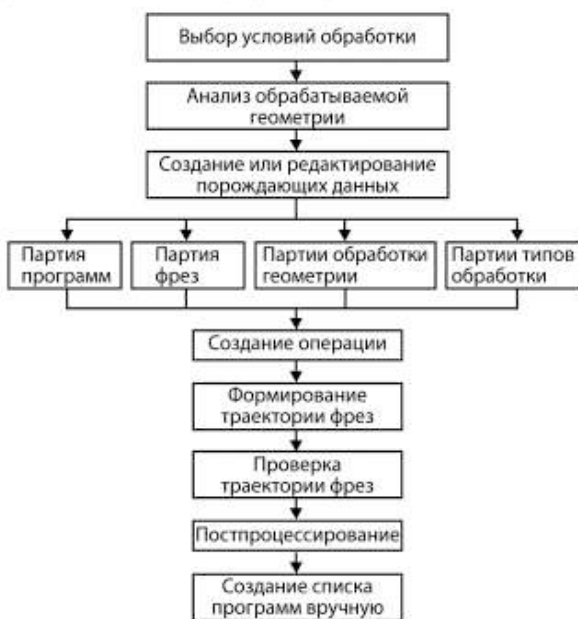


Рис. 12. Традиционный метод программирования



Рис. 13. Результат автоматизации подготовки списка программ

По сравнению с традиционными методами программирования ЧПУ, использование шаблонов требует только двух шагов, чтобы реализовать автоматизацию процесса программирования. Результат использования шаблона управляющих программ показан на рис. 11, а традиционный метод программирования ЧПУ показан на рис. 12.

Использование шаблона управляющих программ значительно увеличило скорость и качество программирования ЧПУ, так что в повседневной работе программирование ЧПУ становится более простым и нормализованным. На практике производится обучение операторов программированию в цехе, и они могут применить «шаблон управ-

ляющих программ» для программирования. Использование этой технологии позволило снизить на 90% коэффициент ошибок программ для универсальных деталей, обрабатываемых на оборудовании с ЧПУ, по сравнению с исходным, а также снизить на 75% коэффициент переделки деталей по сравнению с исходным, стабильно улучшить качество изделий; снизить на 55% коэффициент внепланового простоя станков с ЧПУ в цехе и повысить более чем на 150% эффективность программирования; повысить на 30% срок службы фрез, снизить требования к программистам и сократить количество программистов более чем на 60%.

2) Снижение коэффициента ошибок. Автоматизация процесса формирования списка программ исправила недостатки ранее используемого рукописного перечня программ и позволила формировать список программ (фрезы, методы обработки, припуск, скорость и т. д.) более четко, сокращая коэффициент канцелярских ошибок. Эффект от автоматизации списка программ показан на рис. 13.

### 3. Выводы

Исследование обработки на станках с ЧПУ и автоматизации программирования позволило:

1) Испытать, проанализировать, оптимизировать параметры резания (ширина резания, глубина резания, скорость резания, скорость подачи) с использованием статистических методов регрессии пакета MINITAB для повышения ресурса фрез, чтобы сократить себестоимость использования фрез;

2) Оптимизировать, интегрировать и сохранить параметры обработки на оборудовании с ЧПУ, методы

резания и порядок обработки, используя метод анализа причины и следствия и метод сравнения формы; многократно повысить эффективность использования опыта обработки на оборудовании с ЧПУ;

3) Установить режимы и передовой опыт программирования ЧПУ вместе с освоением программного обеспечения UG, создать универсальные шаблоны партий управляющих программ и специальные шаблоны партий управляющих программ.

4) Стандартизировать и автоматизировать программирование ЧПУ для улучшения эффективности программирования и сокращения операций и ошибок;

5) В сфере управления предприятием через управление моделированием обработки на оборудова-

нии ЧПУ повысить качество обработки и эффективность производства изделий, что также дало идеи и методы для типизации процесса обработки, серийного и нормированного производства других изделий в отраслях с оборудованием с ЧПУ.

#### Литература

1. *Фу Цзе*. UG NX Элитные примеры обработки ЧПУ [М]. Пекин: Связьиздат Народов, 2005.

2. *Шэнь Цзюньгэнь, Цзян Хун, Чжу Чжан шун*. UG NX 5.0 САМ Анализ примеров [М]. Пекин: Издательство механической промышленности, 2007.