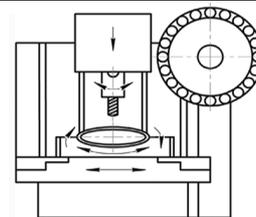


Технология обработки на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах



УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5c90a597ca8537.11895973

А.В. Аверченков, д.т.н.,

(Брянский государственный технический университет, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7),

И.Е. Колошкина, аспирант,

(Брянский завод промышленной автоматики

241028, Брянская область, город Брянск, Карачижская улица, 77),

С.А. Шептунов, д.т.н.

(ФГАУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН,

127055, Москва, а/я 24, ИКТИ РАН)

E-mail: ship@ikti.ru; inna.koloshkina@yandex.ru

Наукоёмкая технология обработки заготовок на станках с ЧПУ и программирование в САМ-системе

Рассмотрена методика разработки управляющих программ и технологической документации для оборудования с УЧПУ в интегрированной конструкторско-технологической компьютерной системе ADEM CAD/CAM/CAPP. Описаны возможности автоматизации подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ с использованием конструктивных элементов 3D модели, а так же комплексные решения с помощью системы CAM Expert.

Ключевые слова: станки с программным управлением; интегрированные конструкторско-технологические компьютерные системы CAD/CAM/CAPP; управляющие программы для оборудования с ЧПУ; 3D модели; конструктивные элементы; режимы резания.

A.V. Averchenkov, Dr. Sc. Tech.,

(Bryansk State Technical University, 7, 50 years of October Boulevard, Bryansk, 241035)

I.E. Koloshkina, Post graduate student,

(Bryansk Plant of Industrial Automatics, 77, Karachizhskaya Str., Bryansk, Bryansk region, 241028)

S.A. Sheptunov, Dr. Sc. Tech.

(FSAUN Institute of Design-Technological Informatics of RAS, IDTI RAS, s/b, Moscow, 127055)

Science intensive technology of blank machining on NC machines and programming in CAM-system

The paper reports the consideration of the procedure for the development of executive programs and documentation for NC equipment in ADEM CAD/CAM/CAPP integrated design-technological computer system. The possibilities for the automation of executive program preparation for NC equipment using design elements of the 3D model, and also complex solutions with the aid of CAM Expert system are described.

Keywords: NC machines; CAD/CAM/CAPP integrated design-technological computer systems; executive programs for NC equipment; 3D models; design elements; cutting modes.

Введение

Повышение производительности механической обработки изделий в значительной степени зависит от уровня автоматизации техно-

логических процессов [1]. Внедрение в производство станков с числовым программным управлением (ЧПУ) требует выполнения ряда специфических требований, обусловленных особенностями их применения. Разработка

управляющих программ для станков с ЧПУ – это качественно новый этап производства, на котором значительная часть работы переносится из сферы непосредственного производства в область его технологической подготовки [8].

Для современных станков с ЧПУ существует несколько методов программирования и создания управляющей программы:

- ручное программирование;
- программирование на программной станции с виртуальной клавиатурой или физическим пультом управления [6];
- программирование на пульте управляющей системы с ЧПУ [5];
- программирование при помощи CAD/CAM системы.

Наиболее эффективное автоматизированное программирование оборудования с ЧПУ осуществляется с использованием CAM-систем, как отечественных – Компас-ЧПУ, ADEM, Техтран, T-FLEX, SprutCAM, GeMMa-3D, так и зарубежных – CATIA (Франция), Climatron NC Machining (Израиль), SURFCAM (США), DELCAM PowerMILL (Великобритания) и др. Широкое использование подобных программных продуктов сдерживается дефицитом подготовленных специалистов для работы с такими системами [7].

Подготовка управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ с помощью CAM-систем ведется, как правило, на основе электронной 3D-модели детали (изделия). По имеющемуся трехмерному изображению детали (изделия) можно разработать технологическую схему его изготовления, выбрать стратегию обработки, назначить нужные траектории и инструмент, установить необходимую точность и шероховатость обрабатываемой поверхности, определить возможное время обработки и др.

После подготовки УП, можно визуализировать вариант обработки в различных режимах, проверить УП на правильность, на взаимодействие элементов станка, определить пригодность выбранного инструмента и т.д.

Как правило, имеющиеся в CAM-системе настраиваемые постпроцессоры позволяют получить УП в кодах всех известных станков с ЧПУ. При выборе CAM-системы предпочтение отдается отечественным разработкам т.к., помимо всего прочего, эти системы позволяют получать технологическую документацию в соответствии с требованиями ЕСТД (Единая система технологической документации).

При подготовке специалистов для работы с

такими системами проводятся курсы для слушателей, имеющих теоретическую и практическую подготовку в области применения информационных технологий в машиностроении. За основу берутся инструкции по программированию для конкретных систем УЧПУ, ориентированные на подготовленных специалистов [7].

Для освоения программирования большинства систем ЧПУ отсутствуют научно обоснованные методики обучения и соответствующие учебные пособия для профессионального образования, ориентированные на студентов технических специальностей, не имеющих соответствующей теоретической и практической подготовки по сравнению со специалистами со стажем работы.

Методика разработки управляющих программ для оборудования с УЧПУ в САМ-системе

Создание технологических процессов, а также операций с ЧПУ происходит в модуле САМ/CAPP. В этом модуле, в соответствии с предложенной методикой, выполняются следующие действия:

- выбор стратегий обработки;
- учет 3D заготовки;
- выбор способа прохода и врезания инструмента в материал;
- моделирование обработки, в т.ч. со снятием материала и симуляцией кинематики оборудования;
- контроль размеров модели в процессе моделирования обработки;
- расчет времени работы каждого инструмента и подсчет общего машинного времени с учетом всех перемещений инструмента с занесением в технологические карты;
- добавление в маршрут обработки на оборудовании с ЧПУ информации, необходимой для оформления выходных документов (установочные переходы, переходы технического контроля, технические требования, примечания, приспособления и т.д.);
- разработка и оформление технологического процесса по переходам в соответствии с требованиями ЕСТД параллельно с разработкой управляющей программы.

ADEM CAM используются технологические переходы, как для конструктивных элементов, состоящих из плоских 2D-контуров и 3D-моделей, созданных в модуле ADEM CAD [4], так и для импортированных объемных 3D-моделей.

В ADEM CAM используются инструменты для редактирования технологического маршрута и моделирования процесса обработки. В результате работы по предлагаемой методике в модуле ADEM CAM создаётся, отлаженная в процессе моделирования, управляющая программа для станка с ЧПУ и комплект технологической документации.

Технологические объекты, составляющие технологический процесс обработки, являются ассоциативно связанными с геометрической моделью, созданной в ADEM CAD или импортированной из других систем проектирования [4]. Таким образом, все изменения внесенные конструктором в геометрическую модель проектируемого изделия, автоматически отражаются на технологическом процессе обработки.

Предложенная методика подготовки технологического процесса и управляющей программы, на основе созданной или импортированной геометрической модели в модуле ADEM CAM, отражена в блок-схеме алгоритма на рис. 1 и включает следующие элементы:

1. Открытие файла с конструкторской документацией (чертеж детали и 3D-модель) в модуле CAD (Блоки 1 и 2) [4].

2. Переход в модуль CAM/CAPP с передачей сведений об объекте – наименовании, обозначения, марке материала и заготовки, фамилии разработчиков, утверждающих и согласующих специалистов (Блоки 3 и 4).

3. В команде «Создать» выбирается вид (технологическая документация) и тип документации (технологический процесс), область разработки ТД (механообработка), виды формируемых документов, перечень фамилий исполнителей (Блоки 5 и 6).

4. Переход в модуль CAD и на основе 3D-модели детали выполняется построение и фиксация тела заготовки с последующим переходом в модуль CAM (Блоки 8 и 9) [4].

5. Через диалоговые окна определяются координаты начальной точки обработки, выбирается оборудование и постпроцессор из соответствующих баз данных (Блоки 12).

6. Выполняется создание установочного перехода, выбираются текстовка, приспособление, нормативы времени T_v и $T_{пз}$ из соответствующих баз данных (Блоки 13 и 14).

7. Создание основного технологического перехода (фрезеровать, сверлить, точить, пробить и т.п.) с определением конструктивного элемента, как места обработки (колодец, стенка, поверхность и т.п.). Результатом выполнения этого шага является созданный техно-

логический переход (объект в маршруте и дереве техпроцесса (ТО)) (Блоки 15 и 16). Для программирования сверлильных работ используется сервис «Маршрут обработки отверстия (CAM)» (Блоки 36 – 38).

8. Выбор режущего инструмента выполняется из базы данных стандартных инструментов, материал режущей части для инструментов через окно диалога выбирается по материалу обрабатываемой детали и виду обработки (черновая, получистовая, чистовая). Для выбора инструмента Sandvik Coromant используется программа CoroGuide (Блок 21) [1].

9. Создание технологических команд (начало цикла, плоскость холостых ходов, схема врезания, стоп и т.п.); часть из них может быть общей для нескольких конструктивных элементов (Блоки 26 – 28).

10. При наличии различных конструктивных элементов повторяются шаги 7 – 9 для каждого технологического перехода.

11. При наличии нескольких конструктивных элементов выполняется расположение созданных технологических объектов в правильном порядке (Блоки 34 и 35).

12. При выполнении команды «Расчитать все объекты» выполняется расчет траектории движения инструмента и времени обработки при реализации этого перехода (Блок 39).

13. Контроль разработанной управляющей программы производится моделированием процесса обработки (Блок 40).

14. Разработка перехода «Технический контроль» с подбором средств измерения из базы данных (Блоки 41 – 42).

15. Формирование управляющей программы и предварительный просмотр. Оформление технологического документа с текстом управляющей программы (Блоки 43 – 45).

Система на основании выполненной разработки автоматически готовит комплект технологической документации включающий следующее: титульный лист (ТЛ), ведомость технологической документации (ВТД), операционную карту (ОК), ведомость оборудования (ВОб), ведомость оснастки (ВО), комплектную карту (КК), карту эскизов (КЭ), текст управляющей программы (УП), лист изменений (ЛИ).

Предложенная блок-схема алгоритма разработки управляющей программы и технологической документации для выполнения обработки на оборудовании с ЧПУ позволяет реализовать дедуктивный принцип обучения (от общего к частному) в подготовке пользователей САМ-систем.

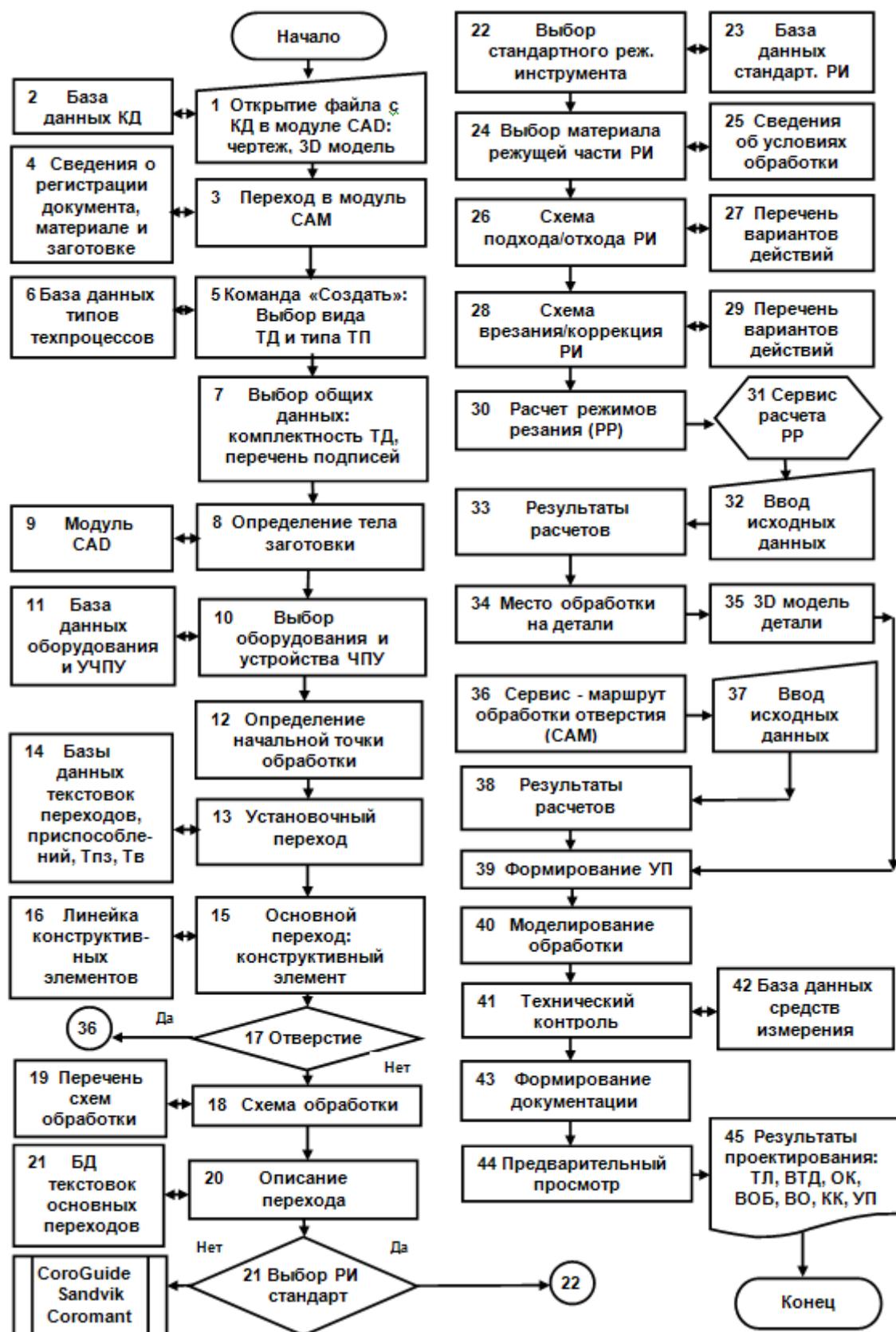


Рис. 1. Блок-схема разработки управляющей программы и технологической документации для выполнения обработки на оборудовании с ЧПУ

Далее рассматриваются особенности применения отдельных блоков проектирования.

До начала генерации управляющей программы выбирается тип оборудования и указыва-

ется ряд дополнительных параметров. Это можно сделать на любом этапе работы в ADEM CAM, однако рекомендуется задать все необходимые установки в начале работы над проектом, так как информация, содержащаяся в постпроцессоре, может оказывать влияние на формирование траектории движения инструмента. Например, отсутствие кругового интерполятора вызовет формирование траектории движения инструмента, содержащей только линейные перемещения.

Применение CAD/CAM в соответствии с описанной методикой при подготовке производства существенно сокращает время проектирования и повышает эффективность применения технологических решений за счет использования целого ряда возможностей и сервисов системы. Один из них состоит в том, что технолог, на основании ранее созданной конструкторской документации [4] *подробно разрабатывает лишь одну форму технологического документа* – технологическую карту; для оборудования с ЧПУ – это операционная с управляющей программой. Остальной пакет документов технологического процесса (титульный лист, ведомость технологических документов, ведомость оборудования, ведомость оснастки, комплектовочную карту) система формирует без участия технолога. Такой подход позволяет освободить технолога от рутинной работы при создании комплекта документов технологического процесса

Существенно сокращается время разработки УП за счет *программирования на основе конструктивных элементов*. Любую деталь можно условно разбить на отдельные конструктивные элементы, обрабатываемые за один

переход – плоскость, отверстие, стенка и т.п. При таком подходе главную роль в определении места обработки играет тип конструктивного элемента, от него зависит, каким образом система будет анализировать и интерпретировать параметры выбранных контуров: глубину контура, начальные и конечные точки, положение материала относительно контура и т.д.

В системе ADEM для каждого технологического объекта заранее определены допустимые типы КЭ. Их можно условно разделить на несколько групп – для фрезерной, токарной и лазерной обработки. Например, для фрезерной обработки – колодец, стенка, окно, паз, плоскость, уступ, плита. При разработке УП программист выделяет на объемной модели нужный конструктивный объект, а система выполняет необходимые расчеты и формирует цикл УП; технолог корректирует предложенное системой решение.

К числу такой методики программирования можно отнести сервис «Получение маршрута обработки отверстия (CAM)», который помогает технологу реализовать эту технологическую задачу вводом в диалоговых окнах исходной информации с чертежа. В приведенном примере (рис. 2): диаметр отверстия M10X0.75 6H, глубина 15 мм, материал сталь 40X ГОСТ 4543-2016. Для получения данных запускается сервис, в диалоговом окне вводятся исходные данные, и в результате система предлагает предпочтительные маршруты обработки, режущий инструмент, средства контроля, режимы обработки и нормы времени на каждый переход, а также соответствующие кадры в управляющей программе (см. рис.2).

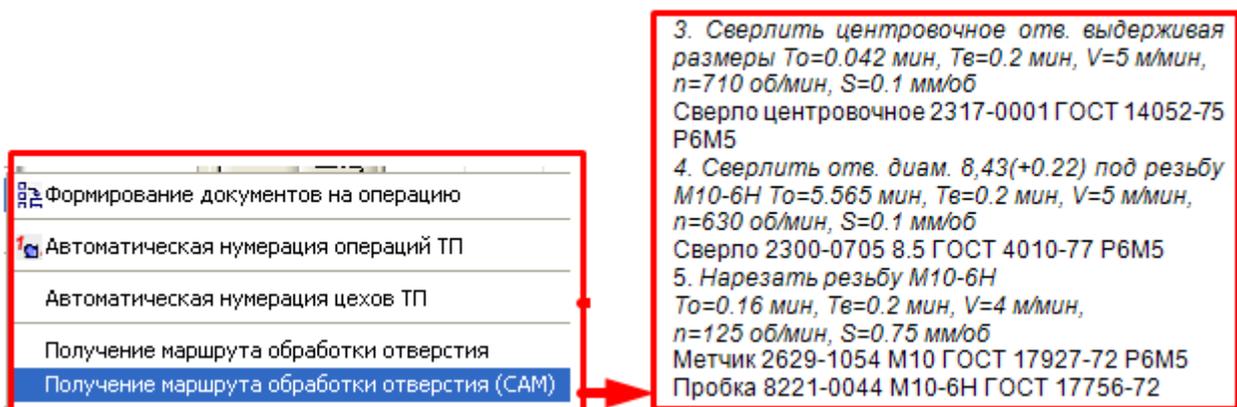


Рис. 2. Сервис «Получение маршрута обработки отверстия (CAM)»

Например, при применении модуля CAM Expert выполняется *автоматическое пред-*

ставление изделия комплексом технологических объектов и создание технологических

маршрутов, формирование управляющей программы механической обработки [2]. В ADEM CAM любая модель считается одним телом, которое можно описать комплексом технологических конструктивных элементов.

Модуль CAM Expert базируется на распознавании технологических объектов и их параметров по 3D-моделям деталей. Под эту методику подходят стандартные технологические элементы типа уступ, паз, стенка, колодец, окно, отверстие, поверхность. Так как эти элементы могут находиться под разными углами, на первом этапе система выполняет их группировку по зонам и запускает в действие

механизм распознавания. По автоматически создаваемой визуализации, технолог может редактировать предложенные системой решения. После этих действий запускается процесс автоматического получения маршрута изготовления. Маршрут обработки в виде дерева проекта технологических переходов с командами, режущими инструментами и режимами обработки доступен для ручного редактирования. Теперь система выполняет расчет траектории перемещения режущего инструмента и формирование текста управляющей программы (рис. 3).

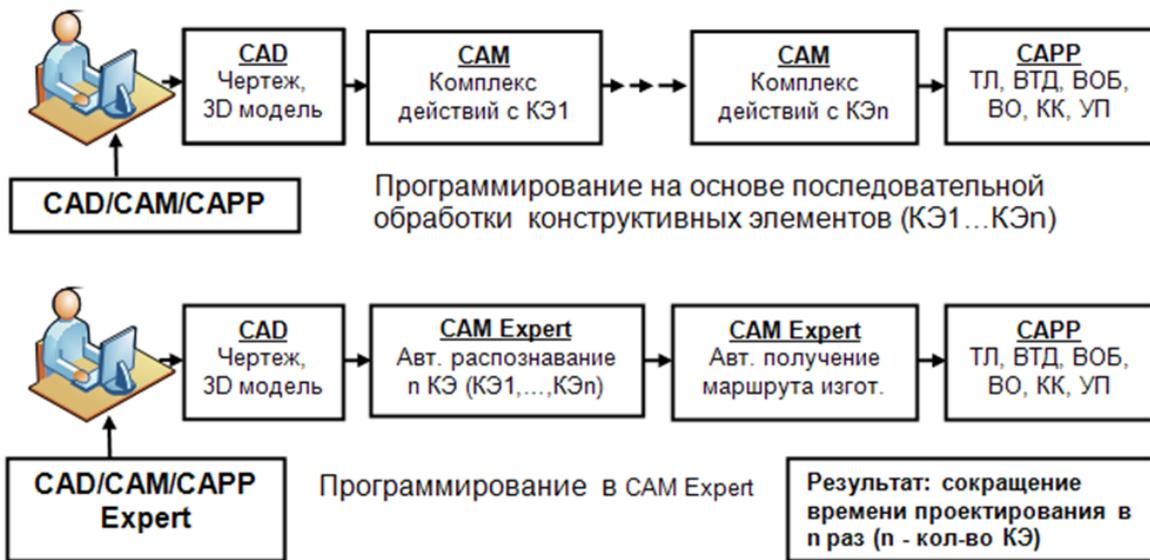


Рис. 3. Сопоставление различных способов технологического проектирования:

КЭ – конструктивный элемент; n – количество конструктивных элементов; КТП – карта технологического процесса; ТЛ – титульный лист; ВТД – ведомость технологической документации; ВОБ – ведомость оборудования; ВО – ведомость оснастки; КК – комплектовочная карта; УП – управляющая программа

Завершающим этапом проектирования является процесс симуляции этапа механообработки, позволяющий произвести визуальный анализ взаимных перемещений заготовки и инструмента на всех этапах обработки (рис. 4) [2]. Применение модуля САМ Expert позволяет сократить время проектирования в n раз (n – количество конструктивных элементов на детали), по сравнению с программированием на основе последовательной обработки конструктивных элементов (см. рис. 4).

Фрезерование объемных моделей, как правило, выполняется на 3-координатном оборудовании. При автоматизированной разработке УП часть таких работ предлагается выполнять обработку объемной модели на 2,5-координатном станке. Следует учесть, что количество последнего оборудования на производстве значительно превышает количество

3-координатных станков, а стоимость станко-часа работы значительно ниже.

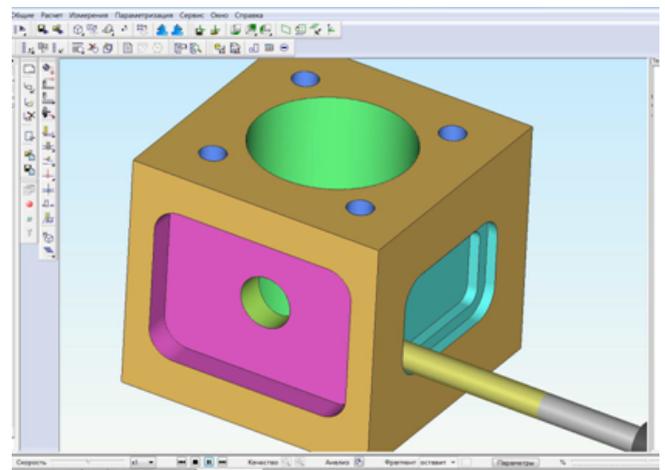


Рис. 4. Симуляция процесса механической обработки

Подготовка такой УП реализуется в модуле САМ, управляя количеством проходов по оси Z, число проходов регламентируется максимальной высотой оставляемого гребешка. При программировании задание профиля стенки в направлении оси Z выполняется заданием угла стенки или контурами, лежащими в плоскостях дна и верхней грани или контуром профиля стенки.

Траектория перемещения инструмента представлена на рис. 5. Такой вид обработки при реализации на 2,5-координатном станке позволяет существенно снизить себестоимость изготовления изделия на данной операции.

Используя ADEM CAM для повышения эффективности контурного фрезерования предлагается запрограммировать величину подачи, обеспечивающую постоянство толщины стружки при переменной толщине снимаемого слоя. При контурном фрезеровании одним из показателей является подача на зуб фрезы S_z , значение которой через скорость резания, число оборотов и число зубьев фрезы пересчитывается в минутную скорость подачи в мм/мин, что и забивается в программу.

При переменной толщине снимаемого слоя при постоянной линейной подаче изменяется толщина стружки a_{max} . Обеспечив постоянное и оптимальное значение толщины струж-

ки, можно стабилизировать силовые нагрузки при обработке. При малых съемах металла можно увеличить линейную подачу в 1,5... 2 раза.

Схема изменения величины линейной подачи при фрезерной обработке с постоянной толщиной срезаемой стружки показана на рис. 6.

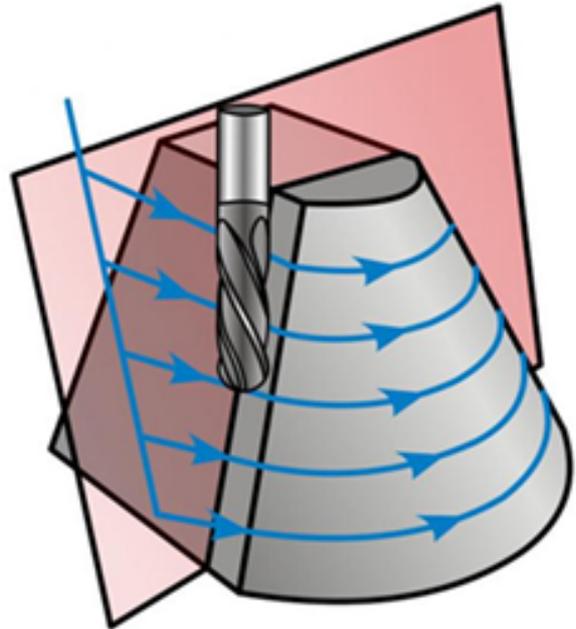


Рис. 5. Траектория перемещения инструмента при объемном фрезеровании на 2,5-координатном станке

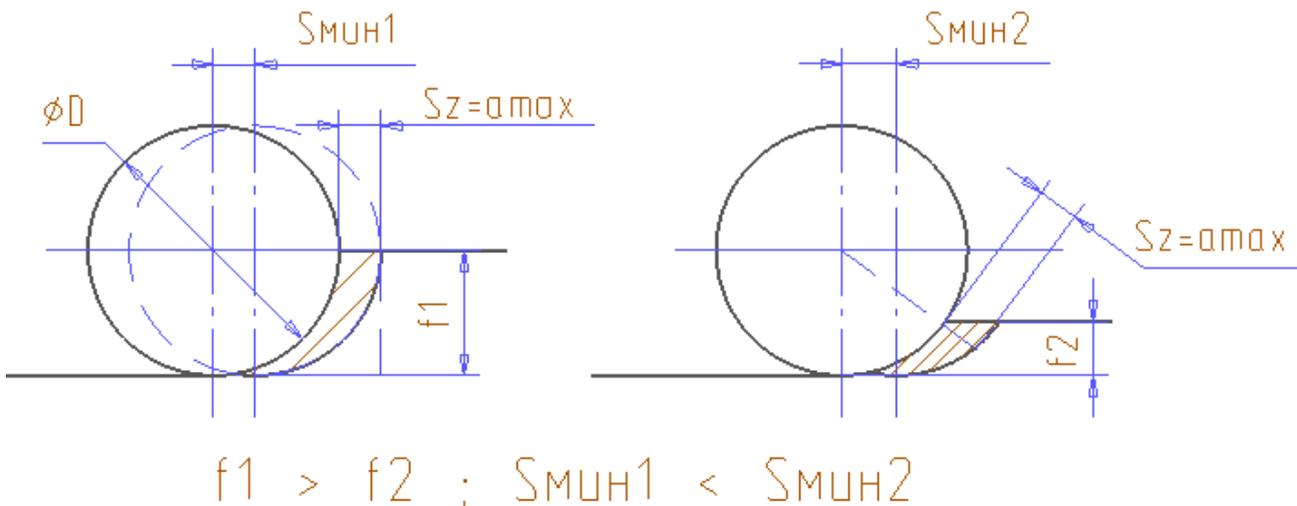


Рис. 6. Соотношение толщины стружки a_{max} и подачи на зуб S_z :

D – диаметр фрезы; S_z – подача на зуб; a_{max} – толщина стружки; f_1 и f_2 – глубина резания; $S_{мин1}$ и $S_{мин2}$ минутная подача

Проведем сравнительные расчеты значения линейной подачи при съеме слоя разной толщины в два и один миллиметр. Исходные данные – диаметр фрезы $D = 20$ мм; оптимальное значение толщины стружки $a_{max} = 0,04$ мм; число зубьев фрезы $z = 5$; скорость резания

$v = 80$ м/мин. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Обеспечение постоянства толщины стружки – задача, решаемая в модуле ADEM CAM. В зависимости от значения оптимальной толщины стружки, величины оборотов шпинделя,

параметров инструмента и толщины снимаемого припуска система рассчитывает значение минутной подачи для каждого перемещения.

В ряде случаев, для исключения проблем в процессе обработки, устанавливаются минимальные и максимальные значения [3].

1. Сравнительный расчет величины линейной подачи в зависимости от толщины снимаемого слоя

Расчет числа оборотов $N = 1000 \times V / \pi \times D = 1000 \times 80 / 3.14 \times 20 = 1273$ об/мин	
Оптимальное значение толщины стружки $a_{max} = 0,04$ мм	
Толщина слоя $t = 2$ мм	Толщина слоя $t = 1$ мм
Величина подачи на зуб фрезы $S_z = a_{max} / \sqrt{t/D}$, мм/зуб	
$S_z = 0,04 / \sqrt{2/20} = 0,126$ мм/зуб	$S_z = 0,04 / \sqrt{1/20} = 0,181$ мм/зуб
Расчет минутной подачи $S_{мин} = S_z \times z \times N$, мм/мин	
$S_{мин} = 0,126 \times 5 \times 1273 = 802$ мм/мин	$S_{мин} = 0,181 \times 5 \times 1273 = 1152$ мм/мин
Увеличение скорости линейной подачи при уменьшении съема слоя составляет 143 %	

Выводы:

- предложенная методика систематизирует порядок разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ и технологической документации в автоматизированных системах;
- предложенная методика автоматизированного программирования в САМ-системе позволяет сократить время технологической подготовки производства деталей на оборудовании с ЧПУ;
- используя предложенную методику, можно существенно сократить время подготовки технолога для программирования в САМ-системе для решения сложных технологических задач;
- система разгружает технолога от «рутинной» работы и позволяет совмещать обязанности программиста;
- предложенные приемы программирования в САМ-системе позволяют повысить эффективность принимаемых технологических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Аверченков, А.В. и др.** Автоматизированный выбор инструментальных стратегий обработки и режущего инструмента для многофункционального технологического оборудования с ЧПУ // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2012. – № 3-3 (293). – С. 68-73
2. **Быков, А., Карамов, Р.** Новое программирование ЧПУ с ADEM CAM Expert // *САПР и графика.* – 2014. – №12. – С. 62- 63
3. **Гусев, В.Г., Савина, Е.С.** Проектирование обработки сложных поверхностей на токарных станках с ЧПУ в САМ-системе Esprit // *Научные технологии в машиностроении.* – 2018. – №1(79). – С. 28 - 36
4. **Зинченко, Д.** Особенности и преимущества системы ADEM в области создания управляющих программ для станков с ЧП // *САПР и графика.* – 2017. – №7. – С. 31- 41
5. **Козлов, А.М., Малютин, Г.Е.** Расчет траектории инструмента при фрезеровании внутренних поверхностей на станках с ЧПУ // *Научные технологии в машиностроении.* – 2018. – №1(79). – С. 36 - 40

6. Колошкіна, И.Е., Селезнев, В.А. Инженерная графика. CAD: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 220 с. – ISBN 978-5-534-104 12-7.

7. Колошкіна, И.Е. Программирование УЧПУ HEIDENHAIN на программной станции с виртуальной клавиатурой // Проблемы современной науки и образования. – 2018. – №11 (131). – С. 34-39.

8. Селезнев, В.А., Федотов, В.А. Информационная и практическая подготовка специалиста технического профиля // Профессиональное образование. Столица. – 2015. – №4. – С. 34-37.

REFERENCES

1. Averchenkov, A.V. et al. Automated choice of tool strategies for machining and cutter for NC multi-functional engineering equipment // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. – 2012. – No.3-3 (293). – pp. 68-73.

2. Вуков, А., Карамов, Р. New NC programming with ADEM CAM Expert // *CAD and Graphics*. – 2014. – No.12. – pp. 62-63.

3. Gusev, V.G., Savina, E.S. Designing complex surface machining on NC lathes in CAM-system Esprit // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.1 (79). – pp. 28-36.

4. Zinchenko, D. Peculiarities and advantages of ADEM system in control program creation for NC machines // *CAD and Graphics*. – 2017. – No.7. – pp. 31-41.

5. Kozlov, A.M., Malyutin, G.E. Calculation of tool path at inner surface milling on NC machines // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.1 (79). – pp. 36-40.

6. Koloshkina, I.E., Seleznyov, V.A. *Engineering Graphics. CAD: Textbook and Practicum for Academic Baccalaureate*. – М.: Youright Publishing House, 2019. – pp. 220. - ISBN 978-5-534-104 12-7.

7. Koloshkina, I.E. UChPU HEIDENHAIN programming at programming station with virtual keyboard // *Problems of Modern Science and Education*. – 2018. – No.11 (131). – pp. 34-39.

8. Seleznyov, V.A., Fedotov, V.A. Engineering expert's information and practical training // *Vocational Education. Capital*. – 2015. No.4. – pp. 34-37.

Рецензент д.т.н. Д.И. Петрешин

Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru

