

УДК 621.9:681.3.06-52

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ
ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Ф.А.Колсанова

1. Назначение системы. Система предназначена для подготовки с помощью ЭВМ "Минск-22" управляющей информации при обработке деталей со сложными поверхностями на трехкоординатном оборудовании с программным управлением (П/).

Под сложной деталью понимается геометрический объект, состоящий из комплекса взаимосвязанных поверхностей, каждая из которых характеризуется своими геометрическими параметрами (конструктивные поверхности) или своими связями с внешними объемами изделия (теоретические поверхности). Примерами сложных деталей являются балки, лонжероны, нервюры, шпангоуты.

Обрабатываемые поверхности детали можно условно подразделить на два типа: основные и переходные (к последним относятся все виды скруглений, фасок). Характер объединения этих поверхностей определяется конструктивными соображениями и техническими условиями.

Детали данного класса, кроме структурной общности, обладают и общностью схемы воспроизведения. Последовательность технологических операций, обеспечивающих получение реальной детали требуемых размеров и точности взаимного расположения основных поверхностей, описывается типовой схемой обработки и базирования детали. Подобный подход к группированию деталей и типизации технологических процессов в соответствии с общими конструктивно-технологическими признаками позволяет связать отдельный класс обрабатываемых деталей с конкретными типами ме-

таллорежущего оборудования и определить наиболее приемлемые модели станков.

Обработку выделенного класса деталей целесообразно производить на трехкоординатном оборудовании с ПУ (ФП-7, ФП-9, 6М 13ГН-1) по следующим соображениям:

1. Это серийно выпускаемые и освоенные станки с хорошими технологическими параметрами.

2. Станки позволяют выполнять за одну-две установки полный цикл механической обработки детали, в том числе и сложных поверхностей.

3. Для деталей рассматриваемого класса с характерными геометрическими параметрами сложной ограничивающей поверхности на трехкоординатном оборудовании можно достичь оптимального варианта формообразования — совпадения образующих инструмента и обрабатываемой поверхности.

Существующие отечественные системы автоматизации расчета управляющей информации (САПС, СППС и др.) позволяют существенно сократить трудоемкость вычислительных работ. Однако их использование в авиа- и судостроении ограничено из-за невозможности программирования обработки сложных деталей и оснастки.

Публикации, посвященные вопросу автоматизации расчета при формообразовании сложных геометрических объектов, рассматривают, как правило, изготовление аналитически заданных поверхностей. Кроме того, ни одна из работ не доведена до полной реализации на ЭВМ, позволяющей использовать ее при расчете программ обработки сложных деталей.

Изготовление сложных деталей требует конструирования поверхностей, находящихся на заданном расстоянии от внешнего теоретического обвода, изготовления шаблонов и объемной оснастки, необходимых для обеспечения геометрической и технологической увязок. Эти особенности предъявляют свои требования к системе автоматизации программирования обработки таких деталей.

Предлагаемая система производит построение цифрового аналога обрабатываемой поверхности согласно заданию чертежа и характеристик внешнего обвода изделия, находит координаты некоторого множества точек поверхности с их дифференциальными характеристиками. Информация об обводе изделия задается в стандарт-

ной форме и представляет собой каркас поверхности, т.е. совокупность лежащих на поверхности линий. Каждая линия задается координатами точек в прямоугольной системе координат. Методы интерполирования [1,2], разработанные в Институте математики СО АН СССР под руководством доктора физико-математических наук Ю.С.Завьялова, явились основой для нахождения функций по заданным значениям координат в определенных точках, для воспроизведения поверхности и обеспечения расчета информации при формообразовании ее на оборудовании с ПУ.

Процесс автоматизации комплекса работ, связанного с подготовкой управляющих программ обработки сложных деталей на оборудовании с ПУ, сводится к решению отдельных задач, разработке алгоритмов, составлению программ для ЭВМ и объединению их в одну общую систему, обеспечивающую выполнение необходимой последовательности программ в машине. Алгоритмы данной системы предусматривают типовую структуру конструкции детали и не учитывают уникальных и редких технологических ситуаций, поскольку они значительно усложнили бы алгоритмы, не давая должного эффекта.

2. Построение математической модели. В основу системы положено построение математической модели сложной детали, т.е. получение ее цифрового аналога, выраженного координатами некоторого множества точек. Ограничивающая поверхность сложной детали представляет совокупность ее элементов, связанных между собой по определенному чертежом правилу, и, следовательно, ее цифровое описание сводится к нахождению геометрических данных о каждом элементе и геометрических параметров линий, образующих границу элементов поверхности в виде координат точек.

Если основной элемент поверхности связан с внешним обводом того или иного агрегата изделия, то непосредственная информация о нем может быть получена от заданной геометрической поверхности посредством расчета геометрических параметров промежуточных элементов, находящихся между внешним обводом и искомой поверхностью. К промежуточным элементам относятся обшивки, прокладки, полки деталей (рис.1).

Для нахождения контура детали (см.рис.2) кривую, лежащую на обводе, приходится перестраивать на новую с учетом, например, толщины обшивки. В точках, где контур одной детали стыкуется с

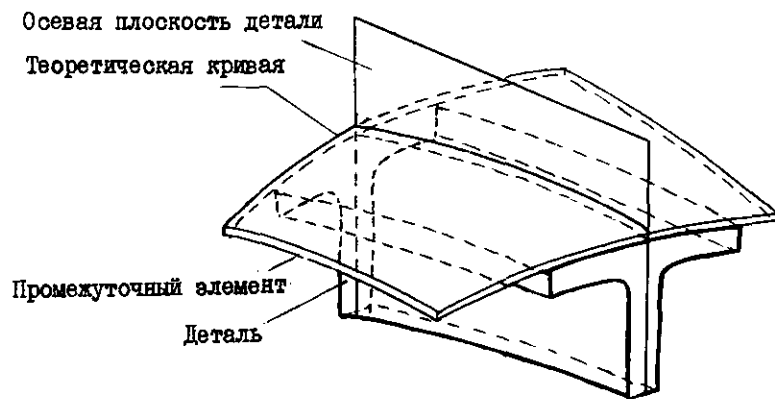


Рис. 1

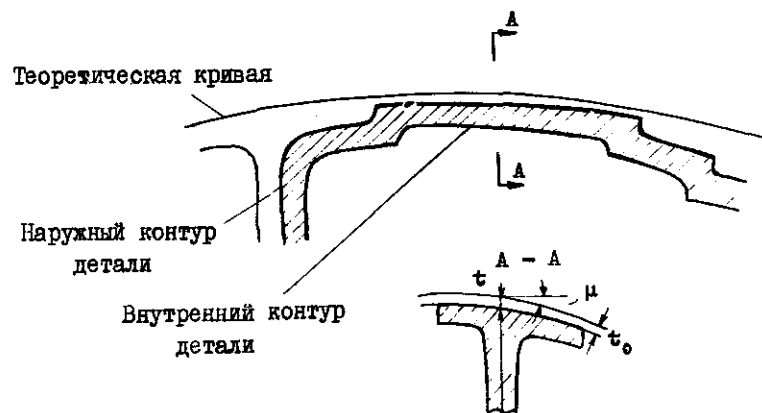


Рис. 2

другой, учитывается толщина привязываемой детали. Таким образом, конструирование обвода детали сводится к неоднократному последовательному пересчету кривых с учетом промежуточных элементов.

Соотношение между теоретическим контуром и контуром детали в ее осевой плоскости определяется следующим образом. В каж-

дой точке контура рассчитывается величина

$$t = \frac{t_0}{\cos \mu},$$

где t_0 — расстояние между теоретическим контуром и контуром детали, $90^\circ \pm \mu$ — угол между осевой плоскостью детали и плоскостью, касательной к теоретической поверхности в заданной точке.

Наружный контур детали квазиэквидистантен к заданному теоретическому контуру, поскольку величина μ , а следовательно, и t в общем случае от точки к точке изменяется. Координатами наружного контура (x_D, y_D) детали будут

$$x_D = x_T \pm \frac{\frac{dy_T}{dx_T} \cdot t}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_T}{dx_T}\right)^2}}, \quad y_D = y_T \mp \frac{t}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_T}{dx_T}\right)^2}},$$

где x_T, y_T — координаты точек пересечения теоретической поверхности с осевой плоскостью детали.

Аналогичное соотношение можно записать и для внутреннего контура детали ($x_{ВД}, y_{ВД}$):

$$x_{ВД} = x_D \pm \frac{\frac{dy_D}{dx_D} \cdot h}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}}, \quad y_{ВД} = y_D \mp \frac{h}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}},$$

где $h = \frac{h_0}{\cos \mu}$, h_0 — расстояние между внутренним и наружным контурами.

Если необходимо обеспечить переменную величину h , то значения $x_{ВД}, y_{ВД}$ откорректируются за счет функциональной зависимости $h_0 = \Phi(x_D, y_D, x_{ВД}, y_{ВД})$, так как наружная и внутренняя поверхности (по чертежу) связаны жесткими переменными параметрами. Так, для обеспечения плавного изменения расстояния между внутренним и наружным контурами (с h_1 на h_2) h_0 примет вид

$$h_i = \frac{h_2 - h_1}{S} \cdot S_i + h_1,$$

где

$$S = \int_A^B \sqrt{dx_D^2 + dy_D^2}, \quad S_i = \int_A^{M_i} \sqrt{dx_D^2 + dy_D^2},$$

A, B — точки соответственно начала и конца плавного изменения величин h_i ; M_i — точка, в которой обеспечивается размер h_i .

Таким образом, последовательный переход от теоретической поверхности к наружному контуру детали и далее к внутреннему с помощью установленных взаимозависимостей дает возможность получить информацию о каждом элементе поверхности сложной детали, связанной с внешним обводом изделия. Полученные значения координат точек позволяют построить интерполяционные кривые и определить остальную информацию. Нахождение граничной линии сводится к пересечению (сопряжению) двух соседних элементов.

В результате имеем полное математическое описание ограничивающей поверхности сложной детали.

Качественный анализ показывает, что для рассматриваемого класса деталей каждый элемент если и не является линейчатой поверхностью, то довольно близок к ней. Так что при практическом составлении программ обработки деталей информация может задаваться в виде таблиц координат точек направляющей и прямолинейной образующей в этих точках, положение которой характеризуется углом μ .

3. Расчет управляющей информации. Расчет управляющей информации сводится к задаче нахождения геометрических параметров конструируемых кусков поверхностей, квазиэквидистантных к обрабатываемым, и нахождению точек связи этих кусков. Соотношение между параметрами обрабатываемой и конструируемой (траекторией движения режущего инструмента) поверхностями в зависимости от способа обработки определяется из соответствующего алгоритма. Траектория движения инструмента представляется в виде координат опорных точек ломаной линии, находящейся во взаимно-однозначном соответствии с точками обрабатываемой поверхности, с наперед заданной точностью.

Траектория обработки задается в прямоугольной системе координат, определенным образом связанной со станком.

Рассмотрим некоторые способы обработки сложных деталей. Высокие требования, предъявляемые к точности выполнения геометрических размеров, чистоте наружной и внутренней поверхностей, вызывают необходимость введения при механической обработке дополнительных предварительных проходов с жесткими условиями на припуск δ . Это, в свою очередь, требует при расчете траектории движения инструмента учитывать его смещения от точки к точке в зависимости от угла μ и геометрических параметров элемента поверхности, например, от размеров полки H_1 и H_2 (рис. 3).

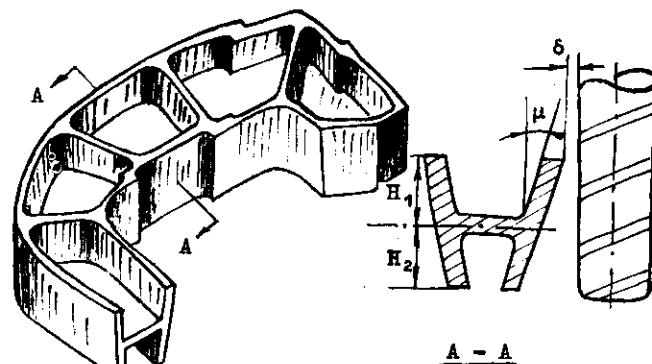


Рис. 3

В данном случае координаты траектории инструмента будут принимать вид

$$x_H = x_D \pm \frac{\frac{dy_D}{dx_D} (H_1 \operatorname{tg} \mu + \delta)}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}}, \quad y_H = y_D \mp \frac{H_1 \operatorname{tg} \mu + \delta}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}}.$$

Для получения определенной формы детали необходимо, чтобы в процессе обработки линия контакта режущей поверхности инстру-

мента перемещалась по заданной поверхности, характер изменения которой, в частности угла μ , предопределяет технологический процесс формообразования и геометрические параметры режущего инструмента. Так, при $\mu = 0$ для всего элемента поверхности расчет траектории обработки производится эквидистантно контуру детали.

Аналогично рассчитывается траектория движения инструмента и при $\mu = \text{const}$, с той лишь разницей, что обрабатываемой поверхностью будет усеченный конус и эквидистанта отсчитывается от контура детали на расстоянии, равном $d = R_{\phi} \pm H \tan \mu$ (рис. 4).

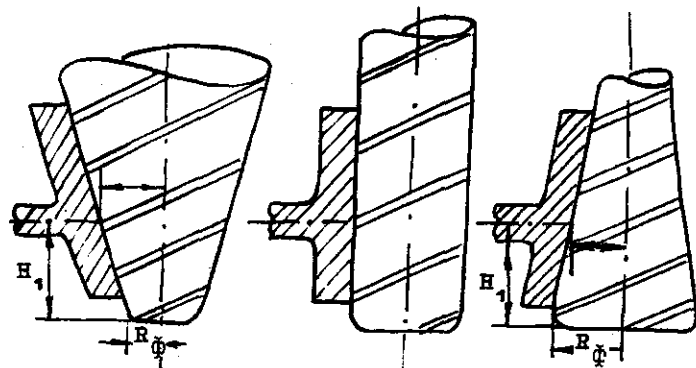


Рис. 4

В этих случаях образующая заданной поверхности параллельна одной из координатных осей станка либо имеет постоянный угол наклона.

Если же образующая находится в плоскости общего положения, то процесс формообразования осуществляется за счет конструкции инструмента (рис. 5).

Инструмент в процессе работы меняет форму, т.е. угол наклона режущей кромки изменяется от точки к точке в зависимости от величины и направления угла μ . Это достигается посредством вращения сегмента ножа (поворотной обоймы) относительно точки А, зацепления и перемещения оси инструмента по оси OZ.

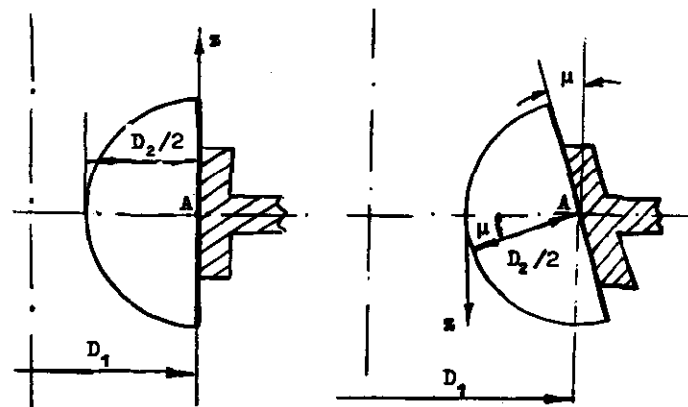


Рис. 5

Соотношение между заданным контуром и траекторией инструмента следующее:

$$x_H = x_D \pm \frac{\frac{dy_D}{dx_D} \cdot \frac{D_1}{2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}},$$

$$y_H = y_D \mp \frac{\frac{D_1}{2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy_D}{dx_D}\right)^2}},$$

$$z_H = z_D \mp \frac{\pi \cdot \mu^0 \cdot D_2}{360^\circ},$$

где z_H — перемещение не самого инструмента, а его оси, которая с помощью зацепления, согласно функциональной зависимости, осуществляет разворот режущей кромки на заданный угол.

Подобная конструкция может применяться как для обработки контуров деталей, так и для обводообразующей оснастки.

4. Преобразование информации в коды интерполяторов. Системы числового программного управления, предназначенные для обработки больших по объему информации и сложных деталей (системы станков ФП-7, ФП-9 и т.д.), осуществляют управление от декодированной программы, записанной на магнитную ленту. Запись управляющей программы производится с помощью линейно-круговых интерполяторов моделей ЛКИ-ФМ, ЛКИ-У, ЛКИ-УН. Для ввода в интерpolator необходимо преобразовать данные в промежуточную информацию, ориентированную на конкретный тип записывающей аппаратуры.

Каждая команда управляющей программы должна быть представлена в виде отдельного кадра. Исходными данными для него являются координаты опорных точек траектории обработки и общие технологические данные: величины скорости подач на каждом участке, цена импульса и т.д.

Коды величин приращений по координатам, а также код подачи расположены в кадре в определенном порядке и занимают вполне определенное место. Изменение скорости подачи при увеличении ее осуществляется интерpolatorом автоматически за счет конструктивной реализации. При снижении подачи рассматривается участок торможения L_T с учетом возможности станка и технических характеристик записывающей аппаратуры.

Результатом работы блоков системы являются

- печать опорных точек траектории обработки,
- печать кадров в коде интерpolatorа,
- перфоленга с управляющей программой.

Преобразование команд, записанных на перфоленге, в фазо-импульсы управления производится на интерpolatorе, к выходу которого подключается установка записи программы обработки на магнитную ленту.

5. Инструкция по заполнению бланков с исходной информацией. Участие человека при подготовке данных заключается в переносе цифровой информации и геометрии обрабатываемого объекта с теоретического и конструктивного чертежей (или с паспорта замеров) и некоторых технологических параметров на специальный бланк по определенным правилам. Слова, буквы, сокращения при этом не исполь-

зуются. Значения координат точек, образующих кривые, а также связанная с ними дополнительная информация записываются в порядке, соответствующем обходу контура. Группа обозначений образует информацию о геометрической связи отдельных элементов. Так, $+R$ (R - значение величины радиуса окружности) пишется в случае обхода дуги окружности по направлению часовой стрелки, $-R$ - против.

Нахождение цифрового аналога каждого куска в зависимости от характера связи с внешним обходом производится посредством шифров, представляющих сочетание цифр 1, 2, 4, 6:

1 - расчет координат куска поверхности, обеспечивающих равномерное изменение расстояния от внешнего обхода;

2 - расчет координат куска поверхности, обеспечивающих постоянную величину расстояния от внешнего обхода;

4 - расчет координат куска поверхности, учитывающих изменение величин μ и H (высота полки детали);

6 - расчет координат куска поверхности, учитывающих изменение толщины в каждой точке.

Например, шифр 241 означает последовательность пересчетов заданной кривой с учетом выдерживания постоянного размера, далее, смещение каждой точки по нормали к кривой в зависимости от малки μ и, наконец, нахождение координат точек кривой, обеспечивающей плавное изменение расстояния от предшествующей.

Общий вид информации следующий.

Под нее отведен I блок МОЗУ, начиная с 0070 адреса; 0070-0107 занимают общие технологические данные: шифр изделия и детали, номер программы, геометрические параметры инструмента, допуск на аппроксимацию и т.д. С 0110 адреса записываются координаты точек подхода инструмента к обрабатываемой детали в виде x_i, y_i, z_i, P (подача). После последней точки подхода ставится "-0" - признак конца массива. Далее следует информация о последовательности кусков. Наиболее полная информация о куске выглядит так:

$A+0 \pm h$, отсутствует, если в расчете этот параметр не участвует;

...

x_i

y_1
 $\mu_1(m_1)$
 n_1
 ...

h_2
 $h(t)$

$O(1) \begin{cases} 1 - \text{признак снижения подачи в конце куска,} \\ 0 - \text{подача сохраняется;} \end{cases}$

-0 - признак конца куска;

$\pm$ шифр "1" - признак сопряжения (пересечения);

$\pm R$ "1R" - связь двух кусков посредством дуги окружности;

$\pm R$ "b" - величина необходимого припуска.

Подобная запись последовательности кусков может продолжаться до тех пор, пока не потребуются ввести технологические точки перехода или отхода от детали. Такая совокупность кусков является массивом информации. Количество массивов может быть ≤ 30 . В конце каждого массива должен стоять $R = 0$ в последнем куске. Переходы и отход от обрабатываемой поверхности записываются ... $x_1, y_1, z, \Pi, \dots$ В последней точке информации $\Pi = 0$, так как режущий инструмент прекращает движение.

Исходные данные с 0070 адреса перфорируются в десятичной системе с кодовой запятой.

6. Инструкция по работе с системой на ЭВМ.

1. Поставить МЛ с системой на любой ЛПМ и закоммутировать на 0.0.ЛПМ.

2. Поставить рабочую МЛ на любой ЛПМ и закоммутировать на 0.2.ЛПМ.

3. Перфоленту с исходными данными поставить на фотосчитывающее устройство.

4. Тумблер ПЗУ - вверх.

5. Нажать кнопки "Стирание МОЗУ".

6. Тумблер ПЗУ - вниз.

7. Включить печать.

8. Пуск в автомате с 0000}

Останов по команде 6303.

9. Пуск в автомате дальше. Останов по команде 0065 - конец расчета.

10. Для следующих программ обработки повторить с пуск 3. В системе предусмотрены следующие контрольные остановки:

I444I	}	заданный шифр не предусмотрен задачей
I4623		
I5074		координата подсечки задана неправильно
I0746		количество массивов > 30
I3555	}	пропущена какая-либо информация
I3570		
I4I74		очень большой радиус подсечки (не вписывается в кусок)
I7533	}	нет сопряжения или пересечения элементов контура.
I7535		

Л и т е р а т у р а

1. ЗАВЬЯЛОВ Ю.С. Интерполирование бикубическими многозвеньями. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 38. Новосибирск, 1970, с. 74-101.

2. ЛЕУС В.А. Гладкая окружностная интерполяция кривых. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 38. Новосибирск, 1970, с. 102-127.

3. МОИСЕЕНКО А.М., ЛЕВАНОВ К.С. Фреза. Авт. свид. СССР, кл. В23с 5/12, №464402. Бюллетень: Открытия, Изобретения. Промышленные образцы. 1975, № II, с.29.

4. КОЛСАНОВА Ф.А. Метод расчета управляющей информации при обработке дискретно заданного теоретического контура на фрезерных станках с ЧПУ. - В кн.: Разработка и применение систем числового программного управления технологическим оборудованием. Тезисы совещания. М., 1973.

Поступила в ред.-изд.отд.

1 октября 1975 года