

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

ФРЕЗЕРОВАНИЕ ВДОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КРИВОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

На станках с числовым программным управлением (ЧПУ) широко распространено фрезерование в одной плоскости. Траектория такого фрезерования представляет собой различные геометрические фигуры: прямоугольник, треугольник, окружность, змейка прямая линия, которые могут находиться в различных плоскостях. Но каждую фигуру или комбинацию из этих фигур фрезеруют только в одной плоскости и только по двум координатам. Третья координата участвует только в подходе (отходе) режущего инструмента к (от) плоскости обработки.

Составление такой управляющей программы (УП) для фрезерования описано в каждом техпаспорте для станка с ЧПУ.

Более сложно разрабатывать УП для фрезерования по пространственной кривой. Создание этой УП, за исключением обработки по винтовой линии [1], в техпаспорте станков с ЧПУ и в источниках [2–4] не описано. Винтовая линия не может рассматриваться как общий случай задания пространственной кривой. Например, в чертежах резьба не задается проекциями, как задается пространственная кривая.

Фрезерование вдоль пространственной кривой на станках с ЧПУ как цикл обработки в устройстве ЧПУ (УЧПУ) это, очевидно, новое в технологии машиностроения.

Необходимые вычисления для создания УП и процесс создания УП необходимо возложить на ЭВМ станка с ЧПУ, т.е. создать в устройствах ЧПУ цикл (циклы) обработки «фрезерование вдоль пространственной кривой».

При таком фрезеровании перемещение фрезы вдоль пространственной кривой должно происходить одновременно по трем координатам и непременно находиться в функциональной зависимости между собой [5].

Если за аргумент принять x , то

$$y = F_y(x), z = F_z(x). \quad (1)$$

На рис. 1 задана как пример в двух проекциях пространственная кривая (a, b). Это может быть прямая линия в пространстве, две проекции которой тоже прямые линии. Могут быть и другие линии: парабола, гипербола и т. д. Например, зачастую пространственная линия разъема пресс-форм имеет две проекции. Одна проекция имеет вид зигзага (ломаная линия из трех отрезков, в которой углы закруглены неодинаковыми радиусами) – это сопряженные: **прямая** первая – **дуга** первой окружности – **прямая** вторая – **дуга** второй окружности – **прямая** третья. А вторая проекция – это фасонный контур, состоящий из сопряженных дуг различных окружностей. Приведем еще один пример. Для обработки части конусной поверхности, выступающей над плоскостью разъема пресс-формы (причем, ось конуса не перпендикулярна плоскости) можно применить строчки в виде дуг окружностей в пространстве или строчки в виде образующих конуса как прямые в пространстве.

По пространственным прямым обрабатывают внутри и трехгранные углы [6].

Пусть нужно разработать управляющую программу для перемещения фрезы вдоль пространственной кривой (a, b), заданной двумя проекциями (рис. 1).

Сначала создаем две предварительные УП.

Одну – для перемещения в плоскости XY , а вторую – для перемещения в плоскости XZ . Для этого достаточно густо проведем на рис. 1 вертикальные прямые одновременно через обе проекции кривой (a, b). В местах пересечения получаем опорные точки на каждой из проекций.

Одна или обе проекции заданной кривой (a, b) могут состоять из соединения, в котором элементы – это различные прямые и дуги различных окружностей. Они между собой сопрягаются или пересекаются в любом сочетании элементов [7].

В этом случае на обеих проекциях через точки сопряжения и пересечения проводим вертикальные прямые и получаем дополнительные опорные точки. Опорные точки на каждой проекции XY и XZ имеют координаты соответственно $X_n Y_n$ и $X_n Z_n$. В нашем примере (рис. 1) $n = 1 \dots 5$.

При этом каждая координата X_n проекции XY будет равна координате X_n проекции XZ .

Итак, получим опорные точки $X_n Y_n$ и $X_n Z_n$, где $n = 1 \dots 5$. Они удовлетворяют равенству (1).

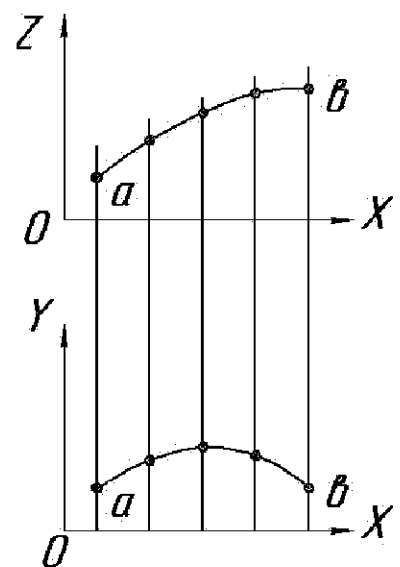


Рис. 1.

По этим опорным точкам построим две предварительные УП в виде текстовых файлов ху.ур и хz.ур.

Обычно станки с ЧПУ могут перемещать инструмент по пространственной кривой двумя способами:

1) Перемещение по трем координатам по прямой линии: функция G01 – линейная интерполяция устройства ЧПУ (УЧПУ).

2) Перемещение в одной (из трех) координатной плоскости (рис. 1) – перемещение от точки к точке по дугам окружностей (круговая интерполяция G02, G03 устройства ЧПУ). А в другой координатной плоскости – перемещение по прямой (G01).

Перемещать инструмент по дугам окружностей одновременно в двух координатных плоскостях станки с ЧПУ не могут.

Нужно обратить внимание на то, что обычно в инструкциях для программирования станков с ЧПУ **не акцентируется внимание на то, что плоскость обработки имеет направление, по которому надо на нее смотреть** при определении функций интерполяции G02, G03 (против или по часовой стрелке).

Например, в инструкциях [1, 2] утверждение, что для плоскости XY (G17) (рис. 2) G02 это обход против часовой стрелки, верно только в случае, если ось Z направлена на зрителя. Но это неверно, если смотреть на эту плоскость XY (G17) вдоль оси Z, и неверно для плоскости XZ (G18), где ось Y направлена от зрителя. И опять же будет верно к плоскости YZ (G19), если смотреть навстречу оси X, и неверно, если смотреть на ту же плоскость YZ (G19) вдоль оси X.

Функции круговой интерполяции G02, G03 определяют направление движения инструмента на плоскости, параллельной двум координатным осям, если смотреть на эту плоскость навстречу третьей координатной оси.

Проекциями на рис. 1 могут быть не только прямые линии или окружности. Это могут быть кривые второго и высших порядков, заданные аналитически или таблично. Кривые, заданные аналитически, нужно перевести в таблицы координат опорных точек. Опорные точки соединяют (аппроксимируют) или прямыми линиями или дугами окружностей. Соединяют прямыми линиями в той проекции, где радиус кривизны больше (на рис. 1 это проекция XY). В проекции, где радиус кривизны меньше, соединяют опорные точки дугами разных окружностей, но все дуги попарно сопряжены [8–10]. То есть, в точке сопряжения дуг окружностей как первые производные справа и слева равны, так и вторые производные справа и слева равны.

В общем, при достаточной густоте опорных точек можно обе проекции аппроксимировать только прямыми линиями. Но это, во-первых, приводит к увеличению количества кадров в УП. Авторы на практике столкнулись с тем, что, в частности, станок [1] воспринимает ограниченное количество кадров. Во-вторых, на ломаный контур, как правило, невозможно ввести коррекцию на радиус фрезы, а на контур из сопряженных дуг окружностей – можно.

Полученные в разных координатных плоскостях две предварительные УП $X_n Y_n$.UP и $X_n Z_n$.UP соединим в одну пространственную УП $X_n Y_n Z_n$.UP.

Для этого создаем «ТЕКСТ», записывая в два вертикальных столбца обе предварительные УП $X_n Y_n$.UP и $X_n Z_n$.UP. У нас они условные, не содержат номеров кадров, функций подачи, оборотов, эмульсии, функций интерполяции, плоскости, функций начала и конца УП, а содержат только геометрическую информацию (координаты опорных точек).

Столбец $X_n Y_n$.UP

$$\begin{matrix} X_1 Y_1 \\ X_2 Y_2 I_2 J_2 \\ X_3 Y_3 I_3 J_3 \\ X_4 Y_4 I_4 J_4 \\ X_5 Y_5 I_5 J_5 \end{matrix}$$

Столбец $X_n Z_n$.UP

$$\begin{matrix} X_1 Z_1 \\ X_2 Z_2 \\ X_3 Z_3 \\ X_4 Z_4 \\ X_5 Z_5 \end{matrix}$$

где I_n, J_n – координаты центра дуги, соединяющей две рядом расположенные опорные точки $X_{n-1} Y_{n-1}$ и $X_n Y_n$. В совокупности центры всех аппроксимирующих дуг дают линию центров кривизны (эволюту).

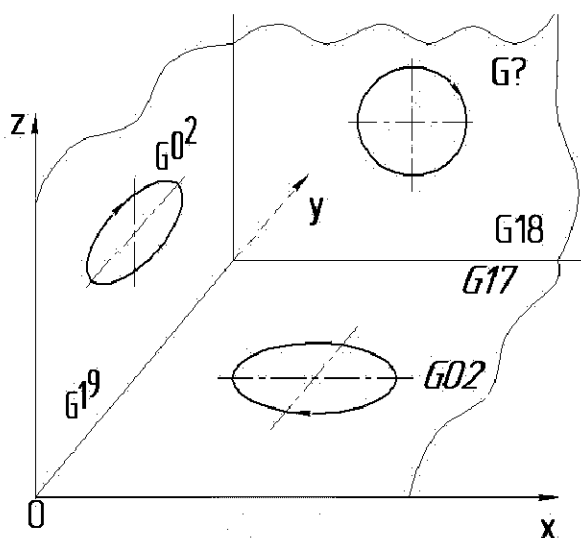


Рис. 2.

Следим, чтобы в «ТЕКСТе» кадры (строки УП) обеих предварительных УП с одинаковыми значениями X_n были в одной строке. При помощи текстового редактора убираем вертикальную колонку значений X_n из столбика предварительной УП $X_n Z_n$, убираем пробелы и повторение функций УЧПУ.

Получили управляющую программу $X_n Y_n Z_n$.UP для пространственной кривой, которая удовлетворяет функциональным зависимостям (1).

Полученную пространственную УП можно прорисовать, например, на САПРе GEMA и получить рисунки траектории фрезы в трех проекциях и в аксонометрии.

Мы рассмотрели пример пространственной кривой, когда аргументом является абсцисса (x), а функциональная зависимость определена формулой (1).

Но за аргумент можно брать и ординату (y) и, соответственно,

$$x = F_x(y) \text{ и } z = F_z(y). \quad (2)$$

Тогда рассматриваем две проекции кривой YX (G17) и YZ (G19). Вторая проекция расположена справа от первой. Разобьем теперь уже **горизонтальными прямыми** одновременно обе проекции и получим опорные точки, по которым построим две предварительные УП: $X_n Y_n$.UP и $Y_n Z_n$.UP. Из них делаем две колонки «ТЕКСТА». В «ТЕКСТе» в одной строке должны быть равные Y_n из $X_n Y_n$.UP и Y_n из $Y_n Z_n$.UP. Совмещаем обе УП. Получили управляющую программу $X_n Y_n Z_n$.UP.

Аналогично, если аргументом будет аппликата (z):

$$x = F_x(z) \text{ и } y = F_y(z). \quad (3)$$

Проекция ZY и ZX расположены горизонтально. Разобьем **горизонтальными прямыми** одновременно обе проекции и получим опорные точки.

Разрабатываем две предварительные УП: $X_n Z_n$.UP, $Y_n Z_n$.UP. В созданном «ТЕКСТе» в каждой строке Z_n одного столбика должно быть равным Z_n второго столбика. И после их совмещения получаем управляющую программу для пространственной кривой $X_n Y_n Z_n$.UP.

Если на чертеже (рис. 1) задана проекция XU , которая имеет вид дуги и расположена выпуклостью влево (или вправо), то вначале рассекаем только эту проекцию горизонтальными (параллельными) прямыми, в результате получаем на проекции XU точки, а уже потом через полученные точки проводим вертикальные прямые, пересекая обе проекции XU и XZ .

А далее поступаем как изложено выше, т.е. в точках пересечения получаем новые опорные точки $X_n Y_n$ и $X_n Z_n$, создаем две предварительные УП $X_n Y_n$.UP и $X_n Z_n$.UP, совмещаем их и получаем УП для пространственной кривой.

Создание управляющей программы зависит от того, каким образом пространственная кривая задана на чертеже.

В принципе, для аппроксимации одной пространственной кривой можно применять как одну из трех зависимостей (1)–(3), так и одновременно две или три из них. А заданную таблично, полученную по любым двум проекциям кривую $X_n Y_n Z_n$, можно представить в трех проекциях тоже заданных таблично: $X_n Y_n$, $X_n Z_n$, $Y_n Z_n$ и получить предварительные УП.

На практике в некоторых случаях проще загустить параллельные прямые, рассекающие обе проекции, и обойтись одной зависимостью из трех. Например, представим, что проекция XU на рис. 1 расположена выпуклостью вправо. Тогда в зоне экстремума по X проводим более густо пересекающие прямые с увеличивающейся густотой в направлении вершины дуги и обходимся зависимостью (1).

Реализовать описанный метод можно при помощи САПР типа КОМПАС или GEMA, имеющих графический язык и возможность находить координаты точки пересечения линий.

Удобно реализовать метод на САПР, имеющих операторы нахождения координат точки пересечения линий и возможность вывода УП [9]. Последний метод более надежный. Применяя его, человек производит запись только исходных чисел, не записывая промежуточных.

Из выше изложенного можно сделать вывод, что предложенный метод в сравнении с поставленной задачей довольно прост. Его можно осуществить на любом контурном станке с ЧПУ, которые широко распространены. Для метода не требуются многокоординатные станки с наклоняющимся шпинделем. Метод эффективен в единичном производстве: инструментальном, опытно-модельном и т. д. В частности, при изготовлении пресс-форм, когда необходимо фрезеровать конусной фрезой вдоль пространственной кривой, расположенной на неплоской поверхности разреза пресс-формы, конусность фрезы при этом равна литейному уклону.

Описанный способ применен авторами на практике на координатно-расточном станке с ЧПУ [1] с использованием САПР [9]. В перспективе необходимо создание в устройствах ЧПУ цикла (циклов) обработки «фрезерование вдоль пространственной кривой». При создании УП технолог-программист будет вводить только параметры пространственной кривой. Чтобы уменьшить количество вводимых параметров, целесообразно создать три цикла по количеству формул в статье.

Список литературы

1. Инструкция по программированию станков 2E450АФ4 и 2E450АМФ4. Московский завод координатно-расточных станков. – 1986. – 68 с.
2. Фельдштейн Е. Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Москва-Минск, ООО «Новое знание», 2008. – 298 с.
3. Программирование управляющих программ FMS3000, редакция 4.0. – Нижний Новгород : ООО «Модмаш-софт», 2009. – 92 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещеряковой. – М. : Машиностроение, 1985. – 655 с.
5. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М. : Наука, 1966. – 872 с.
6. Пат. 58039 Украина, МКИ⁷ В 23 С 3/26. Способ обработки внутренних поверхностей трехгранных углов деталей на станках с ЧПУ/ С. Ф. Лякун, В. Е. Юркевич; заявитель и патентообладатель Запорожск. Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра». – № и 201011161 ; заявл. 17.09.10 ; опубл. 25.03.11, Бюл. № 6.
7. Новоселов С. И. Специальный курс элементарной алгебры / С. И. Новоселов. – М. : Высшая школа, 1965. – 552 с.
8. А.с. 1292938 СССР, МКИ⁵ В 23 С 3/16. Способ обработки криволинейных поверхностей / С. Ф. Лякун, В.А. Рагушный, П. И. Жованик, А.Н. Шарко (СССР). – № 3950644/25-08 ; заявл. 28.06.85 ; опубл. 28.02.87, Бюл. № 8.
9. Лякун С. Ф. Система автоматического программирования точно-заданных кривых / С. Ф. Лякун // Обмен производственно-техническим опытом. – 1987. – № 4. – С. 8–10.
10. Лякун С. Ф. Программирование обработки лекальных кривых на станках с ЧПУ / С. Ф. Лякун // Станки и инструмент. – 1989. – № 12. – С. 21–23.

Одержано 14.12.2011

© С. Ф. Лякун, Н. Д. Васеленко

Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», г. Запорожье

**Lyakun S., Vaselenko N. Milling along the three-dimensional space curve
on the numerical programme control machine-tools**
