

УДК 681.3.04:621.9-529:006.354

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКЕ 6М13ГН-1 С УЧПУ FMS-3000

© 2009 А. Н. Волков, М. Б. Сазонов, В. Д. Смолин, И. А. Чигринёв

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассмотрены основные элементы программирования механической обработки деталей на станке 6М13ГН1 с УЧПУ FMS-3000. Приведены примеры записи программ различных участков формообразования деталей. Представлена программа обработки конкретной детали концевой фрезы.

Программа, управление, станок, инструмент, деталь, кодирование, интерполяция, коррекция

В данной статье рассматривается программирование обработки в УЧПУ на базе промышленного компьютера FMS-3000, установленного на вертикально-фрезерном станке 6М13ГН1. Этот станок позволяет вести трёхкоординатную обработку детали.

Общие принципы программирования для отечественных УЧПУ регламентированы ГОСТ 20999-83. Однако, каждое конкретное УЧПУ имеет свои характерные особенности, которые в сочетании с конструктивными особенностями конкретных металлорежущих станков существенно осложняют задачу программирования обработки на станках с ЧПУ. Поэтому необходимо иметь представление о программировании для того УЧПУ, которое установлено на данном конкретном станке.

1. Программирование в УЧПУ FMS-3000 на станке 6М13ГН1.

Код, применённый в FMS, по существу есть система счисления, которая используется для представления чисел посредством числовых знаков (цифр). В УЧПУ обычно используется двоично-десятичная система, в которой цифра десятичного числа записывается двоичным кодом. При этом используется четыре двоичных разряда (тетрады). Значимость разрядов в тетраде 8421 или $2^3+2^2+2^1+2^0$. Цифры: 1, 9, 15 в двоичном коде будут тетрадами: 0001, 1001 и 1111.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является базовым для всех отечественных станков с ЧПУ. Значение букв и символов должно соответствовать ГОСТ 20999-83. Латинским буквам от А до О присвоено значение цифр от «0» до «15» с определяющим признаком - пробивкой на 7-й дорожке. Буквы с Р до Z имеют значения от «0» до «10» с пробивкой на 5-й и 7-й до-

рожках. У цифр от «0» до «9» определяющая пробивка на 5-й и 6-й дорожках.

Подготовка информации для написания УП требует представления детали, станка и инструмента геометрическими объектами, расположенными в определённой системе координат. УП задаёт перемещение определённой точки инструмента (расчётной точки Р или Р_и) относительно профиля будущей детали. Для обычной концевой фрезы расчётной точкой является точка пересечения оси фрезы с её торцом. Расчётная точка фрезы находится на одном и том же расстоянии от линии контура (т.к. R_{фр}=const), поэтому траекторию Р_и (при рабочем движении) часто называют эквидистантой. Движения могут быть также подготовительными и вспомогательными. В результате траектория – это сложная пространственная линия, которую необходимо разбить на ряд простых составляющих (обычно это прямые или дуги окружности). Точки сопряжения простых участков являются расчётными (опорными; узловыми) точками траектории перемещения Р_и. Координаты этих точек могут быть заданы в одной из трёх систем координат: станка; детали; инструмента. Начало этих систем координат называют «нулями», например, «нуль станка».

В рассматриваемом станке (6М13ГН1) имеется возможность перемещать режущий инструмент одновременно по трём согласованным осям: x, y, z; а это даёт возможность объёмной обработки сложных поверхностей. При плоской обработке используются только две управляемых координаты. Координаты могут быть выражены абсолютными размерами (например, x₁, y₂, z₈) или задаваться в виде приращений в направлении движения инструмента от одной опорной точки к дру-

гой («относительные размеры», например, $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$). Способ задания: задаётся подготовительными функциями G90 (абсолютные координаты) и G91 (размеры в приращениях).

За символами адресов кода программирования УЧПУ FMS-3000 согласно инструкции по программированию закреплены определённые значения, которые используются при кодировании технологической информации (табл.1).

Таблица 1 - Значения функций и адресов

Функция	Адрес	Значение
Номер кадра	N	Номер кадра
Подготовительная функция	G	Определение вида движения рабочего органа
Размерные слова	X, Y, Z	Команды на перемещение по координатам станка.
	A, B, C U, V, W	Команды на перемещение по дополнительным осям.
	I, J, K	Расстояние до центра дуги окружности или шаг винта при линейно-круговой интерполяции
Величина подачи	F	Задание величины подачи
Обороты шпинделя	S	Задание оборотов шпинделя, кода ступени или скорости резания
Номер инструмента	T	Задание номера инструмента для поиска
Вспомогательная функция	M	Указание на двухпозиционное управление (вкл-выкл) на станке
Номер корректора, хранящего данные об инструменте	H D DR	Задание номера корректора инструмента для коррекции:
		- на длину;
		- на радиус; - на скругление.
Пауза	E	Задание величины паузы
Вызов подпрограммы	P	Команда вызова подпрограммы (ПП)
Угол поворота системы координат	A	Задание угла поворота системы координат по функции G37
Угол полярной системы координат	A	Задание угла для определения конечной точки в полярной системе координат по функции G36
Радиус дуги окружности	R	Задание радиуса дуги окружности при программировании G2/G3 через радиус

Пределы допустимых значений для адресов из табл.1 следующие: N – (0 – 9999999); G – (0 – 99); S – (0 – 9999 об/мин или код ступени); T – (0 – 9999); M – (0 – 99); H, D и DR –(0 -255); E –(1 – 65535 десятых секунды); P –(0 – 9999). Диапазоны изменения размерных слов (X...R) и величины подачи (F) указываются в эксплуатационной документации на модернизированный станок 6М13ГН1. Информация для УЧПУ FMS всегда записывается адресным способом. Общую структуру записи УП определяет [1].

Ввод числовых величин осуществляется в десятичной системе в соответствии с допустимыми значениями. Точка в поле числа является десятичной точкой, разделяющей целую и дробную части в миллиметрах или градусах. При программировании ведущие нули можно опускать, кроме вызова подпрограммы (ПП) (X.08 означает размер 0,08 по оси X). Математический знак «плюс» в слове «размерные перемещения» допускается опускать.

Структура управляющей программы.

Программам (УП) при их вводе присваивается номер в диапазоне от 0 до 9999. УП заканчивается кадром с вспомогательными функциями M2, M98 или M30 – конец программы. Нумерация кадров начинается после номера УП. Элементом кадра является слово. Рекомендуется порядок записи по ГОСТ 20999-83.

Системы координат.

В станке принята правая система координат по ГОСТ 23597-79. Декартова система координат (правая) устанавливается функцией G35. Если в кадре задана только G90, то все координаты определяются относительно нулевой точки M станка.

Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке N элемента станка, а базовая точка инструментального блока T либо совпадает с N, либо находится от N на заданном расстоянии. Настраиваемая точка фрезы P используется в качестве расчётной точки при вычислении опорных точек траектории для УП (рис.1).

Система координат детали – это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных

Продолжение табл. 2

точек контура детали. Ноль системы координат детали обозначается буквой W. В этой системе указывается точка начала обработки (ноль программы). Она обозначается буквой O. Перед началом обработки расчётная точка инструмента (P) должна быть совмещена с нулём программы. На используемых для обработки приспособлениях должны быть базовые точки, которые обычно обозначаются буквами C, K, F. Эти точки нужны для перевода размеров из системы координат детали (W) в систему координат станка (M).

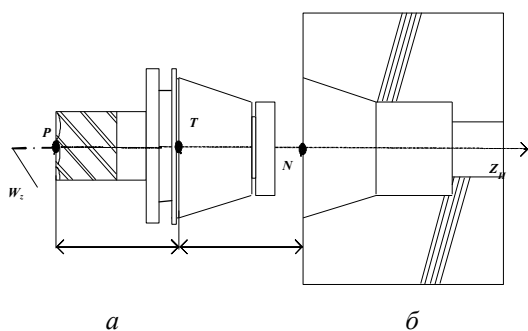


Рис. 1. Схема базирования инструмента: а - инструментальный блок, б - элемент станка

2. Кодирование информации

2.1. Подготовительные функции

Функции с адресом G, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Обычно они кодируются от G00 до G99 (табл.2).

Таблица 2 - Значения подготовительных функций в УЧПУ FMS-3000

Код	Группа	Функция (значение)
00	01	Позиционирование (ускоренное перемещение)
01		Линейная интерполяция (рабочая подача)
02		Круговая интерполяция по часовой стрелке
03		Круговая интерполяция против часовой стрелки
04	00	Пауза
09		Торможение в конце текущего кадра до нулевой подачи
10		Линейно-круговая интерполяция
14	02	Сопряжение по дуге
15		Сопряжение по прямой
17	03	Задание плоскости 1-2 ось (XY)
18		Задание плоскости 3-1 ось (ZX)
19		Задание плоскости 2-3 ось (YZ)
20		Задание произвольной плоскости
21	04	Разрешение коррекции рабочей подачи

22		Запрет коррекции рабочей подачи
28		Позиционирование в «НОЛЬ» координат станка
30		Позиционирование в фиксированную точку 1
31		Позиционирование в фиксированную точку 2
35	06	Декартова система координат
36		Полярная система координат
37	00	Поворот системы координат
40	07	Отмена коррекции на радиус инструмента или пространственной коррекции
41		Коррекция на радиус инструмента слева
42		Коррекция на радиус инструмента справа
43	08	Коррекция на длину инструмента в «+»
44		Коррекция на длину инструмента в «-»
49		Отмена коррекции на длину инструмента
53	10	Возврат к системе координат станка
54		Выбор координатной системы заготовки 1
55		Выбор координатной системы заготовки 2
56		Выбор координатной системы заготовки 3
57		Выбор координатной системы заготовки 4
58		Выбор координатной системы заготовки 5
59		Выбор координатной системы заготовки 6
60	00	Одностороннее позиционирование
90	14	Задание в абсолютных величинах
91		Задание в приращениях
92	10	Задание координатной системы заготовки в программе
94	15	Задание подачи в мм/мин
95		Задание подачи в мм/об

Если запрограммировать показанное на рис.2 перемещение в абсолютных величинах, то получим N105G90X40Y 70PC; а если в приращениях, то N105G91X - 60Y 40PC.

Линейная интерполяция задаётся функцией G01. Если сделать акцент на том, что перемещение, показанное на рис.2, есть прямая и подача при этом равна 100, то кадры станут: N105G90G01X40Y 70F100PC или N105G91G01X-60Y40F100 PC.

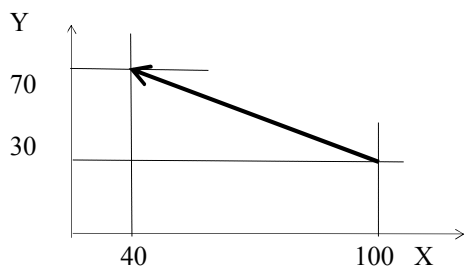


Рис. 2. Кодирование линейной интерполяции

Круговая интерполяция задаётся функцией G02 или G03. Под круговой интерполяцией по часовой стрелке (G02) понимается движение по круговой траектории (рис. 3), порождаемое согласованным движением вдоль двух осей, направленное по часовой стрелке, если плоскость перемещения рассматривать в отрицательном направлении оси, перпендикулярной к плоскости.

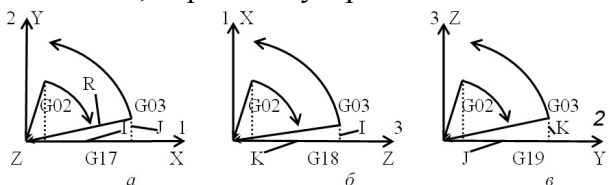


Рис. 3. Схема кодирования элементов круговой траектории в разных плоскостях

То есть, если смотреть на стрелку G02 на рис. 3а с конца оси Z, направленной перпендикулярно плоскости рисунка на смотрящего, то направление вращения стрелки должно совпадать со стрелкой часов. Программирование векторов I, J, K, определяющих положение центра дуги относительно начальной точки круговой траектории, осуществляется всегда в приращениях независимо от G90 или G91. В зависимости от направления I, J, K необходимо выбрать для них соответствующий знак.

Примеры по рис.3 составления кадра УП для перемещения по дуге окружности:
 плоскость 1-2 G17G02(G03)X_Y_I_J_F_
 плоскость 3-1 G18G02(G03)Z_X_K_I_F_
 плоскость 2-3 G19G02(G03)Y_Z_J_K_F_;

Применительно к фрезерному станку 6М13ГН1 с концевой фрезой, закреплённой в вертикальном шпинделе, подходит вариант на рис.3а. В этом случае ось фрезы параллельна оси Z_и, а плоскость торцевых зубьев параллельна плоскости стола (X Y), т.е. удобно реализовать, например, контурную

обработку плоских изделий.

Пример программы (рис.4)

В абсолютных величинах:
 G90G17G03X140Y100I-60F300
 G02X120Y60I-50
 В приращениях:
 G91G17G03X-60Y60I-60F300
 G02X-20Y-40I-50

Скорость подачи для круговой интерполяции соответствует заданной величине F, направлена по касательной к дуге окружности и поддерживается постоянной в каждой точке дуги.

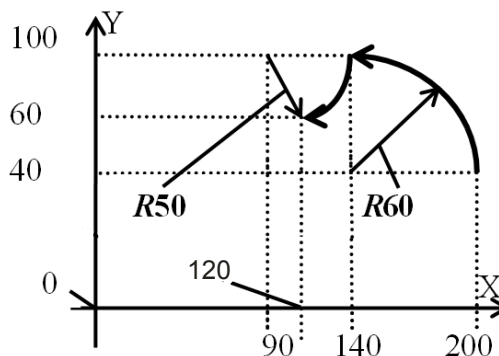


Рис. 4. Пример контурной обработки

Рассмотренный вариант задания координат центра дуги окружности через расстояния от начальной точки до центра работает при установленном технологическом параметре N3021=0. Существуют ещё два варианта программирования части дуги (параметры N3021=1 и 2).

Позиционирование в ноль координат станка задаётся функцией G28. При выполнении кадра G28X0Y0Z0 происходит позиционирование в «ноль станка» (без учёта коррекций на размер и смещений нулей). Все движения выполняются на скорости ускоренного перемещения.

3. Функции коррекции.

Для автоматического учёта размера инструмента при обработке детали предназначены функции коррекции.

Функции D, H и DR служат для задания вида коррекции и величины смещения в соответствии с заданным номером корректора.

Функция D предназначена для задания величины смещения для коррекции по радиусу и используется функциями G40, G41, G42, G143, G144.

Функция H задаёт величину смещения для коррекции по длине и действует по функциям G43, G44, G49.

Функция DR предназначена для задания номера корректора величины скругления инструмента и используется функциями G143, G144.

Программируется задание смещения, например, по радиусу так: G41D34.

Здесь запрограммированная величина смещения по радиусу определяется 34-м корректором.

Величина смещения инструмента может находиться в пределах ± 1000 мм или градусов и задаётся номером корректора. В УЧПУ FMS-3000 предусмотрено 255 корректоров с номерами 1-255, что позволяет иметь 255 различных величин смещений. Величины смещения по запрограммированным номерам корректоров следует вводить до начала обработки УП. Один и тот же номер корректора может одновременно использоваться по D, H и DR. При этом номер корректора никак не связан с номером инструмента.

Коррекция инструмента на радиус осуществляется функциями G40, G41, G42. С их участием программируется коррекция траектории движения инструмента на величину его радиуса. Эти функции используются вместе с G00, G01, G02, G03 и они совместно определяют некоторый режим движения инструмента. При введённой коррекции на радиус инструмента возможно программирование до 10 кадров, не содержащих перемещений в плоскости коррекции, или кадров без перемещений. Величина смещения задаётся номером корректора по функции D. Функция G40 – отмена коррекции на радиус инструмента;

G41 – ввод смещения слева от направления перемещения инструмента;

G42 – то же, но только справа. В приведённом примере на рис. 5 описан режим коррекции на радиус фрезы.

Приводим фрагмент УП:

N100G92X0Y0Z0 - установка системы координат детали (заготовки).

N1G90G17G01G41D07X250Y550F150 – абсолютный размер; плоскость XY; линейная интерполяция по траектории 1; коррекция на

радиус слева; корректор; координаты точки P1; величина подачи.

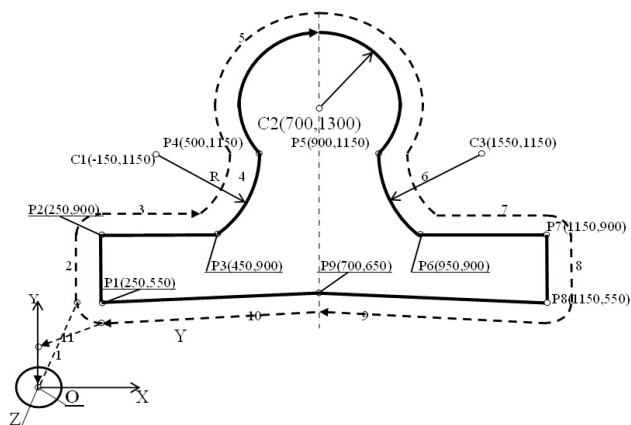


Рис. 5. Программирование контурной обработки фрезой с использованием коррекции

N2Y900 – линейное перемещение по участку траектории «2» (X250 в кадре N1).

N3X450 – линейное перемещение в точку P3 по траектории 3.

N4G03X500Y1150I600J250 – круговая интерполяция против часовой стрелки в точку P4 по эквидистанте.

N5G02X900I200J150 – круговая интерполяция по часовой стрелке до точки P5 на участке траектории 5 (Y задан в кадре N4).

N6G03X950Y900I650 – круговая интерполяция против часовой стрелки до точки P6.

N7G01X1150 – линейное перемещение в точку P7 по траектории 7 (Y из кадра N6) с круговым перемещением вокруг точки P7.

N8Y550 – линейное перемещение в точку P8 (X из кадра N7) с круговым движением вокруг точки P8.

N9X700Y650 – линейное перемещение в точку P9 по траектории 9.

N10X250Y550 – линейное перемещение в точку P1 по траектории 10.

N11G00G40X0Y0 – отмена коррекции и возвращение в «плавающий» нуль ускоренно по траектории 11 (установлен параметр «G0 без интерполяции»).

Величину смещения D по номеру 7 необходимо установить до начала отработки программы.

При включении УЧПУ или после завершения программы по M02, M30, M98 устанавливается режим отмены коррекции по радиусу. Не допускается программирование

круговой интерполяции по функциям G02, G03 и ввода коррекции по радиусу функциями G41, G42 в одном кадре.

Уточним понятие «сторона». Если на заготовке (или детали) имеются два стыкующихся линейных участка с углом между ними, замеренным со стороны материала заготовки, то тогда, если угол больше 180° , сторона считается «Внутренней»; а если угол 0° - 180° , то сторона считается «Внешней». Например, обрабатывается фаска с углом 45° (угол со стороны материала заготовки 135°), коррекция G42 вправо от фаски, которая будет «внутренней» стороной, движение в сторону 2-й прямой.

При работе УЧПУ с введённой коррекцией на радиус инструмента происходит смещение траектории центра фрезы. При этом не допускается переключение G17, G18, G19 без предварительной отмены G41, G42 функцией G40. При перемещении с внешней стороны угла для его обхода автоматически вставляется один или несколько кадров. Дополнительные кадры могут представлять собой дугу или отрезки прямых. Вид этих кадров задаётся с помощью функций G14 - сопряжение по дуге, G15 – сопряжение отрезками прямых.

Перемещение с внешней стороны под углом по функции G15 и G14 (рис. 6).

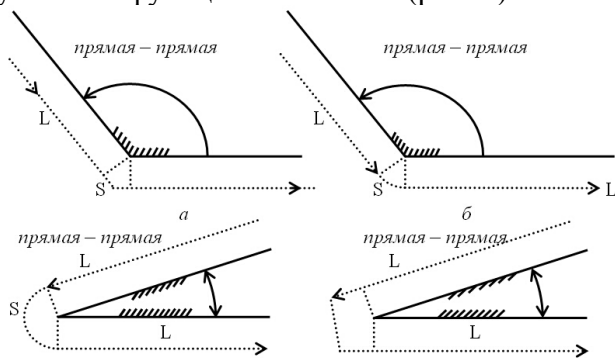


Рис. 6. Дополнительные кадры УП при коррекции (L – перемещение по прямой линии; S – точка останова в режиме покадровой отработки)

Программированием G40 или D00 отменяется коррекция на радиус инструмента. Эта процедура зависит от параметра N3035 (есть три варианта). Не допускается программирование G40 или D00 в одном кадре с G02 и G03.

Номер корректора, в котором хранится радиус фрезы, задаётся адресом D, а величина

на скругления инструмента - адресом DR. В зависимости от формы фрезы величина её скругления может меняться от нуля (цилиндрическая фреза) до значений больше, либо равных радиусу фрезы. Ориентация инструмента относительно осей координат определяется действующей плоскостью. При задании функции G17 ось вращения фрезы располагается вдоль оси 3, при G18 – вдоль оси 2, при G19 – вдоль оси 1 (X).

4. Вспомогательные функции (M)

При отработке запрограммированных адресов M с последующим двузначным числом происходит запуск электроавтоматики станка. Действие конкретной функции M определяется характеристиками станка и реализуется в соответствии с его алгоритмом работы. Ниже рассматриваются функции M, имеющие специальное назначение и действующие в станке 6M13ГН1 с УЧПУ FMS-3000.

M02: Конец программы.

Данная функция означает конец программы и приводит к останову автоматической работы УЧПУ. Состояние системы при этом остаётся таким, каким оно было в последнем кадре отработанной программы. Для повторного пуска программы необходимо выполнить поиск начала программы.

M03: Пуск шпинделя по часовой стрелке, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

M04: Пуск шпинделя против часовой стрелки, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

M06: останов шпинделя.

При отработке кадра с M06 происходит выключение и останов привода шпинделя.

5. Тестовая управляющая программа.

В качестве примера рассмотрим программирование обработки и сам процесс фрезерования контура детали типа серьги (рис.7) концевой фрезой.

Примем диаметр фрезы $D=20\text{мм}$, так как радиус вогнутого участка детали $R=10\text{мм}$. Деталь выполнена в виде сложного плоского фасонного контура некоторой постоянной толщины, например, $B=5\text{мм}$. Материал детали – алюминиевый сплав АК8. Материал фрезы - быстрорежущая сталь P6M5. Назначаем основные параметры гео-

метрии фрезы и режима резания: $\gamma=25^{\circ}$; $\alpha=20^{\circ}$; $\omega=25^{\circ}$; $B=5\text{мм}$; $t=20\text{мм}$; $V=50\text{м/мин}$; $Z=5$; $S_z=0,02\text{мм/зуб}$; $n=800\text{ об/мин}$.

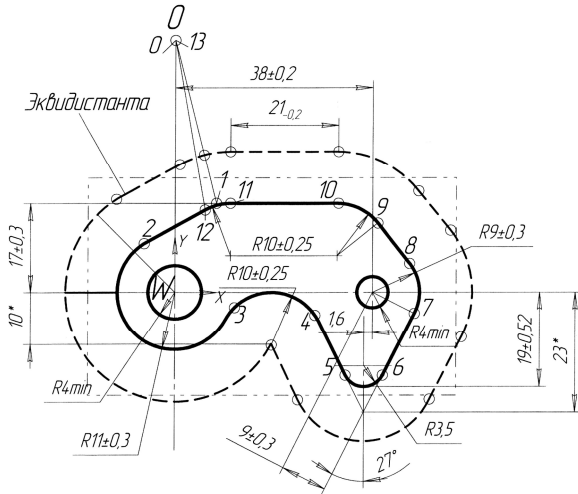


Рис. 7. Эскиз детали типа «серьга»

Ниже приведены управляющая программа (УП) обработки детали и пояснения к ней.

5.1 Текст УП

N10G90G17
 N15G00G55
 N20M03
 N25G00X0Y50
 N30Z-10
 N35G01G42D111X2.07Y17.06F80
 N40X-7.54Y8.01
 N45G03X9.67Y-5.24I7.54J-8.01
 N50G02X27.25Y-5.24I8.79J-4.86
 N55G01X33.39Y-17.18
 N60G03X39.35Y-17.18I2.98J1.53
 N65G01X46.02Y-4.09
 N70G03X43.31Y7.26I-8.02J4.08
 N75G01.X32.64Y15.07
 N80G03X26.73Y17I-5.90J-8.07
 N85G01X5.97Y17
 N90G03X-0.89Y14.28J-10
 N95G00G40X0Y50
 N100G54G00Z0
 N105M05
 N110M02

5.2 Пояснения к УП

N10 – выбор абсолютной G90 системы отсчёта и плоскости G17 интерполяции X-Y;
 N15 – на ускоренной подаче G00 выход в ноль детали G55;
 N20 – включение оборотов шпинделя M03 по часовой стрелке;
 N25 – на ускоренной подаче выход в ноль

программы;
 N30 – выход фрезы по Z на минус 10мм;
 N35 – G01 – линейная интерполяция;
 G42 – учёт коррекции на радиус инструмента при движении его справа от контура;
 D111 – номер корректора (в нашем случае D111=10мм) и на подаче F80мм/мин идти в точку 1 на контуре детали;
 N40 – линейная интерполяция от точки 1 до 2;
 N45 – G03 – круговая интерполяция против часовой стрелки от точки 2 до 3;
 N50 – G02 - круговая интерполяция по часовой стрелке от 3 до 4;
 N55 – линейная интерполяция от 4 до 5;
 N60 – круговая интерполяция против часовой стрелки от 5 до 6;
 N65 – линейная интерполяция от 6 до 7;
 N70 – круговая интерполяция против часовой стрелки от 7 до 8;
 N75 – линейная от 8 до 9;
 N80 – круговая против часовой от 9 до 10;
 N85 – линейная от 10 до 11;
 N90 – круговая против часовой от 11 до 12;
 N95 – на ускоренной подаче с отменой коррекции на радиус фрезы G40 в ноль программы;
 N100 – отмена функции плавающего нуля G54 и на ускоренном ходу в Z0;
 N105 – стоп шпинделя;
 N110 – конец программы.

Объём статьи, естественно, не позволяет рассмотреть функции УЧПУ FMS -3000 в полном объёме. Поэтому, заинтересовавшихся читателей отправляем в специальную литературу [1]. Опыт нашей работы с УЧПУ FMS-3000 показывает, что это современное, высокотехнологичное, надёжное, производительное и точное устройство управления станками с ЧПУ.

Библиографический список

1. FMS-3000. Устройство ЧПУ на базе промышленного компьютера. – Н.-Новгород: ООО «Модмаш-софт», 2007. – 475с.

References

1. FMS-3000. Computer numerical control machine-tool on the base industrial computer. – Nijzni Novgorod: ООО «Modmash – Soft», 2007. – 475p.

FMS-3000, PROGRAMMING A MILLING MACHINE 6M13GN-1 A PROGRAM CONTROLLER

© 2009 A. N. Volkov, M. B. Sazonov, V. D. Smolin, I. A. Tchigrinyev

Samara State Aerospace University

Essential elements of programming the process of machining parts of the knee-type milling machine, 6M13GN-1, with the help of numerical control machine-tool FMS-3000. There are various programme examples for different parts formation, in particular, the programme of one definite part machining with the help of end millind cutter.

Programme, control, machine, tool, detail, coding, interpolation, correction

Информация об авторах

Волков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 267-45-73; (846) 267-45-74. E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: механическая обработка материалов.

Сазонов Михаил Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 267-45-73; (846) 267-45-74. E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: механическая обработка материалов.

Смолин Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 267-45-73; (846) 267-45-74. E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: Механическая обработка материалов.

Чигринёв Илья Александрович, инженер кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 267-45-73; (846) 267-45-74. E-mail: fdla@ssau.ru. Область научных интересов: механическая обработка материалов.

Volkov Alexander Nikolaevitch, Candidate in Engineering Science, associate professor of Materials Machining Department of Samara State Aerospace University. Phone: (846) 267-45-74. E – mail: fdla@ssau.ru. Area of research: machining of materials.

Sazonov Michael Borisovitch, Candidate in Engineering Science, associate professor of Materials Machining Department of Samara State Aerospace University. Phone: (846) 267-45-74. E – mail: fdla@ssau.ru. Area of research: machining of materials.

Smolin Vladimir Dmitrievitch, Candidate in Engineering Science, associate professor of Materials Machining Department of Samara State Aerospace University. Phone: (846) 267-45-74. E – mail: fdla@ssau.ru. Area of research: machining of materials.

Tchigrinyev Ilya Alexandrovitch, engineer of Materials Machining Department of Samara State Aerospace University. Phone: (846) 267-45-74. E – mail: fdla@ssau.ru. Area of research: machining of materials.