

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ НА ОСНОВЕ КОРРЕКЦИЙ ПРОГРАММНОЙ ТРАЕКТОРИИ РЕЗЦОВ С ПЛАСТИНАМИ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

**Проволоцкий А.Е., Лещенко А.И.**

(НМетАУ, г. Днепрпетровск, Приазовский ГТУ г. Мариуполь, Украина)

### Введение

Для чистовой обработки отбеленных чугунов широкое применение в Европе [1] нашли минералокерамические режущие пластины в виде прямого кругового цилиндра. Фирма Sandvik Coromant, лидер в развитии высокопроизводительных режущих пластин, впервые ввела в ассортимент пластины T-Max P, для которых равные по модулю отрицательный передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы реза, получены за счет поворота опорной плоскости режущей пластины. Сегодня на мировой рынок, фирмы WIDIA (Германия), МКТС (Россия), поставляет двухсторонние режущие пластины круглой формы типа RNUA, RNUN, RNGN с диаметрами в диапазоне  $\varnothing 9,25 \div \varnothing 19,05$  мм.

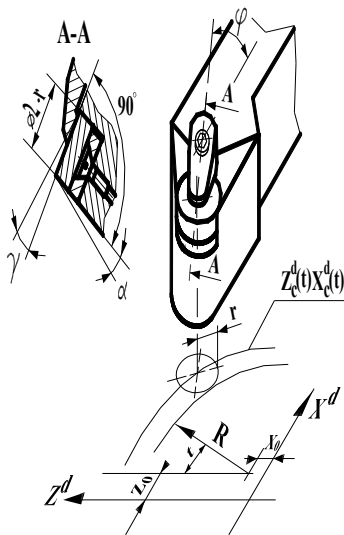


Рис.1. Формирование траектории перемещения центра круглой пластины радиуса  $r$  при программировании обработки дуги радиуса  $R$  [2]

ном, отогнутым на угол  $\varphi$ , с круглой режущей пластиной радиуса  $r$  и углами, образованными наклоном оси пластины: отрицательным передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  имеет вид [2]:

$$\begin{aligned} Z_c^d(t) &= Z_t^d + \frac{r \cdot K \cdot (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \sin^2(t) + (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))^2]}}; \\ X_c^d(t) &= X_t^d + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot [(K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t)) \cdot N + \cos^2(\gamma) \cdot \sin(t)]}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \sin^2(t) + (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))^2]}}. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta r = \sqrt{X_c^d(t)^2 + Z_c^d(t)^2}, \quad (1)$$

где  $t$  – угловая координата, переменная функции;

$\Delta r$  – для точки дуги суммарное смещение центра пластины;

$K, N$  – постоянные для заданных  $\varphi$  и  $\gamma$ , определяются по формулам (2);

$Z_t^d, X_t^d$  – текущие координаты точек образующих поверхностей детали для тороидальных поверхностей:  $Z_t^d(t) = Z_0 + R \cdot \cos(t)$ ,  $X_t^d(t) = X_0 + 2 \cdot R \cdot \sin(t)$ ;

$Z_c^d(t), X_c^d(t)$  – текущие координаты траектории перемещения центра пластины в системе координат детали.

$$K = \sin^2(\varphi) \cdot \cos^2(\gamma) + \cos^2(\varphi); \quad N = 0.5 \cdot \sin(2 \cdot \varphi) \cdot \sin^2(\gamma). \quad (2)$$

По формуле (1) можно рассчитать программную траекторию токарной обработки наружных и внутренних поверхностей различного типа. Геометрический смысл аргумента параметрической функции  $t$  определяет форма обрабатываемой поверхности. При обработке сферических и тороидальных поверхностей параметр  $t$  является угловой координатой, определяющей для каждой точки траектории величину смещения центра режущей пластины относительно образующей. Для поверхностей с прямолинейной образующей  $t$  постоянно, как постоянно и смещение центра пластины. Например, для конической поверхности значение  $\pi/2-t$  равно половине угла конусности, для цилиндрической  $t=\pi/2$ , поверхности торца  $t=0$ .

Современные УЧПУ позволяют программировать обработку непосредственно по точкам контура детали, с заданием смещения на радиус инструмента при наладке на операцию. Если в программе, для данного инструмента, указан один корректор на все поверхности, то получим траекторию по эквидистанте, со смещением на равное расстояние относительно контура указанного в программе, что в данном случае не соответствует геометрическим параметрам пластины. В программе можно указать отдельные корректоры на несколько поверхностей, однако в этом случае усложняется процесс наладки на программную операцию и могут быть нарушены условия сопряжения между поверхностями детали.

Теория формообразования с учетом взаимного расположения поверхностей заготовки и инструмента детально разработана Родиным П.Р. [3], где приведено доказательство того, что не всегда практически возможно исправить искажения профиля детали путем задания расчетной кинематики резания. Поэтому рассматриваемый недостаток рекомендуется устранять заточкой инструмента по криволинейной передней поверхности, что неприемлемо для непереключаемых режущих пластин стандартного профиля.

Один из главных факторов, влияющий на точность формообразования, является жесткость технологической системы, в основе которой лежат упругие деформации деталей системы и их смещение по отношению друг к другу за счет наличия зазоров в соединениях. В данном случае приоритетность этого фактора обусловлена значительными силами резания, возникающими в связи с высокой твердостью материала заготовки, радиусом режущей кромки пластины и отрицательным передним углом резца.

Для программных операций известны два основных способа, снижения погрешностей связанных с упругими деформациями:

- применение адаптивных систем управления, позволяющих в режиме реального времени осуществлять анализ упругих деформаций и на основе полученных данных управлять точностью детали в процессе ее обработки;

- предсказание программной траектории, когда коррекция траектории перемещения суппорта выполняется по расчетным усилиям резания, контрольным измерениям после обработки или статистическому материалу, полученному на предыдущих операциях.

Приближенные методы коррекции программы предсказанием [4] рекомендуется производить путем введения дополнительных кадров в местах изменения направления образующей, где первая производная имеет разрыв. Вносить корректировки в основную программу (для фасонных поверхностей она может иметь значительный объем), путем изменения значений координат теоретического профиля считается «плохим» стилем программирования, так как появляется вероятность внесения ошибки в отлаженную на предыдущих операциях программу. Кроме этого внесение предсказаний на каждую поверхность отдельно может привести к нарушению законов сопряжения между ними.

Целью данной работы является создание программного алгоритма построения траектории, который в отличие от известных схем, формирует перемещение центра пластины со смещением на расчетную (1) величину в зависимости от уравнения образующей детали, с учетом коэффициентов предсказания траектории, значение которых определяет вектор усилия резания и жесткость технологической системы в направлении данного вектора.

### Основное содержание работы

Подготовка программ для систем ЧПУ в технологии машиностроения обусловила необходимость аналитического моделирования технологических процессов, с широким применением математических методов и средств вычислительной техники. Если на первом этапе развития станков с ЧПУ управляющие программы фактически представляли «таблицу» координат опорных точек контура детали, то последующая параметризация программ, а также возможность применения операторов условий и ветвления позволяет создавать конструкции управления качественными показателями процесса механической обработки. Рассмотрим задачу построения программной траектории с учетом геометрии режущей пластины и упругих деформаций технологической системы.

Оценка состояния технологической системы по допустимой жесткости зависит от закрепления детали, жесткости самой детали, конструктивных особенностей шпиндельной группы и заднего центра. Линейный характер жесткости металлорежущих станков и их узлов впервые обоснованы исследованиями К.В. Вотина и Б.С. Балакшина [5]. Дальнейшие результаты исследований [6] подтверждают, что при чистовой обработке, в определенном диапазоне перемещений суппорта, деформации связаны линейными зависимостями и являются в основном упругими.

Погрешности формообразования, вследствие упругого смещения лезвия инструмента от воздействия усилия резания  $N$ , направленного по нормали к образующей, для поверхностей различного типа определяются по формулам.

Для цилиндрической поверхности и поверхности торца (рис. 2):

$$\Delta f^X = \frac{N}{j^X}; \quad \Delta f^Z = \frac{N}{j^Z}; \quad \frac{\Delta f^X}{\Delta f^Z} = \frac{j^Z}{j^X} = \mu, \quad (3)$$

где  $\Delta f^X$ ,  $\Delta f^Z$  - упругие смещения режущей кромки инструмента в зависимости от нормальной составляющей усилия резания  $N$ , в радиальном и осевом направлениях координатных осей системы ЧПУ станка  $X$  и  $Z$  соответственно;

$j^X$ ,  $j^Z$  - жесткость технологической системы в радиальном и осевом направлениях.

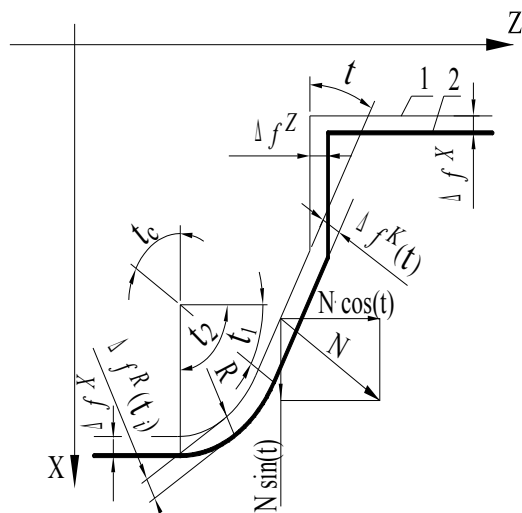


Рис. 2. Погрешности формообразования от силы резания  $N$  поверхностей вращения с образующими различного типа: 1- контур, заданный чертежом детали; 2 – реальный контур с учетом упругих смещений реза, возникающих в процессе резания.

Для конических поверхностей, с углом наклона образующей конуса  $\alpha$  :

$$\Delta f^K(t) = \sqrt{\frac{N^2 \cdot \cos^2(t)}{(j^Z)^2} + \frac{N^2 \cdot \sin^2(t)}{(j^X)^2}} = \frac{N}{j^Z} \cdot \sqrt{1 - (1 - \mu^2) \cdot \sin^2(t)}, \quad (4)$$

где  $\Delta f^K(t)$  – упругое смещение режущей кромки инструмента от усилия  $N$  в направлении по нормали к образующей конической поверхности.

Для поверхностей с образующей радиуса  $R$  и центральным углом дуги  $t_c = t_1 - t_2$ , где  $t_1$  и  $t_2$  начальный и конечный углы дуги соответственно, суммарное упругое смещение режущей кромки инструмента  $\Delta f^R(t)$  от нормального усилия резания  $N$ , при текущем значении угловой координаты  $t$  равно:

$$\Delta f^R(t) = \sqrt{\frac{N \cdot \cos(t)}{j^Z} + \frac{N \cdot \sin(t)}{j^X}},$$

или, выполнив преобразования  $\Delta f_z^R(t) = \frac{N \cdot \cos(t)}{j^Z}$ ;  $\Delta f_x^R(t) = \frac{N \cdot \sin(t)}{j^X}$ , где  $\Delta f_z^R(t)$   $\Delta f_x^R(t)$

– упругие смещения лезвия инструмента в направлении осей  $Z$  и  $X$  соответственно, получим:

$$\Delta f^R(t) = \sqrt{\Delta f_z^R(t)^2 + \Delta f_x^R(t)^2} . \quad (5)$$

Если для поверхностей с прямолинейной образующей величина упругой деформации при неизменном усилии резания  $N$  остается постоянной, то для криволинейной поверхности  $\Delta f^R(t)$  переменная в различных точках образующей и может быть представлена, как функция угловой координаты  $t$  (5).

Для систем ЧПУ, обработка поверхностей с прямолинейной образующей программируется вектором  $((x_1, z_1), (x_2, z_2))$ , заданным в программе координатами начальной  $(x_1, z_1)$  и конечной  $(x_2, z_2)$  точками перемещения.

Преобразовав векторное представление перемещения в кадре программы, к уравнению прямой нормального вида получим:

$$z \cdot \cos(t) + x \cdot \sin(t) - h = 0 ,$$

где  $h$  – длина нормали проведенной из точки начала координат к отрезку прямой;  
 $t$  – угол нормали образованный с положительным направлением оси  $Z$ .

Значение  $h$  вычисляется по формуле:  $h = z_1 \cdot \cos(t) + x_1 \cdot \sin(t)$ .

Траектория 1 (рис. 3) точек формообразования режущей кромки, получена путем смещения центра пластины 3 относительно траектории 2, заданной в программе. Величина смещения равна алгебраической сумме - смещения  $\Delta r$ , рассчитанного по формуле (1) и расчетного по формулам (3), (4) предыскажения, с целью компенсации погрешности от упругого отжатия инструмента.

Уравнение перемещения центра пластины, при обработке конической поверхности (рис. 3, а), с учетом предыскажения  $\Delta q^K(t) = \Delta f^K(t) \cdot k_m$  программной траектории имеет вид:

$$z \cdot \cos(t) + x \cdot \sin(t) - (h + \Delta r - \Delta q^K(t)) = 0 , \quad (6)$$

где  $k_m = 1 \dots 0,75$  - коэффициент предыскажения программной траектории, значение которого устанавливается путем анализа статистической информации, полученной при обработке однотипных заготовок.

Для цилиндрической поверхности (рис. 3, б) при  $t = 90^\circ$ ,  $\cos(t) = 0$ ,  $\sin(t) = 1$  уравнение перемещения центра пластины преобразуется к виду:

$$x - (h + \Delta r - \Delta q^X) = 0 , \quad (7)$$

где  $\Delta q^X = \Delta f^X \cdot k_m$  определяется произведением, в котором  $\Delta f^X$  - упругие смещения режущей кромки инструмента в радиальном направлении, а  $k_m$  – коэффициент предыскажения траектории.

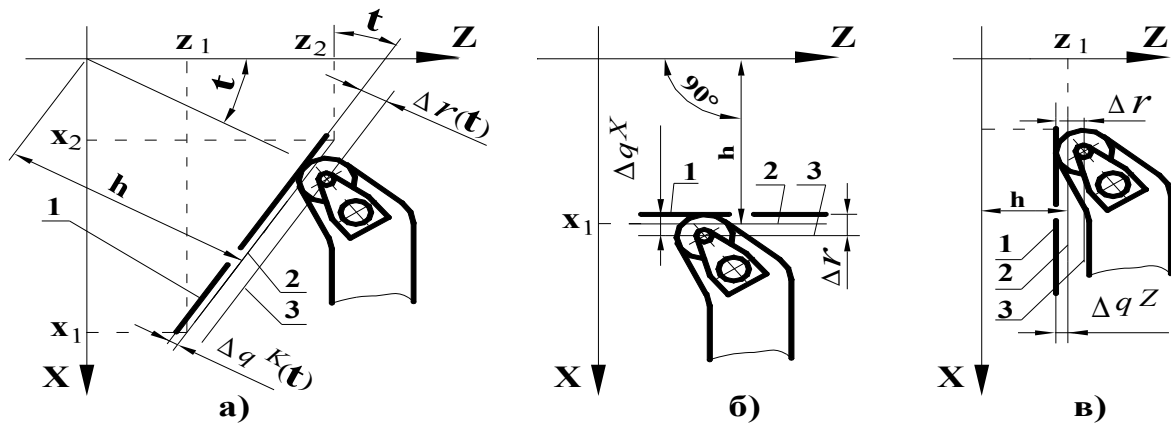


Рис. 3. Формирование программной траектории при обработке поверхностей  
 а) конической, б) цилиндрической и в) поверхности торца в виде уравнений канонического вида: 1- реальный профиль детали с учетом предыскажения траектории  $\Delta q$ ; 2 – траектория перемещения заданная в управляющей программе; 3- траектория центра режущей пластины, с учетом смещения  $\Delta r$  (1).

Для поверхностей торца (рис. 3, в) при  $t = 0^\circ$ ,  $\cos(t) = 1$ ,  $\sin(t) = 0$  уравнение перемещения центра пластины преобразуется к виду:

$$z - (h + \Delta r - \Delta q^Z) = 0, \quad (8)$$

где  $\Delta q^Z = \Delta f^Z \cdot k_m$  определяется произведением, в котором  $\Delta f^Z$  – упругие смещения режущей кромки инструмента в осевом направлении, а  $k_m$  коэффициент предыскажения траектории.

Координаты точек программы с предыскажением определяются путем решения систем уравнений. Например, точку траектории  $(x_i^q, z_i^q)$  можно определить, как пересечение образующей (б) конической поверхности и поверхности торца (8) решением системы уравнений:

$$\begin{cases} z_i^q \cdot \cos(t_i) + x_i^q \cdot \sin(t_i) - [h_i + \Delta r - \Delta q^K(t_i)] = 0, \\ z_i^q - (h_i + \Delta r - \Delta q^Z) = 0. \end{cases} \quad (9)$$

При обработке поверхностей с образующей по дуге окружности направление вектора силы резания изменяется в каждой точке траектории. Если жесткость технологической системы зависит от направления приложенной силы то можно ожидать появление овальности, вследствие различной величины отжатия резца от обрабатываемой поверхности.

Для снижения погрешности сопряжения тороидальных и сферических элементов профиля фасонной поверхности, траектория перемещения центра режущей пластины определяется следующим параметрическим уравнением (рис. 4):

$$\begin{aligned} X_q^R(t) &= X_c^d(t) - \Delta q_x^R; \\ Z_q^R(t) &= Z_c^d(t) - \Delta q_z^R, \end{aligned} \quad (10)$$

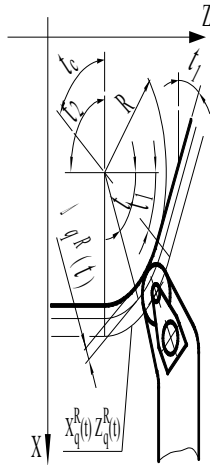


Рис. 4. Программирование обработки поверхности радиуса  $R$  с предыскажением контура, заданного чертежом детали

где  $t$  – текущая угловая координата;

$X_q^R(t)$ ,  $Z_q^R(t)$  – расчетные (1) значения координат центра пластины;

$q_x^R(t) = \Delta f_x^R(t) \cdot k_m$ ,  $q_z^R(t) = \Delta f_z^R(t) \cdot k_m$  – расчетные (4) предыскажения траектории в радиальном и осевом направлениях соответственно;  $k_m$  – коэффициент предыскажения траектории.

Траектория перемещения инструмента, построенная согласно уравнению (10), сохраняет законы сопряжения образующих фасонной поверхности – углы наклона касательных в начальной  $t_1$  и конечной  $t_2$  точках дуги радиуса  $R$ , заданной на чертеже равны углам наклона касательных в соответствующих точках траектории с предыскажением.

Уравнение траектории перемещения задается параметрической функцией (10). Станки с ЧПУ, как правило, имеют только линейный и круговой интерполяторы. Известны различные методы решения задачи линейно – круговой аппроксимации траектории перемещения инструмента, заданной как функция действительного аргумента.

CAD/CAM/PDM-система SURFCAM дает возможность сплайн – аппроксимации дугами окружностей по точкам таблично заданной траектории. Вместе с тем, сплайн фактически только управляет формой кривой, но гарантирует принадлежность ей заданных точек только на концах отрезка аппроксимации. Автором данной работы предложен программный алгоритм расчета линейно-круговой интерполяцией траектории перемещения, заданной аналитической функцией, при котором дуга аппроксимации заключена в границы нижнего и верхнего предельных отклонений [7].

На рис. 5 приведено графическое представление алгоритма расчета координат точек управляющей программы, обеспечивающей обработку фасонной поверхности резцами с круглой пластиной, с учетом эллипсности проекции радиусной части пластины на основную плоскость. Алгоритм изображается в виде последовательности связанных между собой программных модулей (подпрограмм), каждый из которых соответствует выполнению нескольких действий. Данная блок-схема реализована в виде программного приложения графического пакета AutoCAD на языке Visual C++6.0, которое позволяет, не изменяя исходных данных по геометрии детали, проводить подналадку в процессе выполнения программной операции. Для ввода исходных данных интерфейс программы предлагает пользователю в диалоговом режиме последовательно отметить устройством указания звенья образующей теоретического контура, построенные в координатной системе средствами компьютерной графики.

Структурно программа состоит из следующих модулей.

1. *Модуль подготовки информации* предназначен для ввода геометрических параметров обрабатываемого контура в векторном представлении. Очередность формирования массива данных, однозначно определяющих образующие контура в системе координат детали, устанавливает последовательность обработки поверхностей в ходе программной операции. Для обозначения координат точек на блок-схеме принято следующее условие: координата точек с меньшим индексом соответствует координате начальной точки вектора перемещения, а с большим индексом конечной точке. Введенная информация о геометрии детали остается неизменной в течение технологической операции.

Кроме этого, на модуль ввода возложены функции определения типа обрабатываемой поверхности, путем сравнения одноименных координат начальной и конечной точек перемещения, а также наличия кривизны – дуги радиуса  $R$ , сравнения ее начального и конечного углов. Тип обрабатываемой поверхности определяют следующие соотношения координат начальной  $(x_1, z_1)$  и конечной  $(x_2, z_2)$  точек, координаты центра дуги  $(x_C, z_C)$  и углы  $t$  нормали с образующей относительно положительного направления оси  $Z$ :

•  $x_1 = x_2, z_1 \neq z_2, t = 90^\circ$  - цилиндрическая поверхность, перемещение на рабочей подаче по функции  $G1$ ;

•  $x_1 \neq x_2, z_1 = z_2, t = 0^\circ$  - поверхность торца, перемещение по функции  $G1$ ;

•  $x_1 \neq x_2, z_1 \neq z_2, t = \text{const}$  - коническая поверхность, функция  $G1$ ;

•  $\beta_1 = \overrightarrow{OZ} \wedge (x_1 z_1) \overrightarrow{(x_C z_C)}, \beta_2 = \overrightarrow{OZ} \wedge (x_C z_C) \overrightarrow{(x_2 z_2)}, \beta_1 > \beta_2$  - тороидальная поверхность.

Выходным значением модуля ввода являются два массива - массив линейных образующих чертежного контура 1, где  $x_n, z_n, x_m, z_m$  - координаты начальных и конечных точек элементов контура, полученные путем пересчета размеров заданных на чертеже;  $t_n$  - угол нормали проведенной из точки начала координат к отрезку прямой и массив образующих по дуге окружности 2, где  $x_{Cm}, z_{Cm}$  - координаты центров дуг контура;  $G2, G3$  - задание направления движения по дуге окружности -  $G2$  - по часовой стрелке,  $G3$  - против часовой стрелки. В задачу модуля также входит проверка непрерывности построенной средствами компьютерной графики образующей контура.

2. *Модуль линейных построений*, предназначен для расчета координат опорных точек линейных перемещений с учетом радиуса режущей пластины  $\Delta r$ , предсказаний в осевом  $q^Z$  и радиальном  $q^X$  направлениях. Значения предсказаний подаются на вход модуля и могут корректироваться в процессе выполнения операции. Полученные с модуля подготовки информации координаты граничных точек линейных отрезков определяют уравнения прямых нормального вида. Вычисленная для каждого участка длина нормали  $h$  алгебраически складывается с величиной предсказания, определяя вектор смещения программируемого контура относительно заданных на чертеже размеров. Координаты точек пересечения прямых определяются путем решения систем уравнений вида (9).



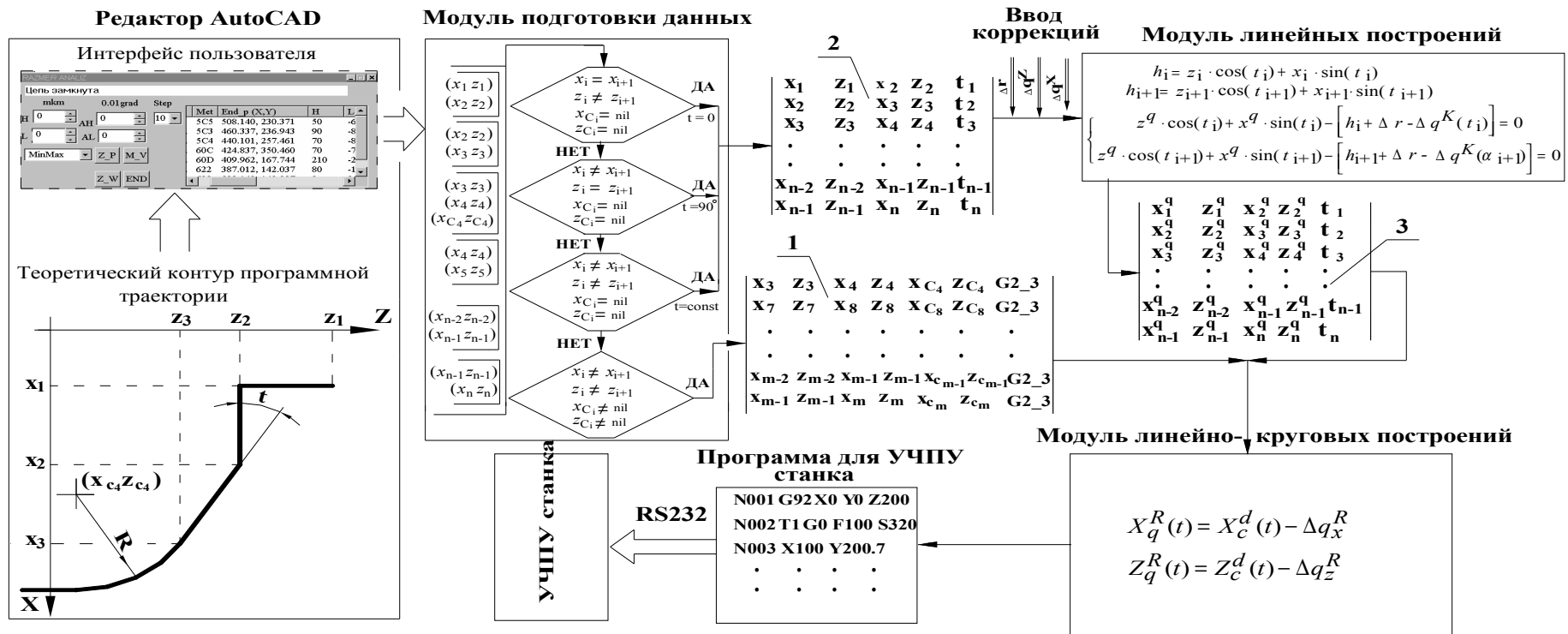


Рис. 5. Графическое представление алгоритма расчета координат точек управляющей программы. 1 - массив линейных образующих чертежного контура; 2 - массив образующих по дуге окружности; 3 - массив линейных перемещений с учетом предсказания траектории

Выходным значением модуля ввода является массив линейных перемещений  $Z$  с учетом предсказания.

3. *Модуль линейно-круговых построений* предназначен для формирования параметров функций круговой интерполяции ( $G2$ ,  $G3$ ) с учетом предсказаний траектории перемещения, при сохранении законов сопряжения со смежными поверхностями. На вход модуля подаются два массива - массив параметров образующих по дуге окружности чертежного контура и массив линейных перемещений с учетом предсказания. Координаты начальной и конечной точки дуги окружности радиуса  $R$  с предсказанием траектории определяем по формулам (10).

### Выводы

В данной работе рассмотрены вопросы создания теоретической базы автоматизированной системы разработки программ высокоточной обработки на станках с ЧПУ поверхностей фасонного профиля резцами, оснащенными пластинами круглой формы, с траекторией перемещения инструмента относительно образующей заданной на чертеже, отличной от эквидистантной.

Отличием данного метода от известных является то, что корректируется положение не отдельных образующих, а весь контур, при этом вектор коррекции по направлению и модулю определяется уравнением каждой образующей фасонного профиля и коэффициентом предсказания траектории, полученным на основе корреляционных зависимостей с жесткостью технологической системы в данном направлении. Такой подход к формированию траектории позволяет повысить геометрическую точность не только отдельных поверхностей фасонного профиля, но и точность их взаимного расположения. При этом, если образующую фасонной поверхности представить как «объект класса», то созданное программное приложение включает «методы класса», позволяющие корректировать возникающие погрешности обработки. Такой подход соответствует современному стилю созданию программ – объектно-ориентированному программированию.

Предлагаемая система позволяет увеличить точность обработки деталей не только за счет корректного расчета кинематики перемещения инструмента, но и создания условий одинаковой динамики резания для всех элементов образующей, что повышает стойкость инструмента и время работы без подналадки. Система внедрена в производство чистовой обработки валков сортового проката.

**Список литературы:** 1. Widia Turning Tools, OTC 2008 Offshore Technology Conference, May 5 – May 8, 2008. 2. Лещенко А.И. Способ токарной обработки на станках с ЧПУ, резцами с непереключаемыми пластинками круглой формы. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2008. – Вып. 36. - С. 102 -107. 3. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. – Киев: Вища школа, 1977. – 191 с. 4. Ратмиров В.А. Чуринов И.Н. Шмугер С.Л. Повышение точности и производительности станков с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1986. – 342 с. 5. Самонастраивающиеся станки. Управление упругими перемещениями. Сб. под ред Б.С. Балакшина. – М.: Машиностроение, 1982. – 559 с. 6. Справочник технолога машиностроителя: В 2 т. Т.2. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2001. – 486 с. 7. Лещенко А.И. Формообразование поверхностей переменной кривизны, заданных аналитически, при линейно-круговом интерполяторе СЧПУ // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2001. – Вып. 17. – С. 23-27.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОГО ПРОФІЛЮ  
НА ОСНОВІ КОРЕКЦІЙ ПРОГРАМНОЇ ТРАЄКТОРІЇ РІЗЦІВ  
З ПЛАСТИНАМИ КРУГЛОЇ ФОРМИ

Проволоцький О.Є., Лещенко О.І.

В роботі розглянуті питання створення теоретичної бази побудови автоматизованої системи розрахунку програм для верстатів з ЧПУ. Система створює програми обробки різанням поверхонь складного профілю різцями з пластинами круглої форми. Розроблений алгоритм, на відміну від відомих схем, формує переміщення центру пластини залежно від рівняння твірної деталі, з урахуванням діаметра пластини і коефіцієнтів пружних викривлень траєкторії, значення яких визначає вектор зусилля різання і жорсткість технологічної системи у напрямі даного вектора.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОГО  
ПРОФИЛЯ НА ОСНОВЕ КОРРЕКЦИЙ ПРОГРАММНОЙ ТРАЕКТОРИИ  
РЕЗЦОВ С ПЛАСТИНАМИ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Проволоцкий А.Е., Лещенко А.И.

В работе рассмотрены вопросы создания теоретической базы построения автоматизированной системы расчета программ для станков с ЧПУ. Система создает программы обработки резанием поверхностей сложного профиля резцами с пластинами круглой формы. Разработанный алгоритм, в отличие от известных схем, формирует перемещение центра пластинки в зависимости от уравнения образующей детали с учетом диаметра пластинки и коэффициентов упругих искажений траектории, значение которых определяет вектор усилия резания и жесткость технологической системы в направлении данного вектора.

INCREASE OF ACCURACY OF MACHINING OF SURFACES OF A DIFFICULT  
TYPE ON THE BASIS OF CORRECTIONS OF A PROGRAM TRAJECTORY  
OF CUTTERS WITH PLATES OF THE ROUND FORM

Provolotskiy A.Y., Leshenko A.I.

In work the questions of creation of theoretical base of development of automated programming system for machine-tools with CNC are considered. The system forms the programs of machining by cutting for the surfaces of difficult type by cutters with plates of round form. The developed algorithm unlike the known charts, forms moving of center of plate depending on equalization of generatrix detail, taking into account the diameter of plate and coefficients of rigid distortions of trajectory, the value of which determines the vector of cutting effort and rigidity of the technological system in the direction of the given vector.

*Рецензент: к.т.н. Гринёв Ю.А.*