

СПОСОБ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ, РЕЗЦАМИ С НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПЛАСТИНКАМИ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Лещенко А.И. (ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)

The way of turning processing can be applied by cutting on machine tools with NC for precision operations of cutting of outside and internal surfaces by cutters with plates of the round form. The offered way, as against known, enables to form a trajectory of moving of the tool in view of size of displacement of the centre of a plate depending on coordinates of points of contact of a forming detail and cutting side of a plate.

Для высокоточных операций точения наружных и внутренних поверхностей, могут быть использованы резцы с неперетачиваемыми пластинами круглой формы:

- твердосплавными по ГОСТ19069-80, 19070-80, 19071-80;
- минералокерамическими по ГОСТ250003-81;
- из композита ТУ 2-035-808-81.

Применение таких пластин для обработки высокопрочных материалов, делает оптимальным, высокая стойкость двух режущих кромок пластины с углом заострения

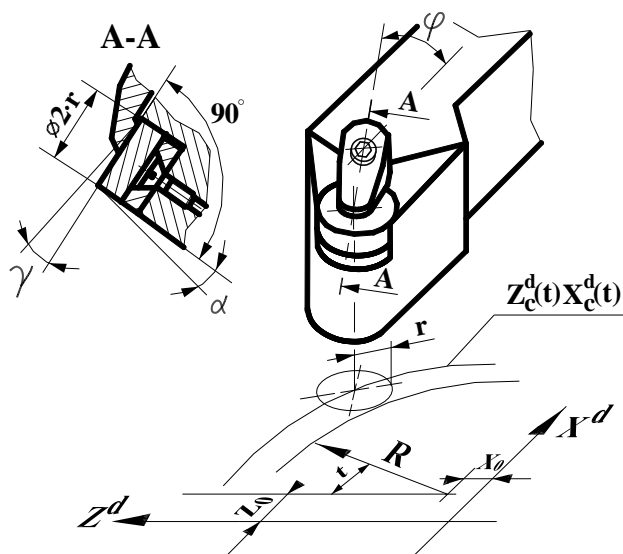


Рис. 1. Формирование траектории $Z_c^d(t)$, $X_c^d(t)$ перемещения центра круглой пластины радиуса r при программировании обработки дуги радиуса R .

90° , а их расположение по периметру круга оснований пластины увеличивает ресурс режущего инструмента.

Как геометрическое тело, режущие пластины этого типа представляют прямой круговой цилиндр, поэтому радиуса r (рис. 1) задний α и отрицательный передний γ углы резца образуются наклоном опорной поверхности гнезда под пластину в державке резца.

Вследствие неперпендикулярности оси пластины основной плоскости, ее режущие кромки – окружности в основаниях прямого

кругового цилиндра, проектируются на основную плоскость как эллипс. Теоретически точное формирование профиля детали будет обеспечено, если управляющая программа задает траекторию перемещения инструмента с учетом эллиптичности проекции круглой пластины на основную плоскость.

Известен широкий круг способов высокоточной токарной обработки фасонных поверхностей различного типа.

Так, например, известен способ, в котором для формообразования торцевой поверхности предлагается теоретически точную кромку фасонного резца – эллипса, корректировать в фиксированных точках [1]. Данный способ может повысить точность формообразования торцевых, а также цилиндрических поверхностей, за счет коррекции

геометрии режущей кромки фасонного инструмента, однако для режущих пластин стандартной формы он не применим.

Кроме того, известен способ формообразования поверхностей [2], в котором величина коррекции траектории перемещения инструмента зависит от типа обрабатываемой поверхности и радиуса закругления при вершине резца. В известном способе, для компенсации погрешности обработки конических поверхностей, перемещение инструмента рассчитывают для соответствующей формообразующей точки радиусной части режущей пластины, в зависимости от угла конусности. Однако, известный способ не дает возможность учитывать погрешность обработки при динамически изменяющемся радиусе кривизны формообразующей части режущей пластины.

Известным технологам-программистам способ токарной обработки на станках с ЧПУ с «коррекцией на радиус» [3] дает возможность программировать траекторию перемещения инструмента с постоянным технологическим смещением относительно одной образующей или группы образующих контура обрабатываемой детали. Вместе с тем, данный способ не дает возможность корректировать погрешность, возникающую в процессе перемещения инструмента и формировать программную траекторию с величиной смещения, функционально зависимой от координат точек контакта образующей и режущей кромки пластины.

Целью данной работы является расчет параметрической функции, определяющей траекторию перемещения инструмента с учетом эллиптичности проекции круглой пластины на основную плоскость.

Расчет параметрической функции выполняем для наиболее обобщенного варианта траектории перемещения - обработке наружной тороидальной поверхности радиуса R (рис. 1), с координатами центра Z_0, X_0 , резцом проходным, отогнутым на угол φ , с круглой режущей пластиной радиуса r и углами, образованными наклоном оси пластины: передним γ и задним α . Проекцией пластины на основную плоскость и параллельную ей координатную плоскость токарного станка Z^d, X^d будет эллипс,

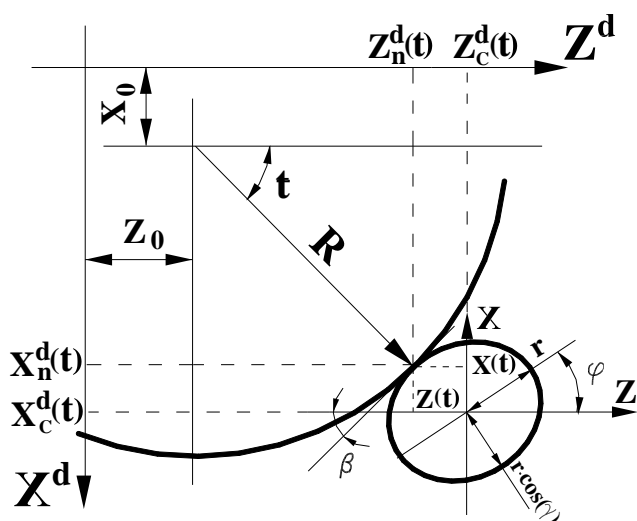


Рис. 2. Определение смещения центра круглой пластины $Z(t), X(t)$ относительно дуги радиуса R , при изменяющемся угловом параметре t .

повернутый на угол φ , с полуосями большей r и меньшей $r \cdot \cos(\gamma)$. Крепление пластины – прихватом.

Необходимо получить функцию траектории перемещения центра эллипса $Z_c^d(t), X_c^d(t)$ (рис. 2) из условия его касания дуги радиуса R при каждом значении t - угла поворота вокруг центра дуги точки касания, в направлении подачи.

Обобщенный вариант параметрической функция $Z_c^d(t), X_c^d(t)$, траектории

перемещения центра эллипса, в координатной системе детали Z^d, X^d , определяется из геометрических соотношений и в параметрическом представлении имеет вид:

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

где t – угол, переменная функции; r – радиус пластины;

γ – угол наклона пластины (передний угол резца);

φ – угол, на который отогнута державка резца, для прямых (не отогнутых) резцов $\varphi=0$;

2 – коэффициент, учитывающий диаметральные значения координат по оси X ;

$q = \pm 1$ – коэффициент, определяющий направление смещения относительно образующих поверхностей;

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

Z_n^d, X_n^d – текущие координаты точек образующих поверхностей детали в системе координат детали;

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

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.

Для программной траектории обработки поверхностей с радиусной образующей, сферической и тороидальной, значения функции $Z_c^d(t), X_c^d(t)$ зависят от текущих координат точек Z_n^d, X_n^d и изменяющейся в зависимости от угловой координаты t величины смещения.

Для тороидальных поверхностей значения координат текущих точек $Z_n^d = Z_n^d(t), X_n^d = X_n^d(t)$ величины переменные, равные:

$$Z_n^d(t) = Z_0 + R \cdot \cos(t); \quad X_n^d(t) = X_0 + 2 \cdot R \cdot \sin(t),$$

где R – радиус обрабатываемой поверхности;

t – угловая координата текущей точки касания режущей кромки пластины и дуги радиуса R ;

Z_0, X_0 – координаты центра дуги радиуса R в системе координат детали.

Подставляем Z_n^d, X_n^d в выражение (1), получим:

$$Z_c^d(t) = Z_0 + R \cdot \cos t + \frac{q \cdot r \cdot K \cdot (K \cdot \cos t + N \cdot \sin t)}{\sqrt{K \cdot [\cos^2 \gamma \cdot \sin^2 t + (K \cdot \cos t + N \cdot \sin t)^2]}}$$

$$X_c^d(t) = X_0 + 2 \cdot R \cdot \sin t + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot [(K \cdot \cos t + N \cdot \sin t) \cdot N + \cos^2 \gamma \cdot \sin t]}{\sqrt{K \cdot [\cos^2 \gamma \cdot \sin^2 t + (K \cdot \cos t + N \cdot \sin t)^2]}}.$$

Для сферических поверхностей при $X_0 = 0$, параметрическая функция (1) траектории перемещения центра режущей пластинки принимает вид:

$$Z_c^d(t) = Z_0 + R \cdot \cos t + \frac{q \cdot r \cdot K \cdot (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \sin^2(t) + (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))^2]}}$$

$$X_c^d(t) = 2 \cdot R \cdot \sin t + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot [(K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t)) \cdot N + \cos^2(\gamma) \cdot \sin(t)]}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \sin^2(t) + (K \cdot \cos(t) + N \cdot \sin(t))^2]}}.$$

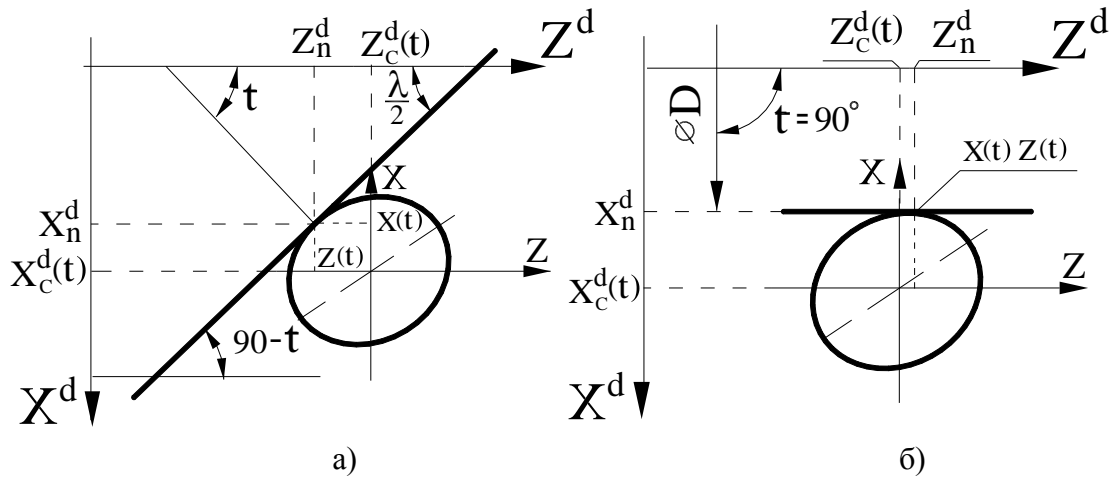


Рис. 3. Формирование траектории при обработке: а) конической поверхности с углом конусности λ ; б) цилиндрической поверхности $\varnothing D$.

Для поверхностей с прямолинейной образующей $t = \text{const}$, поэтому в функции траектории $Z_c^d(t)$, $X_c^d(t)$ (1) изменяются только текущие координаты точек образующих поверхностей Z_n^d , X_n^d , а величина смещения остается постоянной.

Для конических поверхностей (рис. 3а) с углом конусности λ , $t = (\pi - \lambda)/2$. Подставляем значение t в выражение (1) получим параметрическое уравнение движения центра пластинки:

$$Z_c^d(Z_n^d) = Z_n^d + \frac{q \cdot r \cdot K \cdot (K \cdot \sin(\lambda/2) + N \cdot \cos(\lambda/2))}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \cos^2(\lambda/2) + (K \cdot \sin(\lambda/2) + N \cdot \cos(\lambda/2))^2]}}$$

$$X_c^d(Z_n^d) = X_n^d + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot [(K \cdot \sin(\lambda/2) + N \cdot \cos(\lambda/2)) \cdot N + \cos^2(\gamma) \cdot \cos(\lambda/2)]}{\sqrt{K \cdot [\cos^2(\gamma) \cdot \cos^2(\lambda/2) + (K \cdot \sin(\lambda/2) + N \cdot \cos(\lambda/2))^2]}}$$

где Z_n^d , X_n^d - координаты текущей точки отрезка прямой, образующей конической поверхности.

Для цилиндрических поверхностей $\varnothing D$ (рис. 3б) $t = \pi/2$. Подставляем значение t в выражение (1), после преобразований получим:

$$Z_c^d(Z_n^d) = Z_n^d + q \cdot r \cdot N \cdot \sqrt{\frac{K}{\cos^2 \gamma + N^2}}; \quad X_c^d(Z_n^d) = X_n^d + q \cdot 2 \cdot r \cdot \sqrt{\frac{\cos^2 \gamma + N^2}{K}}.$$

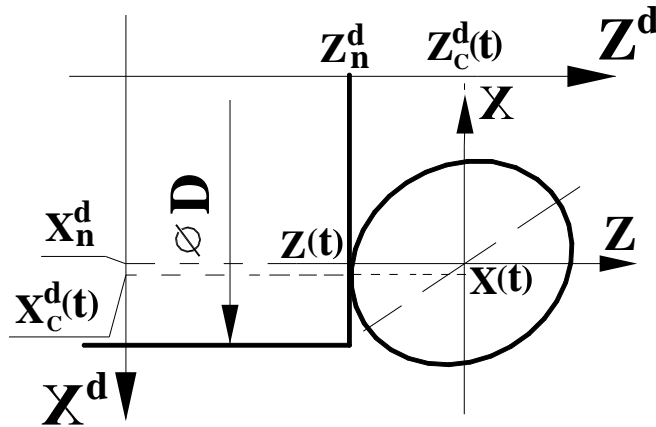


Рис. 4. Формирование траектории при обработке торцевой поверхности.

Для торцевых поверхностей (рис. 4) $t=0$. Подставляем значение t в выражение (1), после преобразований получим:

$$Z_c^d(t) = Z_n^d + q \cdot r \cdot \sqrt{K}$$

$$X_c^d(t) = X_n^d + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot N}{\sqrt{K}}.$$

Как частный случай, для не отогнутых резцов, при $\varphi = 0$, тогда при $K=1$, $N=0$ формула (7) для определения $Z_c^d(t)$, $X_c^d(t)$ упрощаются:

$$Z_c^d(t) = Z_n^d + \frac{q \cdot r \cdot \cos t}{\sqrt{\cos^2 \gamma \cdot \sin^2 t + \cos^2 t}} \quad X_c^d(t) = X_n^d + \frac{q \cdot 2 \cdot r \cdot \cos^2 \gamma \cdot \sin t}{\sqrt{\cos^2 \gamma \cdot \sin^2 t + \cos^2 t}}.$$

Если передний угол $\gamma=0$, тогда при $K=1$, $N=0$ круглая пластина проектируется на основную плоскость как окружность, формула (7) для определения $Z_c^d(t)$, $X_c^d(t)$ упрощаются:

$$Z_c^d(t) = Z_n^d + q \cdot r \cdot \cos(t) \quad X_c^d(t) = X_n^d + q \cdot 2 \cdot r \cdot \sin(t).$$

Траектория перемещения центра пластины получена в виде параметрического уравнения. Станки с ЧПУ, как правило, имеют только линейный интерполятор и круговой, аппроксимирующий дугу окружности хордами постоянной длины - $F \cdot t_0$, где F - текущее значение подачи; t_0 - такт работы ЭВМ.

Известны различные методы решения задачи линейно - круговой аппроксимации траектории перемещения инструмента, заданной как функция действительного аргумента.

САП ТЕХТРАН дает возможность сплайн – аппроксимации дугами окружностей по точкам функционально заданной траектории.

В работе [4] предлагается способ линейной аппроксимации по усредненной величине угла наклона нормали к отрезкам, соединяющим точки траектории перемещения.

Язык макропрограммирования системы ЧПУ FMS-3000 представляет собой расширение языка программирования управляющих программ и имеет операторы, свойственные языку высокого уровня. Такая особенность дает возможность пользователю самостоятельно разрабатывать интерполяционные подпрограммы, формирующие траектории определенные различными функциями.

В работе [5] предлагается программный алгоритм расчета с погрешностью, не превышающей величину поля допуска, линейно-круговой интерполяции траектории перемещения, заданной аналитической функцией. Реализующая алгоритм программа,

формирует текстовый файл с форматом данных - начальная точка дуги, конечная точка дуги, центр дуги, радиус.

Выводы. Широкий спектр резцов имеет стандартное радиусное закругление (0.2 - 1.2) мм при вершине режущей кромки, однако для радиусов таких размеров отклонение от круглости проекции формообразующей кромки на основную плоскость составляет настолько малый процент ширины поля допуска, что учитывать эту погрешность не имеет смысла. В теории проектирования режущего инструмента получили развитие теоретические вопросы коррекции искажения проекции формообразующей радиусной части пластины на основную плоскость [4]. В данном случае не ставится задача, получить формулу для определения откорректированной траектории при обработке резцами всех типов. Такая зависимость была бы слишком многофакторной и не пригодной для создания параметрической подпрограммы УЧПУ станка. Вместе с тем, принципы построения формулы дают возможность ее применения для различных резцов с радиусной режущей кромкой.

Примером эффективности применения способа может служить обработка подпятника сферического из отбеленного чугуна СПХН49 (HRC 36...43), для которой оптимальными по стойкости оказались проходные отогнутые ($\varphi = 30^\circ$) резцы с отрицательным передним углом $\gamma = 8^\circ$, образованным наклоном круглой пластины ($r=6.35$ мм) из оксидно - карбидной керамики.

Если обработку программировать с траекторией перемещения центра пластины по эквидистанте, т.е. радиусом $R + r$, то вследствие эллипсности проекции режущей кромки на основную плоскость возникает погрешность формы обрабатываемой поверхности с максимальным значением $\Delta = 2 \cdot r \cdot (1 - \cos(\gamma)) = 0.124$ мм, выходящим за пределы поля допуска. Руководствуясь принципами формирования траектории перемещения инструмента, положенными в основу данного способа, удалось достичь точности изготовления детали – подпятника сферического, в пределах 6 - 7 кв., при увеличении вдвое площади пятна контакта с сопрягаемой деталью.

Предлагаемый способ токарной обработки дает повышение эффективности и точности токарной обработки. Указанная цель достигается способом токарной обработки на станках с ЧПУ при условии перемещения центра стандартной режущей пластины по траектории, рассчитанной по формуле (1). На данный способ получен патент [6].

Список литературы: 1. Иванов Ю.И., Кольцов А.Б. Расчет погрешности профиля фасонных резцов // «Станки и инструмент», №1, 1991. - С. 35. 2. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках ЧПУ, - Л.: «Машиностроение», 1990. – 474. 3. Программное обеспечение устройства ЧПУ «Электроника МС 2101.91», «Инструкция для операторов УЧПУ и технологов программистов» 589.4001008.00001-0181.01-2, Москва, 1989. - С. 59. 4. Уткин Б.М., Боткин В.А. Линейная аппроксимация точечно-заданных контуров // «Машиностроитель», №10 1997. - С. 9-10. 5. 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. 6. Спосіб токарної обробки на верстатах з ЧПК. Деклараційний патент на винахід 51392(A) 7 Україна; Заявл.12.03.02; Опубл. 15.11.02, Бюл. №11, - 6 с.

Сдано в редакцию 8.05.08