

3. Оптимизация исходной точности отверстий зубчатых колес до ХТО в рассмотренных условиях может способствовать существенному повышению их конечной точности, но в меньшей степени, чем совершенствование самого процесса ХТО.

Л и т е р а т у р а

1. Влияние шевингования на изменение некоторых показателей точности зубчатых колес / М.М.Кане, А.Ф.Горбачевич, М.А.Школьник, Ю.Б.Якубович. – В сб.: Прогрессивная технология машиностроения. Мн., 1972, вып. 4.

УДК 621.9.06

П.С.Чистосердов, канд. техн. наук (ММИ),
В.Г.Беляй, инженер (БПИ)

КИНЕМАТИКА ТОЧЕК, ЛЕЖАЩИХ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ШАРА, ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

При совмещенной обработке резанием и ППД плоских поверхностей на фрезерных станках комбинированному инструменту (КИ) сообщается вращательное движение, а детали – движение подачи (рис. 1).

Свяжем неподвижную систему координат XUW с поверхностью детали и рассмотрим траекторию движения деформирующего шара в проекции на плоскость XOU за время одного оборота. Эту траекторию можно разбить на два участка. На первом участке АВ с периодом t_1 (начало в точке А) деформирующий шар совершает свободное движение, т. е. движется вместе с корпусом инструмента, оставаясь неподвижным относительно собственных координатных осей. Второй участок ВС является рабочим, характеризующимся периодом t_2 , в течение которого осуществляется непрерывный контакт деформирующего элемента с деталью.

Введем следующие системы координат: $X_1Y_1Z_1$ – система координат, связанная с корпусом инструмента; $X_2Y_2Z_2$ – подвижная система координат, связанная с деформирующим шаром, при этом она всегда направлена по касательной к траектории движения точки O_2 .

На первом участке точки, лежащие на поверхности деформирующего шара, совершают вращательное движение вокруг оси

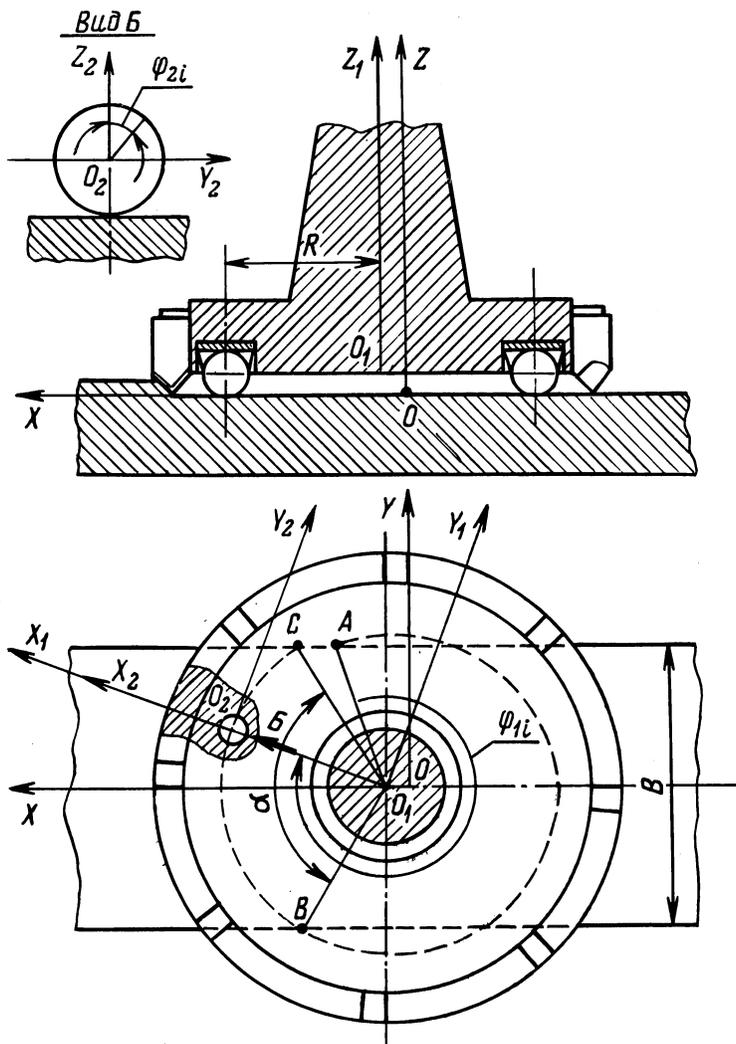


Рис. 1. Схема к определению траектории деформирующего элемента КИ.

Z_1 системы координат $X_1 Y_1 Z_1$ и движутся поступательно вместе с ней вдоль оси X_1 . На рабочем участке к этим двум движениям добавляется вращательное движение шара вокруг оси X_2 системы координат $X_2 Y_2 Z_2$.

Уравнения движения точек, лежащих на поверхности шара в проекциях на оси координат X, Y, Z на первом и втором участках, выражаются системами:

$$\left\{ \begin{array}{l} X = R \sin \varphi_{1i} + s_{\text{мин}} t_{1i}; \\ Y = R \sin \varphi_{1i}; \end{array} \right. \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} X = R \sin \varphi_1 + s_{\text{мин}} (t_1 + t_{2i}); \\ Y = R \cos \varphi_1 + R_i \sin \varphi_{2i}; \\ Z = R_i \cos \varphi_{2i}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где R – радиус, на котором расположены центры деформирующих шаров в корпусе инструмента; $s_{\text{мин}}$ – минутная подача детали (система координат $X_1 O_1 Y_1 Z_1$); R_i – радиус вращения точки, уравнения движения которой определяются относительно оси X_2 системы координат $X_2 Y_2 Z_2$; φ_{1i} – текущее значение угла поворота точки относительно системы координат $X_1 Y_1 Z_1$; φ_{2i} – текущее значение угла поворота точки относительно системы координат $X_2 O_2 Y_2 Z_2$; t_{1i} и t_{2i} – текущие значения времени при движении соответственно на первом и втором участках.

Угол φ_{1i} в зависимости от заданной угловой скорости ω вращения инструмента и времени движения для первого и второго участков определится по формулам

$$\varphi_{1i} = \omega t_{1i}; \quad (3) \quad \varphi_{1i} = \omega (t_1 + t_{2i}). \quad (4)$$

Линейная скорость точки O_2 относительно системы координат $X_1 Y_1 Z_1$ равна:

$$v_{O_2} = \omega R. \quad (5)$$

Используя выражение (5), найдем угловую скорость ω_1 вращения точек относительно оси X_2 (система координат $X_2 Y_2 Z_2$):

$$\omega_1 = \frac{\omega R}{R_{\text{ш}}}. \quad (6)$$

Обозначим в выражении (6) $\frac{R}{R_{\text{ш}}} = q$, тогда

$$\omega_1 = \omega q. \quad (7)$$

Учитывая проскальзывание деформирующего шара относительно поверхности детали, уравнение (7) запишется:

$$\omega_1 = Kq\omega \quad (8). \quad \text{Откуда } \varphi_{2i} = Kq\omega (t_1 + t_{2i}), \quad (9)$$

где K – коэффициент проскальзывания.

Подставим значения формул (7) и (4) в системы (1) и (2)

$$\left\{ \begin{array}{l} X = R \sin \omega t_{1i} + s_{\text{мин}} t_{1i}; \\ Y = R \cos \omega t_{1i}; \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\begin{cases} X = R \sin \omega(t_1 + t_{2i}) + s_{\text{мин}}(t_1 + t_{2i}); \\ Y = R \cos \omega(t_1 + t_{2i}) + R_i \sin Kq\omega t_{2i}; \\ Z = R_i \cos Kq\omega t_{2i}. \end{cases} \quad (11)$$

Проекция скорости точки на оси координат X, Y, Z определим, продифференцировав уравнение (10) по t_{1i} :

$$V_{X_1} = \frac{dX}{dt_{1i}} = R\omega \cos \omega t_{1i} + s_{\text{мин}};$$

$$V_{Y_1} = \frac{dY}{dt_{1i}} = -R\omega \sin \omega t_{1i}.$$

Абсолютная скорость точки на первом участке

$$V_1 = \sqrt{V_{X_1}^2 + V_{Y_1}^2} = \sqrt{R^2\omega^2 + s_{\text{мин}}^2 + 2R\omega s_{\text{мин}} \cos \omega t_{1i}}.$$

Проекция скорости на втором участке:

$$V_{x_2} = \frac{dX}{dt_{2i}} = R\omega \cos \omega(t_1 + t_{2i}) + s_{\text{мин}};$$

$$V_{y_2} = \frac{dY}{dt_{2i}} = -R\omega \sin(t_1 + t_{2i}) + Kq\omega R_i \cos Kq\omega t_{2i}; \quad (12)$$

$$V_{z_2} = \frac{dZ}{dt_{2i}} = -Kq\omega R_i \sin Kq\omega t_{2i}.$$

Абсолютная скорость точки на втором участке

$$V_2 = \sqrt{V_{x_2}^2 + V_{y_2}^2 + V_{z_2}^2} = \sqrt{R^2\omega^2 + R_i^2 q^2 K^2 \omega^2 + s_{\text{мин}}^2 + 2R\omega s_{\text{мин}} \cos(t_1 + t_{2i}) - 2RR_i\omega^2 Kq \sin \omega(t_1 + t_{2i}) \cos Kq\omega t_{2i}}.$$

Продифференцировав уравнение (12) по t_{2i} , найдем проекция абсолютного ускорения на оси координат на рабочем участке:

$$a_{x_2} = \frac{dV_{x_2}}{dt_{2i}} = -R\omega^2 \sin \omega(t_1 + t_{2i});$$

$$a_{y_2} = \frac{dV_{y_2}}{dt_{2i}} = -R\omega^2 \cos(t_1 + t_{2i}) - K^2 q^2 \omega^2 R_i \sin Kq\omega t_{2i};$$

$$a_{z_2} = \frac{dV_{z_2}}{dt_{2i}} = -R_i K^2 q^2 \omega^2 \cos Kq\omega t_{2i}.$$

Абсолютное ускорение на втором участке

$$a_2 = \sqrt{a_{x_2}^2 + a_{y_2}^2 + a_{z_2}^2} = \sqrt{R^2 \omega^4 + R_i^2 K^4 q^4 \omega^4 + 2RR_i \omega^2 K^2 q^2 \sin Kq\omega t_{2i}}$$

При расчетах стойкости инструмента необходимо знать путь, проходимый шаром за время контакта с обрабатываемой поверхностью, т. е. за второй период:

$$s_p = \int_0^{t_2} V_2 dt_{2i} = \int_0^{t_2} R^2 \omega^2 + R_i^2 K^2 q^2 \omega^2 + s_{\text{мин}}^2 + 2R_{\text{ш}} s_{\text{мин}} \cos(t_1 + t_{2i}) - 2RR_i^2 Kq \sin(t_1 + t_{2i}) \cos Kq t_{2i} dt_{2i}$$

Длительность контакта шара с обрабатываемой поверхностью определится

$$t_2 = \frac{\alpha}{2\pi n}, \quad (13)$$

где α – угол контакта с обрабатываемой поверхностью; n – скорость вращения инструмента.

При симметричной обработке и ширине обрабатываемой поверхности B

$$\alpha = \arcsin \frac{B}{2R}. \quad (14)$$

Подставим в выражение (13) формулу (14)

$$t_2 = \frac{\arcsin \frac{B}{2R}}{2\pi n}$$

Время движения шара на первом участке

$$t_1 = T - t_2 = \frac{1}{2\pi n} - \frac{\arcsin \frac{B}{2R}}{2\pi n} = \frac{1}{2\pi n} \left(1 - \arcsin \frac{B}{2R} \right),$$

где T – время одного оборота инструмента.

При обработке плоских поверхностей на фрезерных станках КИ с освобожденным сепаратором форма движения и характер изменения абсолютных скоростей и ускорений точек, лежащих

на поверхности деформирующего шара, аналогичные. Разница только в их численных значениях, так как точка O_2 будет иметь скорость в два раза меньшую.

Полученные теоретические уравнения движения, скоростей и ускорений точек, лежащих на поверхности шара на участке его контакта с поверхностью обрабатываемой детали, показывают, что они являются функцией геометрических и технологических параметров процесса совмещенной обработки плоскостей КИ и могут быть использованы для расчета значений этих параметров в любой произвольный момент времени.