

В.В. Кальченко, канд. техн. наук, Чернигов, Украина.

ТРЕХМЕРНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ КРУГОВ И ДЕТАЛЕЙ

The general three-dimensional (3D) geometrical model (1 ... 9), has been developed, which describes a total error of surfaces at grinding with crossed axes of circles and details. It takes into account errors of the form-shaping circuit, location, the machine tool units moving and the cutting tool form.

При шлифовании различных поверхностей со скрещивающимися осями кругов 1, 1₁ (рис. 1) и деталей 2 суммарный вектор погрешности $\bar{\Delta}_c$ положения точки обработанной поверхности можно представить в виде

$$\bar{\Delta}_c = \bar{\Delta}_\phi + \bar{\Delta}_\pi, \quad (1)$$

где $\bar{\Delta}_\phi$ – вектор геометрической погрешности схемы формообразования; $\bar{\Delta}_\pi$ – вектор погрешности положения точки обрабатываемой поверхности, вызванной погрешностями положения и перемещения узлов станка и формы режущего инструмента.

Величину $\bar{\Delta}_\phi$ определяют из векторного уравнения

$$\bar{\Delta}_\phi = \bar{r}_{qu} - \bar{r}_q, \quad (2)$$

где \bar{r}_{qu} и \bar{r}_q – радиусы-векторы обработанной и номинальной поверхностей детали в одной системе координат.

Геометрическая погрешность схемы формообразования может реализоваться на обрабатываемой детали в виде погрешностей размера, расположения и формы поверхностей или в виде волнистости.

Радиус-вектор \bar{r}_{qu} обработанной поверхности можно представить в виде

$$\bar{r}_{qu} = M_{qu} \cdot \bar{r}_u, \quad (3)$$

где M_{qu} – матрица перехода из системы координат круга в систему координат детали; \bar{r}_u – радиус-вектор точек рабочей поверхности круга 1 (рис. 1).

Общая матрица M_{qu} перехода, разработанная на базе общей схемы (рис. 1), имеет вид

$$M_{qu} = M_6(\theta_v(\theta_B)) \cdot M_6(-\theta_w(\theta_B)) \cdot M_5(\psi_w(\theta_B)) \cdot M_1(-R_B(\theta_B)) \times \\ M_6(\theta_B) \cdot M_3(-Z_c \pm P \cdot \theta_B) \cdot M_1(-X_c(\theta_B)) \cdot M_2(-Y_c(\theta_B)) \times \quad , (4) \\ M_4(\varphi(\theta_B)) \cdot M_5(-\psi(\theta_B)) \cdot M_1(X_2(\theta_B))$$

где M_1, M_2, M_3 – матрицы линейных перемещений вдоль осей X, Y, Z; M_4, M_5, M_6 – матрицы угловых поворотов относительно осей X, Y, Z [1]; θ_v – угол поворота базовой втулки 3 (рис. 1, I, а) вращающей детали 2; θ_w – угол ориентации оси O_6X_w ; ψ_w – угол поворота оси O_6X_k (рис. 1, I, А); R_B – радиус подающего барабана 4 (рис. 1); θ_B – угловой независимый параметр; X_c, Y_c, Z_c – координаты начала координат O_B барабана в системе координат $O_C X_{CT} Y_{CT} Z_{CT}$ станины; $P=S/2\pi$ – параметр винтового движения для резьбы с шагом S; X_2 – координата начала $O_{и}$ координат круга 1; φ и ψ углы ориентации оси $O_{и}Z_{и}$ инструмента 1; $X_{OC1}, Y_{OC1}, Z_{OC1}$ – координаты начала координат O_{C1} второго круга 1₁.

Радиус-вектор точек круга 1 (рис. 1) равен

$$\bar{r}_i = M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_1(R_i) \cdot e_4, \quad (5)$$

где R_i, Z_i – радиус круга 1 и его осевая координата в i -той точке профиля A_{i0} (рис. 1, Б-Б) после правки; θ_k – угловой параметр круга; $e_4=(0,0,0,1)^T$ – радиус-вектор начала координат.

Подставив выражения (4) и (5) в (3) получим радиус-вектор \bar{r}_{qu} в системе координат детали (рис. 1), который является общим для группы поверхностей, обработанных со скрещивающимися осями кругов 1, 1₁ и деталей 2. 3D модель конкретной обрабатываемой поверхности детали должна содержать в правой части развернутого выражения (3) две независимые переменные. Для достижения этого на переменные (3) накладывают связи различного вида и получают выражения всех переменных через два аргумента. Анализ выражения (4) показывает, что все его переменные могут: иметь функциональную связь с независимым параметром θ_B , оставаться постоянными при его изменении или равняться нулю, в зависимости от вида обрабатываемой поверхности. Все поверхности при шлифовании со скрещивающимися осями получают при однопараметрическом огибании, где связь имеет вид равенства нулю смешанного произведения трех векторов частных производных вектора \bar{r}_{qu} по переменным θ_B, i, θ_k (6), две из которых i, θ_k входят в 3D модель (5) шлифовального круга.

Связь огибания, в совокупности с перечисленными выше функциональными и скрытыми связями и радиусом-вектором \bar{r}_{qu} (3), описывают 3D модели всех поверхностей, обрабатываемых со скрещивающимися осями кругов и деталей.

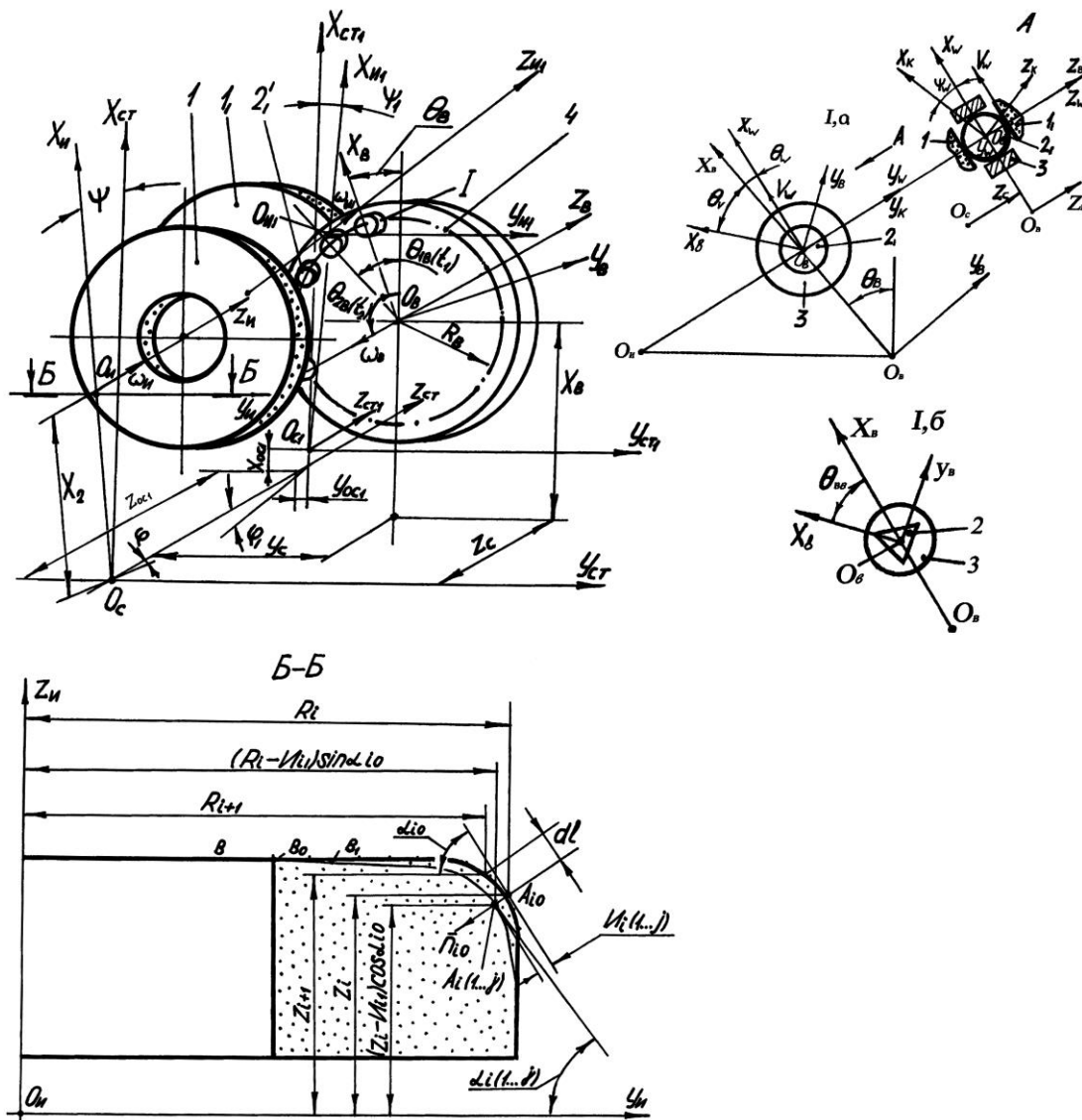


Рисунок 1 – Общая схема формообразующих систем станков для шлифования различных поверхностей со скрещивающимися осями кругов и деталей

Например, 3D модель торцевой поверхности детали 2 (рис. 1, I, б), не вращающейся при обработке, имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{r}_{qu} = & M_6(\theta_{B8}) \cdot M_1(-R_B) \cdot M_6(\theta_B) \cdot M_3(-Z_C) \cdot M_1(-X_C) \times \\ & M_2(-Y_C) \cdot M_4(\varphi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(X_2) \cdot M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_1(R_i) \cdot e_4; \\ \frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial \theta_k} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial \theta_B} = & 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\varphi = const; \psi = const; X_C = X_2 = const; Y_C = const;$$

$$\theta_V = \theta_{B8} = const; R_B = const; Z_C = const; \theta_W = 0; \psi_W = 0; P = 0.$$

Получив радиус-вектор \bar{r}_{qi} из (6) и подставив его уравнение (2), при одинаковых координатах $X_{qi}=X_q$; $Y_{qi}=Y_q$; находим величину вектора геометрической погрешности Δ_ϕ схемы формообразования. Так как вектор единичной нормали \bar{n}_o к номинальной, в данном случае торцовой плоской поверхности детали, параллелен ее оси Z , то вектор $\bar{\Delta}_\phi = \Delta_{\phi n}$ скалярной, нормальной к номинальной поверхности, погрешности. Расчет геометрической погрешности схемы формообразования при шлифовании торцов дан в нашей работе [2].

При определении вектора погрешности $\bar{\Delta}_n$ положения точки обрабатываемой поверхности, вызванной погрешностями положения и перемещения узлов станка и формы режущего инструмента, номинальный радиус-вектор этой точки определяют [1] из 3D модели обрабатываемой поверхности (3) (6), а $\bar{\Delta}_n$ из выражения

$$\bar{\Delta}_n = \sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^m \delta a_i^j \cdot \bar{l}_i^j, \quad (7)$$

где δa_i^j – j -ая входная погрешность i -го звена формообразующей системы станка (рис. 1); \bar{l}_i^j – передаточный коэффициент для δa_i^j .

При шлифовании со скрещивающимися осями кругов 1, 1_1 и деталей 2 (рис. 1) число звеньев формообразующей системы станка $k \leq 11$, которое равно числу матриц M_i обобщенных перемещений в общей матрице M_{qi} (4) перехода из системы координат инструмента в систему координат детали. Максимальное число m входных погрешностей δa_i^j i -го звена определяется суммой элементов матриц: деформаций δ_D , поворота $\delta_{нов}$ и переноса $\delta_{пер}$ [1].

Передаточный коэффициент

$$\bar{l}_i^j = M_{qi} \cdot L_i^j \cdot M_{iИ} \cdot \bar{r}_{И}, \quad (8)$$

где $\bar{l}_i^j = \frac{\partial \delta M}{\partial \delta a_i^j}$ – одна из 12 матриц частных производных матрицы вариации $\delta M = \delta_D + \delta_{нов} + \delta_{пер}$ [1]; M_{qi} – произведение матриц обобщенных перемещений, расположенных в матрице перехода M_{qi} (4) до L_i^j и $M_{iИ}$ – после L_i^j .

Выражение (7) описывает вектор погрешности $\bar{\Delta}_n$ положения точки обрабатываемой поверхности. Для получения нормальной погрешности вектор $\bar{\Delta}_n$ проектируют на направление нормали к поверхности

$$\Delta_{nm} = (\bar{\Delta}_n \cdot \bar{n}) = \sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^m \delta a_i^j (\bar{l}_i^j \cdot \bar{n}), \quad (9)$$

где \bar{n} – орт нормали к обрабатываемой поверхности.

Подставив выражения (2) и (7) в (1) определяют суммарный вектор погрешности $\bar{\Delta}_c$ положения точки обработанной поверхности, который учитывает геометрическую погрешность схемы формообразования и погрешность, вызванную погрешностями положения и перемещения узлов станка и формы режущего инструмента.

При определении $\bar{\Delta}_\phi$ – вектора погрешности формообразования торцевой поверхности детали 2 (рис. 1), в 3D модель круга (5) подставляют значения R_i и Z_i , полученные при его профилировании [3]. Для оценки погрешности $\bar{\Delta}_\pi$, вызванной износом шлифовального круга, в выражение (7), в качестве входной погрешности δa_i^j , подставляют величину линейного износа I_{ij} участка профиля круга 1 (рис. 1, Б-Б) в области i -той точки A_i в процессе обработки детали 2 за время t_j поворота барабана 4, который определяется из выражения

$$I_{ij} = \frac{1}{\omega_B} \int_{\theta_{B0}}^{\theta_{Bj}} I_{i\theta B} \cdot d\theta_B, \quad (10)$$

где ω_B – угловая скорость барабана 4; θ_{B0} – угол, соответствующий началу обработки первой детали после правки круга 1; θ_{Bj} – угол, соответствующий текущему значению j поворота барабана в процессе обработки; $I_{i\theta B}$ – скорость износа профиля круга, которая определяется из соотношения

$$I_{i\theta B} = \frac{C_{qi} \cdot Q_{yq}(i)^m}{K_\alpha \cdot 2\pi \cdot R_i}, \quad (11)$$

где $Q_{yq}(i)$ – удельный объем снимаемого металла за единицу времени, определяется внутренним интегралом геометрической модели (1)[4]; C_{qi} – коэффициент, равный скорости износа круга 1 при $Q_{yq} = 1$, который определяется экспериментальным путем для каждого i -того участка круга по методике, изложенной в нашей работе [5]; K_α – коэффициент, учитывающий перекрытие режущих кромок.

При формообразовании тортовых 2 (рис. 2) или винтовых 3 поверхностей методом копирования, когда форма ориентированного на угол ψ круга 1 соответствует профилю обрабатываемой детали, отсутствует погрешность $\bar{\Delta}_\phi$ (1) схемы формообразования, тогда суммарная погрешность $\bar{\Delta}_c$ определяется износом I_{ij} (10) круга 1, или другими источниками δa_i^j (7) входной погрешности i -го звена формообразующей системы станка (рис. 2).

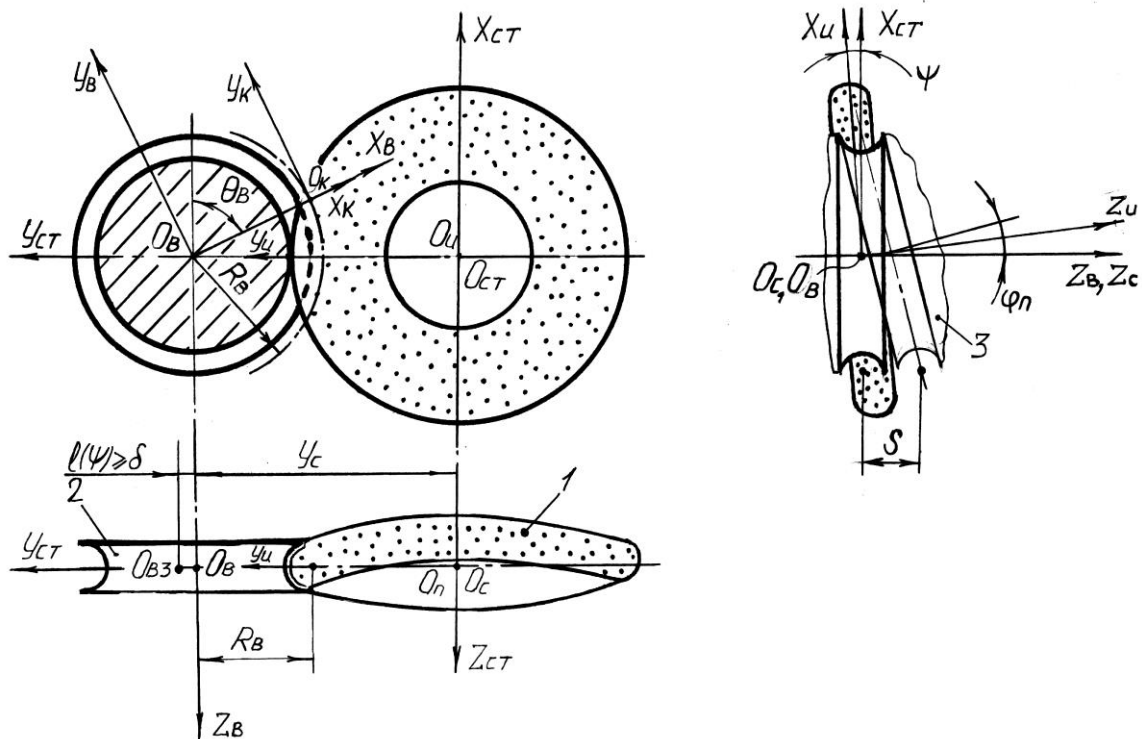


Рисунок 2 – Схема шлифования торовых и винтовых поверхностей

Разработана общая трехмерная (3D) геометрическая модель (1...9), описывающая суммарную погрешность поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей. Она учитывает погрешности схемы формообразования, положения, перемещения узлов станка и формы режущего инструмента. Модель дает возможность по одной программе рассчитывать суммарную погрешность шлифования сферических, торцовых, цилиндрических, торовых, винтовых, криволинейных и других поверхностей.

Список литературы: 1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 2. Кальченко В.В. Определение геометрической погрешности шлифования торцов профилированным и ориентированным инструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, Машиностроение № 37, 1999.– с. 138–142. 3. Кальченко В.В. Профільювання орієнтованих шліфувальних кругів. // Машинобудування, електроніка – Вісн. Черніг. технол. і-ту, №3, 1997, с. 14 – 27. 4. Кальченко В.В. Підвищення продуктивності шліфування торців циліндричних деталей. // Технічні науки – Вісн. технол. ун-ту Поділля, Хмельницький, 2000, №3, 4.2 (22), с. 29-35. 5. Кальченко В.В., Рудик А.В., Пасов. Г.В., Лясота В.Ю. Заточування торцевих фрез на верстатах з ЧПК з урахуванням зносу. // Технічні науки – Вісн. Черн. держ. технол. ун-ту, 2001. – 12. с. 89-95.