

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

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ТОРЦОВ ДЕТАЛЕЙ ОРИЕНТИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Generalized mathematical models describing cylindrical pieces surfaces and machines form-shaping systems for grinding end faces have been developed.

Торцы изогнутых иглол рабочих валиков и барабанов текстильных машин шлифуют периферией или торцом круга [1]. Торцы поршневых пальцев, цилиндрических роликов, винтовых пружин сжатия, колец подшипников, крестовин карданных валов, опорных поверхностей некруглых твёрдосплавных пластин, магнитов, крышек, фланцев и других деталей обрабатывают на двусторонних и односторонних торцешлифовальных полуавтоматах [2]. Точность формообразования торцов зависит от условий базирования обрабатываемых деталей, формы круга, его износа и ориентации. Погрешность обработки определяют решением уравнений поверхности детали совместно с поверхностью инструмента в его системе координат, из которых находят координаты точек торцовой поверхности детали после шлифования. Уравнение поверхности детали в системе координат круга

$$\bar{r}_{uq} = A_{uq} \cdot \bar{r}_q, \quad (1)$$

где A_{uq} - матрица перехода из системы координат детали в систему координат круга, которая определяется формообразующим кодом станка; \bar{r}_q - уравнение поверхности детали в её системе координат.

Код формообразующей системы двустороннего торцешлифовального станка, который является общим для одностороннего торцешлифовального станка с вертикальной компоновкой шпинделя инструмента [2] и станка для шлифования торцов иглол периферией и торцом круга [1], имеет вид

$$A_{uq} = A_u \cdot A_C \cdot A_B \cdot A_V, \quad (2)$$

где A_u - код шлифовальной бабки 1 (рис. 1), который описывает перемещение из начала координат O_c станины в начало координат O_u круга; A_C - код станины 2 (перемещение из O_B в O_C); A_B - код подающего барабана 3 (перемещение из O_q в O_B); A_V - код ориентации детали 4 относительно барабана 3.

В матрицах A_i обобщённых перемещений, перечисленные коды представим в виде

$$A_u = A_1(-x_2) \cdot A_5(\psi) \cdot A_4(-\varphi), \quad (3)$$

$$A_C = A_3(z_C + P_2 \cdot \theta_B) \cdot A_1(x_C) \cdot A_2(y_C), \quad (4)$$

$$A_B = A_6(-\theta_B) \cdot A_1(R_B - \Delta R_B), \quad (5)$$

$$A_V = A_6(\theta_V) \cdot A_4(\varphi_2) \cdot A_6(\theta_{Bq}), \quad (6)$$

где A_1, A_2, A_3 - матрицы линейных перемещений вдоль осей X, Y, Z ; A_4, A_5, A_6 - матрицы угловых поворотов относительно осей X, Y, Z ; φ и ψ - углы поворота оси

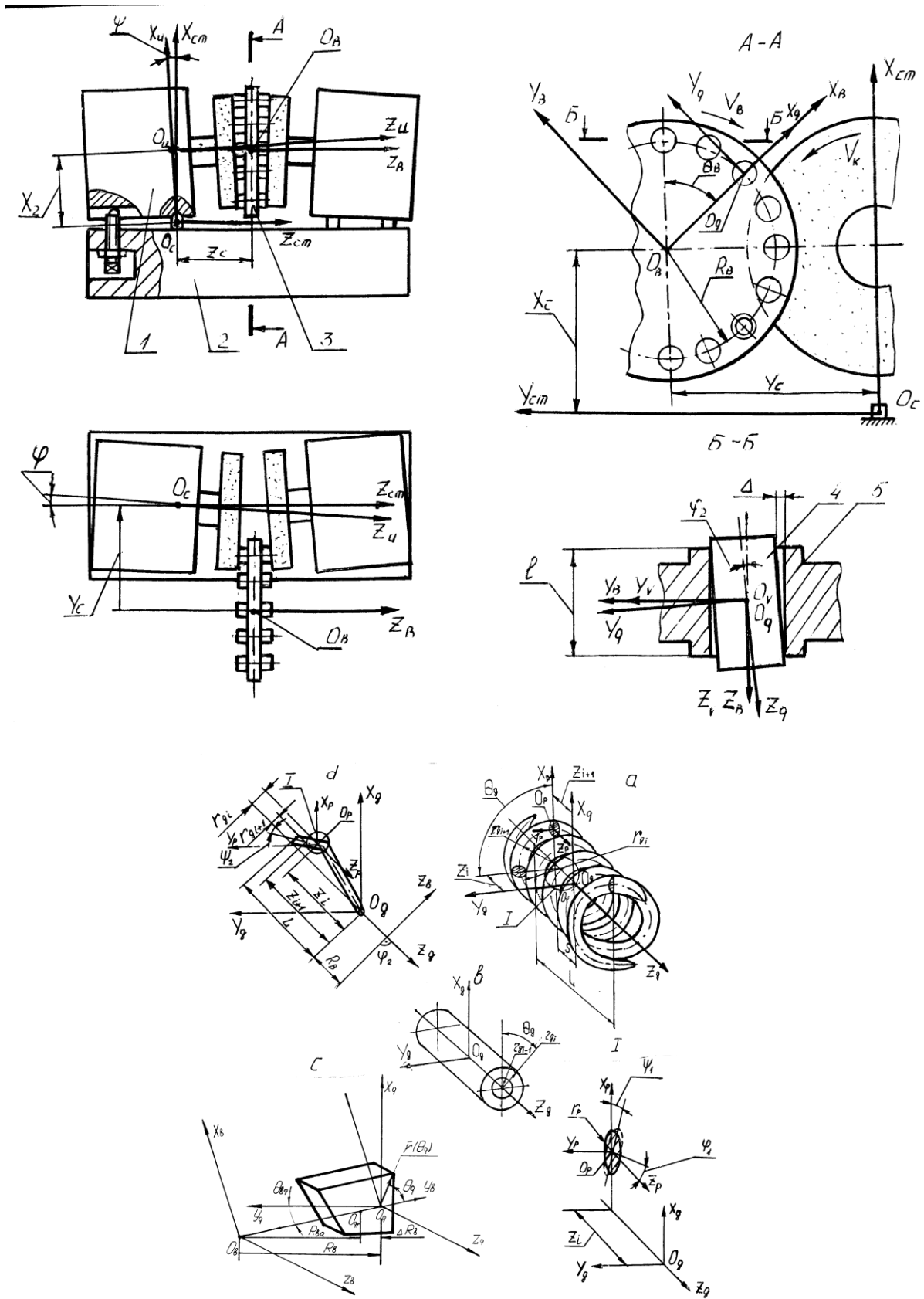


Рис. 2 Цилиндрические детали с рабочими торцовыми поверхностями

OZ_{II} вращения шлифовального круга в горизонтальной и вертикальной плоскостях

X_C, Y_C, Z_C - координаты начала координат O_B барабана в системе координат станины $O_C X_{cm} Y_{cm} Z_{cm}$; X_2 - вертикальная координата начала координат инструмента O_{II} относительно начала координат станины O_C , совпадающего с центром шарнира; R_B - радиус барабана; θ_B - угловой параметр; P_2 - параметр винтового движения при подаче; θ_V - угол поворота детали 4 относительно оси базовой втулки 5 в плоскости $X_6 O_6 Y_6$ при шлифовании круглых деталей; φ_2 - угол поворота оси $O_q Z_q$ детали 4 относительно оси втулки 5 за счёт наличия зазора Δ между деталью 4 и втулкой 5; θ_{Bq} - угол ориентации оси $O_q Y_q$ детали относительно радиуса R_B барабана (рис. 2,с) при шлифовании торцов некруглых деталей, которые не вращаются при обработке; ΔR_B - смещение начала координат O_q детали вдоль оси $O_B Y_B$ при совмещении оси симметрии O_{qr} минимальной проекции контура невращающейся детали на ось $O_B Y_B$, которая достигается углом ориентации θ_{Bq} .

$$\varphi_2 = \arctan \frac{\Delta}{l}, \quad (7)$$

где l - длина базовой втулки 5 (рис. 1, Б-Б).

Подставив значения $A_u(3), A_C(4), A_B(5)$ и $A_V(6)$ в выражение (2) получим матрицу перехода

$$A_{IIq} = A_1(-x_2) \cdot A_5(\psi) \cdot A_4(-\varphi) \cdot A_2(y_C) \cdot A_1(x_C) \cdot A_3(z_C + P_2 \cdot \theta_B) \times \\ \times A_6(-\theta_B) \cdot A_1(R_B - \Delta R_B) \cdot A_6(\theta_V) \cdot A_6(\theta_{Bq}) \cdot A_4(\varphi_2) \quad (8)$$

Уравнение поверхности винтовой пружины сжатия, с переменным радиусом $r_{qi}(\theta_q, z_q)$ (рис. 2, а) по координате z_q и углу θ_q , является обобщенным для цилиндрических деталей – роликов 4 (рис. 1, Б-Б); крестовин карданных валов и поршневых пальцев (рис. 2, б), некруглых твёрдосплавных пластин, (рис. 2, с), изогнутых иголок валиков и барабанов текстильных машин (рис. 2, d), сферических поверхностей.

Запись предложенного обобщённого уравнения поверхности детали в матрицах обобщённых перемещений A_i имеет вид:

$$\bar{r}_q = A_3(-Z_q + P_1 \cdot \theta_q) \cdot A_6(\theta_q) \cdot A_1(r_{qi}(\theta_q, z_q)) \times \\ \times A_5(\psi_2) \cdot A_4(\varphi_1) \cdot A_5(\psi_1) \cdot A_1(r_p(\psi_1)) \cdot e_4, \quad (9)$$

где ψ_1 - угловой параметр точки окружности радиусом $r_p(\psi_1)$ (рис. 2, I) сечения проволоки пружины относительно оси $O_p Y_p$ системы координат $O_p X_p Y_p Z_p$, оси $O_p X_p, O_p Z_p$ которой параллельны осям детали $O_q X_q$ и $O_q Z_q$, а начало координат расположено на расстоянии среднего радиуса пружины r_{qi} от оси $O_q Z_q$ (для иголок (рис. 2, d) радиус $r_p(\psi_1)$ может быть переменным по углу ψ_1 , когда их сечение имеет форму эллипса); φ_1 - угол ориентации сечения проволоки относительно оси $O_p X_p$

($\varphi_1 = \pi/2$ - для изогнутых круглых иголок (рис. 2, d), и $\varphi_1 = \arctan S / 2\pi r_{qi}$ - угол подъёма винтовой линии пружины (рис. 2, а), где S - её шаг); ψ_2 - угол поворота вокруг оси $O_p Y_p$ ориентированного вокруг оси $O_p X_p$ сечения проволоки (ψ_2 - угол наклона иголок, рис. 2, d); θ_q - угловой параметр; P_1 параметр винтового движения детали; Z_q - координата вдоль оси детали; $e_4 = (0,0,0,1)^T$.

Подставим выражения (8) и (9) в (1) получим радиус-вектор точки поверхности детали в системе координат инструмента.

Матричная запись уравнения поверхности круга (рис. 1) имеет вид

$$\bar{r}_{II} = A_3(z_i) \cdot A_6(\theta_k) \cdot A_2(R_i) \cdot e_4, \quad (10)$$

где R_i - радиус сечения круга в пределах i -той точки, z_i - её осевая координата; θ_k - угловой параметр.

Решив (10) получим радиус-вектор \bar{r}_u точек поверхности круга. Для точек касания поверхностей детали и круга, из условия $\bar{r}_{II} = \bar{r}_{IIq}$ находим координаты Z_q точек торцевой поверхности и определяем её погрешность формообразования. Для этого координаты точек торцевой поверхности представим в виде матрицы [3], столбцы которой выражают координаты осевых сечений торцевой поверхности детали, а строки – координаты, расположенные на окружности одного радиуса. При шлифовании торцов некруглых деталей максимальный радиус r_{\max} равен радиусу её внешнего контура. В матрице для радиусов, которые выходят за внешний и внутренний контуры детали, координаты $Z_q = 0$. Шаг Δr разбиения в радиальном направлении зависит от требуемой точности торцевой поверхности, формы её наружного контура и может быть равномерным и неравномерным на участках различной точности.

Методика [3] предполагает расчёт торцевого биения Δ_1 , непрямолинейности Δ_2 профиля осевого сечения торца детали, неплоскостности Δ_3 и неперпендикулярности Δ_4 базовой плоскости к оси детали.

Максимальное торцевое биение

$$\Delta_{1\max} = Z_{q\max} - Z_{q\min}, \quad (11)$$

где $Z_{q\max}$ и $Z_{q\min}$ - максимальная и минимальная координаты точек торцевой поверхности вдоль оси детали, расположенные на окружности радиусом r_{qn} , где $r_{\min} \leq r_{qn} \leq r_{\max}$.

Максимальную неплоскостность $\Delta_{3\max}$ и непрямолинейность $\Delta_{2\max}$, как наибольшее расстояние от точек действительной поверхности (Δ_2 - осевого профиля детали) до прилегающей плоскости (Δ_2 - прямой), находят из выражения

$$\Delta_{3\max} = \cos \alpha_q \cdot (Z_{nl}(n_o, k_o) - Z_q(n_o, k_o)), \quad (12)$$

где $Z_q(n_o, k_o)$ - радиус точки детали с максимальным отклонением от прилегающей плоскости (Δ_2 - прямой); α_q - угол между нормалью к базовой плоскости (Δ_2 - прямой) и осью Z .

$$\Delta_4 = 2r_{\max} \cdot \sin \alpha_q, \quad (13)$$

где r_{\max} - максимальный радиус внешнего контура детали.

Выполнено теоретическое исследование геометрической погрешности формообразования торцов цилиндрических деталей профилированным и ориентированным инструментом.

Исследование на ЭВМ математической модели (1-13) показали, что при шлифовании плоским торцом круга торцов крестовин карданных валов с увеличением углов ориентации φ и ψ погрешность увеличивается. Так при $\varphi = -0.09^\circ$, $\psi = 0.06^\circ$, торцевое биение $\Delta_1 = 0.02$ мм, непрямолинейность $\Delta_2 = 0.013$ мм, неплоскостность $\Delta_3 = 0.018$ мм, неперпендикулярность торца $\Delta_4 = 0.022$ мм. При $\varphi = -0.25^\circ$, $\psi = 0.2^\circ$ - $\Delta_1 = 0.036$ мм, $\Delta_2 = 0.03$ мм, $\Delta_3 = 0.033$ мм, $\Delta_4 = 0.038$ мм.

Вычислительные эксперименты на ЭВМ геометрической погрешности обработки новым способом показали, что при шлифовании торцов крестовин карданных валов, которые фиксируются в призмах в процессе формообразования, минимальная расчётная погрешность получена при $R_B = R_{Ba}$. Так, при $\varphi = -0.25^\circ$, $\psi = 0.2^\circ$ получены $\Delta_1 = 0.016$ мм, $\Delta_2 = 0.015$ мм, $\Delta_3 = 0.017$ мм и $\Delta_4 = 0.018$ мм. R_{Ba} - радиус траектории движения алмаза при правке круга.

При исследовании точности деталей, которые вращаются в процессе формообразования торцов (поршневые пальцы, втулки) относительно своих осей, перемещаемых в зону обработки по дуге окружности $R_B = R_{Ba} - r_{qi}$ - получена погрешность $\Delta_1 = 0.01$ мм, $\Delta_2 = 0.006$ мм, $\Delta_3 = 0.009$ мм, при $\varphi = -0.09^\circ$, $\psi = 0.06^\circ$ и $\Delta_1 = 0.02$ мм, $\Delta_2 = 0.016$ мм, $\Delta_3 = 0.019$ мм, при $\varphi = -0.25^\circ$, $\psi = 0.2^\circ$.

Внедрение нового способа шлифования на Черниговском заводе «Агрореммаш» при обработке торцов поршневых пальцев повысило производительность в 1, 3 раза, геометрическая погрешность Δ_1 уменьшилась в 1.8 раза по сравнению с обработкой плоским торцом круга без вращения детали.

Разработаны обобщённые математические модели, описывающие поверхности цилиндрических деталей и формообразующие системы станков для шлифования торцов, которые дают возможность определить точность формообразования размерных деталей.

Список литературы: 1 Кальченко В. В. Глубинное шлифование игольчатой поверхности ориентированным кругом. Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков, 1999, №54. - с. 130-134. 2. Лурье Г. Б., Комиссаржевская В. А. Шлифовальные станки и их наладка. М.Ж «Высшая школа», 1976, 415с. 3. Кальченко В. В. Определение геометрической погрешности шлифования торцов профилированным и ориентированным инструментом // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение, №37, 1999. – с. 138-142.