

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

### ШЛИФОВАНИЕ ВЫПУКЛЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ ОХВАТЫВАЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ЕГО И ДЕТАЛИ

*The universal way of grinding convex shaped of surfaces of rotation on machine tools with numerical program management by the covering tool of the simple form and 3D geometrical models which describe the form of the processed surface with crossed axes of circles and details is developed.*

Современное машиностроение развивается в направлении увеличения роли автоматизированного оборудования, в частности станков с ЧПУ. Поэтому в теории формообразования становится актуальной задача определения форм поверхностей деталей, обработанных заданным инструментом при выбранной схеме формообразования, особенно применительно к обработке криволинейных поверхностей [1]. Одним из направлений расширения технологических возможностей станков с ЧПУ, повышения производительности при обработке выпуклых криволинейных поверхностей, является применение охватывающих инструментов, у которых в качестве исходной поверхности принята внутренняя поверхность вращения. В работе [2] приведены схемы обработки и геометрические модели формообразования выпуклых криволинейных поверхностей охватывающимлезвийным инструментом при параллельных осях его и детали.

Разработана [3] общая трехмерная (3D) геометрическая модель, описывающая различные обрабатываемые поверхности при шлифовании со скрещающимися осями кругов и деталей. На базе общей модели [3] получена [4] частная 3D модель процесса шлифования выпуклых торовых поверхностей на станках с ЧПУ со скрещающимися осями круга и детали. В результате исследований данной модели разработан новый производительный способ шлифования торовых поверхностей периферией профилированного круга, но его эффективное применение ограничивается минимальной партией обрабатываемых деталей из-за специальной профильной правки круга.

С целью повышения универсальности и производительности охватывающего шлифования криволинейных выпуклых поверхностей вращения на станках с ЧПУ, необходимо разработать 3D модели процесса формообразования различных образующих участком торовой поверхности круга с радиусом  $\rho$  (рис. 1).

Трехмерная геометрическая модель рабочей выпуклой торовой поверхности  $\bar{r}_u$  шлифовального круга 1 в матрицах  $M_i$  обобщенных перемещений [5], имеет вид

$$\bar{r}_{u(\theta_k, \psi)} = M_6(\theta_k) \cdot M_1(R) \cdot M_5(\psi) \cdot M_1(-\rho) \cdot e_4, \quad (1)$$

где  $\bar{r}_u$  – радиус-вектор точек торовой поверхности круга в его системе координат;  $M_1$  – матрица линейных перемещений вдоль оси X;  $M_5$ ,  $M_6$  – матрицы угловых поворотов относительно осей Y, Z [5];  $\rho$  – радиус торовой поверхности круга, полученный профилированием;  $\psi$  – угловой параметр точки образующей его осевого сечения;  $R$  – радиус, который определяет положение центра O радиуса  $\rho$  относительно оси круга;  $\theta_k$  – угловой параметр, определяющий положение точки на поверхности круга 1;  $e_4 = (0,0,0,1)^T$  – координаты текущей точки поверхности круга.

Для описания 3D модели формообразования выпуклых криволинейных поверхностей вращения с различной формой образующей необходимо получить уравнение, которое определяет линию контакта

$$\bar{V}_k \cdot \bar{n}_k = 0, \quad (2)$$

где  $\bar{V}_k$  – вектор скорости относительного движения круга в системе координат детали;  $\bar{n}_k$  – единичный вектор нормали к поверхности круга.

Для определения векторов касательных к поверхности круга, при нахождении вектора нормали к ней, необходимо дифференцировать радиус-вектор  $\bar{r}_{u(\theta_k, \psi)}$  (1) поверхности круга по обеим параметрам  $\theta_k$  и  $\psi$ . Для определения вектора  $\bar{V}_k$  необходимо перенести радиус-вектор  $\bar{r}_{u(\theta_k, \psi)}$  в систему координат детали и дифференцировать по времени.

$$\bar{r}_{qu(\psi_q, x_c, y_c, z_c, \theta_k, \psi)} = M_5(\psi_q) \cdot M_1(\pm X_c(\psi_q)) \times \\ \times M_2(\pm Y_c(\psi_q)) \cdot M_3(-Z_c) \cdot \bar{r}_u(\theta_k, \psi), \quad (3)$$

где  $\bar{r}_{qu}$  – радиус-вектор точек обрабатываемой выпуклой криволинейной поверхности вращения;  $M_2$ ,  $M_3$  – матрицы линейных перемещений вдоль осей Y, Z [5];  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$  – координаты начала координат  $O_n$  (рис. 1) круга 1 в системе координат детали 2.

В уравнении (3) координата  $Z_c = \text{const}$ , в процессе формообразования определенной криволинейной поверхности вращения, а координаты  $X_c(\psi_q)$  и  $Y_c(\psi_q)$  зависят от формы её образующей. Например, при формообразовании методом огибания образующей в виде эллипса, уравнение функциональных связей имеет вид

$$Y_c - p \cdot \psi_q = 0, \quad (4)$$

$$\frac{X_c^2}{a^2} + \frac{Y_c^2}{b^2} = 1, \quad (5)$$

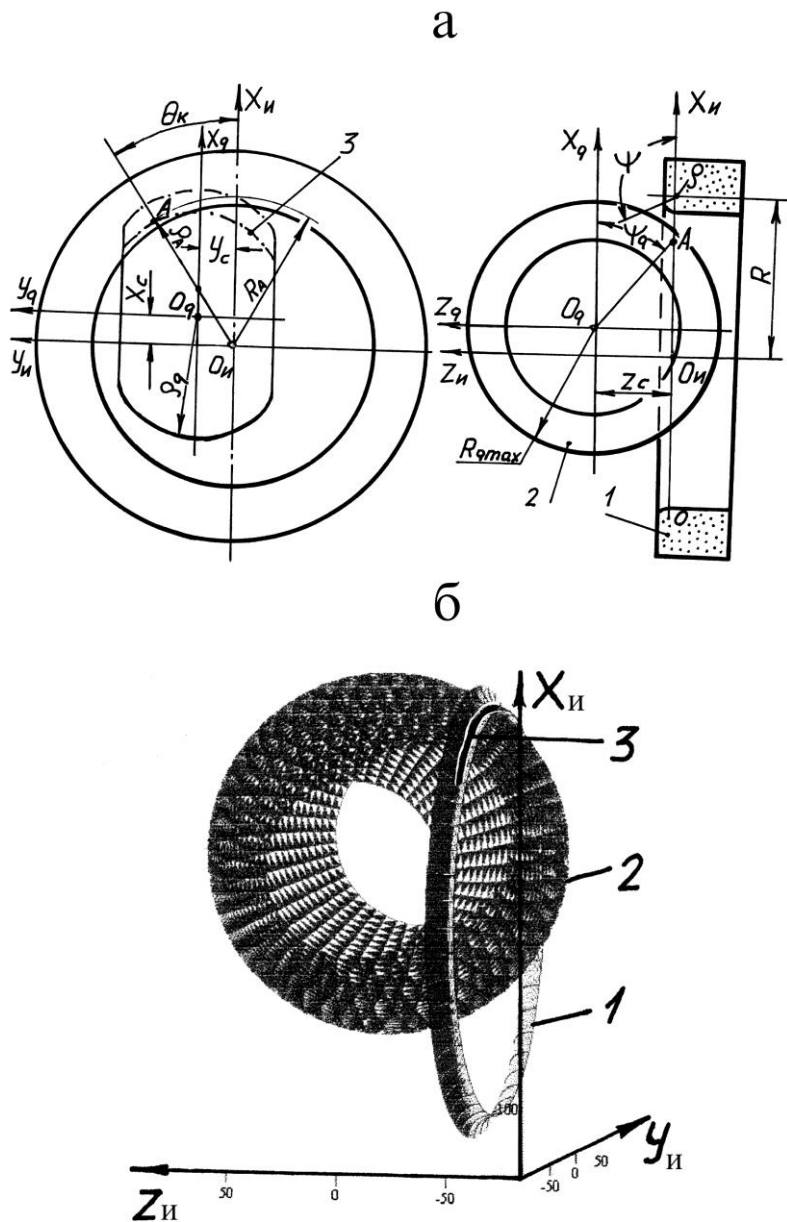


Рисунок 1 - Схема шлифования криволинейных поверхностей вращения охватывающим инструментом

где  $p$  – параметр винтового движения круга 1 относительно детали 2, связанный с подачей  $S$  вдоль образующей на один оборот детали соотношением  $p=S/2\pi$ ;  $a$  и  $b$  – половины большей и малой осей эллипса.

Подставив в уравнение эллипса (5) выражение  $Y_c$  из соотношения (4), получим зависимость  $X_c$  от  $\psi_q$ .

С учетом полученных зависимостей, в уравнении (3) угловой параметр  $\psi_q$  единственный, который изменяется во время обработки, и при определении вектора  $\bar{V}_k$  относительной скорости,  $\bar{r}_{qi}$  (3) дифференцируют по параметру  $\psi_q$ .

Разработана программа в пакете Math CAD [6], которая дает возможность рассчитывать положения линии контакта 3 (рис. 1, б) на поверхности круга 1 в зависимости от текущих значений координат  $X_c$ ,  $Y_c$  и подачи  $S$  круга вдоль криволинейной образующей детали. При вращении линии контакта 3 вокруг оси детали на угол  $2\pi$ , получаем форму обработанной поверхности.

Данная 3D модель описывает процесс формообразования методом огибания различных выпуклых криволинейных поверхностей вращения, у которых максимальный радиус кривизны  $R_A$  образующей детали (рис. 1, а) меньше текущего охватывающего радиуса  $R_A$  круга 1.

Если в процессе шлифования  $X_c, Y_c, Z_c$  – константы, то формообразование криволинейных образующих осуществляется методом копирования.

При этом радиус кривизны  $\rho_q$  (рис. 1, а) осевого сечения детали можно получить в пределах

$$\rho_q = R_{q\max} \dots \infty, \quad (6)$$

изменяя координату

$$Z_c = 0 \dots R_{q\max} + \rho, \quad (7)$$

где  $R_{q\max}$  – максимальный радиус (рис. 1) детали 2.

Для определенного значения  $Z_c$ , при  $Y_c=0$  и

$$X_c = R - \sqrt{(R_{q\max} + \rho)^2 - Z_c^2} \quad (8)$$

из уравнения (3) определяем радиус-вектор

$$\bar{r}_{qi} = (X_{\psi_q\psi_i}, Y_{\psi_q\psi_i}, Z_{\psi_q\psi_i}, 1)^T, \quad (9)$$

где  $X_{\psi_q\psi_i}, Y_{\psi_q\psi_i}, Z_{\psi_q\psi_i}$  – координаты точки обрабатываемой поверхности с независимыми параметрами  $\psi_q, \psi_i$ .

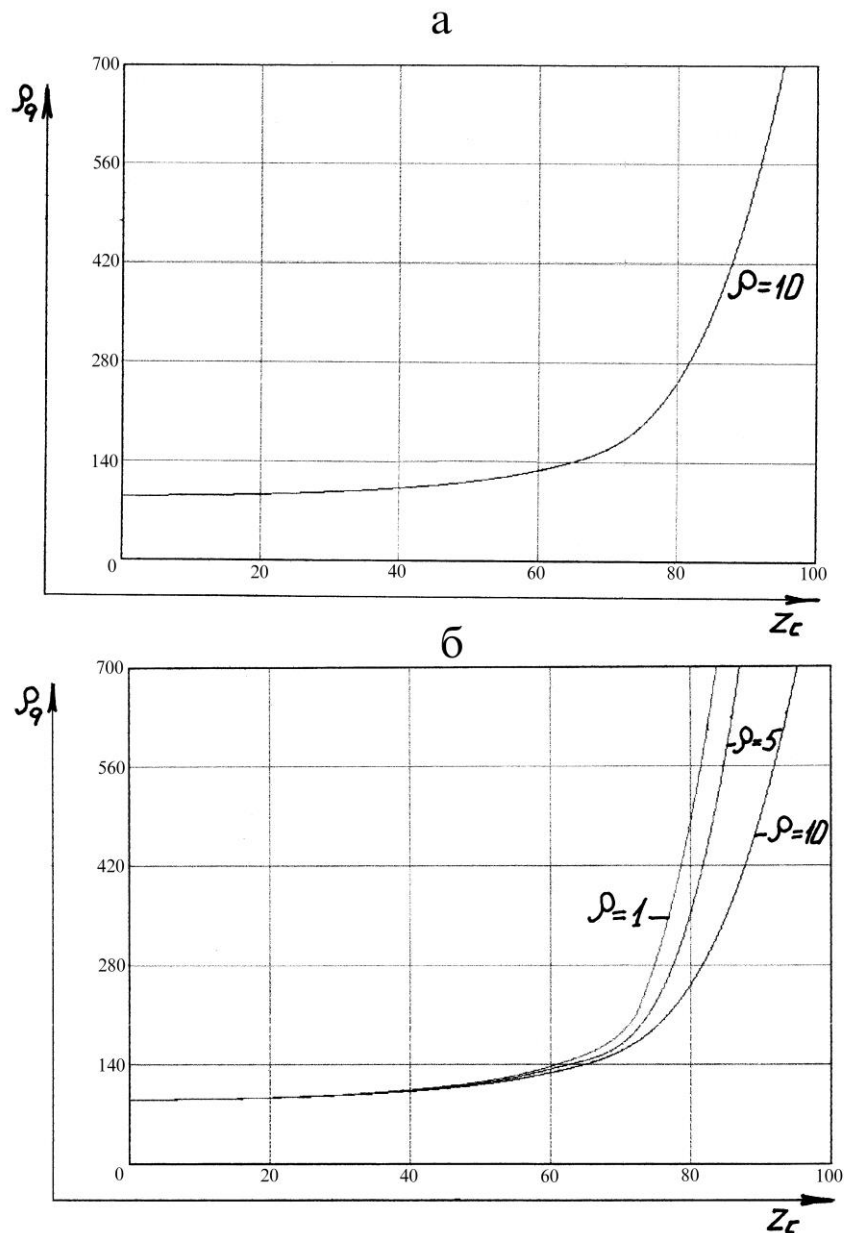


Рисунок 2 - Графики зависимости радиуса кривизны  $\rho_q$  осевого сечения детали от координаты  $Z_c$  и радиуса  $\rho$  круга

Радиус-вектор осевого сечения обрабатываемой поверхности получим из (9) при  $X_{\psi_q \psi_i} = 0$

$$\vec{r}_{qoi} = (0, Y_{qi}, R_{qi}, 1)^T, \quad (10)$$

где  $R_{qi} = Z_{\psi_q \psi_i}$  – радиус осевого сечения детали для  $i$ -той точки профиля;

$$Y_{qi} = Y_{\psi_q \psi_i}.$$

При помощи метода нелинейной регрессии [6] массив точек осевого сечения профиля детали, координаты которых определены из выражения (10), были заменены на дуги окружностей со средним радиусом кривизны  $\rho_{qi}$ . На рисунке 2 показаны графики зависимостей  $\rho_{qi}$  от  $Z_c$  (рис. 2, а) и  $\rho$  (рис. 2, б). Анализ графиков показывает, что предложенный способ шлифования выпуклых криволинейных поверхностей вращения охватывающим кругом дает возможность высокопроизводительной обработки методом копирования на станках с ЧПУ шкивов плоскоременных передач, формовочных валков трубопрокатных станов и других деталей. При  $X_c=0$  и  $R-\rho \leq R_{qmax}$  осуществляется высокопроизводительное и точное [7] шлифование сферических поверхностей методом пересекающихся осей.

Дальнейшие исследования процесса формообразования целесообразно проводить в направлении последовательного шлифования периферией и охватывающей частью инструмента с одной установки

Разработан универсальный способ шлифования выпуклых криволинейных поверхностей вращения на станках с ЧПУ охватывающим инструментом простой формы и 3D геометрические модели формообразования со скрещивающимися осями кругов и деталей.

**Список литературы:** Равская Н.С., Родин П.Р. Основы теории формообразования поверхностей при механической обработке // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт», Машиностроение № 33. 1998. - С. 74-82. 2. Родин П.Р., Линкин Г.А., Титаренко В.Н. Обработка фасонных поверхностей на станках с числовым программным управлением. Киев, «Техника», 1976, 200 с. 3. Кальченко В.В. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ „ХПІ”. - Харків, 2001- Вип. 1 (4) – С. 149-153. 4. Кальченко В.В. Шліфування опуклих торових поверхонь на верстатах з ЧПК з перехрещеними осями круга і деталі // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / - Вип. 12. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 261 – 267. 5. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 6. Дьяконов В. Math CAD 2000: Учебный курс СПб: Питер, 2000. – 592. 7. Кальченко В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.

Поступила в редколлегию 14.07.03  
Представлена д.т.н., проф. Перепелицей Б.А.