

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

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

The new mode of grinding by one circle of concave and convex curvilinear surface of revolutions raising efficiency is designed at the expense of an approximation of radiuses of curvature of a part and circle on coordinate of handling. The geometrical sample piece circumscribing formation of the shape by one circle of different concave and convex curvilinear surfaces is designed common 3D. The method of process control of grinding on machine tools with NPM, supplying an optimum position of a circle is proposed during handling.

В работе [1] определены основные направления развития теории формообразования поверхностей при механической обработке, показано, что задача определения форм поверхностей деталей, обработанных заданным инструментом при выбранной схеме формообразования, является актуальной, особенно при обработке криволинейных поверхностей на станках с ЧПУ. Разработаны [2] трехмерные геометрические модели процессов съема припуска, формообразования и профилирования абразивных кругов при глубинном и скоростном шлифовании криволинейных поверхностей вращения со скрещивающимися осями круга и детали. Предложен [2] новый способ шлифования и метод управления процессом на станках с ЧПУ, который повышает производительность и качество обработки крупногабаритных деталей, например трубопрокатных валков, за счет разгрузки формообразующего участка периферии круга его угловой ориентацией. Приведены [3] преимущества шлифования неполных малогабаритных выпуклых сферических поверхностей охватывающим инструментом, у которого формообразующая окружность располагается в плоскости торца чашечного круга, что не учитывает ее изменение, в результате износа, и округление режущей кромки. Рассмотрен [4] способ шлифования наружных вогнутых криволинейных поверхностей вращения цилиндрическим кругом, формообразующая наружная окружность которого расположена в плоскости его торца, параллельной оси вращения детали. В работе [4] не выполнена оптимизация положения торца круга относительно оси вращения детали и влияние его на производительность обработки. В ней не исследовано изменение диаметра формообразующей окружности из-за износа и связанной с ним погрешности обработки.

Целью работы является разработка общей 3D геометрической модели, описывающей формообразование на станках с ЧПУ наружным участком торовой поверхности с радиусом ρ_1 (рис. 1), вогнутых криволинейных поверхностей вращения, и охватывающим участком того же круга с радиусом

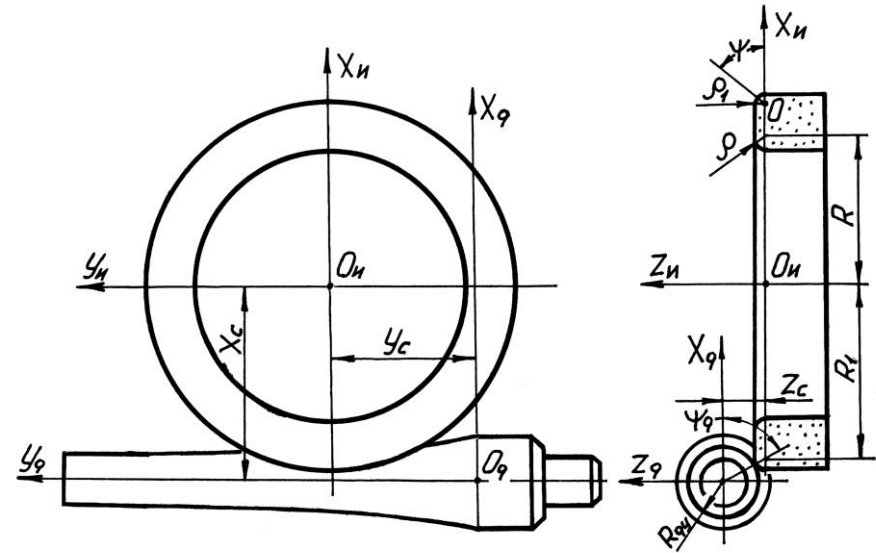


Рисунок 1 - Схема шлифования вогнутых криволинейных поверхностей вращения

ρ (рис. 1, рис. 3) – выпуклых поверхностей. На базе исследований 3D модели разработать универсальный способ шлифования, одним кругом, вогнутых и выпуклых криволинейных поверхностей вращения, повышающий производительность, увеличением длины контакта за счет приближения радиусов кривизны детали и круга по координате обработки, оптимизацией положения круга относительно оси вращения детали. Предложить метод управления процессом шлифования на станках с ЧПУ, реализующей расчетные оптимальные положения круга в процессе формообразования.

Трехмерная геометрическая модель рабочих выпуклых торовых поверхностей \bar{r}_u (охватываемой наружной с радиусами ρ_1 , R_1 (рис. 1) и охватывающей внутренней – ρ , R) шлифовального круга 1 в матрицах M_i обобщенных перемещений [5], имеет вид

$$\bar{r}_{u(\theta_k, \psi)} = M_6(\theta_k) \cdot M_1(R_j) \cdot M_5(\psi) \cdot M_1(\pm \rho_j) \cdot e_4, \quad (1)$$

где \bar{r}_u – радиус-вектор точек торовых поверхностей 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]; ρ_j – радиус торовой

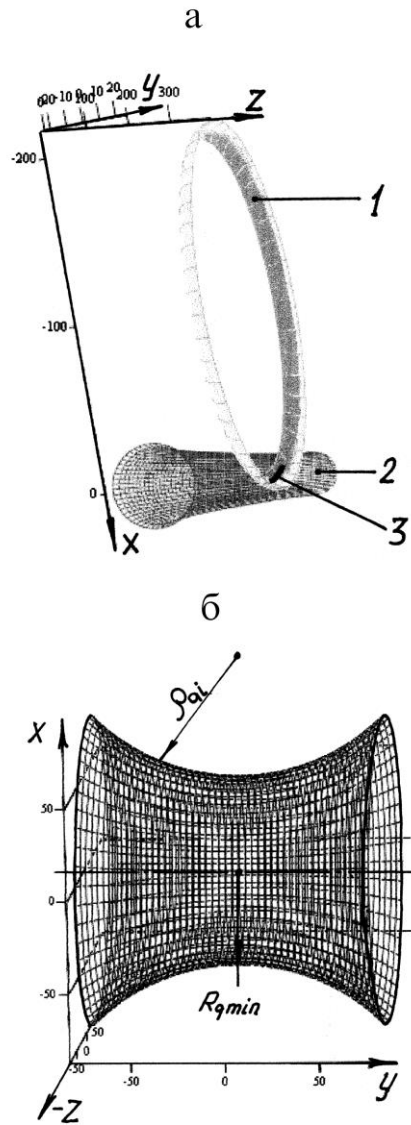


Рисунок 2 - Шлифование оправок и валков трубопрокатных станов

поверхности круга, полученный профилированием ($\rho_j = -\rho$ – для охватывающей внутренней поверхности, $\rho_j = +\rho_1$ – для охватываемой наружной поверхности (рис. 1)); ψ – угловой параметр точки образующей осевого сечения; R_j – радиус, который определяет положение центра O радиуса ρ_j относительно оси круга ($R_j=R$ – для охватывающей поверхности, $R_j=R_1$ для охватываемой); θ_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 вогнутых и 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 обоим параметрам θ_k и ψ . Для определения вектора \bar{V}_k необходимо перенести радиус-вектор $\bar{r}_{u(\theta_k, \psi)}$ в систему координат детали и дифференцировать по времени.

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

где \bar{r}_{qu} – радиус-вектор точек обрабатываемых вогнутой (рис. 1) или выпуклой (рис. 3) криволинейных поверхностей 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) угловой параметр ψ_q единственный, который изменяется во время обработки, и при определении вектора \bar{V}_k относительной скорости, \bar{r}_{qu} (3) дифференцируют по параметру ψ_q .

Разработана программа в пакете Math CAD [6], которая дает возможность рассчитывать положения линии контакта 3 (рис. 2, а), (рис. 3, а, б) на поверхности круга 1 в зависимости от текущих значений координат X_c, Y_c, Z_c и подачи S круга вдоль криволинейной образующей детали. При

вращении линии контакта 3 вокруг оси детали на угол 2π , получаем форму обработанной поверхности.

Для определенного значения Y_c , координата X_c находится из соотношения

$$X_c = R \pm \sqrt{(R_{qy} + \rho_j)^2 - Z_c^2}, \quad (4)$$

где знак плюс – для вогнутых образующих, минус – для выпуклых; R_{qy} – радиус детали в сечении, определяемом координатой y , при шлифовании методом огибания (рис. 1); при шлифовании по методу копирования, когда $y=0$, $R_{qy}=R_{qmin}$ – для вогнутых поверхностей (рис. 2, б); $R_{qy}=R_{qmax}$ – для выпуклых поверхностей (рис. 3, а).

Из уравнения (3) определяем радиус-вектор

$$\vec{r}_{qi} = (X_{\psi_q\psi_i}, Y_{\psi_q\psi_i}, Z_{\psi_q\psi_i}, 1)^T, \quad (5)$$

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

Радиус-вектор осевого сечения обрабатываемой поверхности получим из (5) при $X_{\psi_q\psi_i} = 0$

$$\vec{r}_{qoi} = (0, Y_{qi}, R_{qi}, 1)^T, \quad (6)$$

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 (6),

были заменены на дуги окружностей со средним радиусом кривизны ρ_{qi} . На рисунке 4в показан график зависимости ρ_{qi} от Z_c . Анализ графика показывает, что радиус ρ_{qi} образующей поверхности вращения, получаемой в результате огибания ее в инверсионном движении относительно оси O_qY_q детали 2, поверхностью круга 1 (рис. 1, рис. 2, рис. 3) зависит от координаты Z_c . Общая 3D геометрическая модель (2) и (3) описывает процесс формообразования поверхностей вращения с вогнутыми (рис. 1, рис. 2) и выпуклыми (рис. 3) образующими методом огибания (рис. 1, рис. 2, а) и копированием (рис. 2, б) (рис. 3). В процессе шлифования по методу копирования координаты X_c, Y_c, Z_c – константы и радиус кривизны ρ_q осевого сечения детали можно получить для вогнутой поверхности в пределах

$$\rho_{q1} = R_{qmin} \dots \infty; \quad (7)$$

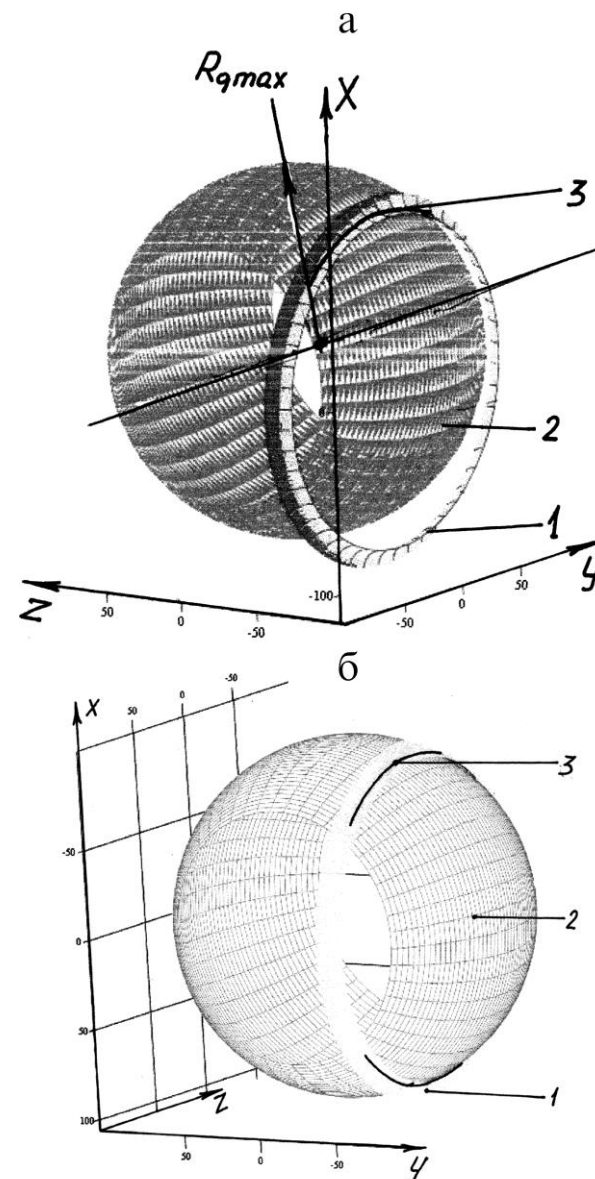


Рисунок 3 - Схема шлифования выпуклых поверхностей вращения

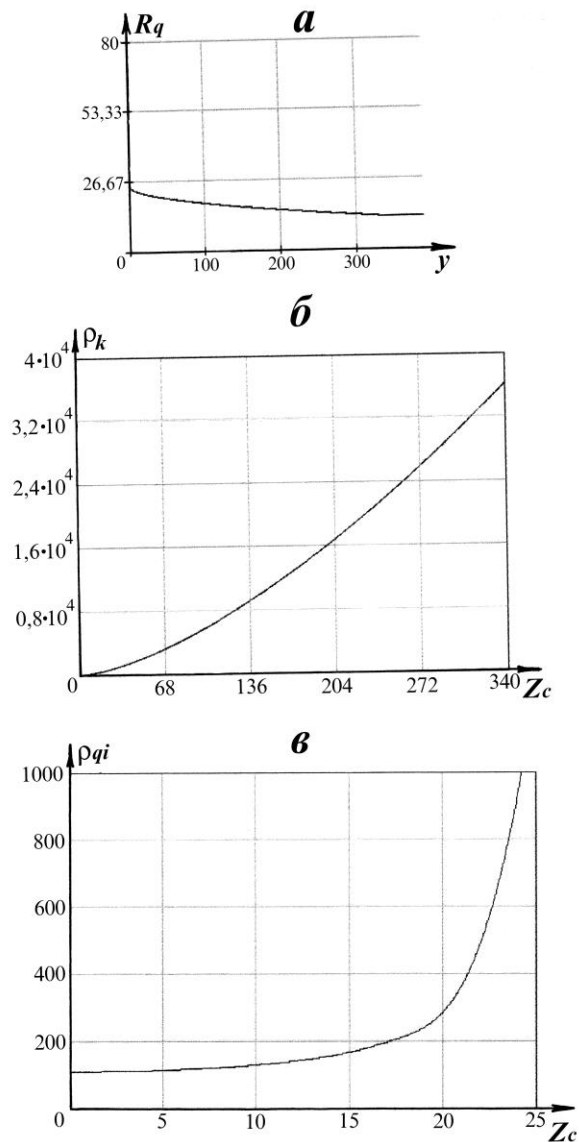


Рисунок 4 - Графики зависимости радиусов ρ_{qi} , ρ_k , R_q от координат Z_c и y

изменяя координату

$$Z_{c1} = 0 \dots R_{q \min} + \rho_1; \quad (8)$$

для выпуклых поверхностей

$$\rho_q = R_{q \max} \dots \infty; \quad (9)$$

изменяя координату

$$Z_c = 0 \dots R_{q \max} + \rho, \quad (10)$$

где $R_{q \min}$ и $R_{q \max}$ – минимальный (рис. 2, б) и максимальный (рис. 3, а) радиусы детали при $Y_c=0$.

При формообразовании криволинейных поверхностей по методу огибания для каждой осевой координаты y (рис. 1) определяется координата Z_c , для которой погрешность формообразования Δ_{\min} является минимальной

$$\rho_k - \rho_{qi} = \Delta_{\min}, \quad (11)$$

где ρ_k – номинальный радиус кривизны (рис. 4, б) образующей детали (рис. 4, а) для текущей координаты y .

На рисунке 4в показана зависимость ρ_{qi} от координаты y при обработке вогнутой криволинейной поверхности оправки стана холодной прокатки труб, у которой $y_{\max} = 330$ мм, $R_{q \max} = 25$ мм, $R_1 = 100$ мм, $\rho_1 = 10$ мм. Для $y = 10$ мм оптимальное значение Z_c , обеспечивающее минимальную Δ_{\min} (11), равно $Z_c = 24, 21$ мм. Зная, оптимальное значение Z_c для каждой координаты y определяем текущее значение X_c из выражения (4).

Разработан новый способ шлифования одним кругом вогнутых и выпуклых криволинейных поверхностей вращения, повышающий производительность за счет приближения радиусов кривизны детали и круга по координате обработки. Разработана общая 3D геометрическая модель, описывающая формообразование одним кругом различных вогнутых и выпуклых криволинейных поверхностей. Предложен метод управления процессом шлифования на станках с ЧПУ, обеспечивающий оптимальные положения круга в процессе обработки.

Список литературы: 1. 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. Кальченко В.В. 3D моделирование скоростного и глубинного шлифования криволинейных поверхностей вращения на станках с ЧПУ со скрещивающимися осями круга и детали // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. науч.- техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Вып.62. С. 59-65. 3. Кальченко В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с. 4. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента. Дис. ... д.т.н. – Харьков: ХГПУ «ХПИ», 1994. – 491 с. 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.

Поступила в редколлегию 18.07.03
Представлена д.т.н., проф. Перепелицей Б.А.