

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛИФОВАНИЯ КОЛЬЦЕВОГО ЖЕЛОБА ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ КРУГА И ТРУБОПРОКАТНОГО ВАЛКА

Are developed 3D of model of processes of pick up of a rough tolerance, formation of the shape and profiling of an abrasive wheel at grinding a ring spout of the variable profile on the machine tool from the numerical control with a controlled corner of cross of a circle and shaft. The new method of grinding of a spout and method of process control is offered, which one increases productivity and quality of handling at the expense of an approximation of radiuses of curvature of axial sections of a spout, shapes formed around, and nominal on coordinate of handling.

Шлифование валков станов холодной прокатки труб, рабочая поверхность которых представляет собой кольцевой желоб переменного профиля, осуществляют методом огибания абразивным кругом с профилем в виде дуги окружности, центр которой перемещают по эквидистанте обрабатываемого профиля [1, с. 117]. Формообразование выполняют при параллельных осях круга и валка, лежащих в одной плоскости, с точечным контактом, что снижает производительность обработки. Шлифование желоба переменного профиля усовершенствовано [1, с. 124] применением качающегося круга, радиус осевого профиля которого равен радиусу калибровочного участка желоба. Поэтому формообразование его осуществляют методом последовательного копирования с линейным контактом, что повышает производительность и качество обработки калибровочного участка. Формообразование обжимного участка, имеющего переменный профиль желоба, осуществляют по методу огибания с точечным контактом, что снижает производительность в сравнении с обработкой желоба постоянного радиусного профиля [1, с. 53]. Для повышения производительности и качества обработки всей рабочей поверхности желоба переменного профиля трубопрокатных валков разработан новый способ шлифования, по которому осевой профиль круга 1 (рис. 1) правят по радиусу r_k , равному r_{ky} на калибровочном $B_k B_k$ участке желоба при параллельных осях его $O_q Z_q$ и круга $O_n Z_n$. Обработку осуществляют продольной строчкой, когда в процессе инверсионного движения круга 1 относительно оси валка 2 угол ψ скрещивания их осей изменяют, приближая радиус кривизны r_k осевого сечения, формообразуемого кругом желоба к текущему, номинальному радиусу кривизны желоба переменного профиля. На участке $B_o B_k$ разрыва рабочего желоба переменного профиля круг дискретно поворачивают относительно оси $O_n X_n$, совпадающей с центрами O переменных радиусов r_o желоба на угол $\Delta\varphi_{qi}$, обеспечивая получение требуемой высоты R_a микронеровностей.

Для повышения эффективности шлифования желоба по новому способу (рис. 1) необходимо разработать трехмерные математические модели профилирования абразивного круга, съема припуска и формообразования и на их базе создать метод управления процессом шлифования на станках с ЧПУ, который повысит производительность и качество обработки за счет приближения радиусов кривизны r_k осевых сечений желоба, формообразуемых кругом, и r_{zn} (рис. 1, а) – номинальных по координате обработки желоба. В матрицах M_j обобщенных перемещений, трехмерную геометрическую модель рабочей поверхности \vec{r}_i шлифовального круга 1, в его системе координат $O_n X_n Y_n Z_n$ (рис. 1, А-А), при обработке кольцевого желоба переменного профиля трубопрокатного валка 2, получим в виде

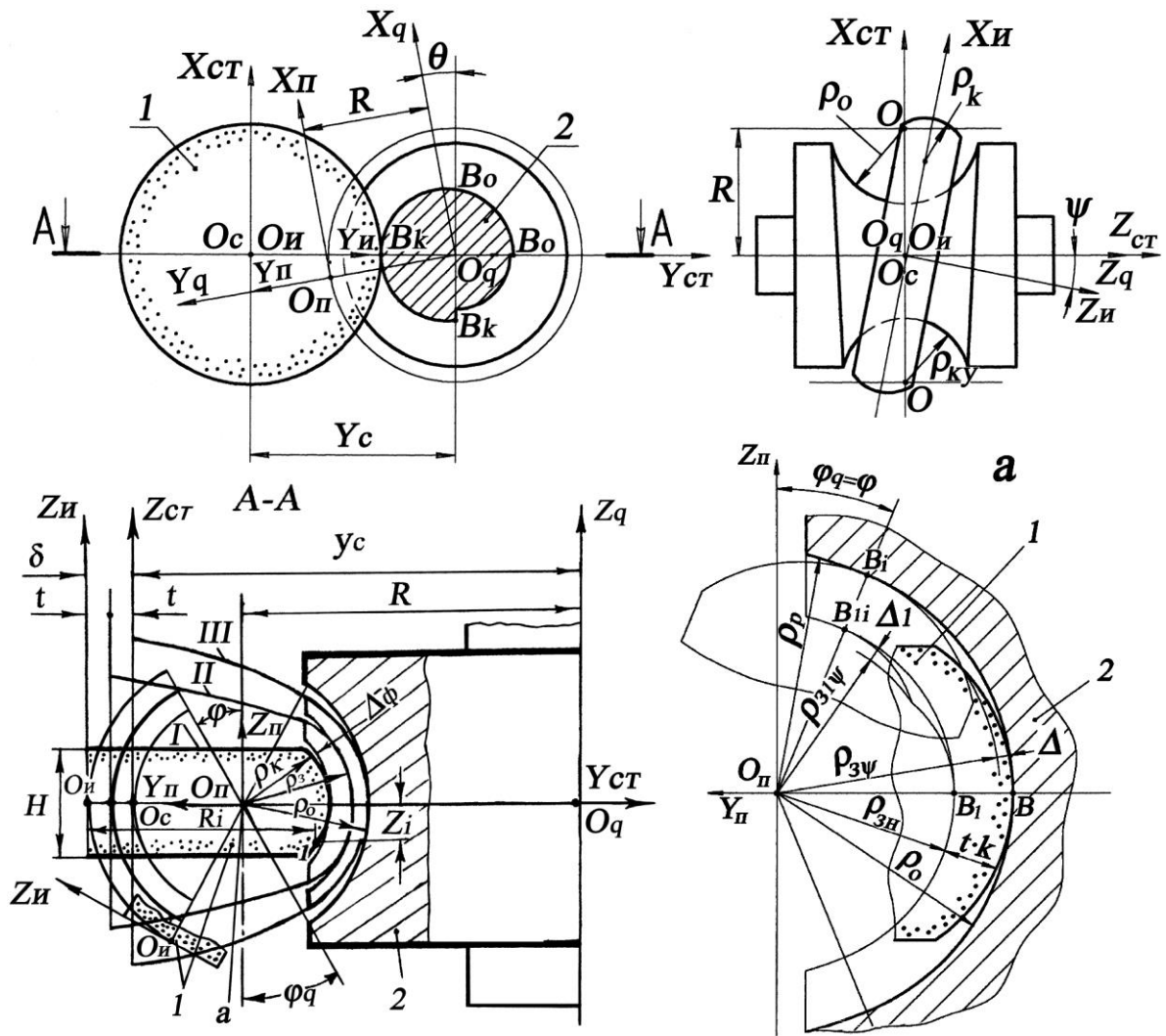


Рисунок 1 – Схема шлифования кольцевого желоба переменного профиля

$$\bar{r}_i = M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_1(R_i) \cdot e_4, \quad (1)$$

где R_i – радиус осевого сечения круга 1 в пределах i -ой точки профиля; Z_i – его осевая координата; θ_k – угловой параметр круга; $e_4 = (0, 0, 0, 1)^T$.

Радиус-вектор осевого сечения круга \bar{r}_{i0} , в системе координат $O_{п}X_{п}Y_{п}Z_{п}$, где ось $O_{п}X_{п}$ совпадает с центром радиуса ρ_3 заготовки (рис. 1, A-A), равен

$$\bar{r}_{3u} = M_2(y_c - a_{\theta} \cdot \theta + t \cdot k - R) \cdot \bar{r}_{i0}, \quad (2)$$

где $\bar{r}_{i0} = (0, R_i, Z_i, 1)^T$ – радиус-вектор осевого сечения круга в его системе координат; R – радиус начала координат $O_{п}$, совпадающего с центрами O радиусов ρ_o (рис. 1) желоба переменного профиля, в системе координат $O_qX_qY_qZ_q$ детали; t – глубина резания на один поперечный проход вдоль радиусного профиля желоба; k – число поперечных проходов круга 1 при съеме общего припуска δ ; θ – угловой параметр, определяющий положение оси O_qX_q , при повороте ее относительно оси O_qZ_q детали; Y_c – координата начала координат O_q трубопрокатного валка 2 в системе координат $O_cX_{ст}Y_{ст}Z_{ст}$ станы; a_{θ} – постоянная архимедовой спирали на j -том, продольном участке желоба переменного профиля.

$$a_{\theta} = \frac{\rho_{nj} - \rho_{kj}}{\theta_j}, \quad (3)$$

где ρ_{nj} и ρ_{kj} – начальный и конечный радиусы j – того участка желоба; θ_j – соответствующий им центральный угол, где a_θ является постоянной.

Радиус кривизны ρ_{ki} (рис. 1, А-А) осевого сечения круга в системе координат $O_{\Pi}X_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$ находят из соотношения

$$\rho_{ki} = \sqrt{R_{zi}^2 + Z_{zi}^2}, \quad (4)$$

где R_{zi} и Z_{zi} – радиус круга и его осевая координата определяются из радиус-вектора \bar{r}_{3i} (2)

$$\bar{r}_{3i} = (0, R_{zi}, Z_{zi}, 1)^T. \quad (5)$$

Радиус кривизны ρ_k (рис. 1, А-А) осевого сечения круга зависит от угла ψ его поворота при правке. При $\psi = 0$, $\rho_k = \rho_{ky}$ – калибровочного участка желоба (рис. 1), линия контакта его и круга лежит в горизонтальной плоскости. При такой правке, с увеличением текущего угла ψ скрещивания осей, радиус кривизны осевого сечения элементарного участка желоба, формообразуемого кругом в инверсионном движении его относительно оси валка, возрастает. Это дает возможность управлять текущим радиусом кривизны ρ_3 осевого сечения обрабатываемого желоба переменного профиля в процессе съема припуска δ и формообразования (рис. 1, А-А).

3D модель наружного кольцевого желоба переменного профиля получим в виде

$$\bar{r}_{qu} = M_6(\theta) \cdot M_2(-y_c + a_\theta \cdot \theta - t \cdot k) \cdot M_4(\varphi) \times \quad (6)$$

$$\times M_5(\pm\psi) \cdot M_3(Z_i) \cdot M_6(\theta_k) \cdot M_1(R_i) \cdot e_4$$

$$\bar{N}_k \cdot \bar{V}_k = \left(\frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial i} \times \frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial \theta_k} \right) \cdot \frac{\partial \bar{r}_{qu}}{\partial \tau_k} = 0, \quad (7)$$

где \bar{r}_{qu} – радиус-вектор точек наружной обрабатываемой поверхности кольцевого желоба переменного профиля; 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 [2]; φ – угол поворота оси $O_{\Pi}Z_{\Pi}$ вращения круга 1 (рис. 1, А-А) в горизонтальной плоскости при формообразовании осевого радиусного профиля желоба, определяемого угловым параметром φ_q образующей ρ_0 ; ψ – угол поворота оси $O_{\Pi}Z_{\Pi}$ (рис. 1) круга в вертикальной плоскости относительно оси $O_{\Pi}Y_{\Pi}$, совпадающей с нормалью к образующей в обрабатываемой опорной точке В; \bar{N}_k – вектор нормали к поверхности круга в точке с координатами i , θ_k ; \bar{V}_k – вектор скорости относительного движения круга 1 и трубопрокатного валка 2; τ_k – время поворота круга на угол θ в инверсионном движении относительно оси O_qZ_q валка. Значения других параметров в уравнении (6), аналогичны приведенным в уравнениях (1) (2).

Подставив в (6) (7) для i -той точки значение радиуса круга R_i и его осевую координату Z_i , а также величины углов поворота круга в горизонтальной ($\varphi = \varphi_q$) и вертикальной (ψ) плоскостях и относительно оси валка (θ), из (7) находят угол θ_k и за тем из уравнения (6) определяют радиус-вектор \bar{r}_{qu} точки, принадлежащей линии контакта круга и желоба трубопрокатного валка в его системе координат для данных углов θ и φ

$$\bar{r}_{qu\theta} = (X_q, Y_q, Z_q, 1)^T, \quad (8)$$

где X_q, Y_q, Z_q – координаты точки линии контакта.

Координаты опорной точки В (рис. 1, а), принадлежащей номинальной поверхности желоба ρ_0 трубопрокатного валка 2 или В₁ его заготовке, получим из уравнения (8), для заданных углов θ и φ , при максимальном значении R_{imax} радиуса профиля круга, который находится в плоскости его симметрии, где осевая координата $Z_i=0$, в его системе координат $O_{\text{n}}X_{\text{n}}Y_{\text{n}}Z_{\text{n}}$.

Для описания участка обрабатываемой поверхности желоба, получаемой за один оборот инверсионного движения круга относительно оси трубопрокатного валка, при фиксированном угле φ поворота круга в горизонтальной плоскости, необходимо в уравнения (6) (7) подставить значения θ в диапазоне: $\theta = 0 \div 2\pi$. А чтобы описать всю поверхность, получаемую при шлифовании трубопрокатного валка продольной строчкой, необходимо указать диапазон изменения угла $\varphi = \varphi_{q\text{max}} - \varphi_{q\text{min}}$, тогда радиус-вектор

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

где $X_{\theta\varphi}, Y_{\theta\varphi}, Z_{\theta\varphi}$ – координаты точки обрабатываемой поверхности желоба с независимыми параметрами θ, φ .

Радиус-вектор осевого сечения желоба переменного профиля получим из (9) при $X_{\theta\varphi} = 0$

$$\bar{r}_{qo} = (0, R_{q\theta\varphi}, Z_{q\theta\varphi}, 1)^T, \quad (10)$$

где $R_{q\theta\varphi} = y_{\theta\varphi}$ – радиус осевого сечения желоба, расположенного под углом θ , для φ -той точки образующей; $Z_{q\theta\varphi} = Z_{\theta\varphi}$ – ее осевая координата.

Радиус-вектор осевого сечения желоба (10) в системе координат $O_{\text{n}}X_{\text{n}}Y_{\text{n}}Z_{\text{n}}$ равен

$$\bar{r}_{3o} = M_2(R) \cdot \bar{r}_{qo}. \quad (11)$$

Радиус кривизны ρ_3 (рис. 1, А-А) осевого сечения обрабатываемого желоба в системе координат $O_{\text{n}}X_{\text{n}}Y_{\text{n}}Z_{\text{n}}$ определяют по формуле

$$\rho_3 = \sqrt{R_{3o}^2 + Z_{3o}^2}, \quad (12)$$

где R_{3o} и Z_{3o} – радиус осевого сечения желоба заготовки трубопрокатного валка и его осевую координату находят из выражения радиуса-вектора (11)

$$\bar{r}_{3o} = (0, R_{3o}, Z_{3o}, 1)^T. \quad (13)$$

Радиус кривизны ρ_3 (рис. 1, А-А) осевого сечения желоба заготовки зависит от текущих значений углов поворота круга φ, θ, ψ и расстояния l между осями круга $O_{\text{n}}Z_{\text{n}}$ и детали $O_{\text{q}}Z_{\text{q}}$

$$l = -y_c + a_{\theta} \cdot \theta - t \cdot k, \quad (14)$$

где $t \cdot k = \delta$ – снимаемый припуск.

При формообразовании калибровочного участка желоба трубопрокатного валка 2, когда припуск снят, $\delta=0$ (рис. 1, А-А, III), и постоянная архимедовой спирали $a_{\theta}=0$ (3), так как $\rho_{\text{nj}} = \rho_{\text{kj}}$, $l=y_c$ (14), а угол поворота круга при правке ψ_{n} равен углу поворота при формообразовании $\psi_{\text{n}} = \psi_{\text{ф}} = 0$ (рис. 1, А-А, I), радиус кривизны обрабатываемого осевого сечения желоба ρ_3 (12) равен номинальному радиусу ρ_{ky} калибровочного участка (рис. 1) и геометрическая погрешность [3] формообразования $\Delta_{\varphi} = \rho_3 - \rho_{\text{ky}} = 0$, если подача S_0 вдоль радиусного ρ_{ky} профиля, на одну продольную строку меньше высоты H круга.

$$S_0 = \rho_{\text{ky}} \cdot \Delta\varphi_q. \quad (15)$$

В процессе шлифования обжимного участка, имеющего переменный профиль ρ_0 по угловой координате θ , погрешность формообразования желоба в опорных точках В $\Delta_{\phi B} = \rho_3 - \rho_0 = 0$. При этом радиус кривизны ρ_3 (12) осевого сечения обрабатываемого желоба в опорных точках не зависит от угла ψ скрещивания осей валка и круга, так как поворот (ψ) осуществляется относительно оси, проходящей через опорную точку нормально к образующей. А в промежутке между опорными точками (рис. 1, а) радиус кривизны $\rho_{3\psi}$ (12) элементарного желоба, образуемого перемещением линии контакта (8) в инверсионном движении круга относительно валка, определяется текущим углом ψ_θ скрещивания их осей, максимальная величина которого ($\psi_{\theta\max}$) ограничивается геометрическими параметрами желоба по координате обработки. При этом погрешность формообразования Δ образующих осевых сечений обжимного участка желоба равна

$$\Delta = \rho_{3\psi} - \rho_0 \leq R_a, \quad (16)$$

где $\rho_{3\psi}$ – радиус кривизны (12) осевого сечения желоба в точке пересечения двух смежных осевых профилей элементарных желобов, получаемых от двух продольных строчек круга; R_a – требуемая высота микронеровностей на поверхности желоба.

При максимальном приближении радиуса $\rho_{3\psi}$ (12) к номинальному ρ_0 по координате обработки, за счет управления углом ψ скрещивания осей круга и валка, максимальная подача S_0 (15) на строку ограничивается (16) допускаемой шероховатостью R_a .

Определение текущего угла ψ скрещивания осей в процессе съема припуска (рис. 1, А-А, II), который обеспечивает минимальное отклонение Δ текущего радиуса кривизны ρ_3 осевого сечения желоба переменного профиля от заданного $\rho_{3н} = \rho_0 - t \cdot k$ в виде дуги окружности, осуществлялось по методике, приведенной в работе [3]. При этом в текущих опорных точках В (рис. 1, а) $\Delta = \rho_3 - \rho_{3н} = 0$, а в промежутках между ними погрешность Δ определялась из соотношения (16), для данного поперечного прохода (2) при съеме припуска δ , с учетом допускаемой высоты неровностей R_a в течение каждого прохода.

К преимуществам предложенного способа шлифования (рис. 1, а) относится возможность обработки развалки ρ_p (расширения) желоба, за одну операцию с ним, путем увеличения угла ψ скрещивания осей в конце каждого поперечного прохода вдоль образующей ρ_0 осевого сечения желоба трубопрокатного валка.

Разработаны 3D модели процессов съема припуска, формообразования и профилирования абразивного круга при шлифовании кольцевого желоба переменного профиля на станке с ЧПУ с управляемым углом скрещивания осей круга и трубопрокатного валка. Предложен новый способ шлифования желоба и метод управления процессом, который повышает производительность и качество обработки за счет приближения радиусов кривизны осевых сечений желоба, формообразуемых кругом и номинальных, по координате обработки.

Список литературы: 1. Кальченко В.И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 160 с. 2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 3. Кальченко В.В. Трехмерное геометрическое моделирование погрешности шлифования поверхностей со скрещивающимися осями кругов и деталей / Резание и инструмент в технологических системах. Межд. Научн. – техн. Сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. вып. 60. с. 90 – 95.

Поступила в редколлегию 25.06.02
Представлена докт. техн. наук Перепелицей Б.А.