

Визначення виробної поверхні дискового інструменту для чистової обробки гвинтових поверхонь черв'яків

Розглянуто питання про особливості профілювання дискового інструмента для чистової обробки черв'яків з угнутих профілем витків. Отримано рівняння поверхні дискового інструмента з урахуванням переточувань черв'ячної фрези, що складає з ним виробну пару.
профілювання, дисковий інструмент, черв'ячна фреза, виробна пара

До черв'ячних передач, що використовуються в металорізальних верстатах, пред'являються високі вимоги щодо довговічності, високої кінематичної точності, тонкого регулювання зазору, компенсації зносу та ін.

Особливий науковий і практичний інтерес для застосування у вузлах металорізальних верстатів представляють черв'ячні передачі з угнутих профілем витків черв'яка. Такі передачі відомі своєю високою навантажувальною здатністю, що може при однакових геометричних розмірах практично в два рази перевищувати відповідний показник черв'ячних передач з черв'яками типу ZA та ZI [1].

Відома черв'ячна передача з угнутих профілем витка черв'яка [2], створена на основі способу жорсткої неконгруентної виробної пари [3] має ряд особливостей, вплив яких на точність механічної обробки черв'ячних коліс і черв'яків необхідно досліджувати. Тому, вивчення та дослідження виробної поверхні дискового інструменту для чистової обробки гвинтових поверхонь черв'яків є актуальними.

Згідно з [2] на рис.1 зображено схему утворення виробної поверхні дискового інструмента.

Першим елементом жорсткої неконгруентної виробної пари, що використовується для нарізування черв'ячного колеса, є черв'ячна фреза 1 для нарізування евольвентних зубчастих коліс за ГОСТ 9324.

Другим елементом жорсткої неконгруентної виробної пари є дисковий інструмент 2, виробна поверхня якого формується дугами a_1 та b_1 гіпербол однопорожнинних гіперболоїдів обертання, що утворюються при обертанні лінійних твірних евольвентного гелікоїда черв'ячної фрези 1. Згідно з [2] виробні поверхні черв'ячної фрези і дискового інструмента є неконгруентними та мають дотик на ділільному діаметрі черв'ячної фрези в точках A_0 та B_0 [див.рис.1].

Особливістю обробки гвинтових поверхонь черв'яка такої передачі є те, що дисковий інструмент одночасно обробляє обидві сторони западини витка [2].

Згідно з [2] визначення рівняння виробної поверхні дискового інструмента проведено за допомогою матричного метода перетворення координат.

Введено такі системи координат: S_0 – нерухома система координат, пов'язана з черв'ячною фрезою; S_3 та S_4 – пов'язані з дисковим інструментом та нерухомі відносно S_0 ; S_u – пов'язана з дисковим інструментом та рухома відносно S_0 .

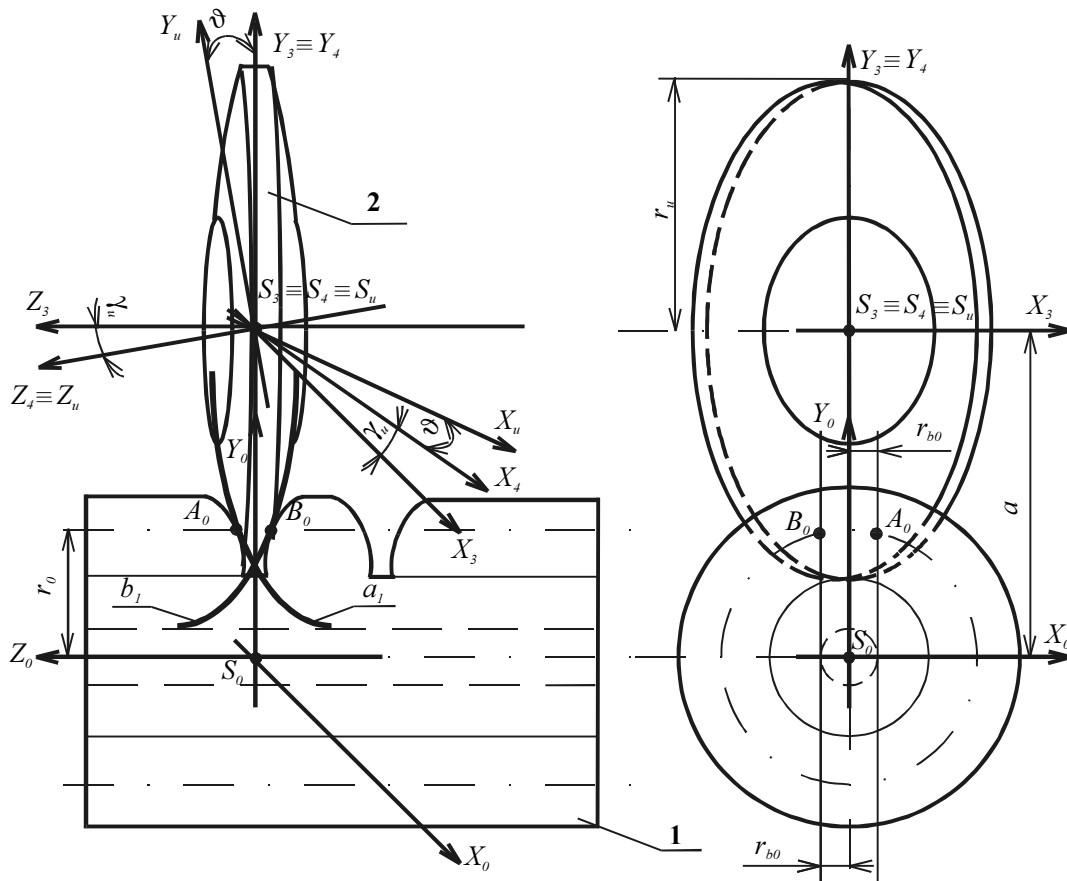


Рисунок 1 – Схема утворення виробної поверхні дискового інструмента [2]

Вісь Z_0 нерухомої системи координат співпадає з віссю черв'ячної фрези, а вісь Y_0 проходить симетрично до западини витка черв'ячної фрези.

З метою керування геометро-кінематичними характеристиками черв'ячної передачі при утворенні виробної пари поміж осями дискового інструмента та черв'ячної фрези введено кут γ_u .

Вважається, що кут γ_u має від'ємне значення, якщо поворот навколо вісі Y_4 від вісі Z_3 до вісі Z_4 виконується за напрямком руху годинникової стрілки.

Відповідно до [2] матриця переходу від системи координат S_0 до системи координат S_u буде такою:

$$M_{u0} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cos \gamma_u & \sin \vartheta & -\cos \vartheta \sin \gamma_u & -a \sin \vartheta \\ -\sin \vartheta \cos \gamma_u & \cos \vartheta & \sin \vartheta \sin \gamma_u & -a \cos \vartheta \\ \sin \gamma_u & 0 & \cos \gamma_u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де ϑ – криволінійна координата;

a – відстань між осями черв'ячної фрези і дискового інструмента при утворенні ними виробної пари.

При обертанні лінійних твірних евольвентного гелікоїду черв'ячної фрези у просторі утворюються два тотожні однопорожнинних гіперболоїди обертання [2]:

$$\frac{X^2}{r_{b0}^2} + \frac{Y^2}{r_{b0}^2} - \frac{\left(Z \mp \frac{e_0}{2} \pm \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right)^2}{(r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0})^2} = 1, \quad (2)$$

де γ_{b0} – кут підйому лінії витка черв'ячної фрези на її основному циліндрі;

r_{b0} – радіус основного циліндра черв'ячної фрези;

r_0 – ділильний радіус черв'ячної фрези.

В загальному випадку рівняння виробної поверхні дискового інструмента в роботі [2] визначено в системі координат S_u має вигляд:

$$\bar{r}_u^{(u)} = f(u, \vartheta), \quad (3)$$

де u – криволінійна координата, що визначає положення розрахункової точки на лінійній твірній.

Згідно з [2] величина u вимірюється в довжинах вектора, що направлений вздовж лінійної твірної евольвентного гелікоїда черв'ячної фрези з точки на ділильному циліндрі черв'ячної фрези в точку на основному циліндрі черв'ячної фрези. Тобто, при $u = 0$ мова йде про точку на ділильному циліндрі A_0 або B_0 в залежності від того, яка з лінійних твірних розглядається. При $u = 1$ мова йде про точку на основному циліндрі черв'ячної фрези.

В процесі обробки черв'ячних коліс проходить зношування черв'ячної фрези, що вимагає періодичних переточувань її по передній поверхні. При цьому, внаслідок наявності задніх кутів на бічних ріжучих лезах, змінюється товщина зубця черв'ячної фрези на її ділильному діаметрі, що призводить до зміни розташування точок A_0 та B_0 дотику виробної поверхні дискового інструмента та черв'ячної фрези. Ця зміна в роботі [2] не враховувалася, оскільки там йшлося про черв'ячні передачі для редукторів загальномашинобудівного призначення.

Прийmemo за мету дослідження визначення виробної поверхні дискового інструмента з урахуванням переточок черв'ячної фрези, яка складає з ним жорстку неконгруентну виробну пару.

Для досягнення мети дослідження спочатку спростимо рівняння (3) шляхом переходу від вимірювання криволінійної координати u в довжинах вектору вздовж лінійної твірної до криволінійної координати u_1 , що визначатиме положення розрахункової точки на дузі a_1 та b_1 .

Відомо, що однопорожнинний гіперболоїд обертання може бути утвореним прямою лінією або гіперболою [4], тобто підставивши $X = 0$ до (2) отримаємо канонічне рівняння гіпербол в площині Y_0Z_0 :

$$\frac{Y_0^2}{r_{b0}^2} - \frac{\left(Z_0 \mp \frac{e_0}{2} \pm \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right)^2}{(r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0})^2} = 1. \quad (4)$$

Рівняння виробної поверхні дискового знайдемо у вигляді:

$$\bar{r}_u^{(u)} = M_{u0} \bar{r}_0^{(\alpha)}, \quad (5)$$

де $\vec{r}_0^{(\partial z)}$ – радіус-вектор, що описує положення розрахункової точки на гіперболах (4) в системі координат S_0 .

В параметричній формі (4) записується так [4]:

$$\vec{r}_0^{(\partial z)} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{r_{b0}}{\cos u_1} \\ r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0} \operatorname{tg} u_1 \pm \frac{e_0}{2} \mp \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де e_0 – осьова ширина западин виробного черв'яка черв'ячної фрези, тобто відстань між точками A_0 та B_0 вздовж вісі Z_0 ;

u_1 – криволінійна координата, що визначає положення розрахункової точки на дузі a_1 та b_1 .

Для дуги a_1 значення $u_1 \geq 0$, а для дуги b_1 значення $u_1 \leq 0$. При $u_1 = 0$ мова йде про точку дотику дуг a_1 та b_1 до основного циліндра черв'ячної фрези.

Після підстановки (1) та (6) до (5) та відповідних математичних перетворень отримаємо нове рівняння виробної поверхні дискового інструмента:

$$\vec{r}_u^{(u)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{b0}}{\cos u_1} \sin \vartheta - \left[r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0} \operatorname{tg} u_1 \pm \frac{e_0}{2} \mp \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right] \cos \vartheta \sin \gamma_u \\ \frac{r_{b0}}{\cos u_1} \cos \vartheta + \left[r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0} \operatorname{tg} u_1 \pm \frac{e_0}{2} \mp \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right] \sin \vartheta \sin \gamma_u \\ \left[r_{b0} \operatorname{tg} \gamma_{b0} \operatorname{tg} u_1 \pm \frac{e_0}{2} \mp \operatorname{tg} \gamma_{b0} \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right] \cos \gamma_u \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

В (7) верхній знак відповідає розташуванню розрахункової точки на дузі гіперболи a_1 , а нижній – на дузі гіперболи b_1 .

Відомо [5], що осьова товщина зуба нової фрези на ділильному циліндрі визначається так:

$$e_0 = P_{x0} - S_{x0}, \quad (8)$$

де P_{x0} – осьовий крок нової фрези;

S_{x0} – осьова товщина зубця нової фрези на ділильному циліндрі.

Можливі два способи нарізування зубців колеса з врахуванням її переточувань.

В умовах першого способу міжосьова відстань черв'ячної фрези і нарізованого колеса зменшується після кожного переточування. Перевагою цього способу є те, що припуск на переточування фрези на товщину зуба колеса не впливає. Товщина зуба черв'ячного колеса дорівнює теоретичній. Тобто, величина e_0 є постійною і виробну поверхню дискового інструменту можна визначати на основі рівняння (7) з підстановкою величини e_0 з (8). Проте, недоліком цього способу є те, що кривина

бокової поверхні зубців нарізаних коліс змінюватиметься при переточуваннях черв'ячної фрези. Це, в свою чергу, призводить до того, що дотик зубців черв'ячного колеса та відповідного черв'яка проходить не на всій поверхні, а лише в середині зубця.

В умовах другого способу міжосьова відстань черв'ячної фрези і нарізаного колеса є постійною та незалежить від переточувань.

Кривина бокової бокової поверхні зубців нарізаних коліс є величиною постійною, але величина e_0 буде змінюватися при кожному переточуванні, що викликає необхідність профілювання дискового інструмента з урахуванням поточного значення e_0 :

$$e_{0i} = P_{x0} - S_{x0} + \Delta S_{xi}, \quad (9)$$

де ΔS_{xi} – зміна осьової товщини зубця нової фрези після i -го переточування.

Враховуючи, що при переточках зменшується висота зуба черв'ячної фрези, для ΔS_{xi} отримаємо:

$$\Delta S_{xi} = 2(h_{a0} \operatorname{tg} \alpha_{x0} - h_{ai} \operatorname{tg} \alpha_{xi}), \quad (10)$$

де α_{x0} , h_{a0} – профільний кут рейки та висота головки зубця нової черв'ячної фрези;

α_{xi} , h_{ai} – поточне значення профільного кута рейки та висота головки зубця i -разів переточеної черв'ячної фрези.

Поточне значення висоти головки зубця i -разів переточеної черв'ячної фрези залежить від величини затилування K :

$$h_{ai} = h_{a0} - kK, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт, що враховує ступінь сточеності черв'ячної фрези (для нової фрези $k = 0$, для розрахункової – $k = 0,25$, а для гранично сточеної – $k = 0,5$).

Відомо [5], що переточування на осьовий крок зубців черв'ячної фрези та на крок зубців оброблюваного колеса P_f не впливають. Тобто, $P_{x0} = \text{const}$ та $P_f = \text{const}$. Тоді поточне значення профільного кута рейки буде таким:

$$\alpha_{xi} = \arccos \left[\frac{P_f}{P_{x0} \cos \gamma_{m0i}} \right], \quad (12)$$

де γ_{m0i} – поточне значення кута підйому витків початкового черв'яка i -разів переточеної черв'ячної фрези.

На основі відомої формули, що наведена в [5], знаходимо γ_{m0i} :

$$\gamma_{m0i} = \operatorname{arctg} \left[\frac{P_{x0}}{\pi d_{m0i}} \right], \quad (13)$$

де d_{m0i} – діаметр початкового циліндра i -разів переточеної черв'ячної фрези.

Поточне значення діаметру початкового циліндра i -разів переточеної черв'ячної

фрези залежить від величини затилування K :

$$d_{m0i} = d_{m0} - 2kK, \quad (14)$$

де d_{m0} – діаметр початкового циліндра нової черв'ячної фрези.

Після підстановки (10), (11), (12), (13) та (14) до (9) та необхідних математичних перетворень отримаємо:

$$e_{0i} = P_{x0} - S_{x0} + 2 \left[h_{a0} \operatorname{tg} \alpha_{x0} - [h_{a0} - kK] \sqrt{\frac{\pi^2 d_{m0i}^2 (P_{x0}^2 - P_t^2) - P_t^2 P_{x0}^2}{P_t \sqrt{\pi^2 d_{m0i}^2 + P_{x0}^2}}} \right]. \quad (15)$$

Отримане рівняння (15) враховує вплив переточувань черв'ячної фрези на ширину западини. Мета статті досягнута.

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено, що:

1. Виробна поверхня дискового інструмента для чистової обробки витків черв'яка визначається рівнянням (7).

2. У випадку, коли міжосьова відстань черв'ячної фрези і нарізованого колеса зменшується після кожного переточування, величина e_0 є постійною і визначається з рівняння (8). Тобто, профіль дискового інструмента не змінюється.

3. У випадку, коли міжосьова відстань черв'ячної фрези і нарізованого колеса є постійною та незалежить від переточувань, величина e_0 буде змінюватися при кожному переточуванні, що викликає необхідність профілювання дискового інструмента з урахуванням зміни e_0 на основі рівняння (15).

Результати досліджень можна застосувати при профілюванні дискових інструментів для обробки гвинтових поверхонь черв'яків з угнутих профілем витків.

Список літератури

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Литвин Файдор Львович. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
2. Ковришкін М.О. Удосконалення формоутворення різанням дисковим інструментом гвинтових поверхонь черв'яків з угнутих профілем витків: дис. ... кандидата техн. наук: 05.03.01 / Ковришкін Микола Олександрович. – Кіровоград. – 2001. – 228 с.
3. Давыдов Я.С. Образование сопряженных поверхностей в зубчатых передачах по принципу жесткой неконгруэнтной производящей пары / Я.С.Давыдов // Вестник машиностроения. –1963. – №2. – С.9-13.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. – М.: Наука, 1965. – 608 с.
5. Справочник инструментальщика / [И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др.]; под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

Рассмотрен вопрос об особенностях профилирования дискового инструмента для чистовой обработки червяков с вогнутым профилем витков. Получено уравнение поверхности дискового инструмента с учетом переточек червячной фрезы, составляющей с ним производящую пару.

The question on features of the disk tool profiling for fair processing worms with a concave profile of worm is considered. The equation of the disk tool surface is received in view of sharpening the worm mill making with him making pair.