

М.О.Ковришкін, доц., канд. техн. наук, В.М.Сало, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Хамуйєла Ж.А.Герра, проф., Ph.D., Т.О.Хамуйєла, магістр

Університет Агостіно Нето (м.Луанда, Ангола)

Особливості розробки інструментального забезпечення для виготовлення нової черв'ячної передачі з угнутим профілем витка черв'яка

Розглянуто особливості розробки інструментального забезпечення для виготовлення ланок черв'ячної передачі з угнутим профілем витка черв'яка, що утворений ділянкою зворотної тригонометричної функції арктангенс. Встановлено взаємозв'язок між вибором такої ділянки та характеристиками поверхні витка черв'яка. Розроблені рекомендації щодо вибору ділянки зворотної тригонометричної функції арктангенс.

інструментальне забезпечення, черв'ячна фреза, дисковий інструмент, черв'як, угнутий профіль

Черв'ячні передачі з угнутим профілем витка черв'яка відомі своєю високою навантажувальною здатністю, яка в 1,5-2,2 рази вища за навантажувальну здатність класичних черв'ячних передач з черв'яками типу ZA, ZN, ZI [1–6]. Причиною високої навантажувальної здатності цього виду черв'ячних передач в першу чергу є геометрія контактуючих поверхонь. Як відомо [1], максимальні нормальні навантаження визначаються за формулою Герця:

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}}, \quad (1)$$

де 0,418 – емпіричний коефіцієнт [1];

q – навантаження на одиницю довжини контактної лінії;

E – приведений модуль пружності для матеріалів черв'ячного колеса та черв'яка;

$\frac{1}{\rho}$ – приведена кривина профілів зуба черв'ячного колеса та витка черв'яка.

Приведений модуль пружності для матеріалів черв'ячного колеса та черв'яка визначається залежністю [1]:

$$E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}, \quad (2)$$

де E_1 – модуль пружності матеріалу черв'ячного колеса;

E_2 – модуль пружності матеріалу черв'яка.

Для контакту опуклої та угнутої поверхонь приведений радіус кривини визначається за формулою [1,2]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}. \quad (3)$$

Аналіз (1)–(3) показує, що навантажувальна здатність черв'ячних передач значно зростає із зменшенням приведеної кривини у контакті.

В роботах [1–6] розглянуті черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка, що утворені на основі другого способу Олів'є. В умовах цього способу черв'ячна фреза для механічної обробки зубців черв'ячного колеса є точною копією черв'яка.

В роботах [1, 2] угнутий профіль витка черв'яка запропоновано утворювати дугою кола. Оскільки коло має постійну кривину, то в цих роботах вибір ділянки кола не розглядався.

В роботі [3] угнутий профіль витка черв'яка запропоновано утворювати гвинтовим рухом прямолінійного торцевого профілю, що є дотичним до напрямного циліндру.

В роботі [4] угнутий профіль витка черв'яка запропоновано утворювати дугою евольвенти кола, синусоїдальної кривої або ірраціональної функції. Усі вказані функції мають змінну кривину, проте рекомендації стосовно вибору ділянок цих функцій не розглянуто.

В роботах [5,6] угнутий профіль витка черв'яка нової черв'ячної передачі запропоновано утворювати дугою зворотної тригонометричної функції арктангенс. Така черв'ячна передача вигідно відрізняється від розглянутих тим, що надає можливість управління своєю навантажувальною здатністю. Проте синтез нової передачі проводився для загального випадку із забезпеченням вибору довільної ділянки, а тому ці роботи не містять рекомендацій щодо порівняння ділянок функції арктангенсу та впливу їх вибору на кривину активної поверхні витка черв'яка.

Таким чином, існує актуальна наукова задача щодо дослідження впливу вибору ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс на кривину активної поверхні витка черв'яка, та врахування цього впливу при розробці відповідного інструментального забезпечення.

Прийmemo за мету дослідження визначення впливу вибору ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс на кривину активної поверхні витка черв'яка.

Для досягнення мети даної роботи вирішимо наступні задачі:

- визначення кривини активної поверхні витка черв'яка в довільній точці;
- аналіз кривини активної поверхні витка черв'яка;
- розробка рекомендацій щодо вибору ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс при створенні інструментального забезпечення для виготовлення черв'ячної передачі.

Для вирішення першої задачі скористаємося визначеними в роботі [6] рівняннями ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс та виробної поверхні дискового інструменту.

Для подальших розрахунків перейдемо до криволінійних координат u, ϑ .

Згідно з [6] рівняння дуги арктангенсу в системі координат, пов'язаної з дисковим інструментом визначається так:

$$\bar{r}_p = \begin{bmatrix} u \\ c_8 \arctg(u) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де c_8 – константа.

Згідно з [6] виробна поверхня дискового інструмента визначається так:

$$\bar{r}_u = \begin{bmatrix} [c_8 \arctg(u) - d] \cos \vartheta \\ [d - c_8 \arctg(u)] \sin \vartheta \\ a_{pM} - u \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де d – відстань від центру системи координат O_u , пов'язаної з дисковим інструментом, до O_p ;

a_{pM} – величина, що в системі координат O_p визначає розташування довільної точки профілю вздовж вісі X_p .

Для подальших розрахунків запишемо рівняння поверхні дискового інструмента (5) в нерухомій системі координат, пов'язаної з стійкою:

$$\bar{r}_u^{(0)} = \begin{bmatrix} [c_8 \arctg(u) - d] \cos \vartheta + A_u - r_1 \\ [d - c_8 \arctg(u)] \sin \vartheta \\ a_{pM} - u - p \varphi_1 \cos \gamma_u \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де A_u – міжосьова відстань у верстатному зачепленні дискового інструмента з оброблюваним черв'яком;

r_1 – радіус черв'яка;

p – параметр гвинтової поверхні черв'яка;

φ_1 – кут повороту черв'яка навколо своєї вісі.

На основі рівняння (7) та відповідно до рекомендацій [1] знаходимо рівняння орта нормалі до виробної поверхні дискового інструмента в нерухомій системі координат:

$$\bar{e}_u^{(0)} = \begin{bmatrix} \frac{(1+u^2) \cos \vartheta}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \\ \frac{-(1+u^2) \sin \vartheta}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \\ \frac{c_8}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Скориставшись рівнянням (7) знаходимо швидкість відносного руху у верстатному зачепленні дискового інструмента та оброблюваного черв'яка буде таким:

$$\bar{V}_{u1}^{(0)} = \bar{P}_{u1}^{(0)} \bar{r}_u^{(0)} = \begin{bmatrix} -\cos \gamma_u \sin \vartheta [d - c_8 \arctg(u)] + \sin \gamma_u (a_{pM} - u - p \varphi_1 \cos \gamma_u) \\ -\cos \gamma_u \sin \vartheta [d - c_8 \arctg(u)] + A_u \cos \gamma_u \\ \sin \gamma_u \cos \vartheta [d - c_8 \arctg(u)] - A_u \sin \gamma_u \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $\bar{P}_{u1}^{(0)}$ – матриця з компонентами швидкості відносного руху систем координат пов'язаних відповідно з дисковим інструментом та з оброблюваним черв'яком.

Зв'язок параметрів u, ϑ, φ_1 містить рівняння зачеплення, яке можна розв'язати підставивши відповідні значення (8) та (9):

$$\bar{e}_u^{(0)} \bar{V}_{u1}^{(0)} = 0. \quad (10)$$

Згідно з [1] головні нормальні кривизни активної поверхні витків черв'яка визначаються за формулою Родрига:

$$\bar{k}_{I,II} = -\frac{\bar{e}_{r1}^{(0)}}{\bar{V}_{r1}^{(0)}}, \quad (11)$$

де $\bar{k}$ – головна нормальна кривизна;

I, II – індекси головних напрямків;

$\bar{V}_{r1}^{(0)}$ – швидкість руху контактної точки по нарізуваній поверхні;

$\bar{e}_{r1}^{(0)}$ – швидкість кінця орту нормалі.

Швидкість руху контактної точки по нарізуваній поверхні знаходимо після диференціювання рівняння (7) та відповідних математичних перетворень:

$$\bar{V}_{r1}^{(0)} = \begin{bmatrix} \sin \vartheta \left(\frac{d\vartheta}{dt} - \cos \gamma_u \right) \left[d - c_8 \arctg(u) \right] + \sin \gamma_u (a_{pM} - u - p\varphi_1 \cos \gamma_u) + \cos \vartheta \frac{c_8}{1+u^2} \frac{du}{dt} \\ \cos \vartheta \left(\frac{d\vartheta}{dt} - \cos \gamma_u \right) \left[d - c_8 \arctg(u) \right] + A_u \cos \gamma_u - \sin \vartheta \frac{c_8}{1+u^2} \frac{du}{dt} \\ -\frac{du}{dt} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Швидкість кінця орту нормалі знаходимо після диференціювання рівняння (8) та відповідних математичних перетворень:

$$\bar{e}_{r1}^{(0)} = \begin{bmatrix} \dot{e}_{r1x} \\ \dot{e}_{r1y} \\ \dot{e}_{r1z} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{де } \dot{e}_{r1x} &= \frac{1}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \left[(1+u^2) \sin \vartheta \left[\cos \gamma_u - \frac{d\vartheta}{dt} \right] + c_8 \sin \gamma_u + \right. \\ &\quad \left. + 2u \frac{(c_8)^2}{(1+u^2)^2 + (c_8)^2} \cos \vartheta \frac{du}{dt} \right]; \\ \dot{e}_{r1y} &= \frac{1}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \left[(1+u^2) \cos \vartheta \left[\cos \gamma_u - \frac{d\vartheta}{dt} \right] - 2u \frac{(c_8)^2}{(1+u^2)^2 + (c_8)^2} \sin \vartheta \frac{du}{dt} \right]; \\ \dot{e}_{r1z} &= \frac{-(1+u^2)}{\sqrt{(1+u^2)^2 + (c_8)^2}} \left[\sin \gamma_u \cos \vartheta + 2 \frac{uc_8}{(1+u^2)^2 + (c_8)^2} \frac{du}{dt} \right]. \end{aligned}$$

Зв'язок параметрів $\frac{d\vartheta}{dt}$ та $\frac{du}{dt}$ знаходять через диференціювання рівняння зачеплення (10). Тобто, перша задача є вирішеною.

Визначені з (11) після підстановки (12) та (13) головні нормальні вважаються такими: більша за модулем кривина – k_I , менша за модулем кривина – k_{II} .

Поверхня витка черв'яка з точки зору її кривини може бути трьох видів:

– опуклою, коли $k_I > 0$ та $k_{II} > 0$;

- угнутою, коли $k_I < 0$ та $k_{II} < 0$;
- опукло-угнутою, коли $k_I > 0$ та $k_{II} < 0$, або коли $k_I < 0$ та $k_{II} > 0$.

Тобто, по-перше, необхідно обирати ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс, що забезпечують угнуту ($k_I < 0$ та $k_{II} < 0$) активну поверхню витків черв'яка у будь-якій її точці.

По-друге, з двох ділянок, що забезпечують угнуту активну поверхню витків черв'яка перевагу з точки зору забезпечення більшої навантажувальної здатності має та, значення кривин якої більші за модулем.

Тобто, особливості розробки інструментального забезпечення для виготовлення нової черв'ячної передачі з угнутим профілем витка черв'яка визначатимуться наведеними вище двома підходами до вибору ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс. Обмеження на вибір ділянок може бути накладеним з точки зору технологічності відтворення виробної поверхні при профілюванні дискового інструменту та черв'ячної фрези.

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

- необхідно обирати такі ділянки дуги зворотної тригонометричної функції арктангенс, що забезпечують угнуту активну поверхню витків черв'яка у будь-якій її точці;
- з двох ділянок, що забезпечують угнуту активну поверхню витків черв'яка перевагу з точки зору забезпечення більшої навантажувальної здатності має та, значення кривин якої, розрахованих за формулою (11), більші за модулем;
- обмеження на вибір ділянок може бути накладеним тільки з точки зору технологічності відтворення виробної поверхні при профілюванні дискового інструменту та черв'ячної фрези.

Скориставшись застосованою методикою досліджень можна визначити вплив вибору ділянки дуги будь-якої іншої функції при створенні інструментального забезпечення для виготовлення черв'ячної передачі з угнутим профілем витка черв'яка.

Список літератури

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
2. Литвин Ф.Л. Новые виды цилиндрических червячных передач. - М. - Л.: Машгиз, 1962. – 102 с.
3. Бернацкий И.П. Геометрия новых разновидностей шлифуемых цилиндрических червяков с вогнутым профилем витков. – М.: Машиностроение, 1965. – 112 с.
4. Ворончихин М.А., Крапивина Г.И. К построению новых типов червячных передач с цилиндрическим червяком // Межвуз.сб.научн.тр. – Хабаровск: Хабар.политехн.ин-т. – 1979. – С.114-129.
5. Ж.А.Хамуйєла Герра, Ковришкін М.О. Синтез нових черв'ячних передач // Збірник Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип..№17. – С.190-194.
6. Ковришкін М.О., Ж.А.Хамуйєла Герра, Помазан Т.І. Інструментальне забезпечення обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка/ Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання науки та практики: досягнення та перспективи – 2007» 3-7 грудня м.Полтава. – Полтава: АНП, 2007. – С.85-88.

Рассмотрены особенности разработки инструментального обеспечения для изготовления звеньев червячной передачи с вогнутым профилем витка червяка, который образован участком обратной тригонометрической функции арктангенс. Установлена взаимосвязь между выбором такого участка и характеристиками поверхности витка червяка. Разработанные рекомендации относительно выбора участка обратной тригонометрической функции арктангенс.

Features of a tool maintenance development for manufacturing a worm gear parts with concave profile of a worm which is formed by a site of return trigonometric function arctangens are considered. The interrelation between a choice of such site and characteristics of a worm surface is established. The developed recommendations concerning a choice of return trigonometric function arctangens site.