

УДК 621.9.02:621.9.14

Грицай І.Є., д.т.н., Юрчишин Н.М., аспірант.

МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ КОРЕКЦІЇ ПРОФІЛІВ ЗУБЦІВ СИНУСОЇДАЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Актуальність проблеми. Зубчасті колеса та зубчасті передачі є складовими сучасних підйомально-транспортувальних машин та механізмів. З точки зору коефіцієнта ефективності, можливості передавання великих швидкостей і енергій, якісного та кількісного перетворення параметрів руху, зміни регульованих параметрів машин в широкому діапазоні цим передачам в найближчій перспективі не існує альтернативи.

Нарізання зубчастих коліс методом Благута [1], що розробляється та досліджується на кафедрі Технології машинобудування Львівської політехніки [2-4] є новим процесом, який відрізняється від відомих і традиційних процесів зубонарізання високою ефективністю, широкою універсальністю та низькими витратами. Формоутворення зубців у ньому забезпечується дисковою фрезою, установленою на обкочувальному зубофрезерному верстаті замість черв'ячної фрези ексцентрично. Одним недорогим інструментом – тонкою дисковою фрезою можна виготовляти колеса різних модулів та кількості зубців, при цьому цей метод дає змогу нарізати не лише циліндричні колеса, але й колеса інших видів – конічні, черв'ячні, прямо- та косозубчасті, з прямолінійними і гвинтовими зубцями. Профіль зубців в нормальному перетині при різанні без корекції кінематики процесу буде синусоїдальним, але корегуванням радіального руху фрези і швидкості різання можливе утворення інших видів профілів, зокрема евольвентного.

Разом з тим, дослідження показали, що синусоїдальний профіль в умовах такого формоутворення містить систематичні похибки, присутні цьому методу. Зокрема, товщина зубця колеса на його ділільному діаметрі зменшується залежно від ширини вершинного леза фрези, а бокова поверхня профілю зубця відрізняється від його форми при нарізанні черв'ячною фрезою на основі синусоїдального початкового контуру. В результаті цього парне зачеплення коліс з зубцями у виді потоншеної синусоїди буде непрацездатним, а синусоїдальний профіль, який утворюється в радіально – коловому методі (РКМ) Благута для нормального функціонування передачі необхідно корегувати.

Мета статті – розробити математичну модель відхилення, методику та технічні засоби корегування профілів зубців

синусоїдальних коліс, нарізаних з допомогою радіально-колового методу.

Шляхи вирішення проблеми. На основі математичного описання профілю синусоїдального зубця [5] можна відтворити парне зачеплення двох профілів коліс, які перебувають у контакті, враховуючи, що напрямки їх обертання протилежні; точка профілю одного зубця контактує з точкою, яка належить спряженому профілю і зміщена на синусоїді на 90^0 , а повороту колеса на кут φ відповідає поворот шестірні на кут $\varphi \cdot k$, де k – передавальне число передачі. В цьому випадку, виходячи з умови нормального зачеплення має впливати, що в кожній i -ій точці контакту буде виконуватися умова:

$$Y_{Ki} + Y_{IIIi} = A; \quad X_{Ki} = X_{IIIi}; \quad (1)$$

$$A = m \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{2}, \quad (2)$$

де Y_{Ki} та Y_{IIIi} – проекції радіус – векторів i – ої точки контакту колеса та шестерні на вісь Y ; X_{Ki} , X_{IIIi} – проекції цих точок на вісь X ; A – міжцентрова віддаль передачі; m – еквівалентний модуль синусоїдального зачеплення.

Проте, внаслідок систематичної похибки методу РКМ синусоїдальні профілі не забезпечують виконання умови (1) зачеплення, а рівності не витримуються. Похибку зачеплення можна визначити як різницю правих і лівих частин рівностей (1), тобто:

$$\Delta Y = A - (Y_{Ki} + Y_{IIIi}); \quad \Delta X = X_{Ki} - X_{IIIi}. \quad (3)$$

На (рис.1) наведені графіки похибок синусоїдального зачеплення від ексцентриситету (модуля) передачі з коліс, нарізаних дисковою фрезою методом РКМ. Як виходить із досліджень, найбільші відхилення профілів від теоретичної лінії зачеплення мають місце на кутах 50^0 та 230^0 синусоїди та є протилежними за знаком. Вказана похибка буде призводити до чергування надмірних зазорів та заклинювання в передачі. Для її компенсації необхідно змінювати радіус - вектор, який описує синусоїду, за законом дзеркального відображення.

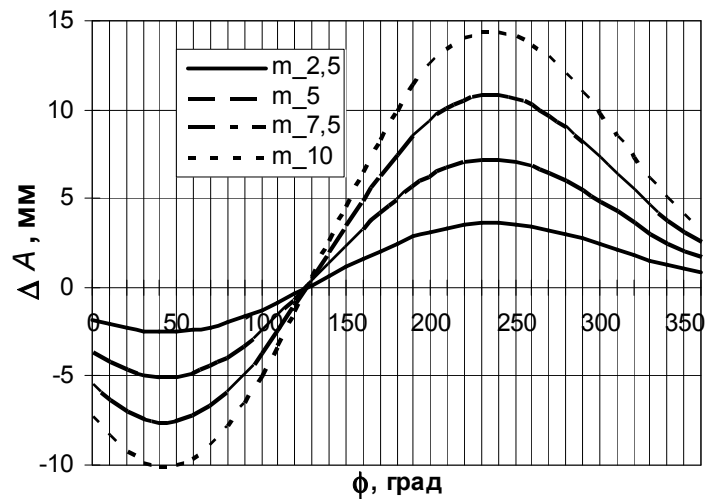


Рисунок 1-Систематична похибка синусоїдального профілю утвореного методом РКМ (модуль 2,5-10мм; кількість зубців: фрези – 20, колеса – 35, шестерні - 20).

Кінематична компенсація відхилення профілів

В роботі описано реалізацію радіально-колового методу формоутворення глобоїдальних черв'ячних коліс на токарно-затилувальному верстаті (метод в дії зображений на рисунку 2).

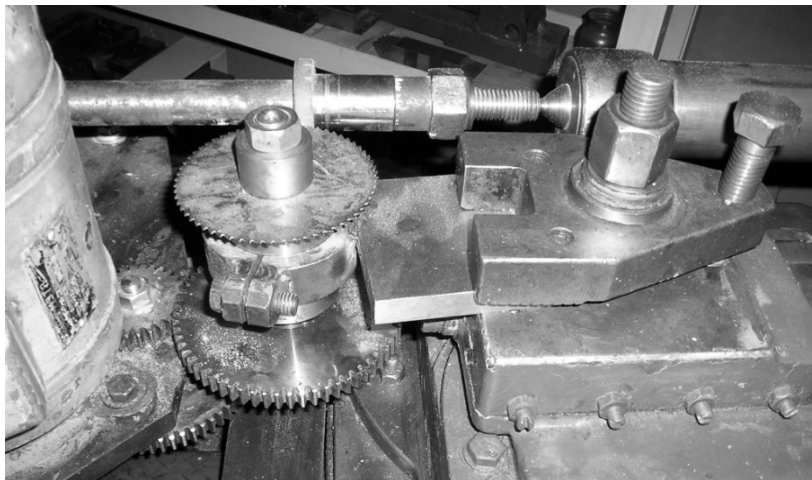


Рисунок-2 - Радіально-коловий метод формоутворення глобоїдальних черв'ячних коліс на токарно-затилувальному верстаті.

Зміна кінематики цього верстату для корегування синусоїдального профілю зубців глобоїдального червячного колеса можлива шляхом зміни закону радіального руху дискової фрези та

зміни швидкості різання. Для цього включимо в кінематичний ланцюг обертання дискової фрези слідкуючий привід за допомогою копіювального пристрою (рисунок 3).

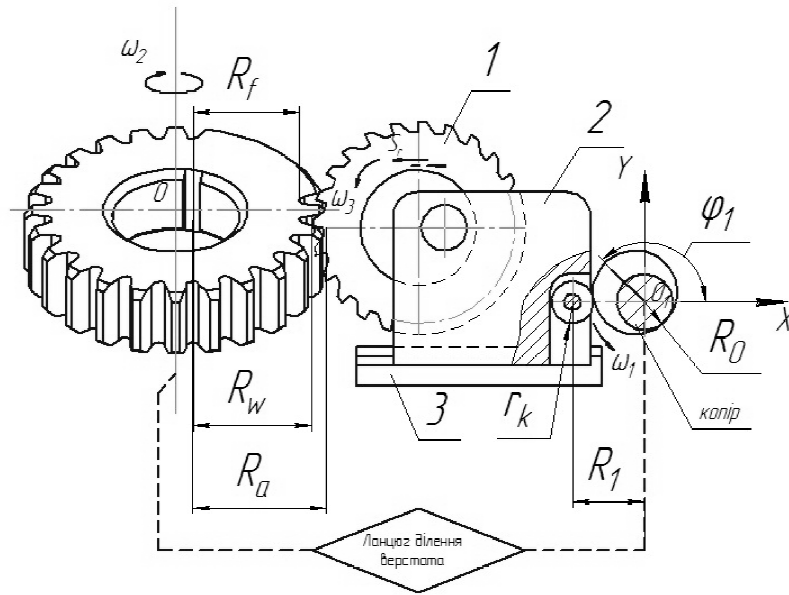


Рисунок 3- Схема нарізання зубців глобоїдального черв'ячного колеса способом РКБД за допомогою копіювального пристрою.

На рисунку 3 показано як вісь дискової фрези 1 переноситься в корпус слідкуючого механізму 2, який установлюється на супорт токарно-затилувально верстату. Зворотньо-поступальний рух механізму забезпечується з допомогою напрямних 3. В результаті фреза до переміщення з супортом в радіальному напрямку отримує додатковий рух за законом профілюю кулачка.

Пристрій працює так. Копіру надають обертового руху з кутовою швидкістю ω_1 синхронного рівномірному обертовому руху заготовки зубчастого колеса, кутова швидкість якої рівна ω_2 . Синхронність обертових рухів кінематично забезпечується ланцюгом ділення верстату. Копір спричинює переміщення із знакозмінною швидкістю радіальної подачі S_r супорта верстату на якому змонтований привід дискової фрези, що надає йому обертового руху з кутовою швидкістю ω_3 , яка встановлюється згідно оптимальної швидкості різання. Дискова фреза по чергово нарізає праву та ліву сторону зубця зубчастого колеса.

Така корекція радіального переміщення фрези змінює закон формоутворення синусоїдального профілю нарізуваних зубців.

Визначимо параметри слідкуючого приводу.

Профіль зуба колеса залежить від співвідношення між змінною швидкістю прямолінійного переміщення супорта, яка змінюється за величиною та за напрямком і задається профілем копіра, та рівномірною постійною кутовою швидкістю ω_2 обертання заготовки зубчастого колеса. Співвідношення між кутами повороту копіра та заготовки зубчастого колеса мають такий вигляд:

$$\varphi_1 = z\varphi_2 \quad (4)$$

де φ_1 - кут повороту копіра; φ_2 та z - відповідно кут повороту та число нарізаних зубців заготовки зубчастого колеса.

Встановити профіль копіра можна моделюючи процес профілювання бокової поверхні зубця зубчастого колеса радіально-коловим способом (див. рисунок 4). Зубець колеса має активний боковий синусоїдальний профіль зубця, який складається з активної ділянки *a*, яка повинна контактувати в зачепленні зі спряженим профілем, та з перехідний профіль *b*. Повна висота зубця лежить в межах кола виступів і кола впадин, радиуси яких, відповідно R_a та R_f обмежується відповідними радіусами колеса. Зуборізальна фреза має профілюючу тороподібну поверхню, яка в осьовій площині відображена профілюючим колом *e* радіуса *r*. Для отримання профілю зубця *a* профілююче коло *e* ДІ повинно доторкатися в точці *M* до профілю зубця *a*. Тоді, профілююче коло *e* ковзає вздовж профілю зубця *a*, а центр *F* кола *e* переміщується вздовж траєкторії *c*, яка еквідистантна профілю зубця *a*.

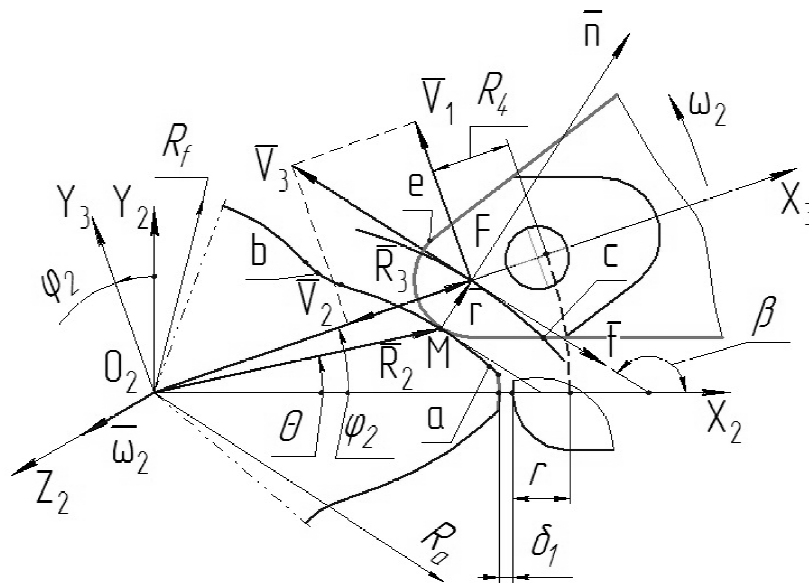


Рисунок 4-Розрахункова схема.

Шляхом розрахунку відносно складних математичних перетворень отримуємо вирази для визначення лінії огинання або в нерухомій системі координат XO_1Y рівняння профілю копіра, що забезпечує формування криволінійної сторони зубця глобоїдального червоного колеса:

$$x = (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3) \cdot \cos(z \cdot \varphi_2) + r_k \cdot \frac{[-(R'_3 \cdot \sin(z \cdot \varphi_2) + z \cdot \varphi'_2 \cdot (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3) \cdot \cos(z \cdot \varphi_2))]}{\sqrt{(R'_3)^2 + (z \cdot \varphi'_2)^2 \cdot (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3)^2}}; \quad (5)$$

$$y = (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3) \cdot \sin(z \cdot \varphi_2) + r_k \cdot \frac{R'_3 \cdot \cos(z \cdot \varphi_2) + z \cdot \varphi'_2 \cdot (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3) \cdot (-\sin(z \cdot \varphi_2))}{\sqrt{(R'_3)^2 + (z \cdot \varphi'_2)^2 \cdot (R_0 + R_a + \delta_1 + r - R_3)^2}}$$

Залежності (5) дозволяють встановити координати половини профілю копіра. Друга його сторона приймається симетричною першій половині. Розрахунки параметрів корекції руху дискової фрези в РК-методі є складні та працемісткі. Для спрощення розрахунку профілю кулачка використано процедуру побудови еквідистанти кривої, програмного забезпечення системи “Компас-Графік”. Для цього розрахуємо та будуємо траєкторію руху центра ролика штовхача і еквідистанту до неї, її контури відповідають профілю кулачка. На отриманий еквідистантний профіль, що є профілем кулачка, накладаємо сітку розмірів, яка визначає координати точок профілю кулачка із заданою точністю (до 0,001мм). За цими координатами створюємо креслення кулачка слідкуючого приводу ролика.

Висновки.

1. Досліджено процес формоутворення профілю зубців глобоїдальних черв'ячних коліс дисковими фрезами у радіально-коловому методі та закономірності утворення систематичної похибки профілів черв'ячних глобоїдних коліс у цьому методі.

2. Розроблено математичну модель систематичної похибки профілювання відхилення профілів зубців синусоїдальних коліс в радіально-коловому методі.

3. Обґрунтовано спосіб компенсації систематичної похибки профілювання та отримані математичні моделі для вибору основних конструктивних параметрів слідкуючого механізму кулачків для формоутворення синусоїдальних профілів зубців колеса.

4. Запропоновано профілювання кулачків слідкуючого механізму здійснювати за допомогою графоаналітичного способу із застосуванням процедури побудови еквідистант до кривих, що

використовуються у функцій графічних редакторів, наприклад КОМПАС-Графік («Аскон», РФ).

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України №73550: МПК7 В23Р15/14: Благут Е.М. Спосіб нарізки зубчастих коліс синусоїдальної передачі Благута. Бюл. № 8, 2005 р.
2. Грицай І.Є., Ступницький В.В. Дослідження синусоїдальних зубчастих передач. //Підйомно-транспортна техніка – 2007. - №4(24). – С.55-64.
3. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М. Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення. // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу”. Харків: НТУ „ХПІ”. – 2009, № 19. – 168 с. С. 43-53.
4. Литвиняк Я., Грицай І. Моделювання впливу технологічних факторів на силові параметри процесу зубонарізання та точність циліндричних синусоїдальних зубчастих коліс. Зб.: Дев'ятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Праці.- Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2009. – 332 с. – с. 196 - 198.
5. Литвиняк Я.М., Грицай І.Є. Підвищення ефективності операцій виготовлення циліндричних евольвентних зубчастих коліс радіальним формоутворенням зубців друк.
6. Оптимізація виробничих процесів і техн. контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - Вісник НУ "Львів. політехніка». - № 642. - Львів. - Вид-во НУ "Львів. політехніка".- 2009.- с.18 - 24.