

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, А.І. Гречка, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет,
Хамуйєла Ж.А. Герра, PhD, проф.
Університет Агостіно Нето (м.Луанда, Ангола)

Формоутворення евольвентного профілю зубчастих коліс кінцевими фрезами шляхом суміщення обертального та прямолінійного поступального рухів

В даній статті розглядається теоретичне обґрунтування способу обробки евольвентного профілю зубчастих коліс кінцевими фрезами. Спосіб здійснюється за рахунок суміщення обертального руху, який надається заготовці зубчастого колеса, та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези, який здійснюється нею по загальній нормалі до евольвентного профілю оброблюваного зубця.
евольвентний профіль, кінцева фреза, загальна нормаль, траєкторія руху

Прогрес у сучасному машинобудуванні суттєво залежить від рівня розвитку техніки в галузі передач зачепленням. Зубчасті передачі являють собою невід'ємну частину більшості сучасних машин і найчастіше визначають їхню якість та надійність. Тому, дослідження формоутворення зубчастих передач є традиційно актуальною задачею.

Аналіз конструкцій зубчастих передач показує [1], що близько 65% всіх зубчастих передач, які використовуються складають циліндричні зубчасті передачі. Серед циліндричних зубчастих передач найбільш розповсюджені передачі з евольвентним профілем зубців. Розглянемо докладніше способи отримання евольвентної поверхні зубців як геометричної поверхні. Тут і надалі, відповідно до роботи [2], що під геометричною поверхнею розумітимемо слід, що залишається однією виробляючої геометричною лінією (утворюючою лінією), при її русі по іншій виробляючій геометричній лінії – направляючій. Під слідом розумітимемо утворену поверхню як безліч послідовних геометричних положень утворюючої лінії, яка рухається.

Відомо [2], що геометричну виробляючу лінію можна утворити чотирма способами з наступним кількістю рухів формоутворення: способом копіювання (без рухів формоутворення); способом обкату (при одному русі формоутворення); способом сліду (також при одному русі формоутворення); способом дотику (при двох і більш рухах формоутворення). Обробка циліндричних евольвентних зубчастих коліс традиційно здійснюється із застосуванням перших двох способів.

Розглянемо спосіб копіювання та обкату докладніше.

В умовах способу копіювання профіль ріжучого інструмента відповідає оброблюваній западині зубчастого колеса з певним числом зубців. Це призводить до того, що в умовах багатоменклатурного виробництва необхідно утримувати велику кількість ріжучих інструментів. Суттєвий недолік ріжучих інструментів, що працюють за способом копіювання, полягає у порівняно швидкій втраті точного профілю внаслідок переточувань. В умовах способу обкату найпоширенішим є застосування такого складного ріжучого інструмента як черв'ячна фреза. Перевагою черв'ячних фрез є те, що одним інструментом можна обробляти будь-які зубчасті колеса одного модуля. Проте у цього інструмента теоретично точний профіль вихідної інструментальної поверхні, а саме евольвентний черв'як, замінюється на архімедовий або конволютний [1,3]. Тобто, на етапі проектування у

таких фрез закладаються відповідні похибки профілю, які переносяться на профіль оброблюваних зубчастих коліс. Слід відзначити, що застосовувані в умовах способу обкату верстати є більш складними та мають більшу вартість ніж верстати, що застосовуються у попередньому способі.

Таким чином, в умовах обох розглянутих способів обробки циліндричних евольвентних зубчастих коліс застосовується складний ріжучий інструмент.

Резервом застосування простого ріжучого інструмента для обробки циліндричних евольвентних зубчастих коліс, на нашу думку, є спосіб дотику. Таким простим ріжучим інструментом можуть бути кінцеві фрези.

Поставимо за мету дослідження розробку нового способу формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс, в умовах якого евольвентна поверхня зубців утворюється кінцевою фрезою способом дотику. Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати такі задачі: провести аналіз рухів ріжучого інструмента та заготовки зубчастого колеса, що необхідні для отримання евольвентної поверхні; встановити зв'язок між рухом кінцевої фрези та заготовки зубчастого колеса.

В подальших дослідженнях скористаємося відомим фактом [4], який полягає у тому, що загальна номаль для евольвентного зачеплення є прямою лінією. Тобто, найбільш ефективним способом реалізації методу дотику при нарізанні зубчастих коліс евольвентного профілю є суміщення обертального руху заготовки зубчастого колеса та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі.

Евольвентою кола є траєкторія точки, що лежить на прямій, яка без проковзування перекочується по колу, що називається основним [4]. Якщо зафіксувати перекочування прямої, то основне коло буде здійснювати плоскопаралельний рух. Якщо ж основне коло буде лише обертатися, то точка, що лежить на перекочуваній прямій, буде здійснювати прямолінійний поступальний рух (рис. 1).

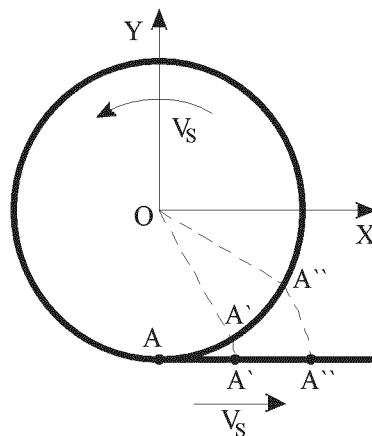


Рисунок 1 – Суміщення колового і поступального прямолінійного рухів при обробці евольвенти

Для встановлення зв'язку між обертанням заготовки зубчастого колеса і лінійним переміщенням інструменту розглянемо схему утворення евольвентного профілю зубців [3] (рис. 2). На ній представлені: r – радіус ділильного кола, r_b – радіус основного кола, r_a – радіус кола вершин, r_f – радіус кола западин, δ_b – кут початку евольвенти, α_w – кут зачеплення.

Однак для визначення залежності між кутовою швидкістю обертання заготовки та швидкістю подачі фрези вздовж загальної нормалі необхідно врахувати радіус фрези R_F , що показано на рис. 3.

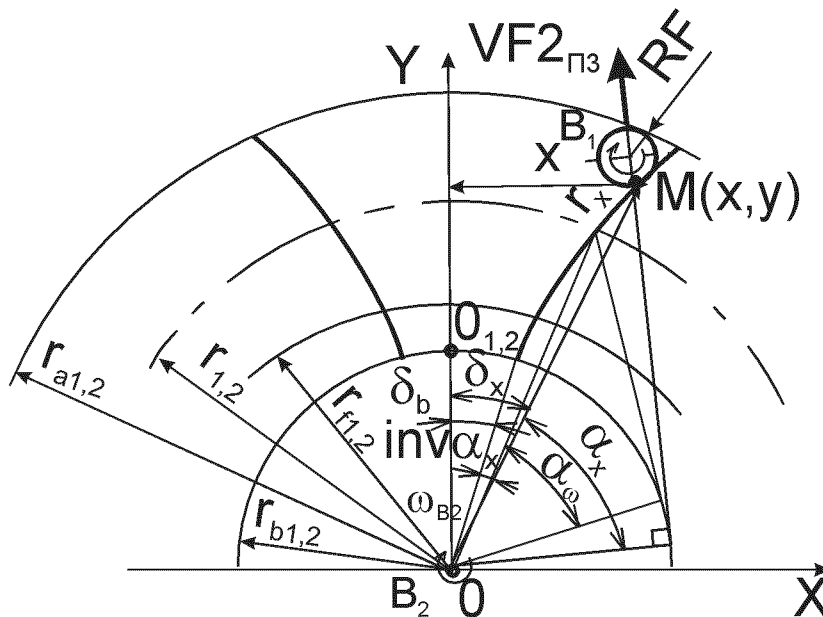


Рисунок 3 – Схема обробки ділянки евольвенти кінцевою фрезою

Для зручності подальших викладок виразимо радіус основного кола r_b та радіус кривини евольвенти ρ в точці М через поточний радіус-вектор r_x та відповідний йому кут профілю α_x :

$$\rho = r_x(t) \sin(\alpha_x(t)), \quad r_b = r_x(t) \cos(\alpha_x(t)). \quad (6)$$

Поточний радіус-вектор центру фрези r_F , що відповідає координатам r_x та δ_x , знаходиться з геометричної суми радіуса основного кола r_b та суми радіусів кривини евольвенти ρ і радіуса фрези R_F :

$$r_F^2(t) = r_b^2 + (\rho + R_F)^2. \quad (7)$$

Зважаючи на залежності (6), з рівняння (7) знаходимо радіус r_F :

$$r_F(t) = \sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F r_x(t) \sin(\alpha_x(t))}. \quad (8)$$

Для знаходження лінійної швидкості руху центру фрези $V_F(t)$ знаходимо похідну з виразу (8):

$$\begin{aligned} V_F(t) &= \frac{d(r_F(t))}{dt} = \frac{d(\sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F r_x(t) \sin(\alpha_x(t))})}{dt} = \\ &= w_x(t) \frac{r_b}{\sin^2(\alpha_x(t))} \frac{R_F \cos(\alpha_x(t)) + r_b \sin(\alpha_x(t))}{\sqrt{r_b^2 + R_F^2 \cos^2(\alpha_x(t)) + 2R_F r_b \sin(\alpha_x(t)) \cos(\alpha_x(t))}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Після математичних перетворень (6), маємо:

$$\sin(\alpha_x(t)) = \frac{\sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}{r_x(t)}. \quad (10)$$

Підставивши рівняння (10) у рівняння (9), остаточно запишемо:

$$V_F(t) = w_x(t) \frac{r_b r_x^2(t)}{r_x^2(t) - r_b^2} \cdot \frac{R_F + \sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}{\sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F \sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}} \quad (11)$$

Залежність між швидкістю лінійного руху фрези вздовж загальної нормалі $V_F(t)$ та швидкістю обертання заготовки $w_x(t)$ має квадратичний характер. Це означає, що при застосуванні на фрезерному верстаті з ЧПУ обертового стола та наявності в системі ЧПУ лінійно-колового інтерполятора реалізація розробленого способу формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс кінцевими фрезами стає можливою.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження:

– розроблено новий спосіб формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс кінцевими фрезами в умовах якого відбувається суміщення обертального руху заготовки зубчастого колеса та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі;

– встановлено залежність між швидкістю лінійного руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі $V_F(t)$ та швидкістю обертання заготовки зубчастого колеса $w_x(t)$.

Результати дослідження можуть бути застосовані при обробці циліндричних евольвентних зубчастих коліс.

Список літератури

1. Охріменко О.А. Підвищення точності та працездатності черв'ячних зуборізних фрез: дис...канд.техн.наук: 05.03.01/ Охріменко Олександр Анатолійович. – К., 2006. – 189 с.
2. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
3. 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.
4. Белоконев И.М. Теория механизмов и машин. Методы автоматизированного проектирования: учеб.пособие / И.М.Белоконев; под ред. К.И.Заблонского. – К.: Выща шк., 1990. – 208 с.

Н. Ковришкин, А. Гречка, Хамуйела Ж.А. Герра

Формообразование эвольвентного профиля зубчатых колес концевыми фрезами путем совмещения вращательного и прямолинейного поступательного движений

В данной статье рассматривается теоретическое обоснование способа обработки эвольвентного профиля зубчатых колес концевыми фрезами. Способ осуществляется за счет совмещения вращательного движения, которое сообщается заготовке зубчатого колеса, и прямолинейного поступательного движения концевой фрезы, которое сообщается ей по общей нормали к эвольвентному профилю обрабатываемого зуба.

M. Kovryshkin, A. Grechka, Joaquim Augusto Guerra Hamuyela

End-milling cutter forming of evolvent profile of tooth gear by overlapping of rotary and rectilinear forward movements

In given article the theoretical substantiation of a way of processing of evolvent profile of tooth gear is considered by end-milling cutters. The way is carried out due to overlapping rotary movement which is informed tooth gear workpiece, and rectilinear progress of end-milling cutter which is informed it on the general normal to evolvent profile of a processable tooth.