

Воробйов С.П., *наук. кер. Равська Н.С., д.т.н., проф.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail itm@kpi.ua

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА В ПЛАНІ ПРИ НАРІЗАННІ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФІЛЮ ФАСОННИМИ РІЗЦЯМИ

Застосування циліндричних арочних зубчастих коліс на заміну прямозубих дає можливість збільшити навантажувальну здатність в 1,25 - 1,5 рази та довговічність у 2 -3 рази, знизити вібрацію, шумові характеристики, металоємність та собівартість [1]. Крім того, в арочних колесах легко досягається необхідна локалізація плями контакту, що знижує їх чутливість до перекосу осей, похибок монтажу [2,3]. Вони забезпечують плавну передачу руху і можуть використовуватись як у тихохідних так і в швидкісних високонавантажених передачах [4].

Однак, не зважаючи на всі переваги циліндричних арочних зубчастих коліс, широкого розповсюдження у галузях промисловості вони не знайшли. Основною причиною цього, до недавнього часу, була відсутність способів їх зубонарізання, які б поєднували у собі такі характеристики, як технологічність, працездатність, простота, універсальність, точність, з яких більша кількість залишаються малодослідженими.

Одним зі способів їх зубонарізання, який дозволяє отримувати евольвентний профіль вздовж всієї лінії зуба та постійну його ширину є спосіб нарізання торцевими різцевими головками на верстатах з числовим програмним керуванням [5]. Спосіб може виконуватись фасонними різцями при радіальній подачі інструменту. Застосування верстатів з ЧПК дозволяє здійснювати рух різця в процесі нарізання по дузі кола або іншій кривій не змінюючи його положення відносно торцевого перерізу зубчастого колеса, завдяки чому досягається точний евольвентний профіль.

Однак, в результаті таких рухів різця його геометрія вздовж різального леза буде змінюватись в процесі нарізання. Це в свою чергу може призвести зміну вихідних інструментальних кутів до незадовільних значень. Для уникнення цього та проектування працездатного інструменту необхідно знати як будуть змінюватись його геометричні кути в процесі нарізання.

Одним з важливих параметрів при дослідженні геометрії різальної частини інструменту є значення кута в плані, який характеризує шар матеріалу, що зрізується інструментом. Він визначається кутом між робочою площиною та площиною дотичною до різальної кромки інструменту. При цьому способі зубонарізання інструментальна робоча площа при радіальній подачі інструменту та напрямком швидкості перпендикулярним радіусу обертання різця буде лежати паралельно площині симетрії зуба різця. Площина дотична

до різальної кромки буде визначатися дотичною до профілю вихідної інструментальної поверхні.

Частиною профілю вихідної інструментальної поверхні буде евольвентний профіль зубчастого колеса. Дотична до евольвентного профілю буде визначати кут у плані, який відповідно буде змінюватись в залежності від досліджуваної точки на евольвентному профілі. Тому в залежності від заданих інструментальних кутів на вершинній різальній кромці їх значення на бокових різальних кромках також будуть змінюватись. На різницю між вершинним та боковими значеннями кутів впливатиме саме кут у плані. Особливо це стосується заднього кута на бокових різальних кромках, адже при малих значеннях кута в плані зменшується задній кут, що і визначатиме працездатність інструменту. Тому визначення кута в плані дозволить оцінити значення кутів на бокових різальних кромках та оцінити доцільність обраного способу заточки інструменту.

Визначення кута в плані для евольвентного профілю зображено на рис. 1.

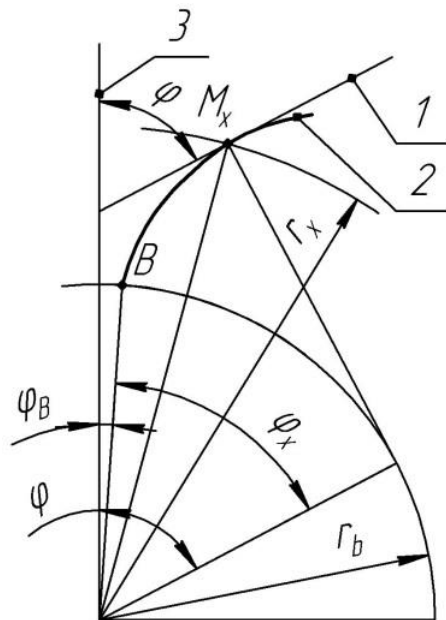


Рис. 1. Визначення кута між дотичною до евольвенти та віссю симетрії

Відповідно до рис. 1 кут φ між дотичною 1 до евольвенти 2 та віссю симетрії 3 визначається за формулою:

$$\varphi = \varphi_B + \varphi_x, \quad (1)$$

де φ_B – кут повороту евольвентного профілю, між віссю симетрії западини зуба та початковою точкою евольвенти на основному колі і визначається за формулою [6]:

$$\varphi_0 = \frac{T}{d_0} - \text{inv}\alpha_0, \quad (2)$$

де T – ширина западини зуба на ділильному колі;

$$T = \pi m - S_t, \quad (3)$$

де m – модуль;

S_t – товщина зуба на ділильному колі, в загальному випадку вона визначається за формулою [1]:

$$S_t = \frac{\pi m}{2} + 2xm \tan(\alpha_\partial), \quad (4)$$

де x – коефіцієнт зміщення.

d_∂ – ділильний діаметр;

$$d_\partial = mz, \quad (5)$$

α_∂ – кут тиску на ділильному діаметрі.

Після підстановки (2) та (3) в (1) отримаємо:

$$\varphi_0 = \frac{0,5\pi - 2x \tan(\alpha_\partial)}{z} - \operatorname{inv} \alpha_\partial, \quad (6)$$

φ_x – кут розгорнутості евольвенти у досліджуваній точці, який дорівнює [6]:

$$\varphi_x = \theta_x + \alpha_x, \quad (7)$$

тут θ_x – евольвентний кут у досліджуваній точці, який в свою чергу визначається:

$$\theta_x = \tan(\alpha_x) - \alpha_x, \quad (8)$$

α_x – кут тиску у досліджуваній точці.

Отже, кут розгорнутості евольвенти буде дорівнювати:

$$\varphi_x = \tan(\alpha_x). \quad (9)$$

В свою чергу кут тиску евольвентного профілю буде змінювати своє значення в залежності від положення досліджуваної точки на евольвенті і визначається за формулою:

$$\cos(\alpha_x) = \frac{r_b}{r_x}, \quad (10)$$

де r_b – радіус основного кола;

r_x – радіус кола, на якому лежить досліджувана точка.

Отже, кут тиску евольвентного профілю за формулою (10) змінюється в діапазоні від 0° - на основному колі до 90° (не включаючи) - на радіусі кола досліджуваної точки.

Тому при вершині різця, в точці на основному колі евольвентного профілю, коли $\varphi_x = 0$, кут у плані буде залежати лише від кута повороту евольвенти φ_0 . В свою чергу його значення за формулою (6) буде залежати від кількості зубів, кута тиску на ділильному діаметрі та коефіцієнта зміщення. Залежність кута повороту евольвенти, який визначатиме кут у плані при вершині різця, від кількості зубів при куті профілю $\alpha = 20^\circ$ та коефіцієнті зміщення $x = 0$ зображена на рис. 2.

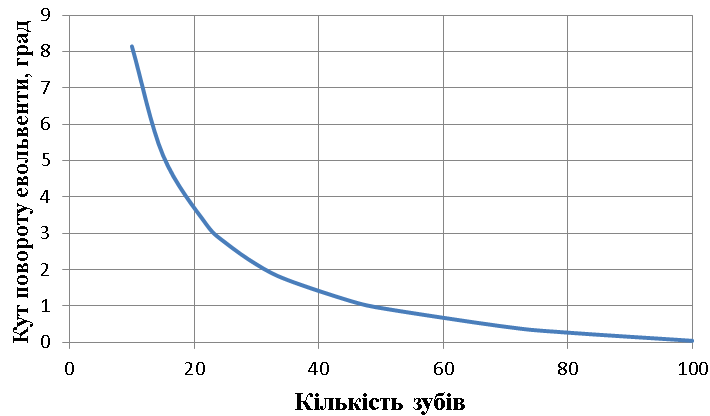


Рис. 2. Залежність кута повороту евольвенти від кількості зубів

Відповідно до рис. 2 кут повороту евольвенти, а відповідно і кут у плані при вершині різця зростає при зменшенні кількості зубів. Так, наприклад, для нарізання зубчастого колеса модулем $m = 4$ мм, кількості зубів $z = 22$ та кута профілю $\alpha = 20^\circ$ значення кута в плані при вершині фасонного різця становить $\varphi = 3,24$. При такому значенні кута в плані та при вершинних геометричних кутах різця - задньому $\alpha = 12^\circ$ та передньому $\gamma = 0^\circ$, задній нормальний інструментальний кут на бокових різальних кромках при вершині різця становить $\alpha_6 = 0,63^\circ$. Такі значення задніх нормальних інструментальних кутів є небажаними, оскільки їх мінімальні значення повинні складати $3...4^\circ$ [6]. Для забезпечення доцільних кутів на бокових різальних кромках запропоновано замість двохстороннього фасонного різця використовувати односторонні різці, відповідно розділивши різець симетрично. Один з різців має вершинну кромку, яка формує западину зуба, та фасонну бокову, що нарізає евольвентну зовнішню або внутрішню сторону западини зубчастого колеса. Така конструкція інструмента дозволяє змінити осьове затилювання різця на кутове та досягати необхідних кутів на вершинній та боковій різальних кромках різця.

Список використаних джерел:

1. Болотовский И. А. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / Болотовский И. А., Безруков В. И., Васильева О.Ф. и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
2. Dai, Yutang; Ariga, Yukinori; and Nagata, Shigeyoshi, “Study on a Cylindrical Gear with Curved Tooth Traces”, Proceedings of the Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms. Vol. 6, pp. 2337-2342, Oulu, Finland, 1999.
3. Tseng, R.-T., and Tsay, C.-B., 2004, “Contact Characteristics of Cylindrical Gears With Curvilinear Shaped Teeth,” Mech. Mach. Theory, 39, pp. 905 – 919.
4. Беляев А.И. Тяговая арочная эвольвентная цилиндрическая передача локомотивов / Беляев А.И., Емельянов Ю.В. // Вестник ВНИИЖТ. – 1994. – №2. – С.41 - 45
5. Воробйов С. П. Формоутворення циліндричних арочних зубчастих коліс з евольвентним профілем різними способами / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2016. – Вип. 2 (97), ч. 1. – С. 52 – 56.
6. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К. Выща школа, 1990. – 424 с.