

Вітренко В.О., Воронцов Б.С., Бочарова І.А.
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

ПРОФІЛЮВАННЯ ЗУБООБРОБЛЮЮЧОГО ОБКАТНОГО ІНСТРУМЕНТУ

©В.А.Вітренко, Б.С.Воронцов, Бочарова І.А.

У статті розглядається профілювання різального обкатного інструменту який виготовляється на базі заготовки типу однополосний гіперболоїд. Профілювання виконується завдяки циліндр обкатного інструменту який незатілований і немає задніх кутів.

The article investigates profiling of the cutting knurling instrument produced on the basis of 'one-cavity hyperbola' type work-piece. Profiling is performed by means of cylindrical knurling tool having no front and back clearance.

Ключові слова: однополосний гіперболоїд, задні кути, профілювання, обкатний інструмент, інструментальна поверхня.

Вступ. Проектування та виготовлення зубообробного обкатного інструменту, що використовується для виготовлення циліндричних прямозубих та косозубих зубчастих коліс, на одному із етапів його виготовлення передбачає приділення особливої уваги визначенню конструкції (зовнішній діаметр, кількість зубців, кут нахилу зубців) та профілю різальних лез такого інструмента [1].

Шуканим профілем різального леза зубообробного обкатного інструмента є крива лінія по якій, як правило, окреслена це лезо. Питання визначення профілю різального леза інструмента нерозривно пов'язане з теорією формоутворення різноманітних зчеплень та знаходженням спряжених зубчастих поверхонь.

В теперішній час використовувати цю теорію без додаткової геометричної та кінематичної теоретичної розробки, яка пристосовується до профілювання різального інструменту, одержаного згідно схеми формоутворення третього класу, є неможливим. Це пояснюється тим, що в теорії одержання спряжених поверхонь, та теорії двопараметричного обгину, розглядаються питання одержання поверхонь поверхнями, в той же час як при одержанні спряжених поверхонь різанням по методу обкатки ці поверхні одержуються не поверхнями, а лініями, які являють собою різальні леза інструментів.

Важливо відзначити, що до недоліків існуючих методів визначення профілю інструмента відноситься й те, що в ряді випадків при визначенні цього профілю роблять не цілком адекватні припущення. В якості прикладу можливо вказати на метод визначення профілю черв'ячної фрези для нарізування шлицьового вала з прямолінійним профілем шліців. У цьому випадку робиться припущення, згідно з яким шлицевий вал зчіплюється з зубчастою рейкою і задача визначення профілю черв'ячної фрези вирішується в площині. В дійсності, у цьому випадку розглядається зчеплення шлицьового вала з черв'яком, тому вирішення задачі аналізуватись у просторі, тобто у просторовому верстатному зачепленні. Вказане припущення вносить помилки у профіль черв'ячної фрези, обкатних різців, а також обкатних інструментів, які використовуються на виробництві для чистової обробки зубців різноманітних зубчастих коліс.

Основна частина. У даній статті пропонується принципово новий, дуже точний метод визначення профілів зубців фрез, обкатних різців, та інших аналогічних зубообробних інструментів.

Нарізування зубців за допомогою інструментального привідного зубчастого колеса у промисловості на зубофрезерному верстаті реалізується за допомогою двох методів обробки. Перший метод полягає в тому, що оброблюване колесо та інструментальне колесо обертають навколо власних осей з кутовими швидкостями зворотно пропорційними кількості їх зубців, а потім за допомогою радіальної подачі одержують зубці на гіперболоїдній заготовці. У цьому випадку нарізується зуб на квазігіперболоїдній заготовці. Другий метод полягає у тому, що гіперболоїдне зубчасте колесо пересувають вздовж осі інструментального зубчастого колеса. Такі рухи при зубообробленні дозволяють одержати заготовку виду однополосного гіперболоїду. Для того, щоб нарізати зубці на однополосному гіперболоїді, необхідно описати в аналітичному вигляді оригінальні поверхні зубчастого колеса у його русі відносно прямолінійного формоутворюючого однополосного гіперболоїда.

Огинаюча поверхня циліндричного прямозубого чи косозубого зубчастого колеса, з евольвентним або іншим профілем зуба, визначається за допомогою сімейства поверхонь, що описують згинальну форму гіперболоїдного зубчастого колеса за допомогою наступних рівнянь [2]:

$$M_{21} = (M_{2p}M_{p0})M_{01} \quad \text{та} \quad F(\lambda, \mu, \varphi_1) = 0 \quad (1)$$

Тоді, профіль шуканої гіперболоїдної зубчастої заготовки, маючої різноманітний профіль проєктованого зуба незалежного від кута його нахилу, можна знайти за допомогою рішення рівнянь (1) відносно параметру μ :

$$\mu = -[(1 - u_{21} \cos \gamma)(f_2 f_2' + f_1' (f_1 + f_1 r_1 + a_w u_{21} \cos \gamma (f_2' \sin \varphi_1 - f_1' \cos \varphi_1)))] / u_{21} \sin \gamma (f_2' \cos \varphi_1 + f_1' \sin \varphi_1) \quad (2)$$

Одержане значення μ (координата $o_2 z_2$) підставляємо в третє рівняння системи, яке одержано за рахунок використання матриць переходу від системи колеса до системи шуканого гіперболоїдного інструмента $M_{21} = (M_{2p}M_{p0})M_{01}$, тоді рішення трансцендентного рівняння можливо записати у наступному виді [2]:

$$z_2 u_{21} (f_2' \cos \varphi_1 + f_1' \sin \varphi_1) = u_{21} (f_1 \sin \gamma \sin \varphi_1 - r_1 \sin \gamma \sin \varphi_1 + f_2 \sin \gamma \cos \varphi_1) (f_2' \cos \varphi_1 + f_1' \sin \varphi_1) - [a_w u_{21} \cos \gamma (f_2' \sin \varphi_1 - f_1' \cos \varphi_1) + (1 - u_{21} \cos \gamma)(f_2 f_2' + f_1' f_1 - f_1' r_1)] \operatorname{ctg} \gamma \quad (3)$$

Тут f_1, f_2, f_1', f_2' визначаються в залежності від профілю зуба (евольвентний, прямобічний та інший) циліндричного колеса.

У подальшому розглядається евольвентний профіль на циліндричному зубчастому колесі. Тоді, для евольвентних зубців функції f_1 та f_2 можливо представити у наступному вигляді:

$$f_1 = r_b (\cos \Theta + \Theta \sin \Theta); f_2 = r_b (\sin \Theta - \Theta \cos \Theta) \quad (4)$$

Диференціюючи ці вирази по Θ , одержимо:

$$\begin{aligned} f_1'(\Theta) &= r_b \Theta \cos \Theta; f_2' = r_b \Theta \sin \Theta \\ f_2''(\Theta) &= -r_b (\cos \Theta - \Theta \sin \Theta); f_2'''(\Theta) = r_b (\sin \Theta + \Theta \cos \Theta) \end{aligned} \quad (5)$$

Тут введені наступні позначення:

Θ - кут профілю евольвенти; φ_1 - кут оберту циліндричного зубчастого колеса; z_1 - кількість зубців циліндричного зубчастого колеса; z_2 - кількість зубців гіперболоїдного зубчастого колеса; γ - кут схрещення осей коліс O_1Z_1 та O_2Z_2 ; β - кут нахилу зубців гіперболоїдного зубчастого колеса у горловому перетині; $u_{21} = z_1 / z_2$ - передавальне відношення зубчастої передачі; $r_b = z_1 m_n \cos \alpha / 2$ - радіус основного кола; $a_w = \frac{m_n z_1}{2} + \frac{m_n z_2}{2 \cos \beta}$ - найкоротша міжосьова відстань в проектуємій передачі; α - кут профілю зуба по ділильному колу; m_n - нормальний модуль зчеплення.

Порядок вирішення системи рівнянь (1) для евольвентного профілю зуба може бути наступним: задаємо для постійної координати вздовж вісі гіперболоїдного інструмента ($O_2Z_2 = \text{const}$) кут профілю евольвенти Θ (наприклад, $\Theta = 1^\circ \dots 50^\circ$ через визначений інтервал). При $z_2 = \text{const}$ рівняння (3) вирішується для кожного Θ . При цьому знаходиться кут оберту φ_1 циліндричного зубчастого колеса. Потім проводиться розрахунок профілю гіперболоїдного зубчастого колеса O_2Z_2 :

$$\begin{aligned} x_2 &= f_1(\Theta)(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + f_2(\Theta)(\cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) + \\ &+ \{(1 - u_{21} \cos \gamma)[f_2(\Theta)f_2'(\Theta) + f_1'(\Theta)f_1(\Theta)] + a_w u_{21} \cos \gamma [f_2'(\Theta) \sin \varphi_1 - \\ &- f_1'(\Theta) \cos \varphi_1]\} / u_{21} \sin \gamma [f_2'(\Theta) \cos \varphi_1 + f_1'(\Theta) \sin \varphi_1] \sin \gamma \cos \varphi_2 + a_w \cos \varphi_2; \\ y_2 &= f_1(\Theta)[\cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2] + f_2(\Theta)[\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2] + \\ &+ \{(1 - u_{21} \cos \gamma)[f_2(\Theta)f_2'(\Theta) + f_1'(\Theta)f_1(\Theta)] + a_w u_{21} \cos \gamma [f_2'(\Theta) \sin \varphi_1 - \\ &- f_1'(\Theta) \cos \varphi_1]\} / u_{21} \sin \gamma [f_2'(\Theta) \cos \varphi_1 + f_1'(\Theta) \sin \varphi_1] \sin \gamma \cos \varphi_2 + a_w \cos \varphi_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Тут: a_w, u_{21}, γ - приймаються для конкретної передачі, яка розробляється у представлений роботі: циліндричне зубчасте колесо – гіперболоїдне зубчасте колесо (у нашому випадку інструмент);

$f_1(\Theta), f_2(\Theta), f_1'(\Theta), f_2'(\Theta)$ - знаходяться із вираження (5);

Θ и φ_1 знаходяться із розрахунку вираження (3).

В результаті досліджень одержано профіль $x_2 y_2$ на запропонованій гіперболоїдній зуборізній фрезі або гіперболоїдному обкатному різці. Рівняння цього торцевого січення будуть залежати від визначеного січення уздовж осі гіперболоїдного зубчастого обкочувального інструмента чи зубчастого колеса $z_2 = \text{const}$. У цьому випадку гіперболоїдний інструмент повинен мати заточку, аналогічну заточці косозубих довбачів для виготовлення шевронних зубчастих коліс [2,3].

Перетворивши рівняння (6), отримаємо рівняння ліній перетину цих поверхонь:

$$\begin{aligned} F(\Theta, \mu, \varphi_1) &= -f_1 \partial \mu / \partial t [f_1(1 - u_{21} \cos \gamma) + \mu u_{21} \sin \gamma \sin \varphi_1 - \\ &- a_w u_{21} \cos \gamma \cos \varphi_1] - f_2' \partial \mu / \partial t [f_2(1 - u_{21} \cos \gamma) - \mu u_{21} \sin \gamma \cos \varphi_1 - a_w u_{21} \cos \gamma \sin \varphi_1] = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

У крайньому перетині висхідної поверхні знайдено профіль $x_2 y_2$ на гіперболоїдному зубчастому колесі, яке є заготовкою для гіперболоїдної фрези або гіперболоїдного обкатного різця, чи іншого аналогічного інструмента. Рівняння цього торцевого перетину буде залежати від визначеної осьової координати $z_2 = \text{const}$. В цьому випадку гіперболоїдний обкатний різець повинен мати заточку, таку ж, як і заточка косозубих довбачів, застосованих для нарізування

шеvronних зубчастих коліс. Для того, щоб поліпшити умови різання зубчастих коліс з різним профілем зуба та підвищити потужність різального леза у гіперболоїдного обкатного різця при заточці знімають фаску по різальній кромці з боку гострого боку и роблять лунку з тупого боку.

Множина огинаючих зубчастих поверхонь у випадку зуботочіння може бути представлено рівняннями (6) з додаванням наступного рівняння:

$$z_2 = f_1 \sin \gamma \sin \varphi_1 + f_2 \sin \gamma \cos \varphi_1 + \mu \cos \gamma \quad (8)$$

Одержана лінія перетину поверхонь може бути використана у якості різального леза для випадку обробки прямозубого колеса при куті схрещення осей в межах $90^\circ < \gamma < 180^\circ$. При цьому кут нахилу зубців на гіперболоїдному інструменті, обраному із верхньої частини однополосного гіперболоїда повинен бути правим. При куті схрещення осей $0^\circ < \gamma < 90^\circ$ кут нахилу зубців на гіперболоїдному інструменті, обраного із нижньої частини однополосного гіперболоїда, повинен бути лівим.

Таким чином, у даній роботі вдалося нарізати зубці на однополосному гіперболоїді, що до теперішнього часу не вдавалося внаслідок конструкції зубооброблюючого верстата, яка впливає на їх кінематику. Тому у попередніх дослідженнях нарізували зубці на квазігіперболоїдній заготовці, та заготовці виду однополосного гіперболоїду.

Висновки. Вперше отримані у теоретичному вигляді та обґрунтовані гіперболоїдні обкатні інструменти, одержані за допомогою інструментальної поверхні, повністю співпадають з поверхнею формоутворюючого зубчастого колеса. Доведено, що при утворенні поверхонь зубців зубчастих коліс зуборізного інструмента на зубофрезерному верстаті вони повинні мати такий же відносний рух, який вони мають при нарізанні зубців за допомогою цього інструменту. На практиці вдалося спроектувати та виготовити такі зубчасті інструменти на серійному зубооброблюючому обладнанні без його модернізації. Вдалося на зубофрезерному верстаті пересувати зубчасте колесо уздовж прямолінійної кривої формотвірного однополосного гіперболоїда.

1. Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 156 с. 2. Кириченко И.А. Создание гиперболоидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов. Дисс. докт. тех. наук.: 05.02.02 – «Машиноведение» - Луганск, 2004. – 350 с. 3 Родин П.Р., Климов В.И. Технология изготовления зуборезного инструмента. – К.: Техника, 1982. – 207с.