

УДК 621.83:621:9.06

І.Є. Грицай, докт. техн. наук, проф.; С.І. Громнюк; В.І. Волошин  
НУ «Львівська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З АСИМЕТРИЧНИМИ ЗУБЦЯМИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

**I. Hrytsaj, Dr., Prof.; S. Hromnjuk; V.Voloshyn**

### **THE RESEARCH GEARS WITH ASYMMETRIC TEETH AND ITS PRODUCTION TECHNOLOGY**

Зубчасті передачі, як безальтернативний для більшості галузей машинобудування засіб передачі і перетворення руху перебувають у стані перманентного покращення. Поряд із створенням нових зубчастих передач та видів зачеплення останнім часом набув поширення інший напрямок їх удосконалення: надання зубцям коліс асиметричної форми. Встановлено, що завдяки асиметрії профілів зубчасті передачі набувають вищої навантажувальної здатності та мають більший опір згинанню і циклічній втомі [1-4]. Це означає, що при передаванні однакових обертових моментів редуктори з зубчастими колесами з асиметричними зубцями можуть мати значно менші габарити і масу, що важливо для сучасних машин, а особливо - для транспортних галузей машинобудування.

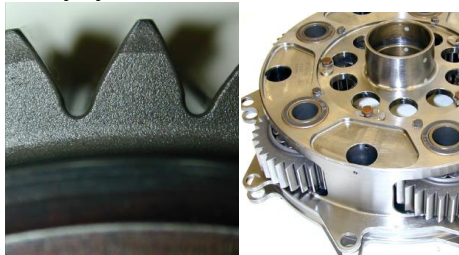


Рис.1. Асиметричні зубці евольвентного колеса та блок коліс з асиметричними зубцями планетарного редуктора гелікоптера

У наш час серійне виготовлення коліс з асиметричними зубцями здійснюється з допомогою традиційного методу – нарізанням черв'ячними фрезами. Проте, черв'ячні фрези, які належать до складних та вартісних інструментів, для нарізання асиметричних зубців повинні виготовлятися з різними кутами верстатного зачеплення і різними кутами початкової контури по лівих і правих профілях, що ускладнює процеси їх виготовлення, затилування та переагострення та значно збільшує вартість цих інструментів.

Разом з тим, існує можливість виготовляти такі колеса з допомогою значно простішого та ефективнішого способу, істотно зменшивши витрати. Це – радіально-коловий спосіб зубонарізання (РК-спосіб), яким можна виготовляти зубчасті колеса практично усіх типів та видів на одному обкочувальному зубофрезерному верстаті з допомогою тонкої дискової фрези, при цьому один інструмент використовується для нарізання коліс з різними значеннями модулів. Суть цього методу полягає у зміщенні геометричної та кінематичної осей фрези, тобто, в ексцентричному її встановленні на осі інструментального шпинделя. Величину ексцентриситету, який еквівалентний модулю, можна змінювати в широкому діапазоні, а нарізання коліс, прямо- чи косозубих здійснюється при тій же налашці верстата, що й для черв'ячної фрези.

Ще однією перевагою цього способу є можливість нарізати на одному зубофрезерному верстаті одним інструментом шевронні циліндричні колеса з мінімальним зазором між різноїменними вінцями, конічні та черв'ячні колеса, колеса з

гвинтовими зубцями, колеса із внутрішнім зачепленням, для цього необхідне додаткове нескладне верстатне спорядження. Цей спосіб досліджується та впроваджується протягом багатьох років на кафедрі технології машинобудування Львівської політехніки і висвітлений у багаточисельних публікаціях.

У РК-способі профілювання, внаслідок особливостей кінематики процесу зубці мають синусоїдальний профіль. Разом з тим, зміною закону руху фрези в радіальному напрямку, наприклад, з допомогою окремого сервоприводу періодичного лінійного зворотно-поступального переміщення блоку з дисковою фрезою, можна забезпечити профілювання за будь-яким законом, зокрема, евольвенти, кола, формувати зубці з кутовою і висотною корекцією, модифікованням по ширині зубця тощо.

Для виготовлення коліс, які мають асиметричний профіль, у радіально-коловому способі необхідно фрезу, якій надано радіальне зміщення, також змістити в осьовому напрямку на певну величину  $\Delta_x$ , яка рівна величині асиметрії профілю (рис.2).

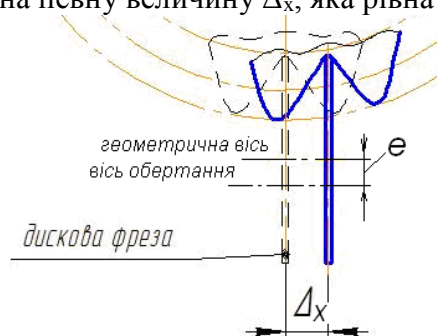


Рис.2. Нарізання асиметричних зубців РК-способом

Рівняння синусоїдального асиметричного зубця має вид:

$$\begin{cases} x_2 = \left( \frac{m \cdot Z}{2} + \Delta_x + e \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) \right) \cdot \cos \varphi - b \cdot \sin \varphi; \\ y_2 = -\left( \frac{m \cdot Z}{2} + e \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) \right) \cdot \sin \varphi - b \cdot \cos \varphi; \\ z_2 = e \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{Z\varphi}\right) + \psi, \end{cases}$$

де  $b$  і  $Z_{fp}$  – відповідно, ширина і кількість зубців дискової фрези.

Види зубців та зубчасті колеса, отриманих таким способом наведені на рис.3.

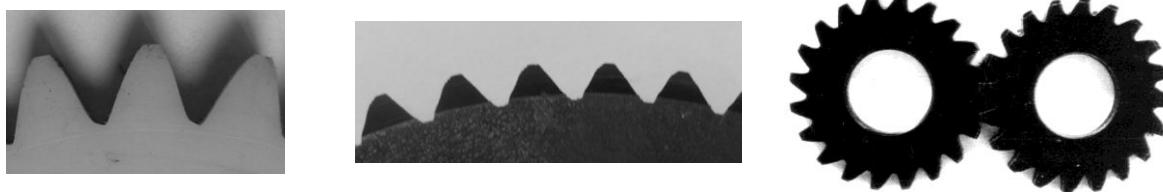


Рис.3. Форми синусоїдальних коліс з різними величинами асиметрії профілів

#### Література:

1. Kapelevich, A.L. "Geometry and Design of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth," Mechanism and Machine Theory, 35 (2000), 117–130.
2. Kapelevich A.L. Direct Gear Design / A. L. Kapelevich. - CRC Press, 2013. - 324 p.
3. Kapelevich A.L., Shekhtman Y. V.. Tooth Fillet Profile Optimization for Gears with Symmetric and Asymmetric Teeth. Gear Technology. September/October, 2009, 73 – 79.
4. Грицай І.Є., Кук А.М., Климаш І.В. Дослідження зубчастих коліс з асиметричним профілем та технологія їх виготовлення радіально-коловим способом. // Прогресивні технології в машинобудуванні Зб. наукових праць У1-ї Міжнародної науково-технічної конференції. - Львів-Карпати, 6-10 лютого 2017 р. – С.32-34.