

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗМІРНОГО ФОРМОТВОРЕННЯ ТА ЗМІЦНЮВАННЯ

УДК 621.833:621.7

Е.М. ГУЛІДА, А.М. ЖАРОВСЬКИЙ

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТУПЕНЯ ТОЧНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПІД ЧАС ЇХ ЗУБООБРОБЛЕННЯ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

© Гуліда Е.М., Жаровський А.М., 2004

*Considered question of exactness degree guaranteeing of cylindrical rack-wheels attached to their toothing in conditions of automated production with use of mathematical modeling of toothing operations and use of experiments results attached to spur milling of cylindrical rack-wheels by helical millers.*

### Сучасний стан проблеми

Циліндричні зубчасті колеса знайшли широке застосування в машинобудуванні для передачі обертового моменту при заданому передаточному числі. Основні вимоги, які ставляться до зубчастих коліс, є міцність, зносостійкість, точність геометричних параметрів, шорсткість поверхонь зубців тощо. Найскладніша задача при виготовленні зубчастих коліс в умовах автоматизованого виробництва – забезпечення потрібної точності, від якої залежить якісна робота зубчастої передачі [1]. В свою чергу, потрібна точність коліс впливає на технологію обробки і, головним чином, на технологію кінцевих операцій, тому що вони визначають можливі похибки виготовлення елементів зубчастих вінців [2]. Ці похибки не повинні перевищувати допустимих, тобто повинні бути обмежені визначеними допусками, які забезпечують якісну роботу зубчастої передачі згідно з ГОСТ 1643–81.

Для забезпечення ступеня точності згідно з ГОСТ 1643–81, необхідно одночасно забезпечити, для зубчастих коліс, кінематичну точність, плавність роботи та контакт зубців у передачі, а також боковий зазор між зубцями. У машинобудуванні найбільш поширеними циліндричними зубчастими передачами є передачі 6–8 ступеня точності згідно з ГОСТ 1643–81. Встановлено, що для забезпечення вказаних ступенів точності зубчастої передачі необхідно зубчасті колеса виготовляти на один ступінь точніше [1].

В автоматизованому виробництві для зубонарізання циліндричних коліс найбільше використовують зубофрезерні автомати моделей 5306К С7, ВС07-742, ВС10-743, ВС12-673, які призначені для нарізання та викінчувальної обробки зубців коліс діаметром 81...178 мм і модулем до 2,5 мм, та зубофрезерні напівавтомати моделей 5К301П, 5М310, 5К324, 5К32, 5К338П, 5306. 5А312, 5316, які дають можливість нарізати та викінчувально обробляти колеса діаметром до 1250 мм з модулями 1...12 мм. Але ці верстати в умовах автоматизованого виробництва не можуть забезпечити при зубонарізанні коліс 5–7 ступені точності [2].

### Мета роботи

Ставиться задача розв'язання питання забезпечення необхідного ступеня точності зубооброблення циліндричних зубчастих коліс в умовах автоматизованого виробництва за рахунок визначення оптимального варіанта технологічного процесу формоутворення бокових поверхонь зубців.

### Забезпечення ступеня точності зубчастих коліс

Для розв'язання цього питання на першому етапі була розроблена математична модель визначення показників точності зубчастого колеса згідно з ГОСТ 1643–81, яка дає можливість встановити ступінь точності зубчастого колеса залежно від можливих надлишкових переміщень елементів технологічної системи на відповідній технологічній операції. На другому етапі для перевірки теоретичних результатів була виконана серія експериментальних досліджень. Розглянемо ці два етапи на прикладі зубофрезерної операції при нарізанні зубчастих коліс шнековою фрезою методом обкочування.

Подамо сумарні надлишкові переміщення технологічної системи вздовж координатних осей системи координат XYZ та повороти навколо цих осей множиною  $A \in \{\Delta z, \Delta y, \Delta x, \Delta \varphi_z, \Delta \varphi_y, \Delta \varphi_x\}$ , а похибки оброблення, які характеризують точність зубчастого колеса згідно з ГОСТ 1643–81, множиною  $D \in \{F_{ir}, F_{pkr}, V_{Wr}, f_{ptr}, f_{pbr}, f_{fr}, F_{pxnr}, F_{kr}, E_{Hr}, E_{cr}\}$ .

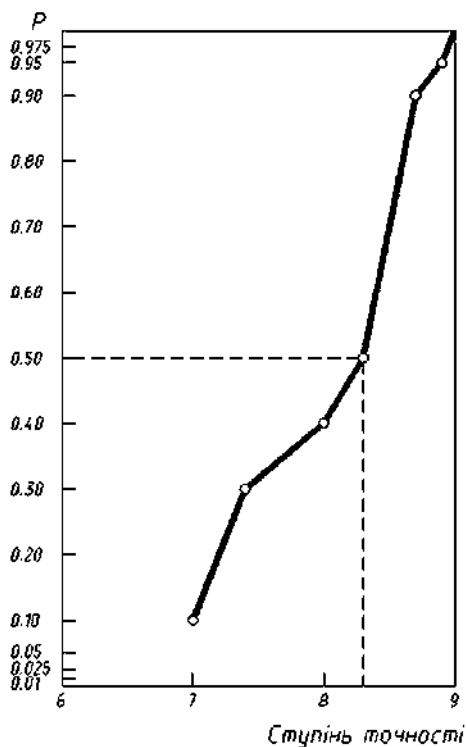
Між елементами цих множин спостерігаються бінарні відношення, які встановлюють відповідність елементів множини A елементам множини D. Використовуючи ці відношення, можна визначити значення показників точності зубчастого колеса згідно з ГОСТ 1643–81 в матричній формі. При цьому результати експериментальних досліджень показали, що сумарні надлишкові переміщення та повороти підпорядковуються нормальному закону розподілення. Тоді можна записати

$$\begin{bmatrix} (F'_{ir})^2 \\ F_{pkr}^2 \\ V_{Wr}^2 \\ f_{ptr}^2 \\ f_{pbr}^2 \\ f_{fr}^2 \\ F_{pxnr}^2 \\ F_{kr}^2 \\ E_{Hr}^2 \\ E_{cr}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11}^2 & u_{12}^2 & u_{13}^2 & u_{14}^2 & u_{15}^2 & u_{16}^2 \\ u_{21}^2 & u_{22}^2 & u_{23}^2 & u_{24}^2 & u_{25}^2 & u_{26}^2 \\ u_{31}^2 & u_{32}^2 & u_{33}^2 & u_{34}^2 & u_{35}^2 & u_{36}^2 \\ u_{41}^2 & u_{42}^2 & u_{43}^2 & u_{44}^2 & u_{45}^2 & u_{46}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{101}^2 & u_{102}^2 & u_{103}^2 & u_{104}^2 & u_{105}^2 & u_{106}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z^2 \\ \Delta y^2 \\ \Delta x^2 \\ \Delta \varphi_z^2 \\ \Delta \varphi_y^2 \\ \Delta \varphi_x^2 \end{bmatrix},$$

де  $u_{12}, \dots, u_{106}$  – передаточні коефіцієнти.

У результаті багаточисельних розрахунків за допомогою залежності (1) були отримані для зубофрезерної операції середні значення похибок оброблення (показників точності) для зубчастих коліс з діаметром ділильного кола 50...1000 мм. За значеннями показників точності були визначені відповідні їм ступені точності. Математична обробка ступенів точності дала можливість визначити середнє, найбільш ймовірне, значення, яке дорівнює 7,6, тобто ступінь точності  $\tau$  зубофрезерної операції наближається до 8.

Для перевірки теоретичних даних була виконана серія експериментальних досліджень при зубофрезеруванні циліндричних коліс ( $m_n = 3; 4; 5; 6$  мм з кількістю зубців  $z = 25 \dots 45$ ,  $\beta = 10 \dots 30^\circ$ , сталь 12ХНЗА). Зубофрезерування виконувалося шнековими фрезами класа точності А на зубофрезерному верстаті моделі 5К32 нормальної точності. Для кожного обробленого зубчастого колеса визначали показники точності, за якими і встановлювали досягнутий ступінь точності згідно з ГОСТ 1643–81. Дробову частину ступеня точності визначали шляхом інтерполяції значень показників точності. Кумулятивна крива ступенів точності  $\tau$  всіх досліджених зубчастих коліс на зубофрезерній операції (див. рисунок) показала, що мода розподілу ступенів точності (при  $P = 0,5$ ) знаходиться між 8 та 9 ступенем точності.



Кумулятивна крива ступенів точності зубчастих коліс

Враховуючи результати теоретичних та експериментальних досліджень, можна констатувати, що на зубофрезерній операції без впровадження певних заходів (спеціального технологічного спорядження, оптимізації режимів різання, підвищення класу точності шнекової фрези тощо) неможливо забезпечити навіть 7 ступінь точності зубчастих коліс. Тому для отримання зубчастих коліс 6–7 ступенів точності та точніше на зубофрезерній операції, необхідно підвищувати точність зубофрезерних верстатів, для чого впроваджують такі засоби [3]: усунення похибок елементів кінематичного ланцюга зубооброблювального верстата або зменшення їх до мінімальної межі; вибір такої кінематичної схеми та її елементів, які забезпечують найменший вплив цих похибок; включення в кінематичний ланцюг спеціальних механізмів, компенсуючих кінематичну похибку кінцевих ланок кінематичного ланцюга; використання систем автоматичного корегування, що компенсує як систематичні, так і випадкові похибки ланцюга обкату-ділення зубофрезерного верстата; застосування систем автоматичного корегування, заснованих на заміні безперервної корекції по всьому контуру оброблюваної деталі дискретною на обмеженій кількості її ділянок.

Точність і продуктивність на зубофрезерній операції можна також підвищити автоматичним керуванням цим процесом за допомогою адаптивної системи. Наприклад, впровадження для зубооброблення циліндричних коліс зубофрезерного верстата моделі ZFWZ250x5/IS-AC дає можливість отримати 6 ступінь точності при зубофрезеруванні коліс діаметром до 1250 мм з модулем до 14 мм [2].

Для стабільного забезпечення 6–7 ступенів точності зубчастих коліс при виготовленні їх в умовах автоматизованого виробництва необхідно для термічно не оброблених коліс вводити операцію зубошевінгування. Прикладом такого впровадження може бути зубошевінгувальний автомат моделі ВС600, який виготовляють на базі універсального напівавтомата моделі 5702, що забезпечує шевінгування дисковим шевером циліндричних зубчастих коліс діаметром до 320 мм і модулем до 6 мм.

Шевінгування – найбільш розповсюджений процес кінцевої обробки циліндричних зубчастих коліс майже всіх типів, що здійснюється методом обкочування. Точність обробки зубців при шевінгуванні лежить в межах 6...7 ступенів точності, а шорсткість бокових поверхонь зубців в межах  $R_a = 1,2 \dots 0,16$  мкм.

У тому випадку, коли зубчасті колеса проходять операцію термічного або хіміко-термічного оброблення для забезпечення необхідної точності доцільно використовувати після зубофрезерної операції та термічного зміцнення зубохонінгування дисковим хоном (7 ступінь точності) або зубошліфування абразивним шнеком (6 ступінь точності). Необхідно відзначити, що термічна обробка зубчастих коліс приводить до зростання радіального биття  $F_{\text{п}}$  зубчастого вінця на 16...21% у колеса та на 13...20 % у шестерні [4].

В умовах автоматизованого виробництва доцільно використовувати зубохонінгувальні верстати моделей 5919 і 5915, які необхідно споряджувати спеціальними завантажувально-розвантажувальними маніпуляторами. Ці верстати дозволяють обробляти зубчасті колеса діаметром до 500 мм і модулем до 10 мм.

Стосовно зубошліфувальних верстатів, які працюють абразивним шнеком, можна рекомендувати моделі 5В830, 5В832, 5В833 та 5В836. Ця гама верстатів забезпечує оброблення коліс діаметром до 800 мм і модулем до 8 мм. Але при цьому їх також необхідно споряджувати спеціальними завантажувально-розвантажувальними маніпуляторами для встановлення та зняття заготовки на робочій позиції. Шліфування зубців коліс абразивним шнеком забезпечує 5...6 ступені точності з шорсткістю обробленої поверхні в межах  $R_a = 1,0...0,2$  мкм.

### Висновки

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дали можливість зробити такі висновки:

1. Зубофрезерна операція з використанням шнекових фрез в умовах автоматизованого виробництва забезпечує 8–9 ступені точності зубчастих коліс, що є недостатнім для отримання готового колеса 5–7 ступеня точності згідно з ГОСТ 1643–81.

2. Для забезпечення 5–7 ступеня точності циліндричних зубчастих коліс згідно з ГОСТ 1643–81 в умовах автоматизованого виробництва необхідно додатково вводити операції зубошевінгування (для термічно не оброблених коліс) або зубохонінгування чи зубошліфування (для термічно оброблених коліс).

3. Доцільно продовжити роботу в напрямку підвищення точності зубооброблення на зубофрезерній операції до 7 ступеня точності згідно з ГОСТ 1643–81, що дасть можливість зменшити в умовах автоматизованого виробництва певну кількість робочих позицій, а саме не використовувати операції зубошевінгування або зубохонінгування, або зубошліфування і тим самим зменшити собівартість виготовлення зубчастих коліс.

1. Гулида Э.Н. *Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес.* – Львов: Изд-во при Львов. ун-те “Вища школа”, 1977. – 168 с. 2. Гулида Э.Н. *Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес.* – Львов: Изд-во при Львов. ун-те изд. “Вища школа”, 1983. – 136 с. 3. Махоркин Е.Н. *Исследование процесса зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес червячными фрезами // Диссертация на соиск. уч. степ. канд. техн. наук.* – Львов, 1981. – 199 с. 4. Колісничеснко В.В., Козелло Н.Л. *К вопросу обеспечения точности серийного изготовления редукторов и мотор-редукторов общего назначения // Технол. и автоматиз. машиностр.* – К., 1986. – №37. – С. 73–74.