

УДК.621.822

В.І Марчук, С.О. Приступа

Луцький національний технічний університет

ПРО ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СПАДКОВОСТІ НА ТОЧНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ В УМОВАХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

В роботі розглядається спадковий характер похибок, що виникають в процесі виготовлення кілець роликотідшипників. Також проведений аналіз похибок на окремих технологічних операціях в рамках кореляційної теорії.

Ключові слова: *кілець, похибка, шліфування, технологічна спадковість, кореляційний зв'язок, автоматизована лінія.*

Під час проектування автоматизованих ліній для виготовлення кілець роликотідшипників велике значення має визначення зв'язків між похибками в процесі обробки кілець на всіх суміжних технологічних операціях. Знання законів яким підкоряються ці зв'язки, дозволяє дати оцінку впливу похибок в процесі виготовлення кілець на наступних технологічних операціях в залежності від рівня похибок, набутих кільцями на попередніх технологічних операціях, і, відповідно обґрунтувати вибір тих або інших значень поопераційних допусків.

В процесі виготовлення кілець на автоматизованих лініях технологічні операції багаторазово повторюються в однакових технологічних умовах, тому для аналізу похибок, що виникають в процесі виробництва підшипників можуть бути застосовані методи математичної статистики.

Точність виготовлення кілець на кожній технологічній операції визначається багатьма факторами: похибками, отриманими на попередніх операціях, похибками базування, похибками самого технологічного процесу тощо.

Визначимо вплив перших двох з перерахованих вище факторів на точність виготовлення окремих параметрів кілець на автоматизованих лініях.

Розглянемо вплив, що здійснюють похибки в базуванні кілець підшипника, на точність виготовлення доріжок кочення.

Розгляд розпочнемо з дільниці термічної обробки, на якій, як показали дослідження [1], відбуваються значні зміни розмірів в діаметрах доріжок кочення кілець, отриманих після операції токарного оброблення.

Для дослідження була вибрана партія кілець в кількості 95 штук. Оскільки, в процесі термічної обробки кілець зняття металу не відбувається, то кореляційний зв'язок між похибками в середніх діаметрах доріжок кочення кілець до і після термообробки повинна бути досить тісним.

Найбільший інтерес під час аналізу термічної обробки представляє виявлення випадкової складової похибки процесу термообробки, оскільки постійна стала похибок в середніх діаметрах кілець може бути скомпенсована на наступній технологічній операції шляхом відповідних налаштувань шліфувального автомата. Розрахунки показують, що для процесу термообробки дисперсія похибок складає 45% від повної дисперсії похибок в середніх діаметрах доріжок кочення[3].

Дослідження похибок на шліфувальній дільниці зовнішніх кілець роликотідшипників серії 7000 виконувалось послідовно на трьох операціях попереднього, чистового та тонкого шліфування. В даному випадку базою служить торець кільця. На рис 1 показано фрагмент робочого креслення кільця та схема контролю похибки середнього діаметра.

Опис автоматизованої лінії виготовлення кілець роликотідшипників і шліфувальної дільниці наведений в роботі [2], тому в статті буде розглянута лише принципова схема обробки зовнішнього кільця шліфуванням (рис 2).

Найбільший інтерес в аналізі термічної обробки представляє виявлення випадкової складової похибки в середніх діаметрах кілець. Проведені розрахунки показали, що для процесу термообробки $\eta^2 = 0,55$, тобто дисперсія похибки самого процесу термообробки складає 45% від повної дисперсії похибок в середніх діаметрах доріжок кочення [3].

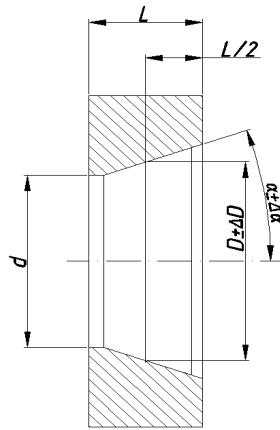


Рис.1. Зовнішнє кільце роликпідшипника

В партії кільць похибки ΔD_{mm} , і ΔD_n , є випадковими величинами, що обмежуються відповідними полями допуску (ΔD_{mm} , і ΔD_n , похибки діаметрального розміру доріжки кочення зовнішнього кільця в середині твірної конічної поверхні).

В якості характеристик випадкових величин використаємо середнє значення:

$$\overline{\Delta D_{mm}} = \frac{\sum \Delta D_{mm,i}}{n}; \quad \overline{\Delta D_n} = \frac{\sum \Delta D_{n,i}}{n}; \quad (1)$$

і середнє математичне відхилення:

$$\sigma_{mm} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta D_{mm,i} - \overline{\Delta D_{mm}})^2}{n}}; \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{\sum (\Delta D_{n,i} - \overline{\Delta D_n})^2}{n}}; \quad (2)$$

де

$$\Delta D_{mm,i} = \frac{(\Delta D_{mm,i})_{\max} + (\Delta D_{mm,i})_{\min}}{2}; \quad \Delta D_{n,i} = \frac{(\Delta D_{n,i})_{\max} + (\Delta D_{n,i})_{\min}}{2},$$

n — число кільць в партії.

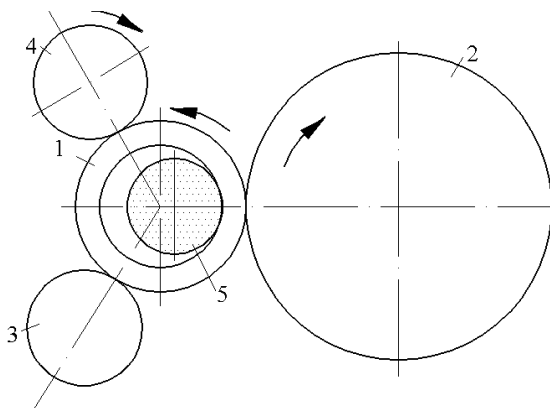


Рис. 2. Схема обробки доріжки кочення зовнішнього кільця роликпідшипника
1 – кільце, що шліфується; 2 – ведучий диск; 3, 4 – ведучий і прижимний ролики;
5 – шліфувальний круг

Для встановлення статистичного зв'язку між ΔD_{mm} , і ΔD_n , скористаємось поняттям кореляційної залежності, під якою розуміється такий зв'язок між випадковими величинами, коли одна із них реагує на зміну іншої зміною свого середнього значення. Така кореляційна залежність може бути виражена за допомогою рівняння прямої лінії:

$$\overline{\Delta D_{n/mm}} - \overline{\Delta D_n} = r \frac{\sigma_n}{\sigma_{mm}} (\overline{\Delta D_{mm}} - \overline{\Delta D_{mm}}) \quad (3)$$

де r — коефіцієнт кореляції, що визначається наступним виразом:

$$r = \frac{\sum_i (\Delta D_{mm,i} - \overline{\Delta D_{mm}}) (\Delta D_{n,i} - \overline{\Delta D_n})}{n \sigma_n \sigma_{mm}} \quad (4)$$

$\overline{\Delta D_{n/mm}}$ — середні значення ΔD_n .

Вираз (3) називається рівнянням регресії, а кутовий коефіцієнт прямої ρ — коефіцієнт регресії:

$$\rho = r \frac{\sigma_n}{\sigma_{mm}}. \quad (5)$$

Підставивши (5) в (3), отримаємо:

$$\overline{\Delta D_{n/mm}} = a + \rho \overline{\Delta D_{mm}}, \quad (6)$$

Формула (6) показує, що середня величина похибки $\overline{\Delta D_{n/mm}}$ складається з частини $\rho \overline{\Delta D_{mm}}$, що пропорційна похибці $\overline{\Delta D_{mm}}$, і постійної складової a .

Використовуючи (6), вираз для повної величини похибки запишемо так:

$$\Delta D_n = (\Delta D_n - \overline{\Delta D_{n/mm}}) + a + \rho \overline{\Delta D_{mm}} \quad (7)$$

Розглянемо складові правої частини (7).

Складовою $\Delta D_n - \overline{\Delta D_{n/mm}}$ являється частиною вхідної похибки, кореляційно незалежної від величини похибки $\overline{\Delta D_{mm}}$ і є випадковою похибкою технологічних операцій.

Складовою a представляє собою постійну похибку технологічної операції, що збільшує, або зменшує вихідну похибку в залежності від знака a . Вплив a можна звести до мінімуму налаштуванням технологічної системи на відповідний розмір.

Складовою $\rho \overline{\Delta D_{mm}}$ представляє собою частину вихідної похибки, що пропорційна величині похибки $\overline{\Delta D_{mm}}$. Коефіцієнт регресії ρ в цьому випадку може бути названий коефіцієнтом передачі похибки, який показує яка частина $\overline{\Delta D_{mm}}$ переноситься на ΔD_n . Для правильно побудованих технологічних процесів задовольняється наступний вираз:

$$0 \leq \rho \leq 1. \quad (8)$$

Можна зробити висновок, що у випадку коли $\rho = 0$ перенесення похибок з попередніх технологічних операцій на наступні не відбувається, тобто похибки попередніх операцій повністю усуваються. Якщо ж $\rho = 1$ відбувається повне перенесення попередніх похибок. Коли ж $0 \leq \rho \leq 1$ технологічні операції лиш частково усуваються похибки, що отримані на попередніх операціях обробки кілець.

Для прямолінійної кореляційної залежності дисперсія похибки ΔD_n може бути представлена в наступному вигляді:

$$\sigma_n^2 = \sigma_{n/mm}^2 + \delta_{n/mm}^2, \quad (9)$$

де перший доданок представляє собою середню з часткових дисперсій, тобто величину, яка не залежить від $\overline{\Delta D_{mm}}$ і являється наслідком похибок самого процесу шліфування, а другий доданок в граничному випадку ($n \rightarrow \infty, \delta_{n/mm}^2 \rightarrow \rho^2 \sigma_n^2$) пропорційно дисперсії $\overline{\Delta D_{mm}}$. Перетворимо (9) наступним чином:

$$\frac{\sigma_{n/mm}^2}{\sigma_n^2} + \frac{\delta_{n/mm}^2}{\sigma_n^2} = 1, \quad (10)$$

і позначимо

$$\eta^2 = \frac{\delta_{n/mm}^2}{\sigma_n^2}. \quad (11)$$

Таким чином, величина η^2 показує, яка частина ΔD_n зумовлена зміною похибки $\overline{\Delta D_{mm}}$.

В табл. 1 наведені статистичні характеристики процесу попереднього та тонкого шліфування

Таблиця 1

Статистичні характеристики	Попереднє шліфування		Тонке шліфування	
	$\Delta D_{mm}, \text{мк}$	$\Delta D_n, \text{мк}$	$\Delta D_q, \text{мк}$	$\Delta D_m, \text{мк}$
$\overline{\Delta D}$	-65,3	100,2	13,3	28,4
σ	84,7	42,3	11,2	9,9
r	0,46		0,98	
ρ	0,23		0,86	
η^2	0,22		0,95	

В табл.2 ΔD_{mm} , ΔD_n , ΔD_q і ΔD_m — похибки в середніх діаметрах доріжок кочення відповідно після технологічних операцій термооброблення, попереднього, чистового та тонкого шліфування.

В роботі [1] показано, що відповідними налаштуваннями автомата для чистового шліфування кілець величину r , а відповідно, і ρ можна звести до мінімуму.

На рис 3 представлені теоретичні (суцільною лінією) та емпіричні (пунктирною лінією) лінії регресії відповідно для попереднього та тонкого шліфування. Порівняння емпіричних і теоретичних залежностей $\overline{\Delta D_{n/mm}} = f(\Delta)$ і $\overline{\Delta D_{m/q}} = f(\Delta)$ вказує на задовільність їх сходження.

Коефіцієнти регресії $\rho = 0,23$ і $\rho = 0,86$ показують, що в той час, коли операція попереднього шліфування в значній мірі знижує дію похибок після дільниці термічної обробки, операція тонкого шліфування практично не усуває похибок після чистового шліфування.

Аналогічні висновки можна зробити проаналізувавши дані приведених в табл. 1 коефіцієнтів η^2 . Коефіцієнти η^2 рівні 78% і 5% від загальної дисперсії похибок ΔD_n і ΔD_m , являються наслідком відповідних технологічних процесів попереднього і тонкого шліфування.

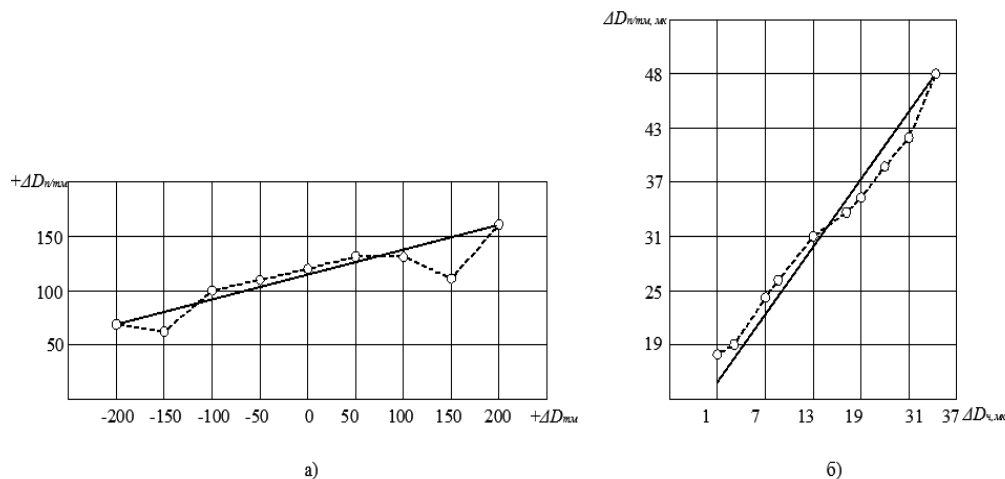


Рис. 3. Теоретичні та емпіричні лінії регресії похибок середнього діаметра доріжки кочення роликпідшипника: а) для попереднього та б) для тонкого шліфування

В табл. 2 наведені статистичні характеристики похибок кута конуса доріжки кочення. А саме $\Delta\alpha_{mm}$, $\Delta\alpha_n$, $\Delta\alpha_q$, $\Delta\alpha_m$ похибки середніх значень — після технологічних операцій, термообробки, попереднього, чистового, та тонкого шліфування відповідно.

Згідно з даними таблиці 3 між похибками $\Delta\alpha$ на дільницях попереднього шліфування і термообробки існує статистичний зв'язок $r = 0,63$. Проте, невелике значення коефіцієнта передачі $\rho = 0,1$ вказує на те, що технологічна операція попереднього шліфування добре виправляє середнє значення похибок $\Delta\alpha$, отриманих на попередніх технологічних операціях (рис 4, а). Похибки $\Delta\alpha_q$

і $\Delta\alpha_m$ також знаходяться в кореляційній залежності $r = 0,676$. Але оскільки $\rho = 0,518$, то операція тонкого шліфування в значній мірі зберігає похибки з попередніх технологічних операціях (рис 4, б).

Таблиця 2

Статистичні характеристики	Попереднє шліфування		Тонке шліфування	
	$\Delta\alpha_{тл}, мк$	$\Delta\alpha_{п}, мк$	$\Delta\alpha_{ч}, мк$	$\Delta\alpha_{т}, мк$
$\overline{\Delta\alpha}$	99,9	-9,98	-0,53	4,88
σ	38	6,06	1,99	1,53
r	0,63		0,676	
ρ	0,1		0,518	
η^2	0,397		0,456	

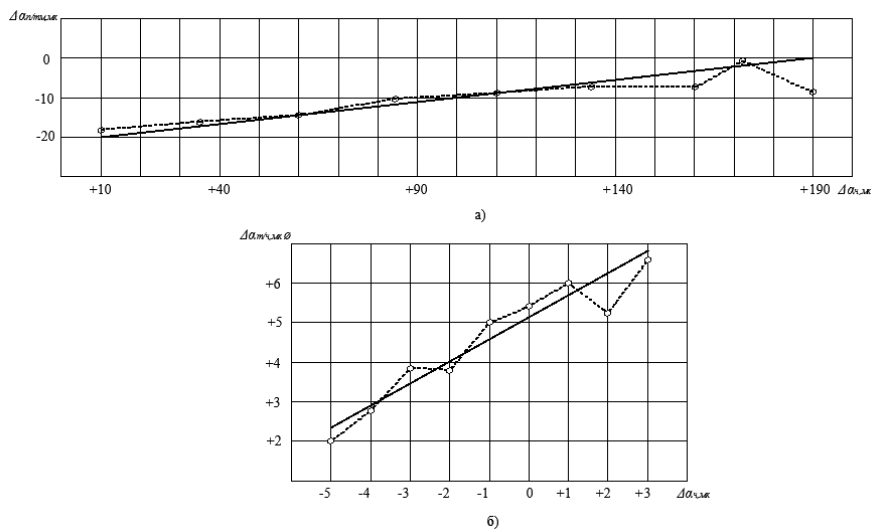


Рис. 4. Теоретичні та емпіричні лінії регресії похибок кута конуса зовнішнього кільця роликотішлипника: а) для попереднього та б) для тонкого шліфування

Висновки. В умовах виготовлення підшипників качення на автоматизованих лініях більшість технологічних операцій побудовано таким чином, що похибки суміжних технологічних операцій знаходяться в кореляційному зв'язку між собою.

Кореляційний зв'язок з достатньою для практики розрахунків точністю може бути прийнятий у вигляді рівняння прямої лінії.

Аналіз похибок на окремих технологічних операціях в рамках кореляційної теорії дозволяє обґрунтувати призначення тих або інших величин поопераційних допусків (припусків) і виявити незадіяні резерви виробництва (наприклад, в процесі тонкого шліфування можуть бути зменшені величини похибок, що підтверджується величиною коефіцієнта кореляції).

Приведені в даній статті рівняння можуть служити в першому наближенні вихідними даними для призначення допусків (припусків) в процесі проектування технологічних операцій з оброблення кілець, близьких за своїми геометричними розмірами до розглянутих.

Описаний підхід набуває особливої актуальності для прогнозування точності механічного оброблення поверхонь деталей роликотішлипників в умовах переналагоджувального виробництва.

1. Дьяконова Н.П. Автоматизация машиностроения / Н.П. Дьяконова, Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов М.: Высшая школа, 2003. – 223 с.
2. Спришевский, А.И. Подшипники качения Текст. / А.И. Спришевский. М.: Машиностроение, 1969. – 631 с.
3. Ящерицин П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицин, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. Мн. Наука и техника, 1977. – 256 с.