

УДК 621.822:681.2:369.64

В.І. Марчук, д.т.н., доц.

В.Ю. Денисюк, к.т.н.

Луцький державний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ФОРМО- ТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ НА ОПЕРАЦІЯХ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ

Розглянуто особливості процесів безцентрового шліфування доріжок кочення внутрішніх і зовнішніх кілець роликопідшипників з їх базуванням на жорстких опорах шліфувальних автоматів. Описано вплив факторів процесу шліфування, кінематичних налаштовувальних та геометричних встановлювальних параметрів на показники якості поверхні й ефективності процесу обробки.

Аналіз попередніх досліджень. Вихідні параметри якості робочих поверхонь кілець роликопідшипників, такі як точність лінійних і кутових розмірів, відхилення форми, структура і параметри мікрорельєфу, фізико-механічні властивості поверхневого шару, від яких залежать експлуатаційні властивості деталей в складі виробу, формуються на викінчувальних шліфувальних та доводочних операціях. З точки зору забезпечення точності та якості мікро топографії поверхні (шорсткість, хвилястість) обробка шліфуванням має великі переваги перед обробкою лезовим інструментом [1, 8, 9]. Багатопрохідність і можливість за необхідністю змінювати робочий цикл в напрямку від грубого процесу до більш тонкого є, у цьому відношенні, одним з позитивних факторів.

Другим важливим фактором, який властивий природі шліфування, є тенденція самого процесу формоутворення до автоматичного вирівнювання вихідних похибок форми поверхонь. Тобто має місце саморегулювання процесу формоутворення, коли власні відхилення від правильної геометричної форми є першопричиною такої зміни різальної здатності круга та інтенсивності знімання припуску, яка пришивидшує процес заокруглення деталі. Сама деталь “керує” процесом формоутворення, пришивидшуючи вирівнювання початкових похибок [7].

Мірилом поопераційного копіювання геометричних похибок вважається коефіцієнт уточнення форми деталі (поверхні), який визначається відношенням однойменних похибок, утворених на попередній і наступній операціях [9]:

$$\mu_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (1)$$

де δ_{i-1} і δ_i – величини досліджуваної похибки (наприклад овальності) відповідно на попередній і на тій, що виконується, операціях, мкм.

При обертанні в момент контакту шліфувального круга з ділянкою збільшеного припуску виникає збільшене відтискування пружної технологічної системи. Таким чином, проходить деяке копіювання або часткове відтворення початкових похибок. Але одночасно проходить зворотний процес, який протидіє копіюванню початкових похибок на оброблювану поверхню. Зрозуміло, що під час обробки ділянки зі збільшеним припуском в системі створюється підвищений натяг, тобто збільшується сила різання. Ця обставина є причиною збільшення кількості різальних зерен, що контактують з поверхнею деталі. Відповідним чином збільшується різальна здатність інструменту та інтенсивність знімання металу. І, навпаки, під час контактування круга з ділянкою меншого припуску відповідно зменшується відтискування системи і натяг в ній. Під час меншого контактного тиску зменшується кількість різальних зерен і відповідно знижується інтенсивність знімання металу. Таке коливання сили різання негативно впливає на якість та однорідність властивостей окремих ділянок обробленої поверхні і стає причиною виникнення хвилястості поверхні, яка негативно впливає на експлуатаційні властивості кілець [5].

Постановка задачі досліджень. Пошук та створення таких методів формоутворення, які помітно зменшували б вихідні геометричні похибки форми поверхні, тобто характеризувалися б високим значенням коефіцієнта уточнення, є надзвичайно важливим завданням. Такі методи автоматично виконують роль “бар’єрів”, які запобігають переходженню на наступні операції овальності, гранності, хвилястості та інших геометричних похибок. А це означає, що в такому випадку на цій операції з названих параметрів технологічна спадковість перестає діяти. Одним з таких прогресивних і високоточних способів шліфування доріжок кочення кілець підшипників є безцентрове шліфування з базуванням кілець по оброблюваній поверхні на жорстких опорах [2, 3], рис. 1.

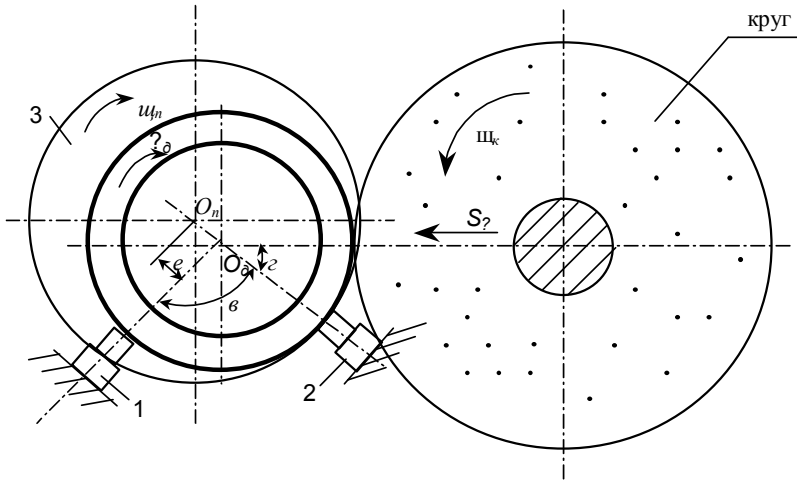


Рис. 1. Схема безцентрового круглого шліфування доріжки кочення внутрішнього кільця

Результати досліджень. Шліфування доріжки кочення кільця виконується після токарної і термічної операцій. Кільце встановлюється на двох жорстких нерухомих опорах 1 і 2, які змонтовані безпосередньо на станині верстата. Опори розміщені під кутом β одна до одної, а опора 2 – під кутом γ до горизонтальної осі кільця в такий спосіб, щоб результуюча сила різання з лінії контакту круга з шліфованою поверхнею направлялась на опору 2. У процесі вибору координат розміщення опор необхідно дотримуватись умови: $\gamma + \beta < 180^\circ$ [9].

Деталь, яка шліфується, закріплюється магнітним патроном на планшайбі 3 шпинделя з ексцентриситетом e , величина якого залежить від величини припуску необхідної точності, технологічної продуктивності тощо (рис. 1). Базування деталі проходить по поверхні, яка шліфується. Безперервність контакту круга з деталлю підтримується автоматично, причому в початковій фазі шліфування з ексцентриситетом (чорнове шліфування) знімання припуску виконується дискретними ділянками переривчастим шліфуванням, а в міру зменшення припуску і ексцентриситету переривчастість контакту переходить в безперервне (чистове) шліфування. Деталь обертається за рахунок моменту тертя плоского торця кільця і плоскої опорної поверхні магнітного патрона. Сила тертя знаходиться в межах 30...100 Н.

В результаті зміщення центра деталі O_d відносно осі патрона O_n на величину $e = 0,1-0,5$ мм виникає відносна швидкість ковзання кільця по планшайбі, завдяки чому воно притискається до жорстких опор [9].

Якщо кутова швидкість ведучої планшайби – ω_n , а швидкість ковзання – $\Delta\omega_k$, то кутова швидкість виробу буде рівна:

$$\omega_d = \omega_n - \Delta\omega_k . \quad (2)$$

Сила тертя в місці контакту виробу з планшайбою ΔF пропорційна силі притискання і залежить також від величини зміщення e центрів обертання деталі й планшайби [7].

Дослідження [2, 9] показали, що точність обробки залежить від кутового розміщення нерухомих опор, величини та напрямку зміщення осі обертання деталі відносно осі обертання шпинделя деталі й від методу притискання деталі в осьовому напрямку.

Описаний метод безцентрового шліфування робочих поверхонь внутрішніх кілець роликотітшипників реалізований на шліфувальному автоматі SWaGL-125. Принцип безцентрового шліфування використаний для шліфування внутрішніх робочих поверхонь зовнішніх кілець роликотітшипників.

Процес шліфування доріжок кочення, як внутрішніх, так і зовнішніх кілець, проводиться як багатоступінчаста операція в автоматизованому циклі обробки. Робочий цикл шліфування складається з таких переходів: 1. Завантаження; 2. Форсована подача (підведення інструменту); 3. Чорнова подача; 4. Чистова подача; 5. Виходжування; 6. Правка круга; 7. Вивантаження. Всі основні переходи шліфування здійснюються за одне встановлення деталі. На переході чорнового шліфування знімається більша частина припуску (0,120 мм), а на переході чистового шліфування і виходжування забезпечуються необхідні значення параметрів якості геометричної структури поверхні. Таким чином скорочується час операції і забезпечується необхідна якість оброблюваної поверхні. З точки зору можливостей керування такий процес є складним для виконання, оскільки на його протікання впливає велика кількість параметрів. Найважливіші фактори, що впливають на цей процес і в кінцевому результаті – на формування геометричної структури робочих поверхонь кілець, а також критерії його оцінки показані на рис. 2.

Характерною рисою, що характеризує багатоступінчастість процесу, є диференціація швидкості поперечної подачі V_n в залежності від зміни припуску на обробку Δx_d .

До кінематичних налаштовуваних параметрів процесу шліфування належать:

- швидкість форсованої подачі шліфувального круга на величину проміжку безпеки V_{fn} ;
- швидкість подачі чорнового шліфування V_{n1} ;
- швидкість подачі чистового шліфування V_{n2} ;
- час виходжування t_6 ;
- колова швидкість шліфувального круга V_k ;
- колова швидкість деталі V_d .

До геометричних встановлюваних параметрів процесу належать:

- припуск на чорнове шліфування Δx_1 ;
- припуск на чистове шліфування Δx_2 ;
- припуск на виходжування Δx_3 ;
- величина проміжку безпеки швидкого підведення Δx_6 .

Загальний припуск на обробку Δx_0 залежить від виду попередньої обробки перед шліфуванням.

Кількість факторів, що впливають на процес шліфування, різко зростає, якщо прийняти до уваги вплив параметрів шліфувального круга, деталі, верстата, мастильно-охолоджуючої рідини та процесу правки шліфувального круга.

Параметри системи верстат–інструмент–деталь (ВІД) значною мірою визначаються завданням на обробку, типорозміром кілець і формою поверхні, яка оброблюється, системою контролю, подачі мастильно-охолоджувальних рідин, правки круга тощо.

До основних критеріїв оцінки якості обробленої деталі належать:

- якість геометричної структури поверхні (шорсткість, хвилястість);
- точність форми і розмірів;
- властивості поверхневого шару.

Економічна ефективність шліфувальної операції (процесу) в цілому може бути оцінена технологічною чи цикловою продуктивністю і, як наслідок, відносною собівартістю обробки шліфованих деталей.

Під час обробки серії деталей слід додатково прийняти до уваги період стійкості шліфувального круга T (час між черговими правками круга), що на практиці часто визначається кількістю оброблених деталей або обсягу зрізаного матеріалу за цей час.

Серед характерних параметрів самого процесу шліфування, які визначають причинно-наслідкові зв'язки між налаштовуваними параметрами і результатами процесу, слід назвати: силу різання P (нормальну P_n і дотичну P_t), потужність різання N , об'ємну продуктивність Q та спрацьовування круга.

Технологічні особливості перебігу процесу шліфування, зміна різальних властивостей шліфувального круга і пружна податливість

системи, які викликають появу нестационарних фаз зміни швидкості подачі інструменту, а також зростаючі вимоги до якості обробки поверхонь внутрішніх кілець роликотідшипників викликають необхідність врахування динаміки процесу обробки.

Починаючи від першого контакту (торкання) шліфувального круга з деталлю, подальше переміщення круга X_n пов'язане зі зніманням припуску на обробку. При цьому виникає сила різання P , складова якої нормальна, сила P_n викликає появу пружних деформацій системи (переміщення x_p). Вказані переміщення змінні в часі й тому призводять до зміни положення зони контакту:

$$x_a(t) = x_d(t) - x_p(t). \quad (3)$$

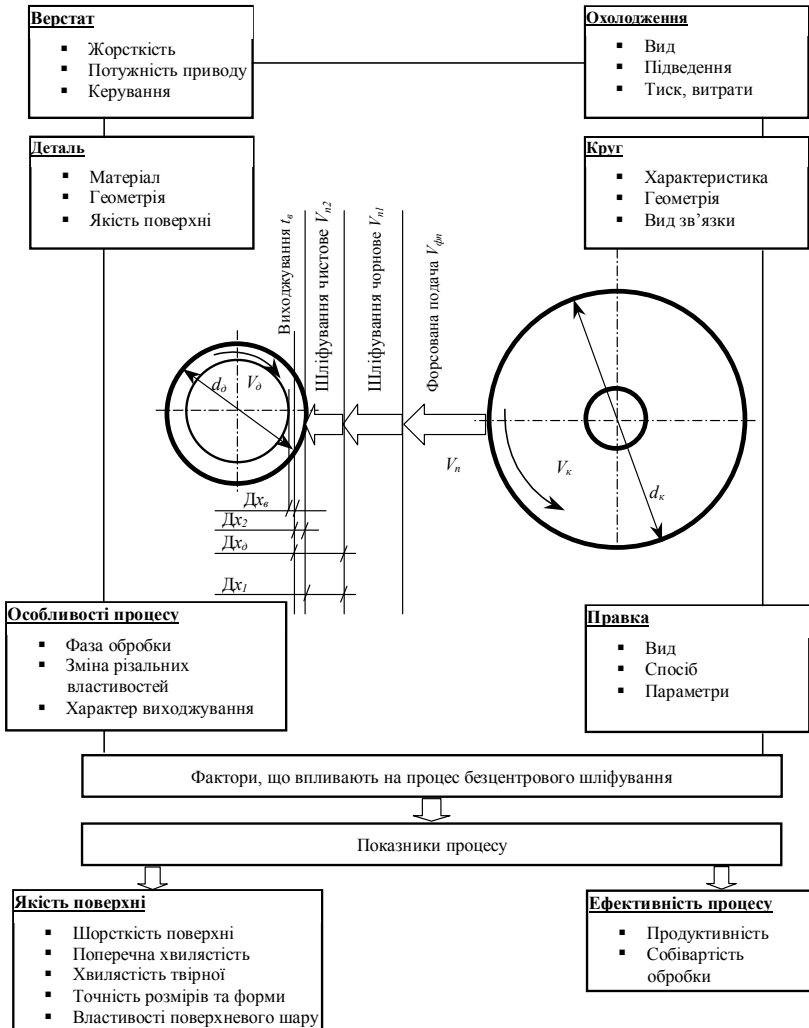


Рис. 2. Фактори впливу, параметри та показники процесу безцентрового врізного шліфування доріжок кочення кілець роликотідишників

При аналізі динаміки процесу шліфування на перший план виступають два явища. По-перше, нормальна сила шліфування P_n при стрибкоподібній зміні швидкості врізної подачі круга V_n зростає із запізненням, залежним від релаксації системи ВІД, а, по-друге,

існує можливість виникнення коливань в системі, викликаних наявністю хвилястості або некруглої поверхні деталі і шліфувального круга. Найчастіше приймається, що збудження коливань при шліфуванні є, перш за все, результатом розвитку хвилястості на зовнішній поверхні шліфувального круга або деталі, первинним джерелом якої можуть бути:

- процес правки круга і неминучі при цьому коливання шліфувального круга під впливомправлячого інструменту;
- процес різання, який сам по собі генерує коливання, що мають характер білого шуму з широким діапазоном (одночасна участь у процесі великої кількості абразивних зерен, що створюють імпульсні збурення);
- непостійність довжини контакту круга з деталлю через непостійність різальних властивостей на його зовнішній поверхні (наприклад в результаті мікроспрацювання).

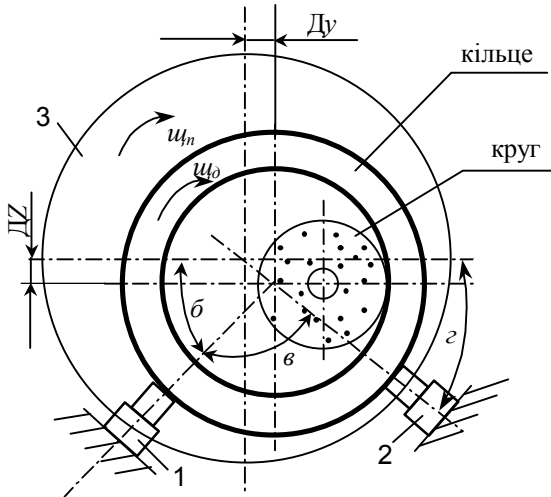


Рис. 3. Схема внутрішнього безцентрового круглого шліфування доріжки кочення зовнішнього кільця роликопідшипника

На рис. 3 показана схема безцентрового шліфування доріжки кочення зовнішнього кільця конічного роликопідшипника з базуванням кільця по зовнішньому діаметру на жорстких опорах. Така схема шліфування використана на операції внутрішнього шліфування доріжок кочення зовнішніх кілець роликопідшипників і циліндричних отворів внутрішніх кілець.

Принцип формоутворення залишається незмінним з однією лише різницею, що кільце притискається до планшайби за допомогою двох притискних роликів. Жорсткі опори 1 і 2 встановлені під кутом 90–100 °, причому одна з них розміщена майже протилежно до напрямку радіального тиску сили різання. Вісь обертання деталі зміщена вправо і вниз відносно центра обертання ведучого патрона шпинделя на величину $e = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta z^2}$. Описаний спосіб шліфування зовнішніх кілець роликотідшипників реалізований на шліфувальному автоматі з цикловим керуванням SiW-4B.

Прийняті способи формоутворення мають наступні переваги: зручність та стабільність налагоджування завдяки простоті конструкції пристрою; зниження похибок обробки за некруглістю і різностінністю до долей мікрометра. Досвід використання описаних схем безцентрового шліфування кілець на підшипникових заводах показав [6], що овальність і гранність доріжок кочення кілець знаходиться в межах 1,2–2,2 мкм, шорсткість поверхні $Ra = 0,12–0,08$ мкм. Поперечна подача $S = 0,4–0,6$ мм/хв, час виходжування складає 20 секунд. Швидкість обертання шліфувального круга $V_k = 25$ м/с, деталі – 30 м/хв.

В описаних способах шліфування усувається до мінімуму вплив на точність, хвилястість і шорсткість радіального биття в опорах шпинделя виробу, оскільки шпиндель деталі звільняється від радіальних навантажень. Крім того, різко знижується час на встановлення і знімання деталі. Завдяки таким перевагам процесу безцентрового шліфування в процесі моделювання механізму формоутворення прийняті правомірні допущення про те, що на процес хвилеутворення основний вплив спричинюють коливні рухи підсистеми шпинделя шліфувального круга, а коливання підсистеми деталі майже відсутні.

Висновки. Таким чином, використання безцентрового круглого шліфування з базуванням кілець на жорстких опорах на викінчувальних операціях формоутворення робочих поверхонь кілець роликотідшипників, має ряд переваг перед іншими способами круглого шліфування, таких як можливе досягнення точності діаметральних розмірів в межах 1–2 мкм, відхилення співвісності зовнішньої і внутрішньої поверхонь кілець в межах 0,2–0,5 мкм та зменшення амплітуди хвилястості шліфованої поверхні завдяки використанню прогресивного способу базування деталі по оброблювальній поверхні й зменшення коливних переміщень у підсистемі шпинделя деталі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Грабченко А.И.* Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Выща школа. Изд-во при Харьковском университете, 1985. – 184 с.
2. *Спицин Н.А., Спришевский А.И.* Подшипники качения: Справочное пособие. – М.: Гос. н. т. изд-во машиностроительной литературы, 1961. – 828 с.
3. *Капустин Н.М.* Точность обработки при бесцентровом шлифовании. – В кн.: Вопросы точности в машиностроении. – М.: Машгиз, 1960. – С. 28–47.
4. *Лебедев В.Г.* Автоматическое управление качеством деталей машин при шлифовании. – К.: Знание, 1981. – 25 с.
5. *Марчук В.І., Заблоцький В.Ю., Лапченко Ю.С.* Технологічне керування віброакустичними характеристиками роликопідшипників в умовах гнучких виробничих систем // Сучасні технології виробництва в розвитку економічної інтеграції та підприємництва: Матеріали І Українсько-Польської наукової конференції 16–18 жовтня 2003 р. – Сміт. Сатанів. – Хмельницький: Технологічний університет Поділля, 2003. – С. 103–104.
6. *Марчук В.І.* Аналіз точності шліфування кілець карданних підшипників у адаптивній технологічній системі // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького державного технічного університету / Інженерна механіка – Вип. 11. – Луцьк: Вид-во ЛДТУ, 2002. – С. 212–217.
7. *Михелькевич В.Н.* Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
8. *Якимов А.В.* Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
9. *Ящерицин П.И.* Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. – Минск: Наука и техника, 1971. – 212 с.

МАРЧУК Віктор Іванович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри приладобудування Луцького державного технічного університету.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення якості деталей та зв'язки параметрів якості з експлуатаційними характеристиками.

Тел.: (03322) 6–49–43.

E-mail: info@kptm.lutsk.ua

ДЕНИСЮК Віктор Юрійович – кандидат технічних наук, в.о. доцента кафедри приладобудування Луцького державного технічного університету.

Наукові інтереси:

– системи автоматизованої технологічної підготовки токарних автоматів;

– технологічне забезпечення якості деталей.

Тел.: (03322) 6–49–43.

E-mail: info@kptm.lutsk.ua

Подано 12.05.2005