

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КІЛЕЦЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

(Представлено д.т.н., проф. Марчук В.І.)

*В статті висвітлено проблеми пов'язані зі швидким розвитком машинобудівної галузі промисловості, зокрема, підшипникової. Були досліджено можливі причини шуму і вібрації на різних етапах терміну служби підшипників. Більш того, автор пропонує на основі практичних експериментів новий метод дослідження вібрації, що з'являється в підшипнику у процесі його експлуатації.*

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку науки та техніки підвищуються вимоги як до технологічного обладнання, так і до його складових частин. Підвищуються вимоги і до експлуатаційних характеристик підшипників, які є невід'ємною складовою багатьох автоматизованих комплексів, машин та приладів.

Першочергова роль при визначенні експлуатаційних характеристик належить технологічним чинникам. Найбільший вплив на ці характеристики підшипників здійснюють чинники, від яких залежить рівень шуму та вібрації, такі як:

- відхилення від круглості;
- хвилястість;
- шорсткість.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженню ряду таких параметрів приділялася значна увага в роботах [1, 2, 4], вивчалися і методи зниження хвилястості, фізико-механічні властивості оброблюваної поверхні. Основна увага при таких дослідженнях приділялася причинам та механізму утворення хвилястості. Однак зв'язок параметрів хвилястості з експлуатаційними та віброакустичними характеристиками підшипників на даному етапі не має чіткого формулювання. Тому дослідження цієї проблеми є своєчасним та актуальним.

**Метою** роботи є дослідження зв'язку параметрів хвилястості робочих поверхонь з віброакустичними характеристиками роликів підшипників, а також причин виникнення змін віброакустичних параметрів роликів підшипників на різних стадіях життєвого циклу.

**Викладення основного матеріалу.** На вібрацію підшипника з усього спектра хвилястості найбільший вплив здійснюють високочастотні гармоніки, оскільки число хвиль більшою мірою впливає на прискорення, ніж висота хвилястості.

Наприклад, зменшення висоти хвилястості бігової доріжки внутрішнього кільця в 2 рази при одночасному зменшенні кроку хвилі також у 2 рази здавалося б досить бажаним; однак, з точки зору вібрації, це не дає ефекту, оскільки при цьому вдвічі збільшується віброприскорення. Експерименти [2] доводять, що при зменшенні висоти хвилястості внутрішніх кілець підшипника від 2,5 до 0,06 мкм рівень вібрації знижується в середньому на 17 дБ в діапазоні частоти 200–4000 Гц.

Хвилястість зовнішніх кілець впливає на вібрацію підшипника значно менше, оскільки при зменшенні висоти хвилі від 3 до 0,25 мкм відбувається зменшення рівня вібрації лише на 10 дБ.

Віброактивність підшипника – досить новий параметр відхилення від круглості, який безпосередньо пов'язаний з вібрацією підшипників. Переміщення зовнішнього кільця при обертанні внутрішнього можна описати функцією:

$$S(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cos(\omega i t + \varphi_i), \quad (1)$$

де  $S(t)$  – переміщення зовнішнього кільця;  $a_0$  – середнє значення функції  $S(t)$  за період  $T$ , мкм;  $a_i$  — амплітуда коливання окремої складової, мкм;  $\omega = 2\pi f$  – основна складова частота складного коливання, рад./с;  $i$  – номер гармоніки (кількість хвиль);  $\varphi$  – початкова фаза коливань;  $f$  – основна частота коливань.

Виходячи з формули (1), визначимо швидкість  $V$  та прискорення  $W$  підшипника:

$$V = \frac{dS(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^k a_i \omega i \sin(\omega i t + \varphi_i); \quad (2)$$

$$W = \frac{d^2 S(t)}{dt^2} = - \sum_{i=1}^k a_i \omega^2 i^2 \cos(\omega i t + \varphi_i). \quad (3)$$

На даному етапі вібрація вимірюється по прискоренню, але відбувається перехід на оцінку по швидкості, оскільки існуючий метод контролю не виявляє високочастотних складових спектра відхилень — хвилястості. В той час як вібрацію викликають гармоніки вищі 100, що було доведено при співставленні результатів вимірювання на динамічному хвилемірі та приладах, які вимірюють похибку по параметрах швидкості і прискорення.

Для точнішого визначення рівня вібрації підшипника теоретичним шляхом пропонуємо визначати відносні швидкості роликів підшипника за такою схемою:

1. Визначення відносної швидкості в підшипнику між сепаратором та внутрішнім кільцем:

$$n_{CI} = - \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha + \sin \beta} \cdot n_{IE}. \quad (4)$$

2. Визначення відносної швидкості в підшипнику між сепаратором та зовнішнім кільцем:

$$n_{CE} = - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha + \sin \beta} \cdot n_{IE}. \quad (5)$$

3. Визначення частоти коливання підшипника, спричиненої хвилястістю внутрішнього кільця:

$$\omega_1 = | -k_i \cdot n_{CI} + p \cdot n_{CE} |. \quad (6)$$

де  $p = k_i - qZ$  — коефіцієнт кінцевої умови [3];  $Z$  — кількість роликів;  $q$  — коефіцієнт пропорційності;  $k_i$  — базова кількість хвиль;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varepsilon$  — кути нахилу внутрішнього кільця, сепаратора та ролика конічного роликів підшипника (рис. 1).

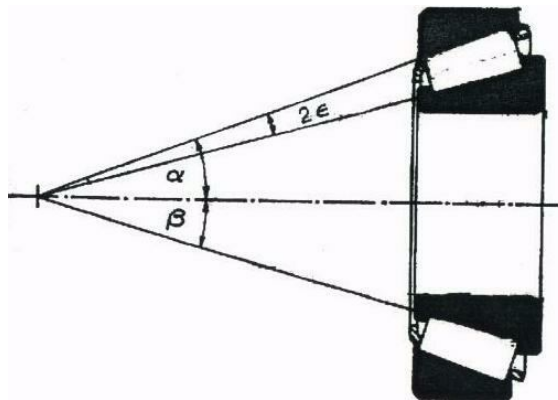


Рис. 1. Геометрія конічного роликів підшипника

При дослідженні підшипника 32202 з вихідними геометричними параметрами:  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\beta = 15^\circ$  та кількістю обертів шпинделя  $n_i = 1800 \text{ хв}^{-1}$  отримали вихідні показники відносної кількості обертів між сепаратором та внутрішнім кільцем  $n_{CI} = -1023 \text{ хв}^{-1}$  та між сепаратором та зовнішнім кільцем  $n_{CE} = 777 \text{ хв}^{-1}$ , які фактично співпадають з показниками даних параметрів, отриманих шляхом теоретичних розрахунків  $-1026$  та  $774 \text{ хв}^{-1}$  відповідно. Виконані розрахунки підтверджують вірність запропонованого методу визначення частоти коливання і, відповідно, віброактивності конічного роликів підшипника.

Хвилястість поверхонь доріжок кочення, внутрішнього та зовнішнього кілець в більшості випадків негативно впливає на експлуатаційні властивості підшипників. Головним джерелом утворення хвилястості є похибки технологічного обладнання. Встановлено, що частка похибки, яку вносить невірноваженість шпиндельного вузла при шліфуванні, може становити 70 % від загальної похибки.

При зменшенні висоти хвилястості півка, утворена оливою, стає все більш нерівномірною, що призводить до збільшення ділянок тертя без змащення. Западини хвиль утворюють клини з оливи, завдяки яким виникає гідропідйомна сила. Ця сила збільшується зі зменшенням кута нахилу вершини і

співвідношення висоти з кроком хвилі та змінюється відповідно до розташування хвиль на цапфі валу. У роликівому підшипнику найбільший вплив на рівень вібрації здійснює хвилястість внутрішнього кільця. Досить важливим є параметр  $k_i$  – порядок хвилястості на кільці (базова кількість хвиль), оскільки, як було доведено [3], співвідношення кількості хвиль з кількістю роликів відіграє значну роль у формуванні експлуатаційних характеристик підшипників.

Рівень вібрації підшипника визначається емпіричною залежністю [1]:

$$J = 201g \frac{q}{3 \cdot 10^{-3}}, \tag{7}$$

де  $q$  – ефективне значення вібраційного прискорення тіла кочення,  $\text{см}/\text{с}^2$ , обумовленого хвилястістю:

$$q = \frac{1}{260} n^2 H_B i^2; \tag{8}$$

$n$  – частота обертів внутрішнього кільця відносно сепаратора, об./хв.;  $H_B$  – середньоквадратична висота хвилястості;  $i$  – кількість хвиль доріжки кочення;  $f$  – частота вібрації  $f = \frac{ni}{60}$ .

Причиною шуму, крім конструктивних факторів підшипників кочення, їх змащення, навантаження та частоти обертання є також геометричні похибки, в тому числі й хвилястість бігових доріжок кілець та тіл кочення. Підшипники з висотою хвилі 0,1–0,5 мкм працюють менш шумно, ніж підшипники з висотою хвилі 1,5–2,5 мкм. З ростом частоти обертання підшипника вплив хвилястості на шум збільшується.

Таблиця 1

Причини виникнення шуму на стадіях виготовлення, монтажу та експлуатації

Причина виникнення шуму	Виготовлення (В)	Монтаж (М)	Експлуатація (Е)
1. Похибки форми			
1.1 Хвилястість	X		
1.2 Відхилення від форми внутрішнього або зовнішнього кілець		X	
2. Пошкодження доріжки кочення	X	X	
2.1 Маркування, насичення	X		
2.2 Механообробка	X	X	X
2.3 Потрапляння бруду		X	X
2.4 Утворення абразивно-неметалевих форм			X
2.5 Стрибокподібне зростання навантаження			X
2.6 Втомленість			
3. Бруд	X	X	X
4. Встановлення		X	
5. Сепаратор	X	X	X
6. Олива	X	X	
7. Власні коливання	X	X	X

**Висновок.** На основі проведених досліджень щодо причин виникнення шуму підшипників кочення виявилось, що головними причинами шуму на етапах виготовлення, монтажу та експлуатації є потрапляння пилу та бруду на доріжку кочення. Це призводить до подальшого утворення пісочних форм, які негативно впливають на експлуатаційні характеристики підшипника; похибки, які виникають при виготовленні сепаратора підшипника; якість змащування підшипника на стадіях виготовлення та монтажу, а також власні коливання. У таблиці 1 наведено перелік причин виникнення шуму на різних стадіях життєвого циклу підшипника.

Хвилястість впливає й на інші експлуатаційні характеристики підшипників і разом з тим негативно впливає на довговічність та якість виготовлених підшипників.

За даними [4] встановлено такі норми на висоту хвиль підшипників кочення (табл. 2).

Таблиця 2

Хвилястість поверхонь кілець підшипників, мкм

Поверхня	Клас точності	Висота хвилі при діаметрі кільця, мм				
		до 18	18–30	30–50	50–80	80–120
Посадочна	0	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1
	4–5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Доріжка кочення	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6
	4–5	0,15	0,2	0,2	0,3	0,3

При цьому норми по висоті шорсткості для таких кілець:  $R_z = 0,3-1$  мкм. Відповідно норми на хвилястість складають 40–110 % від норми на шорсткість класу 0 та 15–60 % від норми на шорсткість класів 4–5.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / В.А. Прилуцкий. – М. : Машиностроение, 1978. – 133 с.
2. Дьяченко П.Е. Методы контроля и стандартизации волнистости поверхности / П.Е. Дьяченко, В.Э. Вайнштейн, З.П. Грозинская. – М. : Стандартгиз, 1962.
3. Марчук В.І. Вплив параметра хвилястості доріжки кочення на віброакустичні характеристики конічних роликотішипників / В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцький, О.Л. Кадик // тези доп. I Міжнародної наук.-техн. конф. «Машинобудування та металообробка—2003». – Кіровоград : КДТУ, 2003. – С. 146–148.
4. Дунин-Барковский Й.В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / Й.В. Дунин-Барковский, А.Й. Карташева. – М. : Машиностроение, 1978. – 232 с.

МАРЧУК Ірина Вікторівна – асистент кафедри «Приладобудування» Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення показників якості поверхонь обертання на операціях механічного оброблення.

Подано 29.09.2011