

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ У РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ВИРОБНИЦТВА

УДК 624

Марчук В.І., д.т.н., Равенець Л.М., Марчук С.В.

Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ З ПОКАЗНИКАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПІДШИПНИКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

В статті висвітлено проблеми технологічного забезпечення деталям підшипників експлуатаційних характеристик, що потребують детального аналізу взаємозв'язків конструкторсько-технологічних та виробничих чинників з показниками технологічного процесу на різних етапах життєвого циклу виробу. Запропонований метод моделювання структурно-параметричних та конструктивно-функціональних зв'язків в структурі життєвого циклу деталі на прикладі кілець роликів підшипників створює передумови комплексного підходу до технологічного забезпечення якості виробів в умовах переналагоджувального підшипникового виробництва. В роботі отримала підтвердження і подальший розвиток гіпотеза про вплив технологічної спадковості з попередніх формують операцій на показники якості, що формуються на фінішних та викінчувально-зміцнювальних операціях.

Віброактивність, геометрична хвилястість, кутова швидкість, мікротопографія, конструкторсько-технологічні чинники.

На сучасному етапі розвитку науки та техніки підвищуються вимоги як до технологічного обладнання, так і до його складових частин. Безперервний розвиток багатьох галузей техніки, зокрема приладо- та верстатобудівної, авіаційної, автомобільної, сільськогосподарської, електро- та енерго- машинобудівної і інших пов'язаний з використанням великої кількості підшипників кочення як опор різних коливних чи обертових механізмів, причому в більшості випадків якість функціонування всього пристрою або машини залежить від динамічних і експлуатаційних характеристик підшипникових опор. Тому показники якості окремого пристрою чи машини в цілому нерозривно пов'язані з показниками якості і експлуатаційними характеристиками кожного підшипникового вузла, як окремої роторної системи, яка потенційно може бути основним джерелом небажаних явищ чи характеристик всього механізму, приладу або машини. В цьому зв'язку вимоги до якості виготовлення підшипників кочення і до їх експлуатаційних показників постійно зростають, а технологічне забезпечення цих вимог стає все проблематичнішим. Так, наприклад, до високошвидкісних підшипникових опор спеціального призначення на недалеку перспективу висуватимуться вимоги за частотою обертання – 70000-90000 хв⁻¹, а за точністю – 0,1- 0,05 мкм.

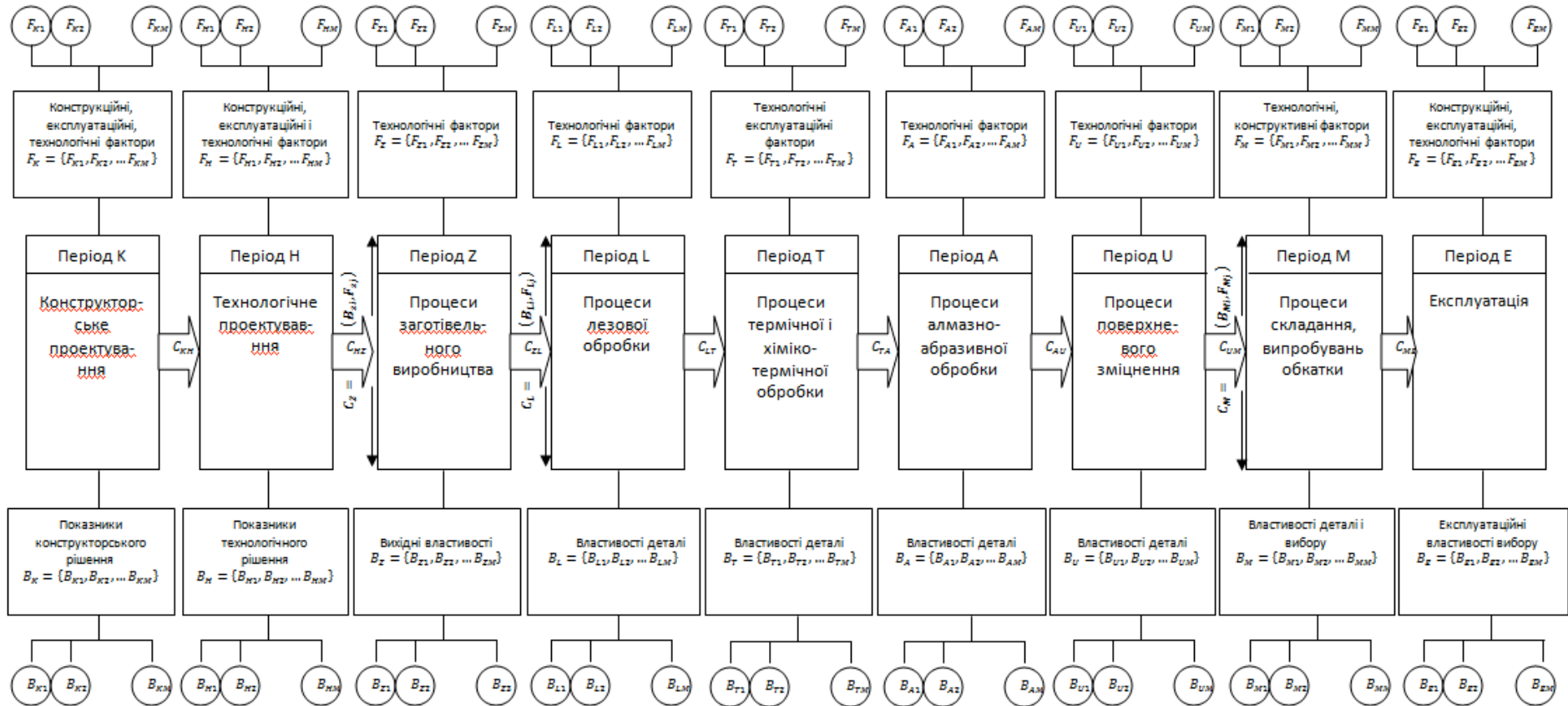
Відомо, що якість підшипника і його експлуатаційні характеристики, такі як віброактивність, шумність, точність, надійність, довговічність і інші, залежать від параметрів мікротопографії поверхонь кочення і фізико-механічних властивостей поверхневого шару робочих і монтажних поверхонь.

Тому, технологічне забезпечення всезростаючих вимог до якості робочих поверхонь і експлуатаційних характеристик роликів підшипників під час їх виготовлення є актуальною науковою проблемою.

Дослідженням зв'язків конструкторсько-технологічних чинників з показниками технологічних операцій на різних стадіях життєвого циклу деталі починаючи з конструкторського проектування і закінчуючи експлуатацією виробу на прикладі роликів підшипників приділялася значна увага у роботі [1].

На рис. 1 показано структурно-логічну схему взаємозв'язків в інформаційному полі життєвого циклу деталі як складової одиниці підшипника.

Згідно з запропонованим підходом до аналізу періодів життєвого циклу деталі перший етап відповідає конструкторському проектуванню деталі та заготовки (період К).



$C_Z = (B_{Zi}, B_{Zj})$, де $i = 1, 2 \dots n$ - число властивостей; $j = 1, 2 \dots m$ - число факторів.
 $C_L, C_T \dots$ - функціонально-параметричні зв'язки; $C_{ZL}, C_{LT}, C_{TA} \dots$ - структурно-функціональні зв'язки.

Рис. 1. Взаємозв'язки конструктивних, експлуатаційних і технологічних факторів з параметрами якості в структурі життєвого циклу деталі.

Вхідною інформацією для проектування конструкції деталі є множина конструкційних, технологічних та експлуатаційних чинників $F_k = (F_{k1}, F_{k2}, \dots, F_{km})$. Це такі фактори як матеріал заготовки, його хімічний склад, фізико-механічні властивості, геометричні параметри поверхневого шару деталі, тощо. Вихідною інформацією від реалізації першого етапу життєвого циклу деталі є конструкційні та техніко-економічні показники деталі та заготовки, що визначається множиною показників $B_k = (B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{km})$. Формалізовано перший період життєвого циклу деталі представляється відображенням множини показників $B_k = (B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{km})$ на множині чинників $F_k = (F_{k1}, F_{k2}, \dots, F_{km})$.

Наступним періодом життєвого циклу деталі є технологічне проектування (період Н) на якому формується структура та параметри технологічного процесу механічного оброблення деталі. Формалізовано цей період описується як відображення множини показників технологічного рішення $B_n = (B_{n1}, B_{n2}, \dots, B_{nm})$ на множині конструкторського-технологічних та виробничих чинників $F_n = (F_{n1}, F_{n2}, \dots, F_{nm})$. Іншими словами, результат технологічного проектування визначається як пошук взаємозв'язків між елементами множини конструктивно-технологічних факторів $\{F_n\}$ та елементами якісних та техніко-економічних показників множини $\{B\}$.

Після періодів конструкторського та технологічного проектування наступають періоди життєвого циклу деталі, що пов'язані з безпосереднім виготовленням заготовки та готової деталі. Так процеси заготівельного виробництва характеризуються періодом Z, який описується відображенням множини показників $B_z = (B_{z1}, B_{z2}, \dots, B_{zm})$ на множини технологічних та виробничих чинників $F_z = (F_{z1}, F_{z2}, \dots, F_{zm})$.

Четвертий період L обумовлюється процесами лезового оброблення деталей. Це період наближеного формоутворення конструкції деталі і описується як відображення показників технологічних операцій (процесів) $B_L = (B_{L1}, B_{L2}, \dots, B_{Lm})$ на множині технологічних та виробничих чинників $F_L = (F_{L1}, F_{L2}, \dots, F_{Lm})$.

Період T описує процеси термічної обробки у вигляді зв'язків елементів множини показників $B_T = (B_{T1}, B_{T2}, \dots, B_{Tm})$ з елементами множини чинників $F_T = (F_{T1}, F_{T2}, \dots, F_{Tm})$.

Остаточне формоутворення деталі відбувається на технічних операціях, які відносяться до періоду життєвого циклу А – процеси алмазно-абразивного оброблення.

Період U характеризує процеси поверхневого зміцнення деталі, які застосовуються з метою покращення експлуатаційних властивостей деталі.

Після складання деталей в готовий виріб (період М, див. рис.1) настає період В – експлуатація деталі в структурі виробу. Таким чином формалізована модель життєвого циклу деталі описується системою зв'язків між показниками В та факторами F в межах відповідного періоду життєвого циклу (зв'язки по вертикалі), а також зв'язками між показниками та чинниками різних періодів життєвого циклу (зв'язки по горизонталі). Такі зв'язки названі структурно-функціональними та конструкторсько-технологічними і позначаються – C_{zL}, C_{LU}, C_{za} , тощо.

Прикладом, моделювання (описання) структурно – функціональних зв'язків наведено формулу, що дозволяє визначити величину геометричної хвилястості кільця підшипника в процесі його роботи.

Наведемо один з багатьох прикладів моделювання зв'язків геометричних параметрів доріжки кочення кільця підшипника з його експлуатаційними особливостями. Важливим показником якості доріжки кочення зовнішнього кільця роликового підшипника є його хвилястість, яка спричиняє значний вплив на віброактивність підшипника. Геометричне відхилення хвилястості $S(t)$ записується як:

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

де $S(t)$ – переміщення зовнішнього кільця під час його обертання в радіальному напрямку;

a_0 – середнє значення функції $S(t)$ за період T , мкм;

a_i – амплітуда коливання, мкм;

$\omega = 2\pi f$ – основна складова частота складного коливання, рад./с; де f – основна частота періодичного коливання, Гц;

i – номер гармонічної складової;

φ_1 – початкова фаза коливань, рад.

Швидкість V та прискорення W вібрації під час обертання кільця в підшипнику визначається як перша та друга похідна від переміщення за часом:

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

$$W = \frac{d^2s(t)}{dt^2} = - \sum_{i=1}^{i=k} a_i \omega_i^2 \cos(\omega_i t + \varphi_i); \quad V_n = \frac{W_n}{2\pi f_0} \quad (3)$$

До визначення віброактивності доріжки кочення геометрична хвилястість поверхні під час переміщення по ній вібродавача з певною лінійною швидкістю перетворюється у вібрацію з параметрами.

Амплітуда швидкості

$$W_{max} = \sum_{i=2}^{i=128} a_i \omega_i \quad (4)$$

Амплітуда прискорення

$$W_{max} = \sum_{i=2}^{i=128} a_i \omega_i^2 \quad (5)$$

Прискорення (дБ) – 22...11200 Гц

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi n}{60} \quad (6)$$

де n – частота обертання кільця в підшипника.

Кінематичну недосконалість роликпідшипника (період K) можливо з'ясувати шляхом визначення кутових швидкостей складових деталей та встановлення співвідношень між значеннями цих швидкостей.

Якщо внутрішнє кільце підшипника обертається з кутовою швидкістю ω_b , а зовнішнє з ω_3 , то швидкість обертання сепаратора:

$$\omega_c = K_1 \omega_b + K_2 \omega_3 \quad (7)$$

де $K_1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{dm}{D_0} \cos \alpha \right); K_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{dm}{D_0} \cos \beta \right);$

dm – середній діаметр ролика;

D_0 – середній діаметр підшипника, визначений від точок перетину вісей протилежних роликів з січними площинами, які проходять через геометричну середину довжини ролика перпендикулярно до його повздовжньої осі. Кутова швидкість обертання тіл кочення (ролики) відносно своєї осі:

$$\omega_m = (\omega_3 - \omega_b) \frac{2D_0}{dm} K_1 K_2; \quad (8)$$

Жорсткість підшипника в напрямку дії статичного навантаження за умов гуртового переміщення комплекту роликів в кількості Z штук з кутовою швидкістю ω_c визначається [2].

$$C = C_m (1 - \mu \cos Z \omega_c t) \quad (9)$$

де C_m – середня жорсткість;

t – час контакту ролика з поверхнею на доріжці кочення $t \approx \frac{2b}{r\omega_b}$,
де b – ширина поверхні контакту ролика з доріжкою в напрямку обертання,

r – середній радіус доріжки кочення внутрішнього кільця;
 μ – коефіцієнт, величина якого залежить від числа тіл кочення, наприклад для $Z = 9 \mu = 0,026$, а для $Z = 15 \mu = 0,012$ [2].

Періодична зміна жорсткості викликає в підшипнику вимушені коливання з частотою $Z \cdot \omega_c$ з резонансом при $Z \cdot \omega_c = \Omega$ і параметричні коливання з головним спектром $\frac{1}{2} Z \cdot \omega_c = \Omega$, де Ω – нижча власна частота поперечних коливань системи. Досить незначне значення коефіцієнта μ для конічних роликотілопідшипників ($Z \geq 9$) і хороші демпфуючі властивості дозволяють вважати, що параметричні коливання в підшипниках кочення не мають суттєвого значення.

Переносний рух центру мас сепаратора при нормальних умовах роботи викликає вібрацію на частоті обертання комплекту роликів $\frac{f_c}{3}$ (частота обертання сепаратора відносно нерухомого зовнішнього кільця) з відносно малою амплітудою, пропорційно масі сепаратора, квадрату частоти коливань і зазору між сепаратором та базуючим кільцем

Як видно з наведених виразів (7-9) всі види вібрацій, пов'язаних з конструктивними особливостями підшипників кочення, проявляються на чітко визначених частотах і не мають суттєвого впливу на формування вихідної точності підшипників і підшипникових вузлів.

На підставі вищевикладеного можна зробити наступні висновки:

1. Моделювання зв'язків в структурі життєвого циклу деталі є основною передумовою для створення системи керування якістю механічного оброблення.
2. Для технологічного забезпечення якості деталей на операціях механічного оброблення слід враховувати взаємозв'язки не тільки в межах визначеного періоду, а й так звані зв'язки по горизонталі, тобто зв'язки між елементами окремих етапів життєвого циклу.
3. На підставі моделювання зв'язків технологічних чинників з показниками якості виробу виникає (постає) можливість формалізованого описання та вивчення показників технологічної спадковості в структурі життєвого циклу деталі.

1. Марчук В.І. Вплив параметра хвилястості доріжки кочення на віброакустичні характеристики конічних роликотілопідшипників / В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцький, О.Л. Кайдик // тези доп. І Міжнародної наук.-техн. конф. «Машинобудування та металообробка—2003». – Кіровоград : КДТУ, 2003. – С. 146–148.

2. Вибрации в технике: Справочник Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под. ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова, 1980. – 544 с.

3. Данильченко Ю.М., Кузнецов Ю.М. Прецизионні шпиндельні вузли на опорах кочення (теорія і практика). – Тернопіль – Київ, Економічна думка, 2003. – 344 с.