

## ЗУБЧАСТІ ПЕРЕДАЧИ

*Н. П. Фролова, студентка*

*Г. О. Іванов, кандидат технічних наук, доцент*

*П. М. Полянський, кандидат економічних наук, доцент*

*Миколаївський національний аграрний університет*

*Наведено приклади розрахунку параметрів зубчастих коліс і передач.*

*Ключові слова: колесо зубчасте, ступінь точності, показники точності, число зубів, модуль, висновок про придатність, гарантований боковий зазор.*

Допуски циліндричних зубчастих передавачів нормуються за ГОСТ 1643:2003 і поширюється на евольвентні циліндричні зубчасті передавачі зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямозубими, косозубими і шевронними зубчастими колесами з діаметром ділильного кола до 6300 мм, шириною вінця або півшеврона до 1250 мм, модулем зубів від 1 до 55 мм.

Нижче наведені приклади розрахунків: вибору ступеня точності і показників точності відповідно до встановлених норм, гарантованого бокового зазору. Надання висновка про придатність зубчастого колеса, встановлення приймальних меж для контролю зубчастого колеса, врахування похибки бази при контролі і допуски на заготовляння, визначення величини найменшого і найбільшого бокових зазорів

**Приклад 1.** Для прямозубого некоригованого колеса ділильного механізму з  $m = 4$  мм і  $z = 34$  вибрати ступінь точності і показники точності відповідно до встановлених норм, враховуючи, що на заводі немає приладу для комплексної однопрофільної перевірки.

*Розв'язання.* Для колеса ділильного механізму особливо важливим є забезпечення кінематичної точності, яка повинна бути обрана за нормами 6-го ступеня. Ступінь за нормами плавності може бути на одну грубіше, т. е. 7-а.

Відповідно до § 1.4 ГОСТ 1643:2003 норми контакту не можуть бути грубіше норм ступеня плавності. Реверсивні ділильні передачі вимагають наявності малих зазорів. Тому вибираємо пару з боковим зазором D. Записуємо умовне позначення обраної точності і сполучення: 6-7-7D ГОСТ 1643:2003.

Для контролю кінематичної точності циліндричних прямозубих коліс при відсутності приладу для однопрофільної перевірки з наявних в стандарті найдоцільніше вибрати комплекс  $F_i''$  і  $V_w$ . При виборі цього комплексу є наступні переваги:

1) прилади для контролю перерахованих вище елементів (міжцентромір і нормалемір) засвоєні промисловістю і наявні на кожному заводі;

2) при контролі коливання вимірювальної міжосьової відстані в двопрофільном зачепленні відбувається безперервна зміна контрольованого показника по всьому колесу і виявляється сумарна радіальна похибка;

3) вимірювання величини  $F_i''$  проводиться на базі робочої осі колеса, що відповідає її експлуатаційній основі;

4) при контролі на межцентромірі одночасно виявляються і інші показники, важливі для оцінки точності колеса. Так, плавність роботи колеса регламентується величиною  $f_i''$  (коливання вимірювальної між осьової відстані на одному зубі). Норми бокового зазору регламентуються величинами  $E_a''_s$  і  $E_a''_i$  (граничні відхилення вимірювальної міжосьової відстані). На межцентромірі може бути проведений контроль зони контакту по слідах прилягання бокової поверхні зуба колеса до зубів вимірювального колеса (примітка 2 до п. 2.4 ГОСТ 1643:2003).

Наведемо величини допусків для обраних елементів.

*Кінематична точність*: діаметр ділильної кола

$$D = m \cdot z = 4 \cdot 34 = 136 \text{ мм}; V_w = 26 \text{ мкм.}$$

Так як здійснюється комбінування норм кінематичної точності і плавності з різних ступенів точності, допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані за оберт колеса визначається за формулою (1.48):

$$F''_{\text{ікомб}} = 38 + [75 - 53] = 60 \text{ мкм};$$

$$F''_{\text{ікомб}} + V_w = 60 + 26 = 86 \text{ мкм.}$$

$$\text{Плавність роботи: } f_i'' = 26 \text{ мкм.}$$

*Контакт зубів:* за стандартом сумарні пляма контакту повинні бути по висоті не менше 45%, по довжині не менше 60% при контролі міжосьової відстані. Так як в даному випадку контакт зубів перевірений по вимірювальній міжосьової відстані згідно з приміткою 2 до п. 2.4, ці величини слід збільшити на 10%.

$$\text{Боковий зазор: } E_a''_s = +26 \text{ мкм; } E_a''_i = -100 \text{ мкм (так як } F_r = 53 \text{ мкм).}$$

**Приклад 2.** Дати висновок про придатність зубчастого колеса 7-Дс ГОСТ 1643:2003 з  $m = 4$  мм і  $z = 35$ . Колесо перевірено за допомогою межцентроміра, нормалеміра і по плямі контакту. Результати вимірювання:  $E_a''_{sr} = +25$  мкм,  $E_a''_{ir} = -70$  мкм;  $f''_{ir} = 43$  мкм;  $V_{wr} = 28$  мкм; пляма контакту – в нормі.

*Розв'язання.* Кінематична похибка визначиться величиною:

$$F''_{ir} + V_{wr}; \quad F''_{ir} = E_a''_{sr} - E_a''_{ir} = 25 - (-70) = 95 \text{ мкм.}$$

$$F''_{ir} + V_{wr} = 95 + 28 = 123 \text{ мкм.}$$

$$\text{За стандартом: } F''_i + V_w = 75 + 36 = 111 \text{ мкм; } f''_i = 26 \text{ мкм;}$$

$E_a''_s = +26$  мкм,  $E_a''_i = -T_H = -130$  мкм; при  $F_r = 53$  мкм і допуску бокового зазору  $s$ .

Таким чином, контрольоване зубчасте колесо не придатне за нормами кінематичної точності, незважаючи на те, що окремі виміряні показники відповідають нормам стандарту.

**Приклад 3.** Встановити приймальні межі для контролю зубчастого колеса з параметрами: число зубів  $z = 30$ ; модуль  $m = 5$  мм, ступінь точності по ГОСТ 1643:2003 9-В. Діаметр ділильного кола дорівнює:

$$d = mz = 5 \cdot 30 = 150 \text{ мм.}$$

По табл. 14 [24] знаходимо  $E_{H_s} = -200$  мкм, по табл. 11 – допуск на радіальне биття зубчастого вінця  $F_r = 112$  мкм, по табл. 8 визначаємо  $T_H = 300$  мкм.

Верхня приймальна межа, при контролі зсуву вихідного контуру, становитиме:

$$E_{Hs\text{ пр}} = - [ | E_{Hs} | + 0,09 \cdot T_H ] = - [ 200 + 0,09 \cdot 300 ] = - 227 \text{ мкм.}$$

Виробничий допуск на зсув вихідного контуру:

$$T_{H\text{ пр}} = 0,6 \cdot T_H = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ мкм.}$$

Нижня приймальна межа:

$$E_{Hi\text{ пр}} = - [ | E_{Hs\text{ пр}} | + T_{H\text{ пр}} ] = - [ 227 + 180 ] = - 407 \text{ мкм.}$$

Таким чином, зубчасте колесо вважається придатним, якщо показання  $A$  індикатора зубоміра знаходяться в установлених межах:

$$E_{Hs\text{ пр}} \leq A \leq E_{Hi\text{ пр}}.$$

### **Врахування похибки бази при контролі і допуски на заготовляння.**

Допустимі величини похибок зубчастих коліс встановлені ГОСТ 1643:2003, виходячи з умов, що базою вимірювання є робоча вісь колеса. Однак при контролі зубчастих коліс приладами в якості бази вимірювання використовується іноді зовнішній циліндр заготовки або торець колеса. У стандарті (п. 2.9) вказується, що похибки, що вносяться при використанні в якості вимірювальної бази поверхонь, що мають неточність форми і розташування щодо робочої осі обертання, враховуються або компенсуються зменшенням виробничого допуску. Наприклад, зовнішній циліндр заготовки використовується в якості бази для контролю розмірів зубів колеса (вимір тангенціальним зубоміром зсуву вихідного контуру або штангензубоміром товщини зубів). В цьому випадку обмежуються граничні відхили діаметра окружності виступів, а також радіальне биття цього циліндра.

Похибки розмірів і форм заготовок для зубчастих коліс в ГОСТ 1643:2003 не нормуються, оскільки стандарт регламентує точність готово-го колеса і передачі.

У разі контролю розмірів зубів колеса на базі зовнішнього циліндра заготовки без врахування дійсного розміру відхил діаметра вершин зубів  $A_{da}$  і радіальне биття  $F_{da}$  вибирають по табл. 1.

**Розрахунок гарантованого бокового зазору.** Гарантований, тобто найменший з можливих в передачі, боковий зазор між неробочими профілями зубів при контакті робочих профілів повинен компенсувати можливу зміну розмірів коліс, що виникає внаслідок нагрівання передачі в процесі експлуатації, забезпечити нормальні умови змащення зубів, а також компенсувати похибки виготовлення і монтажу.

1. Величина бокового зазору, необхідного для температурної компенсації:

$$j_{n1} = a_w \cdot [\alpha_1 \cdot (t_1 - 20) - \alpha_2 \cdot (t_2 - 20)] \cdot 2 \sin \alpha, \quad (1.142)$$

де  $a_w$  – міжосьова відстань передачі, мм;  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів зубчастих коліс і корпусу відповідно,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $t_1$  і  $t_2$  – розрахункова температура нагріву зубчастих коліс і корпусу відповідно,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  – кут зачеплення,  $\alpha = 20^{\circ}$ .

Таблиця 1

Значення відхилення діаметра вершин зубів і радіального биття

Геометричні фактори	Ступені точності										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відхилення діаметра вершин зубів $A_{da}$	Квалітети	6	7	7	7	8	8	8	9	9	11
Радіальне биття циліндра вершин зубів $F_{da}$		0,004d+ + 2,5	0,01d+ + 5	0,016d+ + 10	0,025d+ + 15	0,04d + 25					

2. Величина бокового зазору, що забезпечує нормальні умови смащування, залежить від способу смащування і колової швидкості передачі, приймається рівною, мкм:

$$j_{n2} = (10 \dots 30) \cdot m. \quad (1.143)$$

Тут коефіцієнт 10 – приймають для тихохідних передач, 30 – для особливо високошвидкісних передач;  $m$  – модуль зачеплення, мм.

Гарантований боковий зазор повинен відповідати такій умові:

$$j_{nmin} \geq j_{n1} + j_{n2}. \quad (1.144)$$

За розрахункового значення  $j_{nmin}$  і  $a_w$  за ГОСТ 1643:2003 вибирають вид сполучення і уточнюють стандартне значення  $j_{nmin}$ .

3. Для кінематичних передач буває необхідно визначити вільний кутовий поворот колеса (в секундах) в межах бокового зазору, причому в цих випадках слід визначити величину найбільшого бічного зазору  $j_{nmax}$ .

Найбільший вільний кутовий поворот колеса

$$\Delta\varphi = 2 j_{nmax}/(m \cdot z \cdot \cos\alpha). \quad (1.145)$$

Найбільший боковий зазор стандартом не нормується. Він може бути підрахований за наближеною формулою:

$$j_{nmax} = j_{nmin} + (T_{H1} + T_{H2} + 2f_a) 2\sin\alpha. \quad (13.6)$$

Тут  $T_{H1}$ ,  $T_{H2}$  – допуск на зміщення початкового контуру для шестірні й колеса відповідно;  $f_a$  – абсолютний граничний відхил міжосьової відстані.

**Приклад 4.** Для косозубой зубчастої передачі, що працює з підвищеною швидкістю (18 м/с) зі ступенем точності 8-В ГОСТ 1643:2003 з  $z_1 = 25$ ;  $z_2 = 50$ ;  $m = 4$  мм (колеса сталеві, корпус силуміновий) визначити величину найменшого і найбільшого бокових зазорів за умови, що передача не повинна заклініватися при температурі (-25) °С.

*Розв'язання.* Перша складова гарантованого бокового зазору

$$j_{n1} = \frac{m(25+50)}{2} [11,5 \cdot 10^{-6} \cdot (-45) - 23 \cdot 10^{-6} \cdot (-45)] \cdot 2 \cdot 0,342 = 0,053 \text{ мм};$$

$$j_{n2} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ мкм}; j_{nmin} = 53 + 80 = 133 \text{ мкм}.$$

Для сполучення В по табл. 13 ГОСТ 1643:2003 гарантований боковий зазор  $j_{nmin} = 160$  мкм, тобто трохи більше мінімально необхідного, що цілком доцільно при швидкісній передачі:

$$j_{nmax} = j_{nmin} + (T_{H1} + T_{H2} + 2f_a) 2\sin\alpha.$$

За табл. 15 стандарту значення  $T_{H1}$  вибирають залежно від радіального биття зубчастого вінця  $F_r$ . Для 8-го ступеня точності з табл. 6 ГОСТ 1643:2003 знаходимо: для  $d_1 = m \cdot z_1 = 4 \cdot 25 = 100$  мм,  $F_{r1} = 53$  мкм;

для  $d_2 = m \cdot z_2 = 4 \cdot 50 = 200$  мм,  $F_{r2} = 67$  мкм.

Тоді  $T_{H1} = 160$  мкм,  $T_{H2} = 220$  мкм;  $f_a = 80$  мкм.

Найбільший боковий зазор

$$j_{\text{max}} = 133 + (160+200+2\cdot 80)\cdot 2\cdot 0,342 \approx 489 \text{ мкм.}$$

### Література

1. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски : ГОСТ 1643:2003. – [Введен с 2004-01-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 45 с.
2. Взаємозамінність та технічні виміри: навч. посіб. для вищ. навч. закл. освіти / Г. О. Іванов, Д. В. Бабенко, С. І. Пастушенко, О. В. Гольдшмідт. – К. : Видавництво “Аграрна освіта”, 2006. – 335 с.
3. Практикум з дисципліни “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти / [Г. О. Іванов, В. С. Шибанін, Д. В. Бабенко та ін.; за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шибаніна.]. – К. : Видавництво „Аграрна освіта”, 2008. – 648 с.
4. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : підр. для вищ. навч. закл. освіти / Г. О. Іванов, В. С. Шибанін, Д. В. Бабенко, С. І. Пастушенко; за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шибаніна – К. : Видавництво „Аграрна освіта”, 2010. – 503 с.
5. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Навчально-методичний комплекс : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти / [Г. О. Іванов, В. С. Шибанін, Д. В. Бабенко та ін.; за ред. Г. О. Іванова, В. С. Шибаніна і І. М. Бендери]. – Миколаїв, 2014. – 576 с.
6. Взаємозамінність, основи стандартизації та технічних вимірювань : підруч. для студ. вищ. навч. закл. освіти / Г. О. Іванов, В. С. Шибанін, Д. В. Бабенко, П. М. Полянський; за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шибаніна. – [вид. перероб. і допов.]. – Миколаїв, видавництво Миколаївського національного аграрного університету, 2016. – 412 с.