

Оценка на точността на метода за определяне на натрупаната грешка чрез редуциране броя на измерванията

Цвятко Корийков, Данко Тонев, Бранко Сотиров

Assessment of the accuracy of the method for determining the cumulative pitch error by reducing the number of measurements. This paper presents a method for determining the cumulative pitch error and more specifically- the variation limits of the result. Applied is a real example which illustrates the presented methodology.

Key words: control of gears; cumulative pitch error.

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че определянето на натрупаната грешка на стъпка F_{pr} може да се определи освен по класическия метод предложен от проф. Б. Тайц и чрез редуциране броя на измерванията [2], но с известно приближение. При вторият метод, който се основава на предпоставката за възстановяване на синусоида (каквато всъщност представлява функцията на отделните стойности, формиращи натрупаната грешка) по четири точки стойността на F_{pr} се определя със зависимостта:

$$F_{pr} = \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi}{z}n\right)} \sqrt{a_1^2 + v_1^2} \quad (1)$$

В зав.1 неизвестните коефициенти на Фурие a_1 и v_1 , които определят

Табл.1. Резултати от натрупана грешка на стъпката

Номер на зъба	Показания на уреда, μm	Последователна сума	Отклонения на стъпката	Натрупана сума
1	0	0	4	4
2	-2	-2	2	6
3	-3	-5	1	7
4	-3	-8	1	8
5	-1	-9	3	11
6	-3	-12	1	12
7	-6	-18	-2	10
8	-7	-25	-3	7
9	-8	-33	-4	3
10	-8	-41	-4	-1
11	-6	-47	-2	-3
12	-9	-56	-5	-8
13	-6	-62	-2	-10
14	-5	-67	-1	-11
15	-7	-74	-3	-14
16	-7	-81	-3	-17
17	-5	-86	-1	-18
18	-2	-88	2	-16
19	-1	-89	3	-13
20	0	-89	4	-9
21	-1	-90	3	-6
22	-2	-92	2	-4
23	-2	-94	2	-2
24	-2	-96	2	0

големината на амплитудата се изчисляват по зависимостта [1]:

$$a_1 = \frac{x_1 - x_3}{2} \quad (2)$$

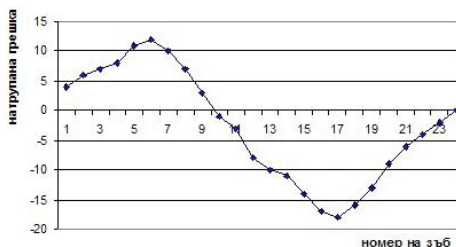
$$e_1 = \frac{x_2 - x_4}{2}, \quad (3)$$

а самата амплитуда:

$$A_1 = \sqrt{a_1^2 + e_1^2} \quad (4)$$

Числовите стойности на коефициентите от зав.(3) и зав. (4) се пресмятат, като от табл.1, колона №2 се вземат четири измерени стойности, взаимно стоящи на 180° , т.е. x_1 и x_3 са разположени на 180° , като същото се отнася за x_2 и x_4 .

В зависимост от броя на точките (стойността на x_1 може да бъде определена например по средната стойност на сумата от три точки-№1, №2 и №3, а не само една), по които са определени двата коефициента, изследванията показват, че големината на натрупаната грешка на стъпката F_{pr} се разсейва в рамките от $28,97\mu\text{m} \pm 30,23\mu\text{m}$, а графиката която описва сумата от отклоненията е крива, наподобяваща синусоида и е показана на фиг.1.



Фиг. 1. Стойности и характер на натрупана грешка на стъпката

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основната идея на настоящата статия е да се определи интервала на разсейването, с която е пресметната натрупаната грешка на стъпката. Тъй като тя е функция на двата коефициента a_1 и b_1 , то нейното определяне ще се изрази със зависимостта:

$$\sigma_{[F_{pr}]} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2}\sigma[x]}}{\sin\left(\frac{\pi}{z}n\right)}, \quad (5)$$

където $\sigma[x]$ е дисперсията на разликите, спрямо първата хармонична, построена по метода на най-малките квадрати, а n - броя на точките, които определят стойностите на коефициентите.

За да се определи разсейването $\sigma[x]$ е необходимо да се използват зависимостите, характерни за Фурие анализа, като за целта е необходимо да бъде построена синусоида по зависимостта:

$$Y = a_0 + \overline{A_1} \sin(\varphi_i + \overline{\psi}). \quad (6)$$

От уравнение (6) се вижда, че параметрите участват със своите средни стойности.

Например амплитудата $\overline{A_1}$ се образува като средна стойност на четири амплитуди, които са функция на коефициентите „а“ и „в“, а те от своя страна зависят от отклоненията на стъпките в съответните интервали. Коефициентите, които определят първата амплитуда ще бъдат (последната графа на таблица 1):

$$a' = \frac{4_{(1)} - (-10)_{(13)}}{2} = 7 \text{ (двете отклонения са разположени на } 180^\circ \text{ едно спрямо}$$

друго),

$$e' = \frac{10_{(7)} - (-13)_{(19)}}{2} = 11,5, \quad (7)$$

а амплитудата:

$$\overline{A_1} = \sqrt{a'^2 + e'^2} = \sqrt{7^2 + 11,5^2} = 13,46. \quad (7.1)$$

Коефициента на фазовия ъгъл ψ се определя със зависимостта:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{e'}{a'}, \quad (8)$$

като за конкретния случай:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{11,5}{7} = 58,67 = 58^\circ 40'. \quad (9)$$

За да се определи коефициентът a'_0 се използва зависимостта:

$$a'_0 = \frac{x_1 + x_7 + x_{13} + x_{19}}{4} \quad (10)$$

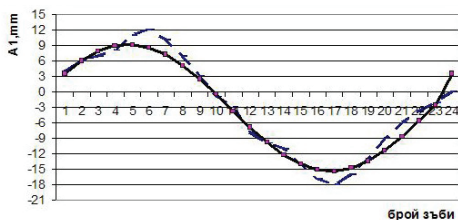
или

$$a'_0 = \frac{4 + 10 - 10 - 13}{4} = -2,25.$$

За следващата партида от стойностите на натрупаната грешка се повтарят зависимостите като се променят индексите и те стават съответно:

$$a' = \frac{6_{(2)} - (-11)_{(14)}}{2} = 8,5;$$

$$e' = \frac{7_{(8)} - (-9)_{(20)}}{2} = 8. \quad (11)$$



Фиг. 2. Фурие анализ за разсейването на натрупаната грешка

Отново се определят съответните коефициенти и тази процедура завършва тогава, когато от всеки участък се вземат необходимия брой стойности на натрупаната грешка. След обработване на резултатите уравнението, което описва синусоидалата (фиг.2, определена чрез хармоничен анализ) е:

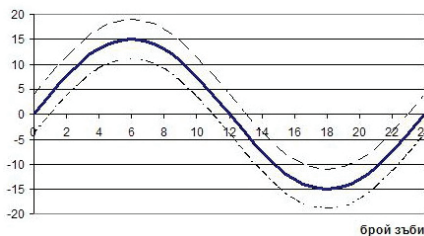
$$Y = -3,125 + 12,28 \sin(\varphi_i + 32,98). \quad (12)$$

За определяне на неизвестното разсейване $\sigma[x]$ е необходимо да се определи дисперсията на разликите, получаващи се между стойностите от синусоидалата (зав.12 и фиг. 2-графиката с непрекъснатата линия и стойностите на натрупаната грешка от табл. 1. графиката с прекъснатата линия от фиг.2). Резултатите от анализа на данните показват, че стойността на $\sigma[x]=1,13\mu\text{m}$. Замествайки получена стойност в зав. 5 за разсейването на стойността на натрупаната грешка се получава:

$$\sigma_{[F_{ppr}]} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2}} \cdot 1,13}{\sin\left(\frac{180}{24}\right)} = 2,47 \mu\text{m}.$$

(13)

За интервала на разсейване на натрупаната грешка с вероятност 95% може да се твърди, че при повторно измерване на показателя на зъбното колело стойността на натрупаната



Фиг. 3. Интервал на разсейване на резултата при определяне на натрупана грешка

грешка ще бъде (фиг.3):

$$F_{pr} = 30 \pm 2,47 = \frac{32,47 \mu\text{m} - \text{максимална стойност}}{27,53 \mu\text{m} - \text{минимална стойност}}$$

От технологична гледна точка, при условие че зъбното колело е обработено чрез шлифоване е необходимо да бъде спазено условието:

$$\frac{2\sigma[x]}{A_1} \leq 30\% . \quad (14)$$

При заместване на конкретните стойности на разсейването и амплитудата в зав. 14 се получава:

$$\frac{2,1,13}{12,88} \cdot 100 = 17,55\% \leq 30\% .$$

Определена стойност от 17,55 показва коректното използване на изложената методика в настоящата статия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На базата на хармоничен анализ е предложен метод, чрез който се определя интервала на разсейване на натрупаната грешка на стъпката, пресметната чрез редуциране броя на измерванията.

2. Доказано е, че методиката може да се използва за контрол на зъбни колела, обработени с шлифоване, тъй като отношението на разсейването на разликите към средната стойност на амплитудата не надвишава 30%.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Иванцов А. И. Основы теории точности измерительных устройств., Издательство Стандартов, Москва, 1972.

[2] Корийков Ц., Д. Тонев. Определяне на натрупаната грешка F_{rg} чрез редуциране броя на измерванията. XXIII национален научен симпозиум, Созопол, 2013.

[3] Сотиров Б., Ц. Корийков, М. Петров, Б. Сакакушев. Метрология и измервателна техника – ръководство за упражнения. Второ преработено издание, Русе, 2005.

[4] Хлус А. Расчет погрешности шлифования зубчатых колес, вызванных геометрическим эксцентрицитетом основной окружности, „Вестник машиностроения“, 1967.

За контакти:

Доц. д-р инж. Цвятко Корийков, Катедра Технология на машиностроенето и металорежещи машини” Русенски университет “Ангел Кънчев”, 082-888 237, e-mail: korijkov@uni-ruse.bg.

Гл. ас. д-р инж. Данко Тонев, Катедра Технология на машиностроенето и металорежещи машини” Русенски университет “Ангел Кънчев”, 082-888 493, e-mail: dtonev@uni-ruse.bg.

Доц. ас. д-р инж. Бранко Сотиров, Катедра Технология на машиностроенето и металорежещи машини” Русенски университет “Ангел Кънчев”, 082-888 493, e-mail: bsotirov@uni-ruse.bg.

Докладът е рецензиран