

Определяне на радиалното биене на зъбни колела при комплексна двупрофилна проверка

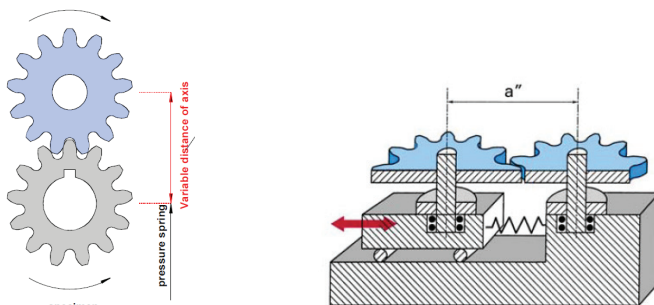
Стойчо Грозев, Бранко Сотиров

Determination of the radial runout of gears on a Double Flank Gear Test: The Double Flank Gear Test is most commonly used method for quality control of gears. Researched experimentally the possibility of determining the radial runout on the results of the DFGT.

Key words: Double Flank Gear Test, Radial Runout

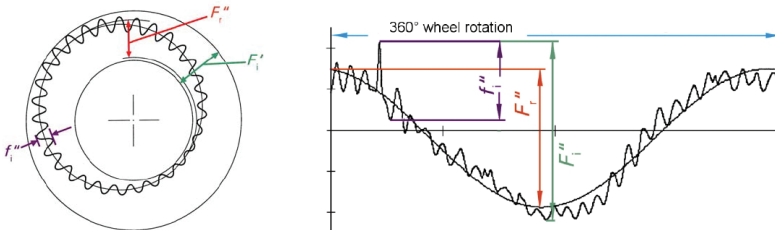
ВЪВЕДЕНИЕ

Комплексната двупрофилна проверка (КДП) е най-често използвания метод за приемателен контрол на зъбни колела, който се реализира чрез структурно несложни измервателни устройства, наречени междуцентромери. При контрол измерваното зъбно колело се зацепва двупрофилно без странична хлабина между зъбите с еталонно зъбно колело (фиг.1) и двете ЗК се завъртат едно спрямо друго, като резултата се регистрира и/или записва във вид на диаграма (фиг. 2).



Фиг. 1 Схема на КДП [4]

По резултата от измерването се определят пряко изменението на измервателното междуцентрово разстояние (ИМП) за един оборот на зъбното колело F''_{ir} , изменението на ИМП за един зъб f''_{ir} и горното (най-малко) и долно (най-голямо) действителни отклонения на ИМП $E_{a''sr}$ и $E_{a''ir}$, представляващи показатели за странична хлабина в предавката.



Фиг. 2 Кръгова и разгъната диаграми на резултата от КДП [4]

Радиалното биене на зъбния венец F_{rr} е следващият най-често контролиран показател за кинематична точност, определян като диференциален показател на радиалната съставляваща на кинематичната грешка на зъбното колело. Известно е, че измерените стойности при контрол на F_{rr} представляват дискретно проявяване на

колебанието на измервателното междуосово разстояние, поради което диаграмата на показанията при измерването му до голяма степен съвпада с диаграмата, получена при измерване на F''_{ir} . Поради тази причина в последните години F_{rr} се дефинира още и като размах на амплитудата на първата хармонична на функцията на изменение на F''_{ir} или като размах на амплитудата на средната непрекъсната линия, прекарана за същата функция на F''_{ir} [4].

Целта на експерименталното изследване бе да се изследват възможностите, особеностите и ограниченията за определяне при технологичен контрол на зъбни колела на радиалното биене на зъбния венец F_{rr} по резултатите от комплексната двупрофилна проверка.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За експериментално изследване на възможностите за косвено определяне на радиалното биене на зъбния венец по резултатите от измерването на F''_{ir} , бяха използвани автоматизиран стандартен междуцентромер МЦ-400, програмна среда и специално разработен за целта алгоритъм. В програмната среда LabView бе разработена програма, в която апроксимацията на получената функция на изменение на F''_{ir} се реализира с полином от 5-та степен, чиито коефициенти се генерират от програмата. Колебанието на ИМП за един оборот F''_{ir} се образува от съвместното влияние на две съставляващи – радиалното биене на зъбния венец F_{rr} и колебанието на ИМП за един зъб f''_{ir} . Тъй като практически е малко вероятно съвпадението на граничните стойности на тези показатели, на практика те се сумират съгласно зависимостта [1]:

$$F''_{ir}=F_{rr}+0,75f''_{ir} \quad (1)$$

Доказано е, че с достатъчна за практиката точност може да бъде използвана и следната зависимост, статистически приложима с коефициент на корелация $r \approx 0,8$ [2]:

$$F_{rr}=F''_{ir}-f''_{ir} \quad (2)$$

За целите на изследването бяха измерени с многократни повторения 30 бр. експериментални зъбни колела, разпределени по групи, показани в табл.1. Част от зъбните колела са произведени с преднамерено зададени грешки на основната окръжност F_{db} и на ъгъла на заточване на шлифовалния диск α , положителна корекция $x=+1,1$ и $x=+1,0$, както и комбинации между тях.

Табл. 1

| m 1,75 | з.к. № | ст.точност | m 3 | з.к. № | ст.точност | m 4,5 | з.к. № | ст.точност |
|----------|--------|------------|------------------|--------|------------|-----------------------|--------|------------|
| | 1 | 9 | | 10 | 7 | | 22 | 9 |
| | 2 | 9 | | 11 | 8 | | 23 | 8 |
| | 3 | 8 | | 12 | 8 | | 24 | 8 |
| α | 4 | 8 | α | 13 | 9 | Fdb 0,08 | 25 | 9 |
| | 5 | 7 | | 14 | 9 | | 26 | 9 |
| | 6 | 10 | | 15 | 9 | | 27 | 9 |
| Fdb | 7 | 8 | $x= +1,1$ | 16 | 8 | $x= +1,0$ α | 28 | — |
| | 8 | 7 | | 17 | 8 | | 29 | — |
| | 9 | 7 | | 18 | 8 | | 30 | — |
| | | | $x= +1,1$ Fdb | 19 | 9 | | | |
| | | | | 20 | 9 | | | |
| | | | | 21 | 8 | | | |

За всяко зъбно колело са направени по 18 измервания - трикратно в двете посоки на въртене, с по три начални точки на отчитане на завъртането, дефазирани през 90 градуса, общо 540 повторни измервания. Поелементното измерване на радиалното биене е извършено на универсален зъбоизмервателен уред на фирмата Carl Zeis - Йена със стойност на едно деление на измервателната глава 0,001 мм. Направени са по три повторни измервания за всяко зъбно колело, т.е. общо 90 измервания. Изчисленото радиално биене $F_{гг-изч}$ е пресметнато по зависимост (2), а получените резултати са обобщени в таблици 2,3 и 4.

Получените от КДП данни са обработени по два различни метода:

1. Чрез апроксимация-хармоничен анализ на данните на функцията на $F''_{гг}$ и определяне на радиалното биене като първа хармонична ($F_{гг-хар}$) с помощта на програма, работеща в средата MathCad;
2. Чрез апроксимация с полином от 5-та степен с помощта на програма на LabView и определяне на стойността на радиалното биене $F_{гг-пол}$.

Представените на фигури 3, 4 и 5 резултати от корелационния анализ на резултатите, получени с помощта на двете апроксимации показват, че двете косвено определени стойности на радиалното биене за три групи зъбни колела с модули 1.75, 3 и 4.5 мм са с много висока степен на корелация – $r=0,96-0,98$ и **тяхното използване за определяне на радиално биене е напълно равностойно.**

Анализът на същите резултати показва още, че:

1. Зависимост 2 е приложима и работоспособна както при хармонична, така и при полиномиална апроксимации на резултатите от КДП;
2. Определената чрез апроксимация стойност на радиалното биене е по-близка до действително измереното $F_{гг-изм}$, отколкото изчислената съгласно зависимост 2 стойност;
Степента на точност на контролираните зъбни колела в границите на експлоатационните степени 7, 8 и 9-та не оказва влияние на точността на получените стойности $F_{гг-пол}/F_{гг-хар}$. Дори и при по-грубите степени на точност методът за косвено определяне на радиално биене на зъбния венец дава добри резултати;
3. Най-голямо влияние на точността на оценката при косвено измерване оказва грешката на настройката на зъбообработващата машина на радиуса на основната окръжност $F_{дб}$. Този факт се обяснява с обстоятелството, че в резултат на тази грешка контактните точки с еволвентните профили се изместват и резултатите от измерването се влияят от стойността на кинематичния эксцентрицитет, грешката на разположението на еволвентния профил, вълнообразността, и др.;
4. Модулът, грешката на профилния ъгъл на обработващия инструмент и коефициента на корекция не оказват различимо влияние на точността на резултата от косвеното измерване;
5. Отделни индивидуално получени (определени) резултати могат да се отличават съществено от получените по прекия метод на измерване стойности;
6. Предлагаият метод за косвено определяне на $F_{гг}$ може да се използва с успех за статистически контрол по количествен признак на произвежданите зъбни колела.

Таблица 2

| m 1,75 | зк № | кл.точност | F"ir μm | f"ir μm | Frr-пол μm | Frr-изч/пол μm | Frr_изм μm | Max Error \pm |
|--------|------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|
| | 1 | 9 | 84 | 6 | 77 | 78 | 66 | 7,96 |
| | 2 | 9 | 89 | 8 | 82 | 81 | 92 | 2,49 |
| | 3 | 8 | 58 | 7 | 52 | 51 | 62 | 6,46 |
| | | Ср.стойност | 77 | 7 | 70 | 70 | 73 | |
| | | Станд.откл. | 16 | 1 | 16 | 17 | 16 | |
| fa | 4 | 8 | 62 | 8 | 52 | 55 | 67 | 3,48 |
| | 5 | 7 | 48 | 7 | 37 | 41 | 40 | 3,48 |
| | 6 | 10 | 117 | 10 | 109 | 107 | 99 | 4,48 |
| | | Ср.стойност | 76 | 8 | 66 | 68 | 69 | |
| | | Станд.откл. | 36 | 2 | 38 | 35 | 30 | |
| Fdb | 7 | 8 | 60 | 7 | 50 | 53 | 38 | 3,48 |
| | 8 | 7 | 47 | 7 | 36 | 40 | 38 | 2,49 |
| | 9 | 7 | 50 | 6 | 38 | 44 | 31 | 5,47 |
| | | Ср.стойност | 52 | 7 | 42 | 46 | 36 | |
| | | Станд.откл. | 7 | 0 | 8 | 7 | 4 | |

Табл.4

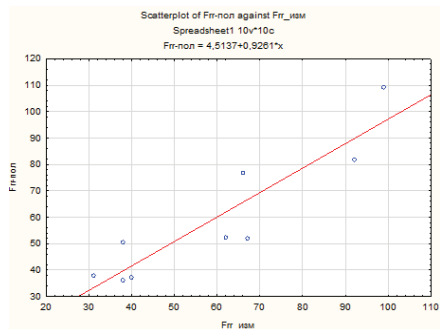
| m 4,5 | зк № | клас на точност | F"ir μm | f"ir μm | Frr-хар μm | Frr-изч/хар μm | F"ir μm | f"ir μm | Frr-пол μm | Frr-изч/пол μm | Frr_изм μm | Max Error \pm |
|------------------|------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|
| | 22 | 9 | 101 | 17 | 72 | 86 | 101 | 17 | 75 | 85 | 71 | 7,2 |
| | 23 | 8 | 67 | 15 | 40 | 52 | 67 | 13 | 45 | 54 | 43 | 3,98 |
| | 24 | 8 | 71 | 14 | 54 | 57 | 71 | 12 | 55 | 59 | 41 | 2,98 |
| | | Ср.стойност | 80 | 15 | 56 | 65 | 80 | 14 | 58 | 66 | 52 | |
| | | Станд.откл. | 19 | 2 | 16 | 18 | 19 | 3 | 15 | 17 | 17 | |
| Fdb 0,08 | 25 | 9 | 90 | 12 | 61 | 78 | 90 | 10 | 63 | 80 | 53 | 3,98 |
| | 26 | 9 | 75 | 12 | 59 | 63 | 75 | 10 | 60 | 65 | 41 | 8,95 |
| | 27 | 9 | 83 | 12 | 63 | 71 | 83 | 10 | 64 | 73 | 40 | 1,49 |
| | | Ср.стойност | 83 | 12 | 61 | 71 | 83 | 10 | 62 | 73 | 45 | |
| | | Станд.откл. | 8 | 0 | 2 | 8 | 8 | 0 | 2 | 8 | 7 | |
| x= +1,0 fa | 28 | — | 342 | 266 | 58 | 76 | 342 | 265 | 59 | 77 | 55 | 5,47 |
| | 29 | — | 340 | 274 | 57 | 66 | 340 | 277 | 55 | 63 | 52 | 8,95 |
| | 30 | — | 369 | 267 | 82 | 102 | 369 | 268 | 78 | 101 | 75 | 4,48 |
| | | Ср.стойност | 350 | 269 | 66 | 81 | 350 | 270 | 64 | 80 | 61 | |
| | | Станд.откл. | 16 | 4 | 14 | 19 | 16 | 6 | 12 | 19 | 13 | |

Таблица 3

| м 3 | зк № | клас на точност | F''ir µm | f''ir µm | Frr-хар µm | Frr-изч/хар µm | F''ir µm | f''ir µm | Frr-пол µm | Frr-изч/пол µm | Frr_изм µm | Max Error ± |
|---------------|------|-----------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|-------------|-------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|
| | 10 | 7 | 53 | 16 | 34 | 37 | 53 | 16 | 33 | 34 | 22 | 2,49 |
| | 11 | 8 | 64 | 15 | 43 | 49 | 64 | 14 | 46 | 50 | 25 | 1,99 |
| | 12 | 8 | 62 | 15 | 43 | 47 | 62 | 14 | 36 | 48 | 24 | 3,48 |
| | | Ср.стойност | 60 | 15 | 40 | 44 | 60 | 15 | 39 | 44 | 24 | |
| | | Станд.откл. | 6 | 1 | 5 | 6 | 6 | 1 | 7 | 9 | 2 | |
| fa | 13 | 9 | 95 | 34 | 52 | 61 | 95 | 33 | 58 | 62 | 62 | 7,46 |
| | 14 | 9 | 104 | 38 | 61 | 66 | 104 | 36 | 62 | 68 | 69 | 14,92 |
| | 15 | 9 | 85 | 24 | 53 | 61 | 85 | 23 | 56 | 62 | 54 | 5,97 |
| | | Ср.стойност | 95 | 32 | 55 | 63 | 95 | 31 | 59 | 64 | 62 | |
| | | Станд.откл. | 10 | 7 | 5 | 3 | 10 | 7 | 3 | 3 | 8 | |
| x=+1,1 | 16 | 8 | 59 | 20 | 27 | 39 | 59 | 20 | 32 | 39 | 22 | 2,98 |
| | 17 | 8 | 67 | 21 | 31 | 46 | 67 | 22 | 37 | 45 | 28 | 4,48 |
| | 18 | 8 | 65 | 22 | 26 | 43 | 65 | 22 | 29 | 43 | 32 | 4,97 |
| | | Ср.стойност | 64 | 21 | 28 | 43 | 64 | 22 | 32 | 42 | 27 | |
| | | Станд.откл. | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 | 5 | |
| x=+1,1 Fdb | 19 | 9 | 81 | 16 | 46 | 65 | 81 | 17 | 46 | 64 | 51 | 9,95 |
| | 20 | 9 | 79 | 16 | 55 | 63 | 79 | 16 | 57 | 63 | 61 | 5,97 |
| | 21 | 8 | 71 | 16 | 50 | 55 | 71 | 16 | 52 | 55 | 65 | 10,94 |
| | | Ср.стойност | 77 | 16 | 51 | 61 | 77 | 16 | 52 | 61 | 59 | |
| | | Станд.откл. | 5 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 7 | |

| м 1,75 | Frr-пол | Frr-изч/пол | Frr_изм |
|-------------|---------|-------------|---------|
| Frr-пол | 1 | 0,99 | 0,91 |
| Frr-изч/пол | 0,99 | 1 | 0,90 |
| Frr_изм | 0,91 | 0,90 | 1 |

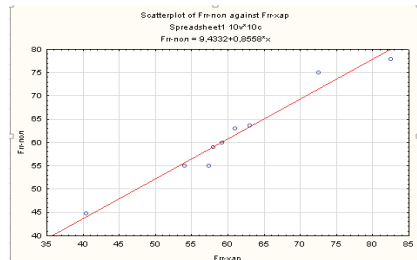
Фиг. 3 Корелационни коефициенти и диаграма Frr-изм – Frr-пол за ЗК с м 1,75



Фиг. 4 Корелационни коефициенти и диаграма Frr-изм – Frr-хар за ЗК с м

| м 4,5 | Frr-хар | Frr-изч/хар | Frr-пол | Frr-изч/пол | Frr_изм |
|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| Frr-хар | 1 | 0,94 | 0,98 | 0,93 | 0,79 |
| Frr-изч/хар | 0,94 | 1 | 0,93 | 0,99 | 0,89 |
| Frr-пол | 0,98 | 0,93 | 1 | 0,93 | 0,79 |
| Frr-изч/пол | 0,92 | 0,99 | 0,93 | 1 | 0,85 |
| Frr_изм | 0,79 | 0,89 | 0,79 | 0,85 | 1 |

Фиг. 5 Корелационни коефициенти и диаграма Frr-пол – Frr-хар за ЗК с м 4,5



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Апроксимацията с помощта на полином на резултатите от измерване при комплексна двупрофилна проверка на цилиндрични зъбни колела е равностойна на използването на класическия метод с хармоничен анализ;

2. Експериментално е потвърдено, че стойността на радиалното биене на зъбния венец F_{rr} може да се определя косвено при комплексна двупрофилна проверка с коефициент на корелация 0.8 - 0.9 и да се използва за технологичен контрол на цилиндрични зъбни колела;

3. За този технологичен контрол не съществуват ограничения по отношение на степента на точност, модул и корекция на контролираните зъбни колела;

4. Експериментално е потвърдено, че с коефициент на корелация 0,85 – 0,90 известната зависимост $F_{rr} = F''_{ir} - f''_{ir}$ също е работоспособна и приложима за технологичен контрол на цилиндрични зъбни колела.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Тайц,Б.А. Точность и контроль зубчатих колес. Москва. “Машиностроение“, 1972.

[2] Herrman,K.,W. Wurzner. Periodische Prufung von Lehzahnrädern und Zweiflankenwalz-prufgeraten.-Feingeratetechnik – 29 Jg.Heft 3/1980.

[3] СОТИРОВ, Б. Д. Възможности на комплексния двупрофилен контрол за управление на качеството на цилиндрични зъбни колела.- С т а н д а р т и з а ц и я,, метрология, сертификация, 1996, N 2-3.

[4] www.frengo.com

За контакти:

Инж. Стойчо Грозев, Катедра “ТММРМ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 493, e-mail: sgivanov@uni-ruse.bg

Доц. д-р Бранко Сотиров, Катедра “ТММРМ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 493, e-mail: bsotirov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.