

ИЗМЕРВАНЕ НА ГЕОМЕТРИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ РОТАЦИОННИ ДЕТАЙЛИ ТИП „ПРЪСТЕН”

Христо Радев¹⁾, Ивайло Благов²⁾, Васил Богев³⁾

¹⁾ ТУ – София, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

²⁾ ТУ – София, e-mail: blagov@tu-sofia.bg

³⁾ ТУ – София, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

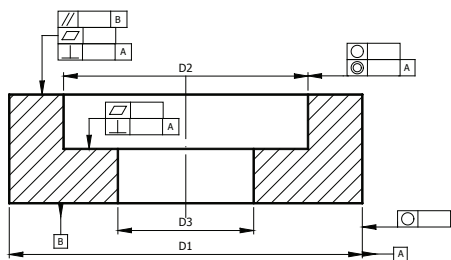
Резюме: Разглежда се измерването на геометричните параметри (диаметри и отклонения на формата и разположението) на голямогабаритни детайли тип “пръстен” с отговорно предназначение. Измервателната система е изградена на базата на каруселен струг, универсални измервателни средства за линейни премествания, специализирана измервателна екипировка и съответно програмно осигуряване и позволява измерването на геометричните параметри на детайлите непосредствено на металорежещата машина.

Разработените методики за измерване се базират на определяне на отклоненията на формата и разположението по резултатите от радиалното и челно биене с и без изключване на блуждаещото биене. В първия случай тези резултати се привеждат към виртуална изходна база (ос) чрез въвеждане на съответни поправки.

Ключови думи: измерване, голямогабаритни ротационни детайли, геометрични параметри.

Въведение

Голямогабаритните детайли тип “пръстен” (с отговорно предназначение) са едни от основните функционални елементи на турбините на водноелектрическите централи. Типичните изисквания към геометричните им параметри са показани на фиг. 1.



Фиг. 1. Типични изисквания към геометричните параметри на голямогабаритни детайли тип “пръстен”

При подобни детайли с нормални размери измерването на тези параметри не представлява затруднения. Но при габарити до и над 10 m, възникват много сериозни метрологични проблеми,

свързани със затруднението или невъзможността за използване на рутинните (стандарти) схеми на измерване.

Тези проблеми могат да бъдат решени с разработената измервателна система на базата на каруселен струг, универсални измервателни средства за линейни премествания, специализирана измервателна екипировка и съответно програмно осигуряване [3].

Измерванията могат да се извършват непосредствено на работното място, без снемане на детайла от машината.

2. Схема на измервателната система

Схемата на измервателната система е показана на фиг. 2. [3].

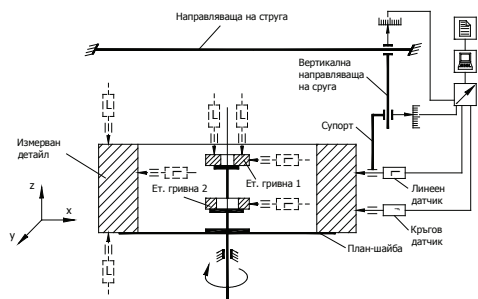
Каруселният струг е част от нея.

Измерваният детайл се установява на план-шайбата на струга и се центрова спрямо оста на въртене с помощта на челюстите на план-шайбата.

В центъра, приблизително съосно на оста на въртене, е монтиран неподвижно дорник с две, разположени на разстояние H една от друга, еталонни гривни 1 и 2. Гривните са калибрирани

Разработката е реализирана с финансовата подкрепа на МОН (дог. № ДФНИ Т02/9 “Изследване и разработване на нови методи и технологии за измерване на геометрични параметри на голямогабаритни детайли и съоръжения”)

по диаметър и отклонение от кръглост E_{FK} в маркирани напречни сечения, а гривна 1 и по отклонение от равнинност E_{FE} на челната повърхнина.



Фиг. 2. Схема на измерване, реализирана на базата на каруселен струг

На мястото на ножодържача на супорта е установен линейен датчик, а въртенето на план-шайбата се отчита с помощта на кръгов датчик, вграден в приспособление, контактуващо с външната ротационна повърхнина на детайла.

Линейният и кръговият датчик са свързани с отчитания изчислителния и регистриращия блок на системата.

Отчитачите устройства на хоризонталното (по оста X) и на вертикалното (по оста Z) преместване на супорта също са свързани с отчитачия блок. Първичната измервателна информация постъпваща в отчитачия блок се подава за обработка и регистрация на изчислителния блок (лаптоп) и на регистриращия блок (принтер).

Програмното осигуряване на системата осигурява приемането на първичната измервателна информация, обработка на данните и представяне на резултатите от измерването [1]. Резултатите се документират във вид на съответни протоколи, представящи информацията в текстови и графичен вид.

3. Методики на измерване

3.1. Измерване на отклонение от кръглост

Определянето на отклонението от кръглост се извършва по резултатите от измерването на радиалното биене в съответните напречни сечения без и с изключване на блуждащото биене по съответни програми.

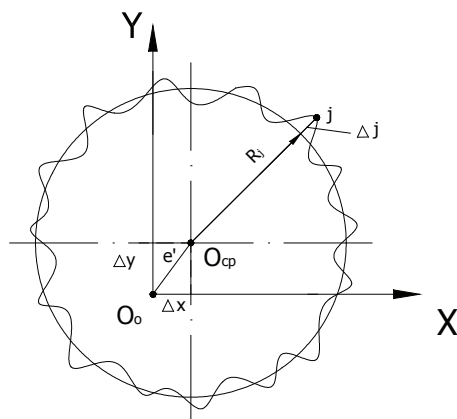
В първия случай е необходима точна изходна база (ос на въртене), а във втория това изискване отпада.

Решението за използване на единия или другият начин се взема след оценка на значимостта

на блуждащото биене. При изключване на блуждащото биене, резултатите се привеждат към виртуална изходна база (ос на въртене) чрез въвеждане на съответни поправки [2].

3.2. Измерване на отклонението от равнинност

Отклонението от равнинност се определя по резултатите от измерването на челното биене на един или повече кръгли равнинни профили по зададен радиус R . При измерване на един профил (по една пътечка) се използва програмата за изчисляване на отклонението от кръглост.



Фиг. 3. Профилограма за изчисляване на отклонението от кръглост

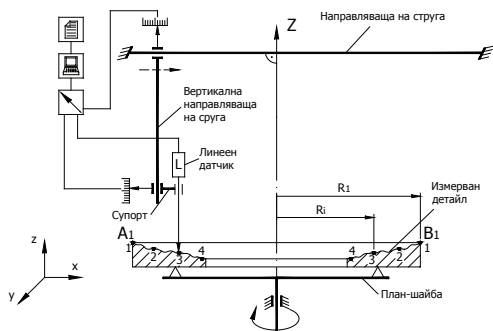
На профилограмата фиг. 3. Δj представлява отклонение от равнинност спрямо средната асоциирана равнина в j -та точка на профила $j=1 \div k$, а ексцентрицитетите Δx и Δy определят положението и големината на проекцията e' (exy) на нормалния вектор към средната асоциирана равнина в равнина, перпендикулярна на оста на въртене, т.е. в равнина XOY .

При определяне на отклонението от равнинност по резултатите от измерване на челното биене на повече от един концентрично разположени кръгли профили е необходимо освен точно въртливо движение на детайла (минимално осево биене) и праволинейно, перпендикулярно на оста на въртене, движение на линейния датчик фиг. 4.

Означава се с R_i радиуса на съответния кръгов профил $i=1 \div n$ (на фиг. 4. $i=1 \div 4$).

В общия случай челната повърхнина не е перпендикулярна на оста на въртене. Измерва се челното биене по радиус R_i . Определят се координатите z_{ij} на точките от съответния профил в

координатната система XYZ. Приема се, че оста Z съвпада с оста на въртене.



Фиг. 4. Схема за измерване на отклонението от равнинност на базата на каруселен струг

По стойностите на z_{ij} на всички измерени профили, при съответните координати x_{ij} и y_{ij} , се строи средна асоциирана равнина и се определят отклоненията от равнинност EFE и положението на нормалния вектор на тази средна равнина спрямо оста на въртене.

3.3. Измерване на отклонението от перпендикулярност

Отклонението от перпендикулярност на дадена челна повърхнина спрямо оста на ротационна външна или вътрешна повърхнина се определя като перпендикулярност на нейната средна асоциирана равнина към оста на ротационната повърхнина, определена от центровете на асоциираните средни окръжности на профилите, най-малко в две напречни сечения.

Това става в следната последователност:

Измерва се челното биене на дадената повърхнина. След изключване на осевото блуждаещо биене (ако то е значимо) по съответна програма се построява средна асоциирана равнина и се определя положението на нормалния вектор към нея. Той отразява ъгъла между асоциираната равнина и оста на въртене.

Измерва се радиалното биене в най-малко две напречни сечения на базовата ротационна повърхнина. След изключване на блуждаещото радиално биене (ако то е значимо) се определя положението на центровете на средните им асоциирани окръжности спрямо оста на въртене т.е. проекциите на ексцентрицитета Δx и Δy , а оста се дефинира от тези две точки. Определя се ъгълът между тази ос и оста на въртене. Разликата между двата ъгъла - на нормалния вектор и на

оста на ротационната повърхнина спрямо оста на въртене определя неперпендикулярността между средната равнина на челната повърхнина и оста на ротационната повърхнина.

При измерване в повече от две напречни сечения на ротационната цилиндрична повърхнина, оста ѝ се определя като средна права спрямо центровете на средните окръжности на измерените профили.

3.4. Измерване на отклонението от съосност

Аналогично на т. 3.1. се измерва радиалното биене в най-малко по две напречни сечения на разглежданите ротационни повърхнини. След въвеждане на поправки за радиално блуждаещо биене (ако то е значимо) се определят ексцентрицитетите Δx и Δy на центровете на средните окръжности на измерените профили спрямо оста на въртене. т.е. тяхното положение в приетата координатна система XYZ (оста Z съвпада с оста на въртене). По координатите на центровете на средните окръжности се построява съответната ос (като права, свързваща центровете на двете крайни сечения или като средна права, при повече от две сечения). Отклонението от съосност се определя като разстояние от крайните точки на едната ос до базовата по нормалата към нея или като разстояние от крайните точки на двете оси до общата им базова ос. Всички изчисления се осъществяват по съответна програма, част от програмното осигуряване на измервателната система [1].

3.5. Измерване на отклонението от успоредност

Отклонението от успоредност на две челни повърхнини на ротационни детайли се определя по ъгъла между нормалните вектори на средните равнини на тези челни повърхнини, получени при измерване на челното биене (фиг. 5).

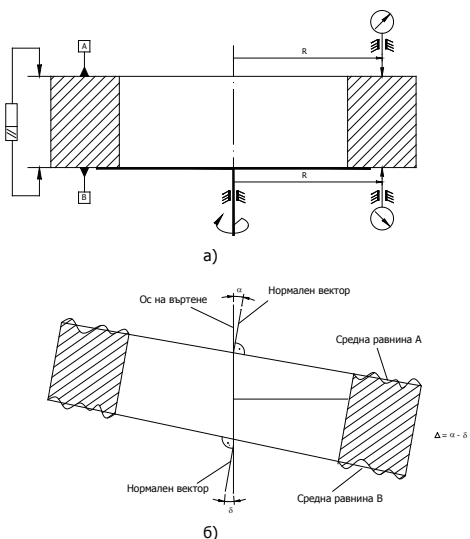
Измерването се осъществява в следната последователност.

Измерва се челното биене на двете челни повърхнини по радиус R.

След изключване на осевото блуждаещо биене (ако то е значимо) по резултатите от челното биене, по съответна програма, се построяват средните равнини спрямо измерените кръгови профили и положението на нормалните вектори на тези средни равнини спрямо оста на въртене.

По разликите между ъглите α и β на нормалните вектори на двете средни равнини спрямо

оста на въртене се определя отклонението от успоредност в ъглови или линейни величини.



Фиг. 5. Измерване на отклонението от успоредност на челни повърхнини на ротационни детайли тип пръстен; а) схема на измерване; б) построяване на нормалните вектори

При измерване на челното биене в повече от един кръгов профил на челните повърхнини се строят средни равнини по методиката описана в т. 3.2., и се определя положението на нормалните вектори на тези равнини спрямо оста на въртене.

3.6. Измерване на диаметрите на външните и вътрешните ротационни повърхнини

3.6.1. Измерване на вътрешни диаметри

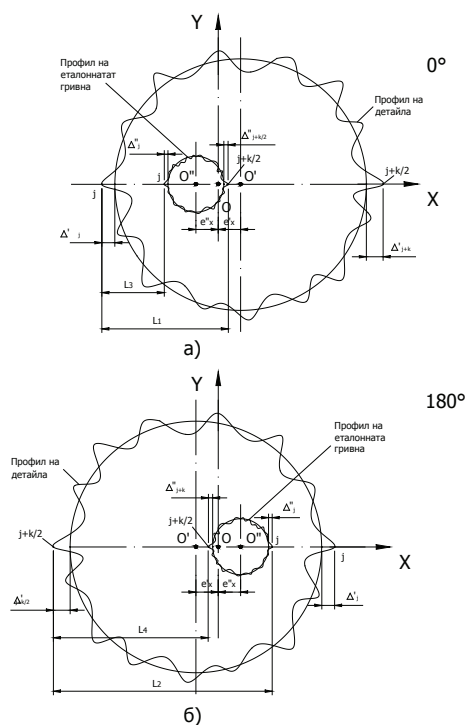
Осъществява се в следната последователност:

- Измерва се радиалното биене на вътрешните ротационни повърхнини на детайла и еталонната гривна в съответните напречни сечения.

- След въвеждане на поправки за блуждаещото радиално биене (ако то е значимо) се построява профилограмтаа на двата кръгови профила. По профилограмите се определят отклоненията от кръглост в j -та и $j+k/2$ -та точка на профилите и ексцентрицитета на центровете на средните им асоциирани окръжности спрямо оста на въртене (фиг. 6).

Измерва се разстоянието L_1 между j -та точка от профила на детайла и $j+k/2$ точка на еталонната гривна и разстоянието L_2 между $j+k/2$ -та точка на профила на детайла и j -та точка от

профила на еталонната гривна след завъртането на план-шайбата на 180° . При определяне на L_1 и L_2 се отчита, както преместването на линейния датчик така и хоризонталното преместване на супорта на струга.



Фиг. 6 Измерване на вътрешни диаметри а) преди завъртане на 180° ; б) след завъртане на 180°

На базата на тази първична измервателна информация може да се определят както стойностите на местните диаметри D_j на детайла, така и диаметрите на средните окръжности D_{cp} на измерения профил съответно на формулите:

$$D_j = L_1 + L_2 - r_{cp} - \Delta''_j - r_{cp} - \Delta''_{j+k/2}$$

$$D_{cp} = L_1 + L_2 - r_{cp} - \Delta''_j -$$

$$- r_{cp} - \Delta''_{j+k/2} + \Delta'_j + \Delta'_{j+k/2}$$

където:

Δ'_j и $\Delta'_{j+k/2}$ - отклонение от кръглост на профила на детайла в точка j и $j+k/2$;

Δ''_j и $\Delta''_{j+k/2}$ - отклонение от кръглост на профила на еталонната гривна в точка j и $j+k/2$.

Стойностите на r_{cp} на средните диаметри на

еталонната гривна е определена при нейното калибриране.

3.6.2. Измерване на външни диаметри

Процедурата е аналогична на измерването на вътрешни диаметри.

Измерва се радиалното биене на външната ротационна повърхнина на детайла и еталонната гривна в съответните сечения.

След въвеждане на поправка за блуждаещо радиално биене (ако то е значимо) се построяват профилограми на двата кръгови профили. Профилограмите отразяват отклонението от кръглост в j и $j+k/2$ точки на профилите и ексцентрицитетите на центровете на средните им окръжности спрямо оста на въртене. Определят се разстоянията L_3 , между j -та точка на профила на детайла и j -та точка на профила на еталонната гривна и разстоянието L_4 между $j+k/2$ точка на двата профила след завъртането на план-шайбата на 180° .

D_j и D_{cp} се изчисляват по формулите:

$$D_j = L_3 + L_4 + r_{cp} + \Delta''_j + r_{cp} + \Delta''_{j+k/2}$$

$$D_{cp} = L_3 + L_4 + r_{cp} + \Delta''_j +$$

$$+ r_{cp} + \Delta''_{j+k/2} - \Delta'_j - \Delta'_{j+k/2}$$

4. Заключение

Измерването на геометричните параметри на отговорни голямогабаритни детайли тип “пръстен” е сериозен метрологичен проблем, който може да бъде решен успешно с разработената измервателна система.

Системата е изградена на базата на каруселен струг, универсални измервателни средства за линейни премествания, специализирана измервателна екипировка и съответно програмно осигуряване и позволява измерването на съответните параметри на детайлите непосредствено на металорежещата машина.

Разработените методики за измерване се базират на определяне на отклонението на формата и разположението по резултатите от радиалното и челно биене с и без изключване на блуждаещото биене. В първият случай тези резултати се привеждат към виртуална изходна база (ос) чрез въвеждане на съответни поправки.

Разработената методика за измерване на диаметрите на външните и вътрешните ротационни повърхнини на детайлите, позволява определянето както на местните диаметри така и диаметрите на средните окръжности на измерените профили.

5. Литература

[1] **Богев В., Василев В.** “Разработване на софтуер за кръгломерни измервания”, Сборник с доклади на Национален научен симпозиум с международно участие “Метрология и метрологично осигуряване 2010”

[2] **Радев Хр.**, “Метод за измерване на отклонението на формата и разположението на повърхнините и осите на ротационни детайли спрямо виртуално изходна база” (Патент №65461 В1 от 27.10.2008)

[3] **Радев Хр., В. Богев, В. Василев, И. Благов** “Новая технология измерения геометрических параметров крупногабаритных ротационных деталей”, “Метрология та приклади” Научно-виробничий журнал. Тематический выпуск №2 II (40), ISSN 2307-2180, 2013г

Данни за авторите:

проф. д.т.н. Христо Радев. Машинен инженер – „Прибори на точната механика“, СТАНКИН – Москва (1965), к.т.н. (1974), доцент (1976), д.т.н. (1995), професор (1997), кат. „Прецизна техника и уредостроене“, Машиностроителен факултет – ТУ-София; Интереси: Метрология и метрологично осигуряване, Управление на качеството.

д-р инж. Ивайло Благов. Машинен инженер – „Прецизна техника и уредостроене“ (2005), Асистент (2008), Гл. асистент (2011); доктор (2014); кат. „Прецизна техника и уредостроене“, Машиностроителен факултет – ТУ-София; Интереси: Метрология и метрологично осигуряване, Управление на качеството.

доц. д-р Васил Богев. Машинен инженер – „Технология на машиностроенето“ (1980). Научен сътрудник (1982), Асистент (1985), доктор (1999); кат. „Прецизна техника и уредостроене“, Машиностроителен факултет – ТУ-София; Интереси: Метрология и метрологично осигуряване, Управление на качеството.

MEASUREMENT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF ROTATION PARTS RING TYPE

Hristo Radev¹⁾, Ivailo Blagov²⁾, Vasil Bogeв³⁾

¹⁾ TU of Sofia, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

²⁾ TU of Sofia, e-mail: blagov@tu-sofia.bg

³⁾ TU of Sofia, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

Abstract: This article discusses the measurement of the geometrical parameters (diameters and form and position deviations) of important large-scale shafts of type "ring". The measuring system is based on a carousel lathe, universal measurement tools for linear sizes, specialized measurement equipment and appropriate software and allows the measurement of geometric parameters details directly on the machine.

The proposed measurement methodologies are based on the assessment of the deviations of form and position by the use of the results of the measurement of both the radial and axial run-out, with

and without the exclusion of the errant run-out. In the first case, these results are brought to a virtual initial datum (axis) through the introduction of relevant corrections.

Key words: measurement, large rotation parts, geometrical parameters.

References:

[1] Bogeв V., Vasilev V. "Razrabotvane na softuer za kraglomerni izmervaniya", Sbornik s dokladi na Natsionalen nauchen simpozium s mezhdunarodno uchastie "Metrologiya i metrologichno osiguryavane 2010"

[2] Radeв Hr., "Metod za izmervane na otklonenieto na formata i razpolozhenieto na povarhninite i osite na rotatsionni detayli spryamo

virtualno izhodna baza" (Patent №65461 V1 ot 27.10.2008)

[3] Radeв Hr., V. Bogeв, V. Vasilev, I. Blagov "Novaya tehnologiya izmereniya geometricheskikh parametrov krupnogabaritnayh rotatsionnykh detaley", "Metrologiya ta prikladi" Naukovo-virobnichiy zhurnal. Tematicheskii vipusk №2 II (40), ISSN 2307-2180, 2013g

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РОТАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА „КОЛЬЦО“

Христо Радев¹⁾, Ивайло Благов²⁾, Васил Боев³⁾

¹⁾ ТУ – София, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

²⁾ ТУ – София, e-mail: blagov@tu-sofia.bg

³⁾ ТУ – София, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

Резюме: Рассматривается измерение геометрических параметров (диаметров и отклонения формы и расположения) крупногабаритных деталей типа "кольцо" с ответственным предназначением. Система измерения построена на базе карусельного станка, универсальных средств измерения линейных перемещений, специализированной измерительной оснастки и соответствующего программного обеспечения и позволяет измерять соответствующие параметры непосредственно на металлорежущем станке.

Разработанные методики измерения основываются на определении отклонения формы и расположения результатов радиального и торцевого биения, с или без исключения блуждающего биения. В первом случае эти результаты приводятся к виртуальной исходной базе (оси) введением соответствующих поправок.

Ключевые слова: измерение, крупногабаритные ротационные детали, геометрические параметры.