

ASPECTE ALE METROLOGIEI PIESELOR DE MECANICĂ FINĂ

METROLOGICAL ASPECT OF HIGH PRECISION SMALL PARTS

Prof.dr.ing. Ionescu Tone, UTCB, itone@utcb.ro
Prof.dr.ing. Rece Laurențiu, UTCB, rece@utcb.ro

Rezumat: Lucrarea prezintă anumite aspecte referitoare la metrologia pieselor de mecanică fină. Metrologie, mecanică fină

Abstract : In the paper there are presented some aspects regarding the metrologie of high precision small parts. Metrologie, high precision parts

1. INTRODUCERE

Acest studiu a pornit de la necesitatea de adaptare a lucrărilor practice la disciplina “Toleranțe și control dimensional” la secția de macatronică plecându-se de la mai multe considerente:

- lucrările de laborator la disciplina “Toleranțe și control dimensional”, așa cum sunt ele prezentate în îndrumarul de laborator existent, au fost concepute pentru pregătirea în domeniu a inginerilor mecanici specialiști în fabricarea, exploatarea și repararea mașinilor și utilajelor de construcții;
- piesele care sunt măsurate de viitorii ingineri mecanici, în cadrul lucrărilor de laborator sunt: roți dințate, piese filetate, axe cu came, cămăși de cilindru precum și alte organe de mașini specifice utilajelor de construcții;
- mecatronica se caracterizează însă și prin utilizarea unor componente specifice, foarte apropiate de mecanica fină atât prin dimensiunile mici ale pieselor cât și prin preciziile foarte fine;
- dimensiunile mici ale unor piese specifice modulelor și echipamentelor mecatronice impun folosirea de multe ori a metodelor de măsurare indirecte sau a aparatelor de măsură fără contact (microscopie, proiectoare etc.);

2. MĂSURAREA ȘI IDENTIFICAREA VALORILOR EFECTIVE

La operațiile de măsurare ale pieselor de mici dimensiuni trebuie să se țină cont de toate condițiile impuse de rigiditatea scăzută a pieselor, de suprafețele de contact foarte mici între piesele măsurate și palpatoarele aparatelor de măsură etc.

Măsurarea dimensiunilor efective liniare sau unghiulare este afectată de două categorii principale de erori: erori sistematice și erori aleatorii. Erorile sistematice sunt specifice aparatelor de măsură sau metodelor de măsurare. Erorile aleatorii sunt specifice operatorilor umani, aparatelor de măsură sau metodelor de măsurare

Identificarea elementelor geometrice elimină aproape în întregime efectul erorilor aleatorii de măsurare.

Pentru exemplificare prezentăm măsurarea și identificarea elementelor geometrice principale ale unei coroane dințate a unui aparat de mecanică fină (Fig. 1) folosind un proiector de profile (Orion-MICROTECNICA – Italia).

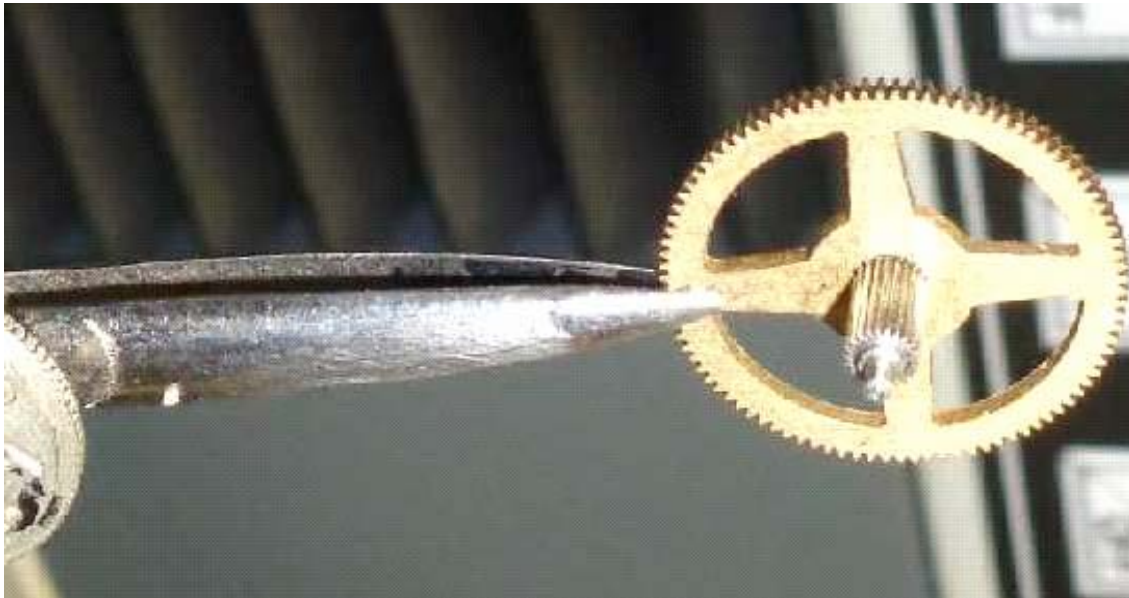


Fig. 1

Pentru început se determină numărul de dinți, rezultând $z = 94$ și pe baza acestui număr se determină numărul de dinți peste care se poate măsura cota peste dinți cu formula:

$$\begin{aligned} n &= z / 9 + 0.5 \\ \Rightarrow n &= 94 / 9 + 0.5 = 10.94 \quad \Rightarrow n = 11 \end{aligned} \quad (1)$$

Diametrul exterior se poate determina prin măsurare sau prin identificare (Fig. 2).

Măsurarea diametrului exterior se poate face prin “palparea” vârfulor dinților cu ajutorul marcajului vertical poziționat stânga-dreapta sau cu ajutorul lui marcajului orizontal poziționat jos-sus.

Dimensiunea efectivă măsurată astfel a fost $d_{em} = 16.76$ mm.

Obs. Această operație este asemănătoare cu măsurarea realizată cu ajutorul șublerelor, a micrometrelor sau a altor aparate de măsură.



Fig. 2

Pentru identificare s-au măsurat coordonatele unui număr de 10 puncte (Tabelul 1), primul punct fiind setat ca origine pentru axele OX și OY..

Tabelul 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	0	-0.63	-2.092	-7.996	-15.253	-16.751	-14.283	-11.495	-4.969	-1.196
Y	0	-3.225	-5.605	-8.473	-4.916	0.728	5.877	7.670	7.530	4.298

Aceste coordonate se folosesc pentru rezolvarea unui sistem cu 10 ecuații și 3 necunoscute de tipul:

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = R^2 \quad (2)$$

Din punct de vedere al teoriei sistemelor de ecuații, un sistem care are un număr de ecuații mai mare decât numărul de necunoscute și la care coeficienții sunt determinați pe cale experimentală nu poate fi decât incompatibil. Pentru rezolvarea acestor sisteme calculatorul proiecteurului folosește metoda celor mai mici pătrate, rezultatele obținute fiind coordonatele centrului (x_0, y_0) și raza cercului vârfurilor (R) .

Pe baza coordonatelor din TABELUL 1 s-au obținut $x_0 = 8.385$ mm, $y_0 = 0.093$ mm și $R = 8.384$ mm.

Obs. Sistemele de ecuații la care numărul de necunoscute este mai mic decât numărul de ecuații mai pot fi rezolvate și prin metoda substituției și a medierii.

Pentru creșterea preciziei de identificare se poate repeta întreaga operație prin translatarea originii în centrul cercului, adică în punctul de coordonate (x_0, y_0) .

Se vor măsura apoi coordonatele altor 10 puncte (Tabelul 2) și se va rezolva un sistem cu o necunoscută și 10 ecuații de tipul

$$x^2 + y^2 = R^2. \quad (3)$$

Tabelul 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	8.365	7.761	6.302	4.108	-3.952	-7.613	-7.753	-4.585	4.905	7.166
Y	0.073	-3.183	-5.487	-7.327	-7.389	-4.363	3.159	7.016	6.786	4.347

Rezolvând sistemul cu aceste date se determină raza $R = 8.389$ mm deci diametrul de vârf al danturii va fi $d_v = 2R = 16.778$ mm.

Modulul danturii se poate determina cu formula:

$$m \approx \frac{d_v}{z+2} = \frac{16.778}{96} = 0.1747$$

deci modulul standardizat este $m_s = 0.175$ mm.

Măsurarea celorlalte elemente geometrice principale ale roților dințate (diametrul de fund al danturii, înălțimea dinților, cote peste dinți etc.) se poate realiza în mod asemănător.

3. ALTE APLICAȚII

- a) Lucrarea clasică pentru studiul abaterilor de formă se referă la măsurarea abaterilor unei cămăși de cilindru cu ajutorul unui dispozitiv de măsurat alezaje cu ceas comparator analogic, măsurarea abaterilor făcându-se în 5 secțiuni și pe 4 direcții poziționate reciproc la aproximativ 90° .

Noua lucrare propusă realizează măsurarea cu o acuratețe foarte mare a abaterilor de formă sau de poziție.



Fig. 3

De exemplu, montajul din Fig. 3 realizează măsurarea abaterilor de la cilindricitate ale unei piese de probă foarte precise. Piesa de probă este montată centrat pe o masă divizoare care permite ca poziția unghiulară în mișcarea de rotație să aibă o precizie de 30", dacă se folosesc gradațiile circulare ale mesei, sau precizia de 1", dacă se folosește afișajul optic.

Pentru măsurarea abaterilor montajul realizat are un ceas comparator digital instalat pe un suport cu fixare magnetică și reglaj foarte precis. Avantajele ceasurilor comparatoare digitale față de ceasurile comparatoare analogice sunt multiple:

- posibilitatea de înregistrare a datelor măsurate;
- posibilitatea de comutare ușoară a modurilor de măsurare (milimetri sau inch)
- posibilitatea de stabilire ușoară a originii, etc

a) Lucrarea clasică pentru studiul abaterilor de bătaie radială și a abaterilor de bătaie frontală utilizează o piesă de tip rotor cu precizia dimensională relativ scăzută (conform treptei 10 ISO), de formă sau de poziție relativ scăzute.

Noua lucrare propusă pentru studiul abaterilor de formă și de poziție (Fig. 4) utilizează un sertar de supapă având precizia dimensională conform treptei 6 ISO, sertar instalat foarte precis între două vârfuri de centrare cu strângere reglabilă.



Fig. 4

- Cu ajutorul acestui montaj se pot măsura trei componente ale preciziei de formă:
- abaterile de formă de la cilindricitate ;
 - abaterile de la planitate ;
 - abaterile de la conicitate ;
- și trei componente ale preciziei de poziție:
- bătaia radială;
 - bătaia frontală;
 - băaia pe o direcție înclinată.

- a) Pentru măsurarea pieselor de probă, realizate în cadrul laboratorului de mașini-unelte, cu ajutorul mașinii de frezat cu comandă numerică de tip HAAS, a fost propusă o lucrare de laborator (fig. 5) cu ajutorul unui micrometru electronic caracterizat printr-o precizie de citire de 0.01 mm și având drept element de palpăre un ceas comparator electronic cu precizia de citire de 0.001 mm.



Fig. 5

Micrometrul electronic vertical folosit pentru această lucrare are o particularitate foarte utilă: este înzestrat cu două sisteme de măsurare, calcul și afișare a cotelor care pot funcționa independent, fapt care oferă următoarele facilități:

- se pot măsura ușor elementele care constituie lanțuri de dimensiuni;
- se poate alege o anumită origine la unul din cele două sisteme de măsurare independente pentru a face simultan măsurători relative și absolute;
- se pot defini la piesele măsurate două “origini”, etc.

După cum se observa, în acest caz există două aparate “înseriate” dar acestea nu sunt omogene din punct de vedere al preciziei de citire (micrometrul electronic are precizia de citire de 0.01 mm și ceasul comparator electronic are precizia de citire de 0.001 mm). Această diferență este corectă deoarece permite ca operațiile de măsurare să se execute la precizia aparatului de măsură.

Obs. Nu ar fi permis ca precizia ceasului comparator să fie mai grosieră iar precizia micrometrului să fie mai fină pentru că, în acest, la măsurarea repetată a aceleiași dimensiuni se vor afișa rezultate diferite.

4. CONCLUZII FINALE

Pentru relevarea unor piese existente sau măsurarea unor piese prelucrate se folosește foarte mult procedeul de identificare a elementelor geometrice în locul măsurării clasice. Între operația de măsurare și operația de identificare există însă două deosebiri fundamentale:

- II. La măsurarea repetată a unui element geometric se recomandă să se folosească puncte de contact diferite dar este posibil ca măsurarea să se repete folosind aceleași puncte. În acest caz crește pericolul ca rezultatul operațiilor repetate de măsurare să fie influențat de abaterile de formă ale suprafețelor.
- La identificarea elementelor geometrice se folosesc însă obligatoriu puncte distincte și astfel dispare pericolul influenței abaterilor de formă ale suprafețelor asupra rezultatului final.
- II. La măsurarea repetată și la identificarea elementelor geometrice se folosesc metode matematice diferite:
- La măsurarea repetată rezultatul final se obține prin prelucrarea statistică a tuturor rezultatelor operațiilor de măsurare individuala.
 - La identificarea elementelor geometrice ale pieselor, rezultatele se determină prin rezolvarea unor sisteme cu "n" necunoscute (constantele din ecuațiile elementelor geometrice) dar având "n + m" ecuații corespunzătoare fiecărui punct de identificare. Cu cât numărul de ecuații este mai mare decât numărul de necunoscute crește și acuratețea procedurii de identificare a elementelor geometrice.
- Majoritatea aparatelor de măsură moderne permit determinarea celor mai importante tipuri de elemente geometrice care se pot întâlni la piesele care trebuie măsurate. De exemplu, aparatul care a fost utilizat pentru realizarea experimentărilor pentru această lucrare, adică proiectorul de profile tip Orion – MICROTECNICA permite identificarea mai multor tipuri de elemente geometrice: linii, distanțe, unghiuri, cercuri, plane etc.
- II. Micrometrul electronic folosit permite efectuarea unor calcule necesare pentru măsurarea elementelor componente ale lanțurilor de dimensiuni liniare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] – Traian Demian, Adrian Pascu, Ghiorghe Stoica – Aparate de msurat în coordonate –Editura Tehnică, București –1991
- [2] – Dumitraș C., Popescu I., Bendic. V. - Ingineria și controlul dimensional și geometric în fabricarea mașinilor – Editura Tehnică, București, 1997
- [3] – Manual de utilizare – micrometrul Orion – MICROTECNICA – Italia.