L'INGÉNIEUR et le technicien DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

P.G

Article

BIMESTRIEL - PRIX DU N° : 9 F – Voir sommaire page 3 – 29e ANNÉE - N° 187 NOV.-DÉC. 1974

La métrologie automatique

par **P. BOURDET** et **A. CLEMENT,**
professeurs à l'Ecole Normale Supérieure
de l'Enseignement Technique.

Nous présentons aujourd'hui un second article de MM. Bourdet et Clément.

S'il ne constitue pas une suite au premier article : « Optimalisation des montages d'usinage » (voir I.E.T. n° 185) il est clair qu'il procède de la même démarche de pensée quant à l'utilisation des immenses possibilités de l'ordinateur en construction mécanique : ici la métrologie automatique, là l'étude des montages, ailleurs l'établissement des gammes ou le calcul des structures (voir article page 53), etc.

Le problème de l'informatique industrielle est posé. Les réflexions et informations de nos lecteurs seront précieuses.

N.D.L.R.

Nous nous proposons de donner une nouvelle méthode d'exploitation des données recueillies lors de la métrologie des surfaces.

Cette méthode supprime un balançage manuel précis des pièces à contrôler, s'applique à toute surface ou groupe de surfaces, mais exige l'emploi d'un ordinateur.

L'exploitation des résultats doit permettre selon les cas :

1° De donner directement les écarts de forme par rapport à une surface théorique liée d'une manière significative à la surface mesurée.

2° De donner les écarts de position relative de plusieurs surfaces théoriques liées d'une manière significative à plusieurs surfaces mesurées.

3° De donner une indice de qualité statistique de forme.

4° De déterminer automatiquement le balançage optimal d'une pièce réelle par rapport à la position de la pièce théorique (ceci étant applicable au contrôle des pièces finies ainsi qu'au balançage des pièces brutes).

ETAT ACTUEL DE LA QUESTION POUR UN PLAN

Le problème consiste à lier d'une manière significative un plan théorique à l'ensemble des mesures effectuées sur la pièce réelle.

Actuellement ou bien on exploite les résultats d'une manière empirique (tracé des lignes de niveau par exemple) ou bien on cherche l'équation du plan $ax + by + cz = d$ dans un système d'axes lié au système de mesure en minimisant la somme des carrés des distances des points mesurés au plan significatif cherché. Voir sur le sujet : Uncertainty, calibration and probability by Dietrich — Adam Hilger London 1973.

Les inconvénients de ces méthodes sont les suivants :

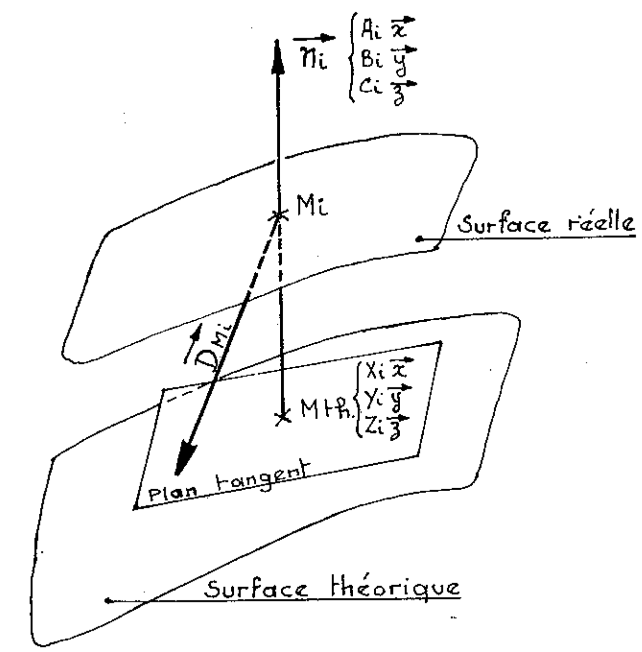
a) On doit connaître l'équation de la surface étudiée. S'il s'agit d'un plan la méthode des moindres carrés appliquée aux distances des points donne effectivement des équations linéaires, mais s'il s'agit de surfaces du second degré, ou de surfaces non algébriques la méthode est totalement inapplicable. Par conséquent cette méthode ne s'applique qu'à la planéité et à la rectitude.

b) La vérification expérimentale est sinon impossible, du moins très difficile à imaginer et par conséquent n'est jamais pratiquée.

EXPOSE DE LA METHODE

Dans cette méthode la surface théorique n'est pas donné nécessairement par son équation mais essentiellement par un tableau (X, Y, Z, a, b, c) des coordonnées X Y Z d'un certain nombre de points théoriques et des cosinus directeurs a b c des normales à la surface leur correspondant.

Désignons par $\left\{\begin{array}{l}\vec{\Omega}\\ \vec{D}_A\end{array}\right.$ le torseur des déplacements très petits calculé en A qui doit permettre de faire passer le solide de la position 1 actuelle à une position 2 telle que les points mesurés coïncident d'une manière significative avec les points théoriques dans un repère lié au système de mesure.



Soit en un point théorique M_{th} de coordonnées X_i, Y_i, Z_i la normale $\vec{n}_i$ à la surface théorique.

M_i est le point réel, intersection de la normale $\vec{n}_i$ et de la surface réelle.

Les auteurs tiennent à la disposition des lecteurs intéressés le programme complet dont nous publions ci-dessus un échantillon.

Quel que soit l'instrument de contrôle on obtient la mesure algébrique $M_i\,M_{th} = \xi_i$ sur la normale $\vec{n}_i$.

La surface réelle n'est jamais superposable à la surface théorique, c'est-à-dire que le point M_i ne vient pas nécessairement en M_{th}. On minimise les écarts de superposition en donnant un déplacement tel que la position finale de M_i soit dans le plan tangent en M_{th}.

Ce qu'on peut écrire algébriquement

$$\vec{D}\,(M)_i \cdot \vec{n}_i = \xi_i \qquad (1)$$

On a 6 inconnus (α, β, γ, u, v, w) composantes du torseur déplacement $\left\{\begin{array}{l}\vec{\Omega}\\ \vec{D}_A\end{array}\right.$. Toutes les relations (1) étant linéaires il faut 6 équations indépendantes pour résoudre le système.

Si l'on procédait ainsi le nombre de points de mesure serait insuffisant pour donner l'image de la forme de la pièce.

```
@RUN,B PLANIM,CHNNST,CHN
@HDG,          P. BOURDET  A CLEMENT  PLANIMETRIE
FOR,ISON
      DIMENSION B(6,6),A(6,6),CO(6),RES(6)
      DIMENSION T(10,500),P(3,500)
      DIMENSION EC(500),AT(80),PASX(8),ECAR(8,40)
      REAL KS(500)
      DIMENSION TUL(500)
      READ 302,AT
      CALL SMARGE
302   FORMAT(80A1)
      PRINT 305,AT
305   FORMAT(1H1,80A1,//)
      READ 301,PASY
301   FORMAT(F10.2)
      READ 303,PASX
303   FORMAT(8F10.2)
      NX=0
      DO 200 I=1,8
      PA=PASX(1)
      IF(PA)201,200,201
201   NX=NX+1
200   CONTINUE
      NX=NX+1
      NY=0
203   NY=NY+1
      READ 304,(ECAR(I,NY),I=1,8)
304   FORMAT(8F10.4)
      IF(ECAR(1,NY)-9999.)203,204,203
204   CONTINUE
      NO=0
      NY=NY-1
      DO 207 J=1,NY
      DO 207 I=1,NX
207   ECAR(I,J)=0.001*ECAR(I,J)
      DO205 JY=1,NY
      BIX=FLOAT(JY)
      DO205 IX=1,NX
```

Supposons que la surface (ou le groupe de surfaces) soit définie par n points (par exemple n = 100). On peut écrire n équations du type (I). On est alors en présence d'un système d'équations linéaires à n équations et 6 inconnues.

Il s'agit alors de déterminer le déplacement significatif c'est-à-dire le déplacement qui satisfait au mieux les n équations. On emploie ici la méthode de résolution de Gauss en formant la fonction W constituée par la somme des carrés des membres de gauche des n équations préalablement égalées à zéro. Cette fonction W doit être minimum pour que la solution vérifie au mieux le système de n équations. On obtient ainsi un système de 6 équations dans le cas général en écrivant que :

$$\frac{\delta W}{\delta \alpha} = 0 \qquad \frac{\delta W}{\delta \beta} = 0 \qquad \frac{\delta W}{\delta \gamma} = 0$$

$$\frac{\delta W}{\delta u} = 0 \qquad \frac{\delta W}{\delta v} = 0 \qquad \frac{\delta W}{\delta w} = 0$$

Ce système est évidemment linéaire et sa résolution donne un torseur déplacement (α, β, γ, u, v, w) que nous appellerons le déplacement significatif qui correspond au balançage optimal de la matière.

L'exploitation des résultats est immédiate.

1° Par le calcul on fait subir aux points mesurés le déplacement significatif, et l'on détermine la nouvelle distance au plan tangent (topographie de la surface).

2° L'écart d'orientation est donné par α, β, γ.

3° La vérification expérimentale s'opère de la manière suivante :

Sur un montage de contrôle constitué par 6 contacts ponctuels réglables, on effectue une première série de mesures. A partir de ces mesures le programme calcule le déplacement du solide (α, β, γ, u, v, w) afin de balancer la matière autour de la position théorique, et donner les écarts correspondants à cette nouvelle position. Il suffit de calculer le déplacement à faire subir à chaque contact ponctuel du montage de telle manière que le déplacement de la pièce soit identique au déplacement déterminé ci-dessus.

Après réglage des appuis du montage de contrôle, on peut confronter une nouvelle série de mesures aux écarts calculés par le programme. Cette opération est convergente et l'on peut si besoin est répéter plusieurs fois l'opération. Cette répétition n'est d'ailleurs pas nécessaire si la première position des contacts ponctuels est réglée sur le solide théorique. (Petits déplacements).

5° Dans le cas d'une opération de balançage d'une pièce dans un repère lié à une machine-outil, le nombre de mesure réduit à une dizaine, permet de définir dans un temps très court le réglage optimal des différents appuis de la pièce.

4° On peut définir des facteurs de qualité statistique en calculant par exemple l'écart type de la distribution des écarts dimensionnels de la pièce réelle à la surface théorique, etc.

P. BOURDET et A. CLEMENT