

O NOUĂ ABORDARE A PROBLEMATICII ÎNFĂȘURĂRII SUPRAFEȚELOR, BAZATĂ PE METODE DE REPREZENTARE ÎN FORMĂ DISCRETĂ A SUPRAFEȚELOR, ÎN VEDEREA ALGORITMIZĂRII ȘI INFORMATIZĂRII PROFILĂRII SCULELOR GENERATOARE

- Sinteza pe anul 2007 (01.10 – 15.12) –

Activitatea de cercetare în cadrul CONTRACTULUI ID 656/2007 în anul 2007, a avut o etapă unică cu următoarele activități:

1. Cercetare bibliografică privind modalitățile de măsurare cu mijloace specifice OMM (on machine measurement) a suprafețelor complexe.
2. Elaborarea unor modele pentru descrierea în formă discretă a suprafețelor.
3. Aplicarea metodologiei de reprezentare a suprafețelor pentru descrierea formei suprafețelor active ale burghiilor elicoidale (modele pentru suprafețele de așezare).

1. Premise științifice (cercetare bibliografică)

Perfecționarea fabricației în sensul măririi preciziei de prelucrare presupune, din ce în ce mai mult, sinteza unor modele pentru predicția și compensarea soft a erorilor de generare: modele analitice [5], [12], modelări bazate pe algoritmi genetici [4], de asemenea, metode bazate pe rețele neuronale polinomiale (polynomial neural network-PNN) [1], utilizând sisteme de măsurare pe mașina-uneltă (on-machine-measurement - OMM) [1], în scopul compensării erorilor, întregul sistem fiind integrat, CAD/CAM/CAI.

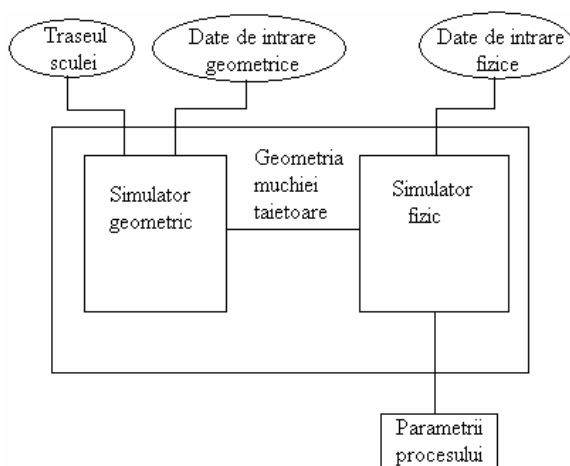


Fig 1.1. Simulator de proces bazat pe modelare geometrică

scopul reconstrucției formei suprafeței.

- Au fost dezvoltate simulatoare geometrice [7] care au legături (linkuri) cu simulatoare

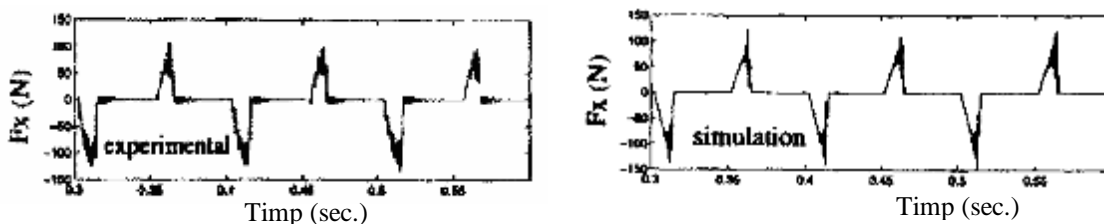


Fig. 1.2.. Compararea rezultatelor simulatorului de proces cu rezultate experimentale

fizice, bazate pe procesele de modelare a proceselor de aşchiere (fig. 1.1.). Simulatorul fizicii procesului constă din modele ale forţei de aşchiere pentru diferite situaţii posibil existente. În figura 1.2 se poate observa un rezultat obţinut cu ajutorul acestui tip de simulator, comparat cu rezultate experimentale.

•Pe baza teoriei suprafeţelor conjugate s-au dezvoltat metode pentru generarea suprafeţelor exprimate în formă discretă (digital gear tooth surfaces - DGTS) atât în 2D cât şi în 3D, stabilind soluţii pentru determinarea suprafeţelor înfăşurătoare – suprafeţe periferice primare ale sculelor [3].

Se stabilesc strategii pentru analiza şi compensarea erorilor (vezi figura 1.3), aplicate la modelarea 2D şi 3D a generării flancurilor dinţilor evolventice, [3], metoda permite trasarea profilului sculelor generatoare şi totodată a coordonatelor discrete ale mişcării de generare a sculelor, figura 1.4.

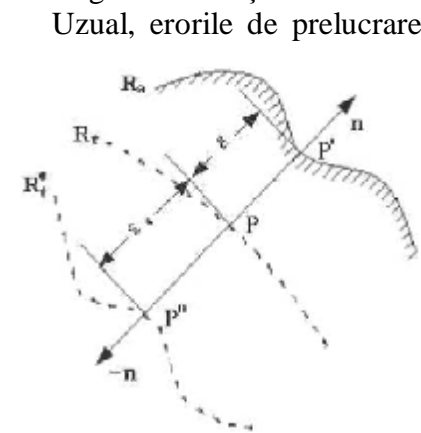


Fig.1.3. Strategie pentru compensarea erorilor

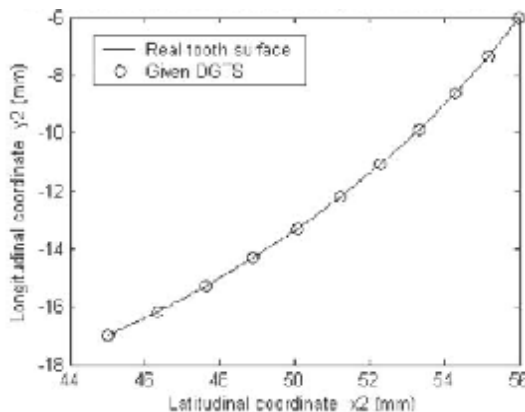


Fig. 1.4. Compararea rezultatelor

această suprafaţă şi suprafaţa teoretică, reprezentată discret.

•Bazat pe conceptul mai sus menţionat, se propune o estimare a erorilor pentru aşchiere (DGTS). Erorile de prelucrare sunt analizate discret pornind de la suprafaţa prelucrată.

În esenţă, metoda face o comparaţie între două modele: modelul CAD al DGTS şi un model virtual al suprafeţei măsurate a dintelui roţii prelucrate.

Se recrează, punct cu punct, harta suprafeţei reale R_a în direcţia normalei la suprafaţa teoretică R_i , exprimată prin:

$$e_i = (R_{ti} - R_{ai}) \cdot n_i \quad (1)$$

în care:

- indicele i reprezintă numărul punctului;
- R_{ti} , n_i – reprezintă poziţia teoretică a vectorului normalei la suprafaţă în punctele suprafeţei;
- R_{ai} reprezintă poziţia actuală a vectorului;
- ϵ_i – reprezintă mărimea erorii de prelucrare a suprafeţei reale în această poziţie.

Astfel, va putea fi obţinut un câmp de erori pe suprafaţă.

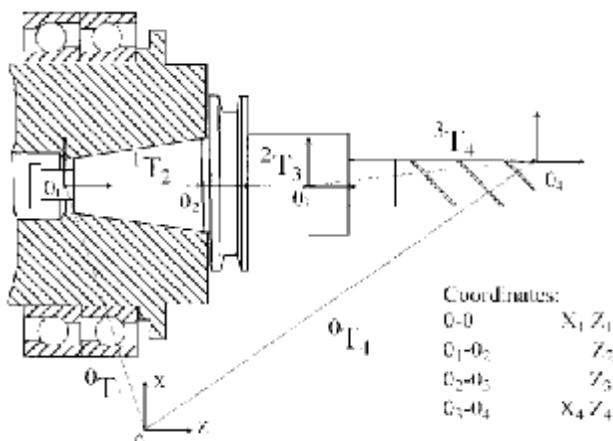


Fig. 1.5. Modelul cinematic al sistemului arborelui sculei

• Sunt utilizate sisteme de compensare a erorilor spațiale a mașinilor-unelte [14][15] care rezolvă problema pornind de la ideea că erorile cvasi-stactice afectează precizia dimensională în proporție de pînă la 70% din totalul erorii mașinii-unelte.

Predicția erorii poziției sculei, ca factor principal în estimarea formei piesei prelucrate, este abordată [2] și în forma unui model cinematic al sistemului arborelui sculei care conduce la o exprimare matriceală a erorii în forma

$${}^0T_4^{err} = {}^0T_1 \cdot E_1 \cdot {}^1T_2 \cdot E_2 \cdot {}^2T_3 \cdot E_3 \cdot {}^3T_4 \cdot E_4 \quad (2)$$

•În același scop, al compensării erorilor la mașinile cu comandă numerică cu masă rotativă, include, după [13], etapele:

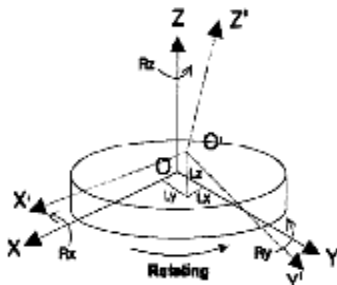


Figura 1.6. Componente ale erorii mesei rotative

- elaborarea unui model geometric al erorii;
- sinteza unei metode pentru compensarea erorii prin conducerea CNC;
- procedură de măsurare și verificare experimentală, figura 1.5.
- Modelul de eroare al mesei rotative, figura 1.6, include:
- trei erori de translație, L_x, L_y, L_z ;
- două erori de rotație, R_x, R_y ;
- o eroare de poziționare unghiulară în jurul axei de rotație R_z , realizându-se un algoritm de compensare.

2. Elaborarea unor modele pentru descrierea în formă discretă a suprafețelor

2.1. Metoda tangențelor pentru reprezentare generatoarelor suprafețelor elicoidale

Exprimarea în forma discretă a suprafețelor elicoidale, având în vedere cinematica generării acestora, se poate face pornind de la un model discret al generatoarei suprafeței.

Ca generatoare a suprafețelor elicoidale, cel mai adesea, poate fi utilizată o curbă plană perpendiculară pe axa elicoidului reprezentând secțiunea transversală a acesteia, definită în formă discretă printr-un număr finit de puncte, ca o matrice de forma (3), vezi și figura 2.1,

$$S_T = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 \\ X_2 & Y_2 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ X_i & Y_i \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ X_n & Y_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

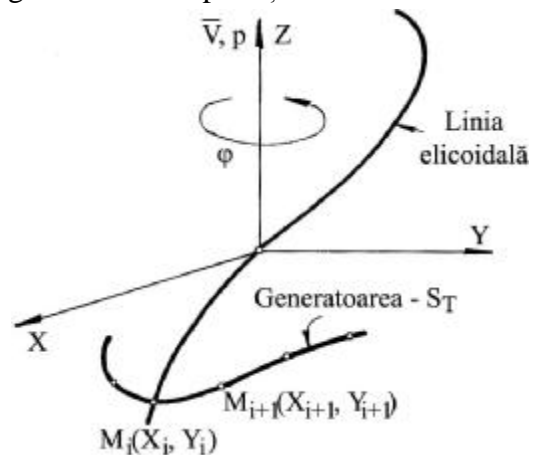


Fig.2.1 Generatoarea suprafeței elicoidale

Prin mișcarea elicoidală a generatoarei S_T în jurul axei \vec{V} , de parametru elicoidal p , se modelează numeric suprafața elicoidală.

În rezolvarea problemei determinării înfășurătoarei unei suprafețe elicoidale (de altfel, pentru orice alt tip de suprafață), așa cum este cunoscut din teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor, este necesar a determina normala la această suprafață.

În cazul particular al suprafeței elicoidale (cazul cel mai frecvent - suprafața elicoidală cilindrică de pas constant) normala poate fi definită ca produsul vectorial

$$\vec{N}_\Sigma = \vec{T}_E \times \vec{T}_{S_T}, \quad (4)$$

în care:

\vec{T}_E este vectorul tangent la linia elicoidală în punctul considerat, fie $M_i(X_i, Y_i)$ acesta (punct pe directoarea suprafeței);

\vec{T}_{S_T} - tangenta în punctul M_i la generatoarea (secțiunea transversală) în formă discretă a suprafeței elicoidale, deplasată în lungul liniei elicoidale, până în punctul curent al liniei elicoidale considerat.

Dacă elicea punctului curent de pe suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant se generează în mișcarea

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos j & -\sin j & 0 \\ \sin j & \cos j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ pj \end{pmatrix}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

cu φ - parametru variabil, conducând la ecuații de forma:

$$\begin{cases} X = X_i \cos j - Y_i \sin j ; \\ Y = X_i \sin j + Y_i \cos j ; , (i = 1, 2, 3, \dots, n) \\ Z = pj , \end{cases} \quad (6)$$

vectorul tangentei la elicea (6) este

$$\vec{T}_E = [-X_i \sin j - Y_i \cos j] \vec{i} + [X_i \cos j - Y_i \sin j] \vec{j} + p \vec{k}, (i = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (7)$$

Parametrii directori ai tangentei la profilul secțiunii transversale, figura 2.2, având în vedere definierea unghiului

$$b_i = \arctg \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|}, \quad (8)$$

se exprimă prin

$$\vec{T}_{St} = \cos b_i \vec{i} + \sin b_i \vec{j}. \quad (9)$$

Deplasarea vectorului (9) în lungul liniei elicoidale determină vectorul tangentei la profilul secțiunii transversale, în punctul curent al liniei elicoidale,

$$\begin{pmatrix} T_{St,x} \\ T_{St,y} \\ T_{St,z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos j & -\sin j & 0 \\ \sin j & \cos j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos b_i \\ \sin b_i \\ 0 \end{pmatrix}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (10)$$

sau, după dezvoltare:

$$\begin{cases} T_{ST,x} = \cos b_i \cos j - \sin b_i \sin j ; \\ T_{ST,y} = \cos b_i \sin j + \sin b_i \cos j . \end{cases}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (11)$$

Există, acum, posibilitatea de a determina normala în punctul curent al suprafeței Σ , din (7) și (11),

$$\vec{N}_\Sigma = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -X_i \sin j - Y_i \cos j & X_i \cos j - Y_i \sin j & p \\ \cos b_i \cos j - \sin b_i \sin j & \cos b_i \sin j + \sin b_i \cos j & 0 \end{vmatrix}, (i = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (12)$$

în baza modelului pentru descrierea în formă discretă a suprafeței elicoidale.

2.2. Metoda tangențelor pentru reprezentarea generatoarelor suprafețelor cilindrice

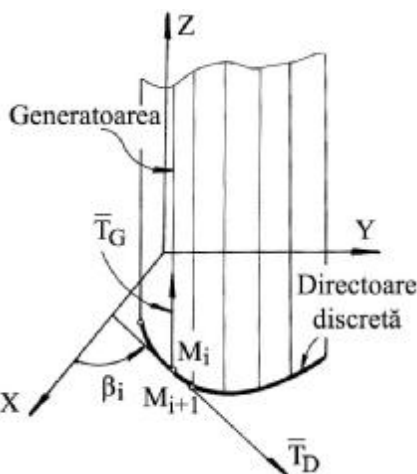


Fig. 2.3. Normala la o suprafață cilindrică

În conformitate cu cele de mai sus, modalitatea de exprimare, în acest fel, a normalei poate fi utilizată și în cazul suprafețelor cilindrice, figura 2.3.

Versorul generatoarei suprafeței cilindrice este

$$\vec{T}_G = \vec{k}, \quad (13)$$

pentru cazul din figura 2.5.

De asemenea, tangenta la directoarea exprimată în formă discretă are forma

$$\vec{T}_D = \cos b_i \vec{i} + \sin b_i \vec{j}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (14)$$

în care

$$\operatorname{tg} b_i = \left\{ \frac{|Y_{i+1} - Y_i|}{|X_{i+1} - X_i|} \right\}. \quad (15)$$

Normala are parametrii directori:

$$\begin{cases} N_x = \sin b_i; \\ N_y = -\cos b_i. \end{cases} \quad (16)$$

De asemenea, facem observația că mărimile β_i reprezintă o variabilă exprimată în formă discretă.

2.3. Metoda reprezentării poliedrale

Suprafețele (elicoidală, cilindrică sau de revoluție) așa cum rezultă în urma măsurării, prin explorare cu un sistem de palpăre care determină coordonatele succesive ale punctelor acestora, figura 2.4, pot fi privite ca fiind formate dintr-o rețea de puncte distincte în lungul liniilor de măsurare.

Facem observația că distribuția punctelor măsurate în lungul generatoarelor efective trebuie a fi suficient de densă pentru a descrie suprafața în limitele unei anumite precizii de măsurare, acceptată ca riguroasă din punct de vedere tehnic.

Deși rețeaua de puncte formată pe suprafața efectiv măsurată nu este o rețea cu elemente uniforme, algoritmul pentru determinarea normalei la suprafață nu este afectat, dacă numărul de puncte este suficient de mare.

În sensul prezentat anterior, o generatoare efectivă “j” a suprafeței poate fi reprezentată printr-o matrice de forma

$$G = \begin{Bmatrix} X_{1,j} & X_{2,j} & X_{3,j} & \mathbf{K} & X_{k,j} \\ Y_{1,j} & Y_{2,j} & Y_{3,j} & \mathbf{K} & Y_{k,j} \\ Z_{1,j} & Z_{2,j} & Z_{3,j} & \mathbf{K} & Z_{k,j} \end{Bmatrix}^T. \quad (17)$$

Ținând seama de (17), pentru rețeaua de puncte (modelul) reprezentând întreaga suprafață, se acceptă exprimarea

$$\Sigma_{efectiv} = \left\{ \begin{Bmatrix} X_{1,j} & X_{2,j} & \mathbf{K} & X_{k,j} \\ Y_{1,j} & Y_{2,j} & \mathbf{K} & Y_{k,j} \\ Z_{1,j} & Z_{2,j} & \mathbf{K} & Z_{k,j} \end{Bmatrix}^T \right\}_i; \quad i = 1, 2, \dots, j, \dots m. \quad (18)$$

Normala într-un punct oarecare al modelului suprafeței efective, fie $M_{i,j}$ acesta, se definește ca fiind normala la una dintre fețele “poliedrului” determinat de punctele : $M_{i,j}$; $M_{i,j-1}$; $M_{i+1,j}$ etc, figura 2.4.

Este evident că, în punctul considerat, $M_{i,j}$, se pot defini patru normale, câte una la fiecare din cele patru fețe ale poliedrului având ca vârf punctul considerat.

De exemplu, definind vectorii:

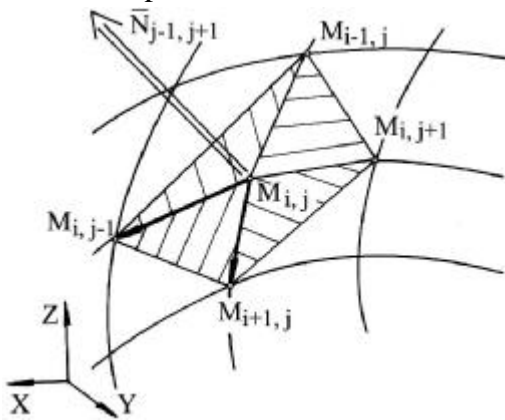


Fig. 2.4. Normala la suprafața poliedrală

$$M_{i,j-1} = \begin{Bmatrix} X_{i,(j-1)} \\ Y_{i,(j-1)} \\ Z_{i,(j-1)} \end{Bmatrix}; \quad (19)$$

$$M_{i,j} = \begin{Bmatrix} X_{i,j} \\ Y_{i,j} \\ Z_{i,j} \end{Bmatrix}; \quad (20)$$

$$M_{(i+1),j} = \begin{Bmatrix} X_{(i+1),j} \\ Y_{(i+1),j} \\ Z_{(i+1),j} \end{Bmatrix}, \quad (21)$$

normala la suprafața plană determinată de aceste puncte este

$$\mathbf{N}_{i,j}^{(i+1),(j-1)} = \overline{M_{i,(j-1)} M_{i,j}} \times \overline{M_{i,j} M_{(i+1),j}} \quad (22)$$

sau, sub formă de determinant,

$$\mathbf{N}_{i,j}^{(i+1),(j-1)} = \begin{vmatrix} \mathbf{r}_i & \mathbf{r}_j & \mathbf{r}_k \\ (X_{i,(j-1)} - X_{i,j}) & (Y_{i,(j-1)} - Y_{i,j}) & (Z_{i,(j-1)} - Z_{i,j}) \\ (X_{(i+1),j} - X_{i,j}) & (Y_{(i+1),j} - Y_{i,j}) & (Z_{(i+1),j} - Z_{i,j}) \end{vmatrix}. \quad (23)$$

În mod similar, se definesc normalele și la celelalte suprafețe ale poliedrului cu vârful în $M_{i,j}$.

• **Condiția de determinare a curbei caracteristice**

În figura 3.3, sunt prezentate sistemele de referință și poziția axelor sculei-disc și a suprafeței elicoidale.

Conform teoremei Novicov, condiția ca punctul $M_{i,j}$ de pe suprafața Σ să aparțină curbei caracteristice este determinată de intersecția normalei la Σ , în acest punct, cu axa sculei-disc.

Cunoscute fiind:

- poziția axei sculei-disc,

$$\mathbf{A} = -\sin \alpha \mathbf{j} + \cos \alpha \mathbf{k} \quad \text{și} \quad OO_1 = a; \quad (24)$$

- vectorul de poziție \mathbf{r}_1 , care unește punctul O_1 cu

$M_{i,j}$,

$$\mathbf{r}_1 = (X_{i,j} - a)\mathbf{i} + Y_{i,j}\mathbf{j} + Z_{i,j}\mathbf{k}, \quad (25)$$

în care $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$, $Z_{i,j}$ sunt date de (49), condiția de înfășurare, în sensul Nikolaev, capătă forma

$$\left| \left(\mathbf{A}, \mathbf{r}_1, \mathbf{N}_{\Sigma,j} \right) \right| \leq \varepsilon \quad (26)$$

în care, ε este o valoare pozitivă, suficient de mică.

Condiția (26) trebuie testată pentru toate cele patru fețe laterale ale poliedrului cu vârful în punctul $M_{i,j}$. Evident, se acceptă acea normală, pentru care condiția (26) este cea mai apropiată de zero.

În acest fel, stabilindu-se “fața” poliedrului care corespunde, cel mai îndeaproape, condiției de înfășurare (26), se decide “avansul” pentru testarea următorului punct în definirea curbei caracteristice.

Ansamblul punctelor $M_{i,j}$ care satisfac condiția (26) reprezintă caracteristica suprafeței elicoidale reprezentată în formă discretă și, implicit, caracteristica suprafeței de revoluție care constituie suprafața periferică primară a sculei-disc, figura 2.5.

În principiu, caracteristica C_S , astfel determinată, poate căpăta o reprezentare de forma

$$C_S = \left\{ \left\| \begin{matrix} X_{i,j} \\ Y_{i,j} \\ Z_{i,j} \end{matrix} \right\|^T \right\}, \quad (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m). \quad (27)$$

Suprafața periferică primară a sculei-disc se obține prin rotirea curbei caracteristice (27) în jurul axei \mathbf{A} - axa sculei-disc.

Pentru situația în care suprafața de revoluție căutată este suprafața periferică primară a unei scule cilindro-frontale, figura 2.6, cu \mathbf{A} axa sculei, condiția pentru determinarea curbei caracteristice se modifică în

$$\left| \left((\mathbf{N}_{\Sigma})_{i,j}, \mathbf{r}_{i,j}, \mathbf{A} \right) \right| < \varepsilon, \quad (28)$$

în care \mathbf{r} este vectorul

$$\mathbf{r}_{i,j} = X_{i,j}\mathbf{i} + Y_{i,j}\mathbf{j} + Z_{i,j}\mathbf{k} \quad \text{și} \quad \mathbf{A} = \mathbf{i} \quad (29)$$

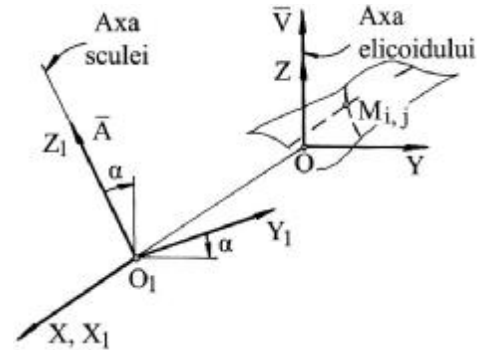


Fig. 2.5. Sisteme de referință

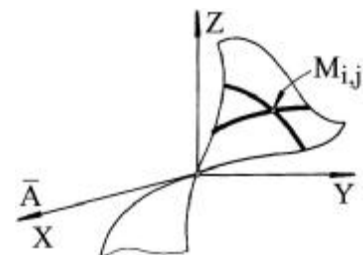


Fig. 2.6. Axa sculei cilindro-frontale

3. Aplicarea metodologiei de reprezentare a suprafețelor pentru descrierea formei suprafețelor active ale burghiilor elicoidale (modele pentru suprafețele de așezare)

Se prezintă [16] un model de reprezentare a geometriei suprafeței de așezare principală a burghiului elicoidal, bazat pe principiile înfășurării suprafețelor —suprafața generată (suprafața de așezare a burghiului) fiind considerată ca rezultând ca înfășurătoare a suprafeței active a discului abraziv generator, în cinematica specifică procesului de ascuțire. Sunt prezentate atât modelul analitic al înfășurării precum și rezultate numerice ale formei suprafeței de așezare.

În figura 3.1 și tabelul 1 sunt prezentate în diferite plane forma suprafeței de așezare într-o reprezentare discertă. Rezultatele sunt obținute în baza rulării unui program de calcul dedicat problemei ($D=20$ mm, $R_s=100$ mm, $e=0.15 \times D$, $k=60^\circ$, $\lambda=15^\circ$, $\beta=45^\circ$).

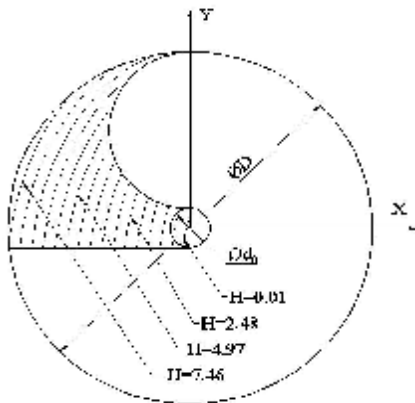


Fig. 3.1. Relieving lines for $R_s=100$ mm

| H=7.46 mm | | H=4.97 mm | | H=2.48 mm | | H=0.01 mm | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| X_1 [mm] | Y_1 [mm] | X_1 [mm] | Y_1 [mm] | X_1 [mm] | Y_1 [mm] | X_1 [mm] | Y_1 [mm] |
| -10.017 | -3.3747 | -6.8406 | -3.3519 | -3.664 | -3.3287 | -0.48742 | -3.3052 |
| -10.003 | -2.1722 | -6.8278 | -2.2322 | -3.6523 | -2.2918 | -0.4768 | -2.351 |
| -9.9152 | -0.97598 | -6.746 | -1.1183 | -3.5767 | -1.2603 | -0.40742 | -1.4018 |
| -9.7538 | 0.20481 | -6.5959 | -0.01878 | -3.4379 | -0.24198 | -0.27981 | -0.46478 |
| -3.0507 | 10.214 | -0.35585 | 9.3036 | 2.3393 | 8.3931 | 5.0347 | 7.4827 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| -2.2258 | 10.506 | 0.41225 | 9.5759 | 3.0506 | 8.6454 | 5.6892 | 7.7151 |
| -1.386 | 10.696 | 1.1942 | 9.7524 | 3.7747 | 8.8092 | 6.3554 | 7.866 |
| -0.53769 | 10.781 | 1.9841 | 9.8319 | 4.5061 | 8.8831 | 7.0285 | 7.9342 |

Bibliografie

1. Cho, M.-W., Kim, G.-H., Seo, T.-I., Hong, Y.-C., Cheng, H.-H., *Integrated Machining Error Compensation Method Using OMM Data And Modified PNN Algorithm*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 2006, pag. 1417-1427.
2. Crichigno, F.J.M., Teixeira, C.R., Schroeter, R.B., *Prediction Of The Cutting Tool Edge Position And Orientation Accuracy Through Error Synthesis Of Spindle Elements*, ProQuest Science Journals, 219, 2005, pag. 477-482.
3. Fulin, W., Chuanyun, Y., Tao, W., Yang, S., Zhao, G., *A Generating Method For Digital Gear Tooth Surfaces*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28, 2006, pag. 474-485.
4. Jian, L., Hongxing, L., *Modeling System Error In Batch Machining Based On Genetic Algorithms*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 2003, pag. 599-604.
5. Lee, J.H., Liu, Y., Yang, S.H., *Accuracy Improvement Of Miniaturizing Machine Tool: Geometric Error Modeling And Compensation*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46, 2006, pag. 1508-1516.
6. Li, C., Mann, S., Bedi, S., *Error Measurement For Flank Milling*, Computer-Aided Design, 37, 2005, pag. 1459-1468.
7. Mu, Y.H., Hung, N.P., Ngoi, K.A., *Monitoring A Sub-Newton Cutting Force For Ultra-Precision Machining*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, 2000, pag. 229-232.
8. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *An Advanced FEA Based Force Induced Error Compensation Strategy In Milling*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46, 2006, pag. 542-551.
9. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *Error Compensation Strategy In Milling Flexible Thin-Wall Parts*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 162-163, 2005, pag. 673-681.
10. Ratchev, S., Liu, S., Huang, W., Becker, A.A., *Milling Error Prediction And Compensation In Machining Of Low-Rigidity Parts*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 44, 2004, pag. 1629-1641.
11. Sabri, T.E., Can, C., *A Cutting Force Induced Error Elimination Method For Turning Operations*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 170, 2005, pag. 192-203.
12. Shi, M., Zhang, Y.F., Loh, H.T., Bradley, C., Wong, Y.S., *Triangular Mesh Generation Employing A Boundary Expansion Technique*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 30, 2006, pag. 54-60.
13. Takahashi, S., *Variational design of curves and surfaces using multiresolution constraints*, The Visual Computer, 14, 1988, pag. 208-227.
14. Yang, S.-C., *Mathematical Model Of A Helical Gear With Asymmetric Involute Teeth And Its Analysis*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26, 2005, pag. 448-456.
15. Yang, S.-H., Kim, K.-H., Park, Y.K., Lee, S.-G., *Error Analysis And Compensation For The Volumetric Errors Of A Vertical Machining Centre Using A Hemispherical Helix Ball Bar Test*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 23, 2004, pag. 495-500.
16. Oancea, N., Teodor, V., Bizim, L., *A New Approach of Helical Drill Geometry Study*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi Publicat de Universitatea „Tehnica” Gh. Asachi”, Iasi Tomul LIII(LVII), Fasc.5, Sectia Constructii de Masini, p.131-138, ISSN 1582-6392, 2007
17. Oancea, N., Frumusanu, G., Dura, G., *Algorithm Improving Representation by Poles when Generating by Associated to Circular Centroids*, Proceedings of the 16th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, ISBN 1842-3183 University POLITEHNICA of Bucharest, Machine and Manufacturing Systems Department Bucharest, Editura Academiei Romane, p 129-132, 2007
18. Frumusanu, G., Oancea, N., Dura, G., *Profiles Represented by Poles Approximation Precision Improvement when Generating Whirls of Surfaces With A Rack-Tool by Rolling*, Proceedings of the 16th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, ISBN 1842-3183, University POLITEHNICA of Bucharest, Machine and Manufacturing Systems Department, Bucharest, Editura Academiei Romane, p 65-69, 2007