

**O NOUA ABORDARE A PROBLEMATICII
INFASURARII SUPRAFETELOR, BAZATA PE
METODE DE REPREZENTARE IN FORMA
DISCRETA A SUPRAFETELOR, IN VEDEREA
ALGORITMIZARII SI INFORMATIZARII
PROFILARII SCULELOR GENERATOARE**

**Raport anual grant ID_656
Contract 238/2007**

**Colectiv: prof. dr. ing. Nicolae OANCEA
prof. dr. ing. Vasile MARINESCU
s.l. dr. ing. Virgil Gabriel TEODOR
cercet. dr. ing. Marian CUCU
cercet. drd. ing. Ionut POPA
cercet. drd. ing. Gabriel DURA**

Anul 2009

CUPRINS

CUPRINS.....	2
OBIECTIVUL 6. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA DE CORECȚIE A SCULELOR GENERATOARE A SUPRAFETELOR GENERARE PRIN ÎNFĂȘURARE PRIN METODA RULĂRII ÎN SCOPUL COMPENSĂRII ERORILOR DE GENERARE, CU APLICAȚII LA GENERAREA CU SCULE DE TIP PIEPTENE ȘI CUȚIT-ROATĂ.....	3
6.1. Sinteza unui algoritm pentru profilarea corectivă a sculelor de tip pieptene.....	3
6.2. Sinteza unui algoritm pentru profilarea corectivă a sculelor de tip cuțit-roată.....	14
6.3. Produse soft specifice pentru profilarea corectivă a sculelor generatoare prin înfășurare prin metoda rulării.....	23
OBIECTIVUL 7. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA DE CORECȚIE A SUPRAFETELOR GENERATE PRIN ÎNFĂȘURARE CU APLICAȚII LA PROFILAREA SCULELOR GENERATOARE CU CONTACT PUNCTIFORM (SCULA MELC), PRIN METODE DE REPREZENTARE DISCRETĂ.....	47
7.1. Sinteza de algoritmi pentru profilarea corectivă a sculelor de tip melc.....	47
7.2. Elaborarea de produse soft (Produs soft pentru profilarea suprafețelor periferice primare ale sculelor generatoare prin înfășurare cu contact punctiform – freza melc).....	68
OBIECTIVUL 8. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA CORECTIVĂ A SCULELOR MĂRGINITE DE SUPRAFETE PERIFERICE PRIMARE DE REVOLUȚIE (SCULA DISC, SCULA CILINDRO-FRONTALĂ, SCULE INELARE) ÎN SCOPUL CORECȚIEI A SUPRAFETELOR ELICOIDALE GENERATE PE MAȘINI UNELTE.....	83
8.1. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei de tip disc.....	83
8.2. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei cilindro-frontale.....	99
8.3. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei cilindrice (scula de rabotat).....	107
8.4. Modelarea prin polinoame Bezier a profilului sculei inelare cuprinzătoare.....	111
8.5. Scula inelară frontală.....	123
ANEXA.....	144

OBIECTIVUL 6. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA DE CORECȚIE A SCULELOR GENERATOARE A SUPRAFEȚELOR GENERATE PRIN ÎNFĂȘURARE PRIN METODA RULĂRII ÎN SCOPUL COMPENSĂRII ERORILOR DE GENERARE, CU APLICAȚII LA GENERAREA CU SCULE DE TIP PIEPTENE ȘI CUȚIT-ROATĂ

6.1. Sinteza unui algoritm pentru profilarea corectivă a sculelor de tip pieptene

Introducere

Problematika mării preciziei de prelucrare s-a dezvoltat prin sinteza unor modele pentru predicția și compensarea soft a erorilor de generare, Lee [1], utilizând sisteme de măsurare *on machine measurement* Cho [2], sau prin determinarea poziției optime a sculei Li [3] în raport cu semifabricatul.

Totodată, pe baza teoriei suprafețelor conjugate, s-au dezvoltat strategii pentru generarea suprafețelor exprimate în formă discretă Fulin [4], stabilind soluții pentru determinarea suprafețelor înfășurătoare.

Corecția profilului sculelor care generează prin înfășurare vârtejuri ordonate de profiluri: scula cremalieră, scula de tip roată și cuțitul rotativ, în vederea compensării unor erori de generare este, în general, dificilă, datorită numărului mare de muchii de așchiere (număr de dinți) constitutive ale sculelor, care participă la generare, Litvin [5]., Radzevici [6].

Ca urmare, imaginarea unor metodologii care să permită o corecție de formă a tuturor muchiilor de așchiere ale sculelor de acest tip, în vederea compensării unei erori a suprafețelor generate, de regulă un vârtej ordonat de suprafețe (profiluri), poate constitui o modalitate utilă de îmbunătățire a performanței generării prin aceste procedee, chiar dacă problematica este privită, în primul rând, doar sub aspectul modelării la nivel analitic al unui astfel de proces de generare, Cucu [6].

O astfel de metodologie de corecție presupune, crearea unui model al muchiei generatoare corectate și, ulterior, în baza acestei noi forme a muchiei corectate a sculei, să se determine o modalitate de modificare, care să permită, pornind de la o sculă standard, obținerea unor forme „aproximate” ale muchiilor de așchiere, care, în procesul de generare, să compenseze eroarea constatată, de regulă prin măsurarea directă a suprafeței generate.

Modelarea profilării de corecție a sculei-cremalieră pentru generarea unei danturi evolventice

Se propune, în cele ce urmează aplicarea unei metodologii de corecție a sculei cremalieră pentru generarea profilurilor evolventice.

Forma teoretică a profilului cremalierii

Se reformulează, în conformitate cu obiectivul 5, modalitatea de modelare a profilului cremalierii generatoare, ca soluție generală de generare prin înfășurare, pe care se bazează algoritmul de corecție al cuțitului pieptene, care va fi dezvoltat în cele ce urmează.

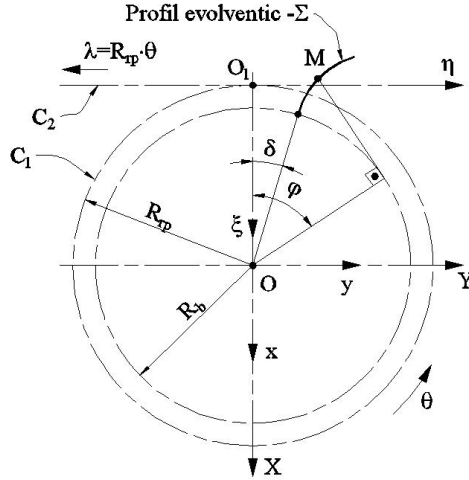


Fig. 6.1. Profilul evolventei cercului de rază

Se definesc, în legătură cu figura 6.1, sistemele de referință:

xyz - este sistemul de referință fix, cu axa z suprapusă axei vârtejului;

XYZ - sistem mobil, solidar cu centroida circulară de rază R_p ;

$\xi\eta\zeta$ - sistem mobil, solidar centroidei cremalierii reciproc înfășurătoare profilului Σ .

În sistemul XYZ , ecuațiile evolventei cercului de rază R_b , sunt:

$$\Sigma \begin{cases} X = -R_b \cos(\varphi + \delta_b) - R_b \varphi \sin(\varphi + \delta_b); \\ Y = R_b \sin(\varphi + \delta_b) - R_b \varphi \cos(\varphi + \delta_b); \\ z = t, \end{cases} \quad (6.1)$$

în care, δ_b este semiunghiul golului pe cercul de

bază al danturii,

$$\delta_b = \frac{\pi}{2z} - ev(\alpha); \quad (6.2)$$

z - numărul de dinți ai roții dințate evolventice;

α - unghiul de angrenare pe cercul de divizare ($\alpha = 20^\circ$);

t și φ - parametrii variabili ai suprafeței cilindrice cu directoare evolventică.

Ansamblul mișcărilor de generare, rularea celor două centroide, C_1 și C_2 , conduce la mișcarea relativă

$$\xi = \omega_3^T(\theta)X - a; \quad a = \begin{bmatrix} -R_p \\ -R_p\theta \\ 0 \end{bmatrix}^T, \quad (6.3)$$

astfel că, profilul Σ descrie familia de suprafețe în sistemul cremalierii:

$$(\Sigma)_\theta \begin{cases} \xi = -R_b \cos(\varphi + \delta_b - \theta) - R_b \varphi \sin(\varphi + \delta_b - \theta) + R_p; \\ \eta = R_b \sin(\varphi + \delta_b - \theta) - R_b \varphi \cos(\varphi + \delta_b - \theta) + R_p\theta; \\ \zeta = t, \end{cases} \quad (6.4)$$

cu t și θ parametrii variabili.

Înfășurătoarea familiei de suprafețe (6.4) reprezintă cremaliera conjugată suprafeței cilindrice evolventice.

Cum problema poate fi tratată ca o problemă plană de înfășurare, condiția de înfășurare asociată familiei (6.4) din „metoda traiectoriilor plane de generare” [8] este

$$\frac{\xi'_\varphi}{\xi'_\theta} = \frac{\eta'_\varphi}{\eta'_\theta} \quad (6.5)$$

care, prin dezvoltare, poate fi adusă la forma

$$\varphi = \alpha - \delta_b + \theta, \quad (6.6)$$

ca relație între mărimile unghiulare variabile φ și θ .

Sunt cunoscute limitele de variație ale parametrului φ

$$\varphi_{\min} = \sqrt{\frac{R_i^2 - R_b^2}{R_b^2}}; \quad \varphi_{\max} = \sqrt{\frac{R_e^2 - R_b^2}{R_b^2}}, \quad (6.7)$$

în care:

$$R_b = \frac{mz}{2} \cos 20^\circ; \quad (6.8)$$

$$R_i = \frac{mz}{2} - 1,2m; \quad (6.9)$$

$$R_e = \frac{mz}{2} + m; \quad (6.10)$$

cu m - modulul roții dințate, pentru o dantură cu corijare zero.

Ansamblul de ecuații (6.4) și (6.6), cu definițiile (6.7), ..., (6.10), reprezintă cremaliera reciproc înfășurătoare a profilului evolventic al cercului de rază R_b .

Generarea „inversă”

Problema generării danturii evolventice presupune un proces pornind de la cunoașterea cremalierii care, în urma mișcărilor în raport cu centroida asociată semifabricatului, generează suprafața flancului roții dințate, vezi figura 6.2.

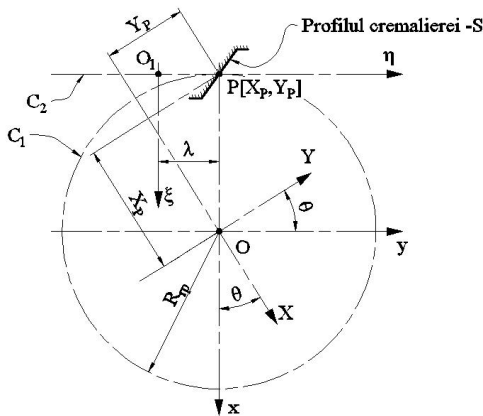


Fig. 6.2. Generarea „inversă”

Sistemele de referință au aceleași semnificații ca în figura 6.1.

Se presupune cunoscut profilul sculei-cremalieră, în formă numerică, prin matricea S ,

$$S = \begin{pmatrix} \xi_1 \eta_1 \\ \xi_2 \eta_2 \\ \dots \\ \xi_n \eta_n \end{pmatrix}, \quad (6.11)$$

în sistemul $\xi\eta\zeta$, cu „n” un număr suficient de mare pentru a descrie riguros forma profilului transversal al cremalierii. În același timp, se definește mișcarea relativă față de sistemul de referință al vârtejului de suprafețe de generat, solidar sistemului XYZ ,

$$X = \omega_3(\theta)[\xi + a] \quad (6.12)$$

în care matricea ξ are semnificațiile date de (6.11).

Se determină familia de profiluri, în sistemul XY :

$$(S)_\theta \begin{cases} X = [\xi_i - R_{rp}] \cos \theta + [\eta_i - R_{rp} \theta] \sin \theta; \\ Y = -[\xi_i - R_{rp}] \sin \theta + [\eta_i - R_{rp} \theta] \cos \theta, \end{cases} \quad (6.13)$$

cu ξ_i, η_i coordonatele punctului curent al matricei (6.11) și θ parametru unghiular, variabil.

Înfășurătoarea familiei de profiluri (6.13) reprezintă suprafața generată prin înfășurare de scula-cremalieră, de profil (6.11).

Condiția de înfășurare, din „metoda distanței minime” [8], este de forma

$$d = \left(\sqrt{\left(X_{(\xi_i, \eta_i)} - X_p \right)^2 + \left(Y_{(\xi_i, \eta_i)} - Y_p \right)^2} \right)_{\min} \quad (6.14)$$

în care X_p, Y_p sunt coordonate ale polului angrenării:

$$X_p = -R_{rp} \cos(\theta); \quad Y_p = -R_{rp} \sin(\theta), \quad (6.15)$$

și $X(\xi_i, \eta_i), Y(\xi_i, \eta_i)$ coordonatele furnizate de familia (6.13).

Limitele de variație ale parametrului θ sunt:

$$\theta_{\min} = -\frac{m}{R_{rp}} \left[\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + \operatorname{tg} \alpha \right]; \quad (6.16)$$

$$\theta_{\max} = \frac{1,2m}{R_{rp}} \left[\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + \operatorname{tg} \alpha \right], \quad (6.17)$$

cu m – modulul cremalierii generatoare și α – unghiul de angrenare pe cercul de rulare, de raza R_{rp} .

Ansamblul de ecuații (6.13) și (6.14) reprezintă, în formă discretă, profilul generat de cremaliera al cărei profil transversal este dat de (6.11).

Algoritm pentru profilarea de corecție a sculei-cremalieră

Problema se referă la realizarea unei corecții de formă a sculei cremalieră care generează prin metoda rulării.

Se acceptă că, prin măsurarea suprafeței generate, numită în cele ce urmează suprafață *efectiv generată* (profil efectiv generat), se determină, în formă discretă, un profil al generatoarei unei suprafețe cilindrice aparținând unui vârtej de suprafețe (profiluri) asociat unei centroide, vezi figura 6.3, în forma

$$G_E = \left\| \begin{array}{l} X_{E_1} Y_{E_1} \\ X_{E_2} Y_{E_2} \\ \dots\dots\dots \\ X_{E_n} Y_{E_n} \end{array} \right\|. \quad (6.18)$$

Se constată, că această generatoare efectivă G_E nu este identică cu generatoarea teoretică G_T avută ca țintă a generării. Nu se pot stabili cauzele reale care fac ca în urma prelucrării cele două curbe, profilurile G_T și G_E să nu coincidă. Pentru cazul în care fabricația se reia, în aceleași

condiții tehnologice, se propune un algoritm prin care, alegându-se o nouă țintă a prelucrării în forma unei noi generatoare, numită *generatoare fictivă*, în urma prelucrării, generatoarea efectivă să fie mai apropiată (suprapusă) generatoarei teoretice.

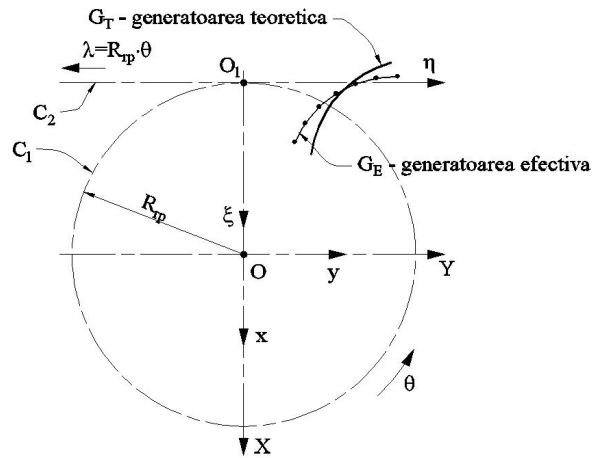


Fig. 6.3. Generatoare efectivă G_E ; generatoare teoretică G_T

Modelul generatoarei fictive G_F se propune a fi imaginea în oglindă a curbei G_E față de *generatoarea teoretică*. Aceasta, în ideea că factorii perturbatori ai procesului tehnologic acționând în același sens, vor duce la obținerea unei noi generatoare G_E mai apropiată de forma și dimensiunile generatoarei teoretice.

Modelul generatoarei fictive se acceptă a fi, figura 6.4,

$$M_{F_i} \begin{cases} X_{F_i} = 2X_{T_i} - X_{E_i}; \\ Y_{F_i} = 2Y_{T_i} - Y_{E_i}; \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6.19)$$

pentru punctul curent al acesteia.

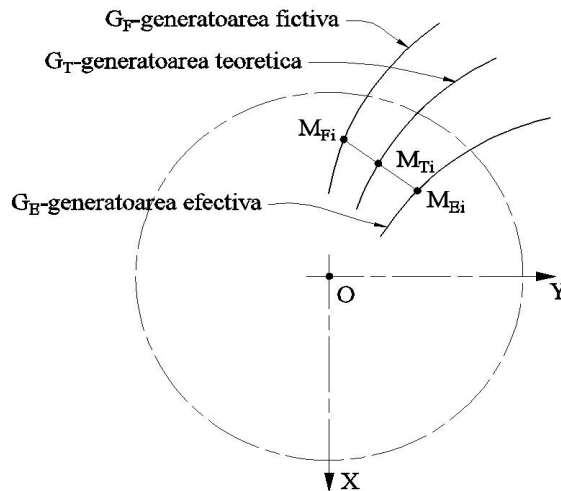


Fig. 6.4. Generatoare fictivă, G_F

Ca urmare, se obține o nouă țintă a generării, profilul G_F , definit ca o matrice de coordonate forma

$$G_F = \begin{pmatrix} X_{F_1} Y_{F_1} \\ X_{F_2} Y_{F_2} \\ \dots \\ X_{F_n} Y_{F_n} \end{pmatrix}, \quad (6.20)$$

în baza căreia se poate construi noua suprafață țintă a generării cu scula-cremalieră.

Generarea acestei noi suprafețe (profil) țintă impune realizarea unei noi forme a sculei cremalieră, care să fie reciproc înfășurătoare noului profil, vezi (6.20).

Se consideră sistemele de referință și poziția centroidelor în rulare, figura 6.1.

Dacă, acum, se consideră că noua suprafață (profil) țintă este descrisă de matricea de tipul (6.20), în mișcarea relativă (6.3), acest nou profil generează o familie de profile cunoscute în formă discretă în mișcarea relativă a sistemului semifabricatului față de spațiul asociat cremalierii,

$$\xi = \left[\omega_3^T(\theta) \begin{pmatrix} X_{F_i} \\ Y_{F_i} \end{pmatrix} - a \right]; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.21)$$

sau, după dezvoltări:

$$(G_F)_\theta \begin{cases} \xi_{F_i} = X_{F_i} \cos \theta - Y_{F_i} \sin \theta + R_{rp}; \\ \eta_{F_i} = X_{F_i} \sin \theta + Y_{F_i} \cos \theta + R_{rp} \theta; \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6.22)$$

reprezentând familia de traiectorii ale punctelor aparținând generatoarei fictive, G_F , în mișcarea relativă.

Dacă, parametrul variabil θ este interpretat ca un parametru care variază în formă discretă

$$\theta = k \cdot \Delta\theta, \quad (k = 0; 1; 2; \dots; m), \quad (6.23)$$

în care $\Delta\theta$ este un increment unghiular, suficient de mic și m întreg, suficient de mare, pentru a asigura acuratețea calculului, atunci, condiția de înfășurare asociată familiei de traiectorii $(G_F)_\theta$, pentru metoda „distanței minime”, vezi și forma (6.14), este

$$d = \left(\sqrt{\left(\xi_{(\xi, \eta_i)} \right)^2 + \left(\eta_{(\xi, \eta_i)} \right)^2} \right)_{\min} \quad \text{cu } i = 1, 2, \dots, n. \quad (6.24)$$

Ansamblul punctelor masivului descris de (6.20) care satisfac condiția (6.24), pentru diferite mărimi ale parametrului θ , reprezintă profilul fictiv al sculei cremalieră, reciproc înfășurătoare noii suprafețe țintă, fie S_F (6.25) noua formă a profilului cremalierii,

$$S_F = \begin{pmatrix} \xi_1 \eta_1 \\ \xi_2 \eta_2 \\ \dots \\ \xi_n \eta_n \end{pmatrix}. \quad (6.25)$$

Profilul fictiv, S_F , al cremalierii generatoare reprezintă profilul înfășurător al profilului fictiv G_F al semifabricatului. O astfel de soluție a problemei de corecție poate fi considerată greoaie având în vedere complexitatea acestei scule. Ca urmare, se propune o soluție aproximativă a corecției necesare sculei-cremalieră, în vederea generării suprafeței țintă – generatoarea fictivă G_F .

Muchia de așchiere teoretică (geometrică) a cremalierii, care generează profilul teoretic al vârtejului de profile de generat, se consideră a fi curbă plană, care aparține suprafeței periferice primare a sculei-cremalieră.

Muchia de așchiere geometrică efectivă (vezi figura 6.5 și obiectivul 5) rezultă din intersecția suprafeței de așezare:

$$A_\alpha \begin{cases} \xi = \xi_i - \lambda \sin \alpha; \\ \eta = \eta_i; \\ \zeta = \lambda \cos \alpha. \end{cases} \quad (6.26)$$

În forma (6.26), λ este parametru variabil iar α este unghiul de așezare măsurat în planul $\xi\zeta$ (suprafața cilindrică (6.26)) cu suprafața de degajare (într-o primă etapă considerată o suprafață plană)

$$P_\gamma \begin{cases} \xi = \xi_v - t \cos \gamma; \\ \eta = t \sin \gamma, \end{cases} \quad (6.27)$$

cu t parametru variabil, γ - unghiul de degajare, ξ_v coordonata punctului de pe profilul sculei aflat, pe axa ξ , la distanța cea mai mică de axa vârtejului de profiluri de generat.

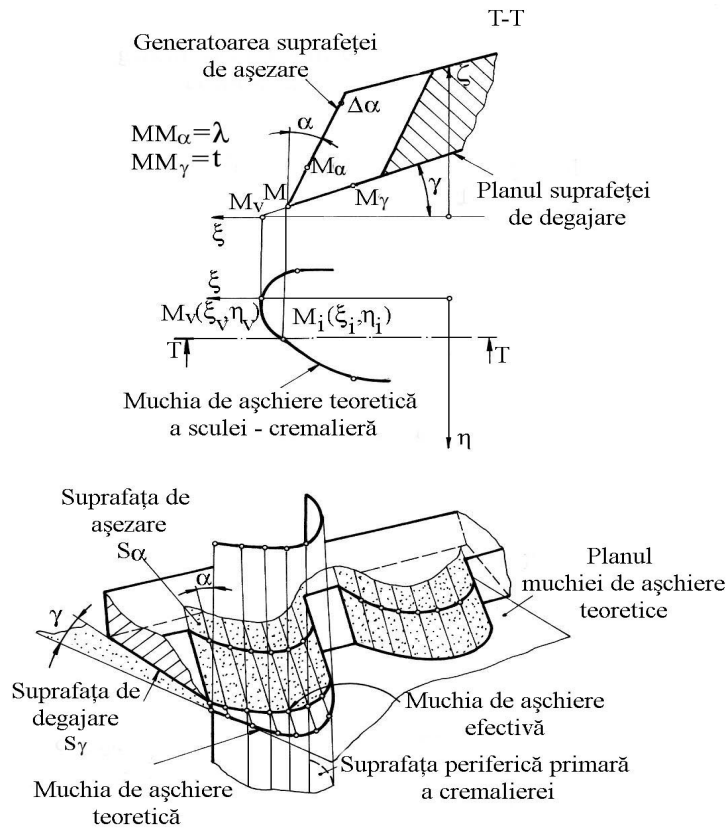


Fig. 6.5. Suprafețe active ale cremalierii

Condiția pentru intersecția suprafețelor (6.26), (6.27) este definită de sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} \xi_i - \lambda \sin \alpha = \xi_v - t \cos \gamma; \\ \lambda \cos \alpha = t \sin \gamma, \end{cases} \quad (6.28)$$

care se reduce, prin eliminarea parametrului t , la forma

$$[\xi_i - \lambda \sin \alpha - \xi_v] = \lambda \cos \alpha \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}. \quad (6.29)$$

Muchia de așchiere efectivă a sculei cremalieră, curbă aparținând simultan suprafețelor de degajare și așezare, este dată de ecuațiile:

$$\begin{cases} \xi_e = \xi_i - [\xi_i - \xi_v] \frac{\sin \gamma}{\cos(\alpha - \gamma)} \sin \alpha; \\ \eta_e = \eta_i; \\ \zeta_e = [\xi_i - \xi_v] \frac{\sin \gamma}{\cos(\alpha - \gamma)} \cos \alpha. \end{cases} \quad (6.30)$$

Este evident că, numai pentru $\gamma = 0$ muchia de aşchiere efectivă este identică cu profilul teoretic al sculei cremalieră.

Se poate imagina o formă de corecţie a profilului sculei cremalieră, prin modificarea geometriei părţii active a sculei cremalieră (mărimea unghiurilor α şi γ) astfel ca, profilul efectiv al cremalierii să se apropie ca formă şi dimensiuni de profilul corectat al sculei cremalieră, așa cum, anterior, a fost definit acesta din urmă. Numim profilul astfel obţinut *profil aproximativ*.

Este sigur, numai în cazuri cu totul particulare, cele două profiluri, aproximativ şi corectat pot coincide, dar ar putea fi suficient de apropiate, pentru a fi substituite unul celuilalt.

Corecţia pe această cale este relativ uşor de făcut, fără a afecta funcţionalitatea sculei cremalieră şi capacitatea acesteia de a fi readusă la forma iniţială a profilului printr-o nouă reaşchiere, respectând mărimea iniţială a parametrilor geometrici (α şi γ).

Aplicaţie numerică

Se exemplifică metodologia propusă pentru determinarea formei approximate a sculei cremalieră, generatoare a unei danturi evolventice aparţinând unei roţi dinţate cilindrice drepte având caracteristicile: $z=42$ dinţi; $m=5$ mm; $x=0$, coeficient de corijare.

Profilul (într-o secţiune transversală axei roţii de prelucrat), măsurat pe o maşină de măsurat 3D (vezi figura 6.6) este reprezentat în tabelul 6.1.



Fig. 6.6. Măsurarea profilului roţii pe maşina Micro Hite 3D
(la Universitatea Dunărea de Jos echipament procurat prin contractul de cercetare ID_656/2007)

Tabelul 6.1. Coordonatele profilului efectiv generat

X [mm]	Y [mm]
-100.031	2.347
-100.352	2.414
-100.531	2.475
-100.711	2.520
-100.891	2.590
-101.188	2.664
-101.329	2.710
-101.731	2.830
-101.846	2.837
-102.195	2.956
...	...
-107.555	5.125
-107.659	5.153
-108.099	5.358
-108.305	5.457
-108.526	5.595
-108.875	5.736
-108.971	5.783
-109.260	5.998
-109.675	6.218
-109.844	6.297
-107.555	5.125

Tabelul 6.2. Coordonatele profilului fictiv al evolventei de generat

X [mm]	Y [mm]
-99.998	2.462
-100.334	2.528
-100.510	2.544
-100.701	2.584
-100.874	2.597
-101.170	2.671
-101.338	2.706
-101.748	2.808
-101.844	2.861
-102.193	2.946
...	...
-107.573	5.110
-107.672	5.182
-108.053	5.392
-108.263	5.507
-108.532	5.625
-108.821	5.822
-108.938	5.890
-109.225	5.988
-109.686	6.254
-109.811	6.341

<i>Tabelul 6.3. Coordonatele profilului corectat al cremalierii</i>	
ξ_c [mm]	η_c [mm]
5.614	1.903
5.599	1.908
5.584	1.913
5.569	1.917
5.554	1.922
5.539	1.927
5.524	1.932
5.509	1.937
5.495	1.942
5.480	1.946
...	...
-4.307	5.524
-4.296	5.520
-4.286	5.516
-4.275	5.513
-4.264	5.509
-4.253	5.505
-4.241	5.502
-4.230	5.498
-4.219	5.494
-4.207	5.491

Se determină *profilul fictiv* (noua țintă) vezi (6.19)-(6.21) în raport cu *profilul teoretic*, vezi tabelul 6.2.

În baza *profilului fictiv*, noua țintă a procesului de generare, tabelul 6.2, se calculează *profilul corectat* al sculei cremalieră, vezi relațiile (6.22)-(6.24), reprezentată prin coordonatele sale în tabelul 6.3, ca profil conjugat profilului fictiv de generat, în sistemul sculei-cremalieră, $\xi\eta$.

Se determină profilul aproximat al sculei cremalieră, relațiile (6.30), pentru diferite mărimi ale parametrilor geometrici α și γ , iar prin metoda generării inverse se determină un *profil modelat* pentru piesa prelucrată, efectuându-se o comparație între acesta și *profilul teoretic*.

Se compară, de asemenea profilul corectat cu cel aproximat astfel ca eroarea între acestea să nu depășească o mărime impusă,

$$\delta_{i,j} = \left(\sqrt{(\xi_{c_i} - \xi_{a_j})^2 + (\eta_{c_i} - \eta_{a_j})^2} \right)_{\min}, \quad (6.31)$$

cu ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$)

Pentru rezolvarea numerică a problemei a fost elaborat un program soft, în limbajul de programare *java*, rezultatele fiind prezentate sub formă de applet, interactiv, figurile 6.7 și 6.8, având ferestre de dialog ce permit introducerea datelor de intrare, modificarea mărimii parametrilor geometrici (α și γ), impunerea mărimii erorii profilului aproximat față de cel teoretic, trasarea grafică a formei profilurilor efectiv și fictiv ale piesei (dantura) și corectat și aproximat al sculei cremalieră (și vizualizarea selectivă a acestora), afișarea coordonatelor tuturor profilurilor calculate precum și optimizarea automată a valorilor α și γ , pe criteriul obținerii unei abateri minime a *profilului modelat* față de *profilul teoretic* al piesei de prelucrat.

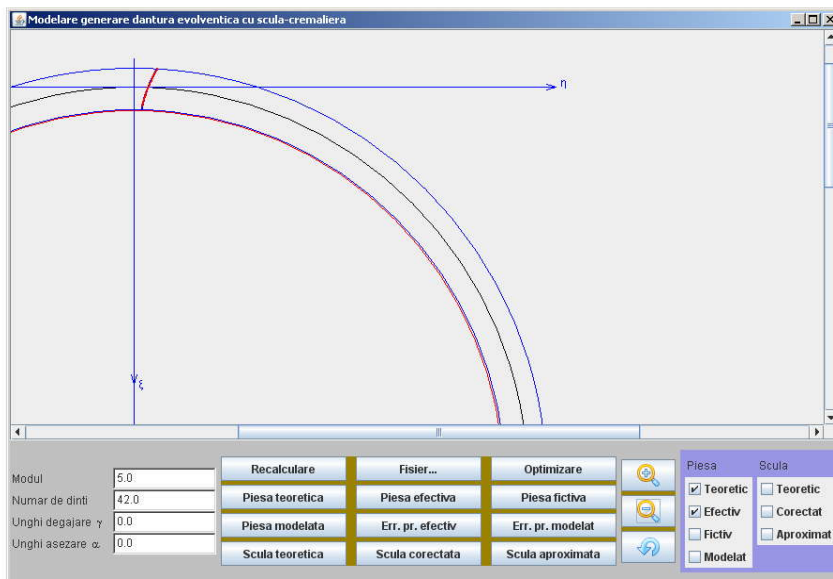


Fig.6.7. Applet-ul java

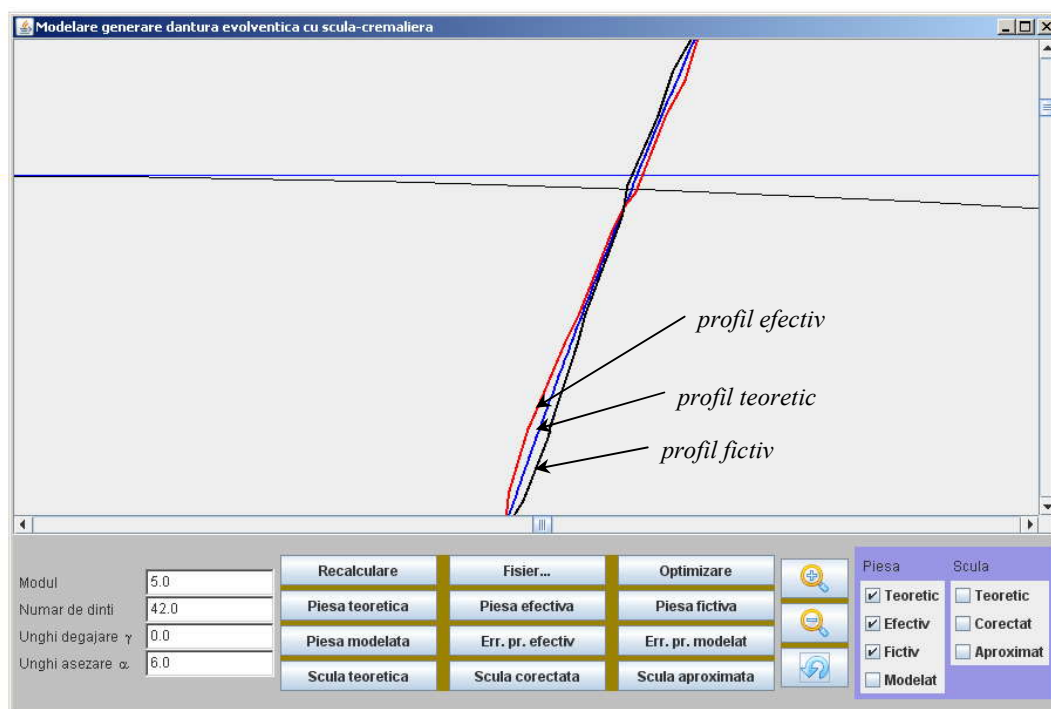


Fig. 6.8. Applet-ul java, vedere mărită în zona profilurilor piesei

• Concluzii

A fost abordată o problemă de corecție a unei erori de generare a unor profiluri (suprafețe) evolventice prin corecția de formă a sculei cremalieră generatoare, soluție, principal cunoscută, dar pentru care se realizează o metodă generală, aplicată numeric pentru cazul danturii evolventice.

S-a dovedit că se poate asigura o formă corectă a cremalierii generatoare, care, în baza predicției erorii de generare, profilul fictiv de generat, poate fi substituită cu o formă de cremalieră,

având un profil obținut, pornind de la cremaliera teoretică, prin modificarea parametrilor geometrici α și γ - profilul aproximat.

Soluția propusă poate avea valabilitate în cazul reluării prelucrării, pentru același tip de produs, în condiții similare.

Evident, este posibilă o corecție succesivă a sculei cremalieră, în funcție de eroarea de profil (forma profilului efectiv generat) pentru diferitele roți dințate prelucrate.

Scula cremalieră poate fi adusă la forma inițială prin reascuțirea la parametrii geometrici conform proiectului de execuție.

O dezvoltare a metodicii propuse ar putea fi realizată prin diminuarea numărului de puncte măsurate pe profilul generat și înlocuirea acesteia (aproximarea) cu polinoame de tip Beziér de grad mic (2 sau 3), astfel încât numărul de puncte să fie redus (3 sau 4 puncte).

Bibliografie

1. 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;
2. 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;
3. Li, C., Mann, S., Bedi, S., *Error Measurement For Flank Milling*, Computer-Aided Design, 37, 2005, pag. 1459-1468;
4. 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;
5. Litvin, F.L., *Theory Of Gearing*, Reference Publication 1212 (NASA, Scientific and Technical Information Division, Washington, D.C.). 1989;
6. Cucu, M., *Contribuții privind algoritizarea profilării de corecție a sculelor în scopul diminuării erorilor de generare*, teza de doctorat, 2007;
7. Radzevich, S. P., *Kinematic Geometry of Surface Machining*, CRC Press, London, ISBN 978-1-4200-6340-0, 2008;
8. Oancea, N., *Generarea suprafețelor prin înfășurare. Vol. II. Teoreme Complementare*. Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” din Galați, 2005.
9. Teodor, V., Oancea, N., Dima, M., *Profilarea sculelor prin metode analitice*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” din Galați, 2006.

6.2. Sinteza unui algoritm pentru profilarea corectivă a sculelor de tip cuțit-roată

Introducere

Au fost propuși algoritmi, pentru modelarea profilării corective a sculei de tip cremalieră pentru generarea danturii evolventice [1], precum și pentru modelarea profilării corective a cuțitelor-roată generatoare a unor vârtejuri ordonate de profiluri exterioare.

Sunt cunoscute și aplicate diverse modelări având ca scop simularea compensării erorilor de generare, specifică unor procese de generare, precum și predicția și compensarea acestor erori, bazate pe modelări analitice [3], [4], utilizarea algoritmilor genetici [3] precum și a rețelelor neuronale [1].

În lucrare se prezintă un algoritm pentru modelarea profilării corective a sculei de tip roată pentru generarea prin înfășurare a unui vârtej de profiluri (suprafețe) ordonate, de interior, pe baza unui algoritm bazat pe ideea că, se propune generarea unei suprafețe țintă fictivă, diferită de suprafața geometrică inițială de prelucrat, și reprofilarea cuțitului roată în baza acestei suprafețe, obținându-se o nouă formă a muchiei de așchiere generatoare a sculei-roată, profilul corectat.

Mai mult, ținând seama de forma constructivă a suprafeței de degajare a sculei (suprafața conică) se poate imagina o modalitate de aproximare a noii forme a muchiei de așchiere prin

reascuțirea suplimentară a sculei – profilul aproximat - ca rezultat al intersecției suprafeței de așezare cu noua suprafață de degajare.

Se urmărește ca profilul cercetat, prin variația mărimii parametrilor geometrici γ și, eventual, α , astfel, încât să fie acceptabilă înlocuirea profilului corectat cu cel aproximat.

Este de notat, totuși, că nu în orice situație o astfel de rezolvare este posibilă și că un astfel de mod de a gândi această modalitate de corecție are sens doar pentru o producție repetabilă, în care condițiile în care are loc generarea sunt similare pentru toate semifabricatele, în producție de generare a suprafețelor (aceeași sculă, același regim de lucru, condiții de așchiere etc.).

- **Algoritm pentru modelarea profilării de corecție a cuțitului roată**

Se acceptă că, se determină prin măsurarea directă pe o mașină 3D, (a profilului generat, un profil, în formă de discretă, sub forma unei matrice de coordonate – generatoarea efectivă, G_E , vezi și figura 6.9.

$$G_E = \begin{pmatrix} X_{E_1} & Y_{E_1} \\ X_{E_2} & Y_{E_2} \\ \dots & \dots \\ X_{E_n} & Y_{E_n} \end{pmatrix} \quad (6.32)$$

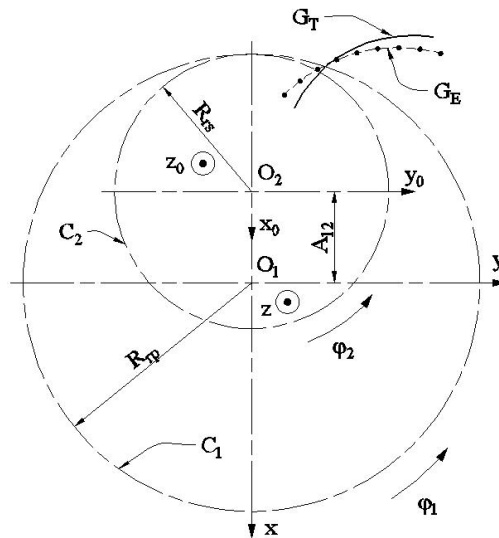


Fig. 6.9. Generatoare: teoretică, G_T și efectivă, G_E .

Cel mai adesea, generatoarea efectivă G_E (6.32) nu este identică cu generatoarea teoretică, G_T , avută ca țintă a generării și totodată, nu este simplu a stabili cauzele acestei necoincidențe.

Se acceptă că, alegându-se convenabil o nouă țintă a procesului de generare, numită în cele ce urmează generatoare fictivă, G_F , și totodată, prin modificarea în consecință a generatoarei sculei, la reluarea procesului în aceleași condiții tehnologice, noul profil generat va fi mai apropiat de generatoarea teoretică, G_T , dorită.

Modelul generatoarei fictive, G_F , se propune a fi imaginea în oglindă a curbei G_E față de generatoarea teoretică. Aceasta în ideea că factorii perturbatori ai procesului tehnologic, acționând

în același sens, vor conduce la obținerea unei generatoare efective, G_E , mai apropiate de formă și dimensiunile generatoarei teoretice, vezi și figura 6.10.

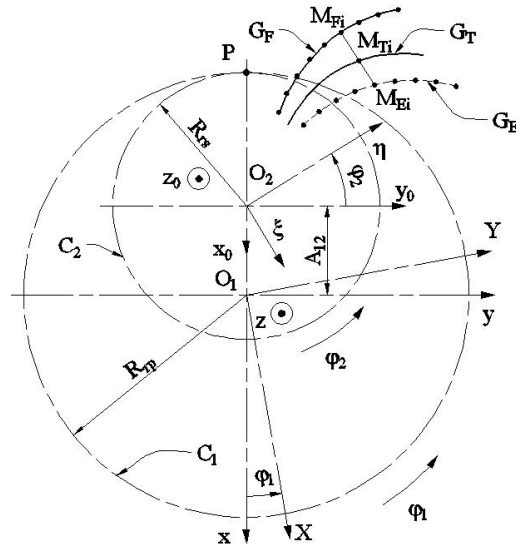


Fig. 6.10. Generatoarea fictivă

În legătura cu figura 6.10, se definesc și sistemele de referință asociate celor două centroide în rulare.

xyz și $x_0y_0z_0$ sunt sisteme de referință fixe, față de care sunt raportate cele două centroide, a semifabricatului, C_1 și a sculei roată de interior, C_2 .

XYZ sistem mobil solidar centroidei C_2 și profilului (semifabricatului) de generat.

$\xi\psi\zeta$ - sistem mobil, solidar centroidei C_2 a cuțitului roată.

Între cele două centroide C_1 și C_2 se respectă condiția de rulare fără alunecare,

$$R_{rp} \varphi_1 = R_B \varphi_2 \quad (6.33)$$

De asemenea se definește mișcarea relativă între sistemele de referință mobile

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_2) [\omega_3^T(\varphi_1) X - A] \quad (6.34)$$

Cu $A = \begin{bmatrix} -A_{12} \\ 0 \end{bmatrix}$, și X - matricea formată cu coordonatele punctelor profilului teoretic, de generat, în sistemul XY

În sistemul mobil, XY , al semifabricatului, se definește modelul generatoarei fictive:

$$M_{Fi} = \begin{cases} X_{Fi} = X_{Ei} + (1 + \delta) d_{\min} \sin \alpha_i; \\ Y_{Fi} = Y_{Ei} + (1 + \delta) d_{\min} \cos \alpha_i; \end{cases} \quad (6.35)$$

$$d_{\min} = \left\{ \sqrt{[X_{Ei} - X_{Ti}]^2 + [Y_{Ei} - Y_{Ti}]^2} \right\}_{\min} \quad (6.36)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{|Y_{T_{i+1}} - Y_{Ti}|}{|X_{T_{i+1}} - X_{Ti}|} \quad (6.37)$$

și

$$0 < \delta \leq 1 \quad (6.38)$$

$X_{T_i}, Y_{T_i}, X_{T_{i+1}}, Y_{T_{i+1}}$ sunt coordonate aparținând profilului teoretic de generat.

Ca urmare, din (6.35)-(6.38); se obține o nouă țintă a generării, generatoarea fictivă, G_F ,

$$G_F = \begin{pmatrix} X_{F_1} & Y_{F_1} \\ X_{F_2} & Y_{F_2} \\ \dots & \dots \\ X_{F_n} & Y_{F_n} \end{pmatrix} \quad (6.39)$$

în baza căreia se construiește modelul noii suprafețe țintă (suprafața cilindrică cu generatoarea paralelă cu axa Z).

Generarea acestei noi suprafețe țintă (generatoarea fictivă, G_F) impune realizarea unei noi forme a sculei roată, reciproc înfășurătoare generatoarei fictive.

Astfel, familia de profiluri fictive (6.39) este de forma:

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_2) \left[\omega_3^T(\varphi_1) \left\| \begin{matrix} X_{F_i} \\ Y_{F_i} \end{matrix} \right\| - \left\| \begin{matrix} -A_2 \\ 0 \end{matrix} \right\| \right]_{j=1,2,\dots,n} \quad (6.40)$$

sau, după dezvoltări, în forma:

$$(G_F)_{\varphi_1} : \begin{cases} \xi = X_{F_j} \cos(1-i)\varphi_1 - Y_{F_j} \sin(1-i)\varphi_1 + A_{12} \cos(i\varphi_1); \\ \eta = X_{F_j} \sin(1-i)\varphi_1 + Y_{F_j} \cos(1-i)\varphi_1 - A_{12} \sin(i\varphi_1); \end{cases} \quad (6.41)$$

cu

$$i = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{R_{rp}}{R_{rs}} \quad (6.42)$$

raportul de transmitere și

$$A_{12} = R_{rp} - R_{rs} \quad (6.43)$$

distanța între centrele centroidelor C_1 și C_2 .

Pentru o variație incrementală a parametrului φ_1 ,

$$\varphi_1 = k\Delta\varphi_1 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (6.44)$$

cu $\Delta\varphi_1$ suficient de mic și m întreg și suficient de mare pentru a acoperi linia de augmentare a celor două profiluri în înfășurare: profilul fictiv (noua țintă) și noul profil al sculei – profilul corectat.

Condiția de înfășurare, conform metodei „distanței minime” [7] este

$$d_{\min} = \left\{ \sqrt{[\xi_{F_j} - \xi_P]^2 + [\eta_{F_j} - \eta_P]^2} \right\}_{\min} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.45)$$

În care:

- ξ_{F_j} și η_{F_j} sunt coordonatele date de (6.41);
- ξ_P și η_P sunt coordonatele polului angrenării,

$$\begin{aligned} \xi_P &= -R_{rs} \cos(i\varphi_1) \\ \eta &= R_{rs} \sin(i\varphi_1) \end{aligned} \quad (6.46)$$

Vezi și figura 6.10, cu R_{rs} determinând din considerente tehnologice.

Ansamblul punctelor aparținând masivului descris de ecuațiile (6.41), pentru diferite mărimi ale parametrului φ_1 respectând condiția (6.45), reprezintă “profilul corectat” al sculei-roată, profilul generator al noii ținte (profilul fictive al piesei).

Fie S_F această nouă formă a profilului cuțitului-roată, profilul executat

$$S_F = \begin{pmatrix} \xi_1 & \eta_1 \\ \xi_2 & \eta_2 \\ \dots & \dots \\ \xi_n & \eta_n \end{pmatrix} \quad (6.47)$$

Profilul corectat (6.47) este diferit ca formă de profilul teoretic al cuțitului roată generator al profilului teoretic al semifabricatului.

Se propune înlocuirea profilului (6.47) cu un profil aproximativ rezultat ca intersecție a suprafeței de așezare a sculei inițiale, calculată pentru profilul teoretic, cu o nouă suprafață de degajare obținută prin modificarea mărimii unghiului de degajare a sculei. Numim acest nou profil al sculei *profil aproximat*. Soluția poate avea în anumite condiții reale șanse de succes, dacă se poate determina pentru sculă un profil aproximat suficient de apropiat de profilul corectat al acesteia, care este un profil ideal, determinat riguros în baza supoziției propuse pentru compensarea erorii de generare.

• Profilul aproximat

Se definește suprafața de așezare a cuțitului roată ca fiind o suprafață riglată determinată de dreapta $\Delta\alpha$ și având ca directoare profilul teoretic al cuțitului roată, determinat pentru profilul teoretic de generat, fie acesta

$$P_T = \left\| \begin{matrix} \xi_1^T & \xi_2^T & \dots & \xi_n^T \\ \eta_1^T & \eta_2^T & \dots & \eta_n^T \end{matrix} \right\|^T \quad (6.48)$$

Astfel, suprafața de așezare a cuțitului roată are ecuațiile:

$$A_\alpha \begin{cases} \xi = \xi_i^T - \lambda \sin \alpha \\ \eta = \eta_i^T \\ \zeta = \lambda \cos \alpha \end{cases} \quad (6.49)$$

Cu ξ_i^T, η_i^T aparținând profilului (6.48).

Suprafața de degajare a cuțitului roată se definește ca o suprafață de revoluție (con) de axă identică cu axa sculei roată.

$$A_\gamma = \begin{cases} \xi = (R_{es} - t \cos \gamma) \cos \theta_1 \\ \eta = (R_{es} - t \cos \gamma) \sin \theta_1 \\ \zeta = t \sin \theta_1 \end{cases} \quad (6.50)$$

Cu t și θ_1 parametrii variabili și γ mărimea unghiului de degajare și

$$R_{es} = \sqrt{\xi_V^2 + \eta_V^2} \quad (6.51)$$

ξ_V și η_V sunt coordonatele punctului aparținând matricei (6.48), aflat la cea mai mare distanță de axa cuțitului-roată, (ξ).

Din condiția de intersecție a suprafețelor (6.49) și (6.50), se definesc condițiile:

$$\lambda = t \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} \quad (6.52)$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{\eta_i}{\xi_i - \lambda \sin \alpha} \quad (6.53)$$

$$t = \frac{1}{\cos \gamma} \left[R_{es} - \sqrt{[\xi_i - \lambda \sin \alpha]^2 + \eta_i^2} \right] \quad (6.54)$$

Ansamblul ecuațiilor (6.50), (6.52), (6.53), (6.54) reprezintă forma muchiei efective a sculei roată, a cărei proiecție pe planul perpendicular pe axa acesteia reprezintă directoarea suprafeței periferice primare a cuțitului-roată – profilul aproximat.

Ca urmare, se poate imagina o formă de corecție a profilului sculei-roată, prin modificarea geometriei părții active a sculei, în speță prin variația mărimii unghiului de degajare.

Se urmărește ca profilul aproximat să fie cât mai apropiat ca formă și dimensiuni de profilul corectat, anterior determinat.

• Aplicație

- Cuțit roată pentru o bucă pătrată

Se propune realizarea condiției sculei de tip roată pentru generarea unei buce cu secțiune transversală pătrat, figura 6.11.

Se definesc sistemele de referință:

xy - este sistemul de referință fix; solidar axei centroidei C_1 ;

x_0y_0 - sistem fix, solidar axei centroidei C_2 ;

XY - sistem mobil, solidar bucei de generat;

$\xi\eta$ - sistem mobil, solidar cuțitului roată.

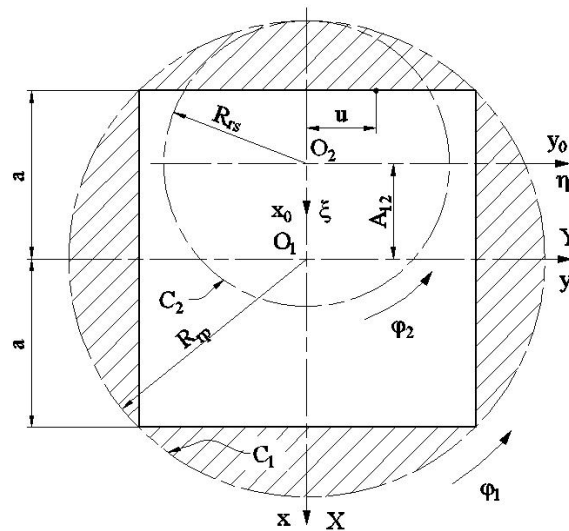


Fig. 6.11. Bucă pătrată. Sistem de referință

Profilul de generat, rectiliniu, are ecuațiile

$$\Sigma \begin{cases} X = -a \\ Y = u \end{cases} \quad (6.55)$$

u - variabila

În mișcarea,

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_2) [\omega_3^T(\varphi_1) X - A] \quad (6.56)$$

cu φ_1 și φ_2 variabile,

$$\varphi_2 = \frac{R_{rp}}{R_s} \varphi_1 \quad (6.57)$$

Și cu notația $i = \frac{R_{rp}}{R_s}$ se determină familia de profiluri Σ în sistemul cuțitului roată:

$$(\Sigma)_{\varphi_1} \begin{cases} \xi = -a \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - u \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + A_{12} \cos \varphi_2 \\ \eta = -a \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + u \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - A_{12} \sin \varphi_2 \end{cases} \quad (6.58)$$

Înfășurătoarea familie de profiluri $(\Sigma)_{\varphi_1}$ se obține alăturând familiei (6.35) condiția de înfășurare

$$\sin \varphi_1 = \frac{u}{R_{rp}} \quad (6.59)$$

Cu $-a \leq u \leq a$ și $R_{rp} = a\sqrt{2}$ raza centroidei C_1 ; a semilatura bușei pătrate.

Dacă, acum, se consideră profilul măsurat (efectiv) al piesei ca matricea de coordonate obținute prin măsurarea directă a piesei de referință din lot în forma (6.60), vezi și tabelul 6.4, având coordonatele punctelor de pe profil măsurate pe mașina de măsurat în coordonate Micro Hite 3D, figura 6.12,

$$G_E = \begin{pmatrix} X_{E_1} & Y_{E_1} \\ X_{E_2} & Y_{E_2} \\ \dots & \dots \\ X_{E_n} & Y_{E_n} \end{pmatrix} \quad (6.60)$$



Fig. 6.12. Măsurarea profilului real

(la Universitatea „Dunărea de Jos” echipament procurat prin contractul de cercetare ID_656/2007)

Se definește profilul fictiv al piesei (noua țintă) în forma „oglindit” în raport cu profilul teoretic (ținta primară):

$$\begin{cases} X_{F_j} = X_{E_i} + (1 + \delta) d_{\min_i} \sin \alpha_i \\ Y_{F_j} = Y_{E_i} + (1 + \delta) d_{\min_i} \cos \alpha_i \end{cases} \quad (6.61)$$

Cu

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{|\Delta Y_{E_{i+1}}|}{|\Delta X_{E_{i+1}}|} = \frac{|Y_{E_{i+1}} - Y_{E_i}|}{|X_{E_{i+1}} - X_{E_i}|} \quad (6.62)$$

δ - coeficient de amplificare

$$0 \leq \delta \leq 1 \quad (6.63)$$

În final, profilul fictiv (noua țintă) va fi o matrice de forma:

$$G_F = \begin{pmatrix} X_{F_1} & Y_{F_1} \\ X_{F_2} & Y_{F_2} \\ \dots & \dots \\ X_{F_n} & Y_{F_n} \end{pmatrix} \quad (6.64)$$

Se urmărește a se defini un profil aproximativ al cuțitului roată care să fie cât mai apropiat ca formă și dimensiuni profilului cercetat, vezi (6.50)-(6.54).

Se prezintă un exemplu numeric, dezvoltat în baza algoritmului mai sus prezentat ca rezultat al unui produs soft dedicat problemei în limbajul Java sub forma unui applet – vezi figura 6.13.

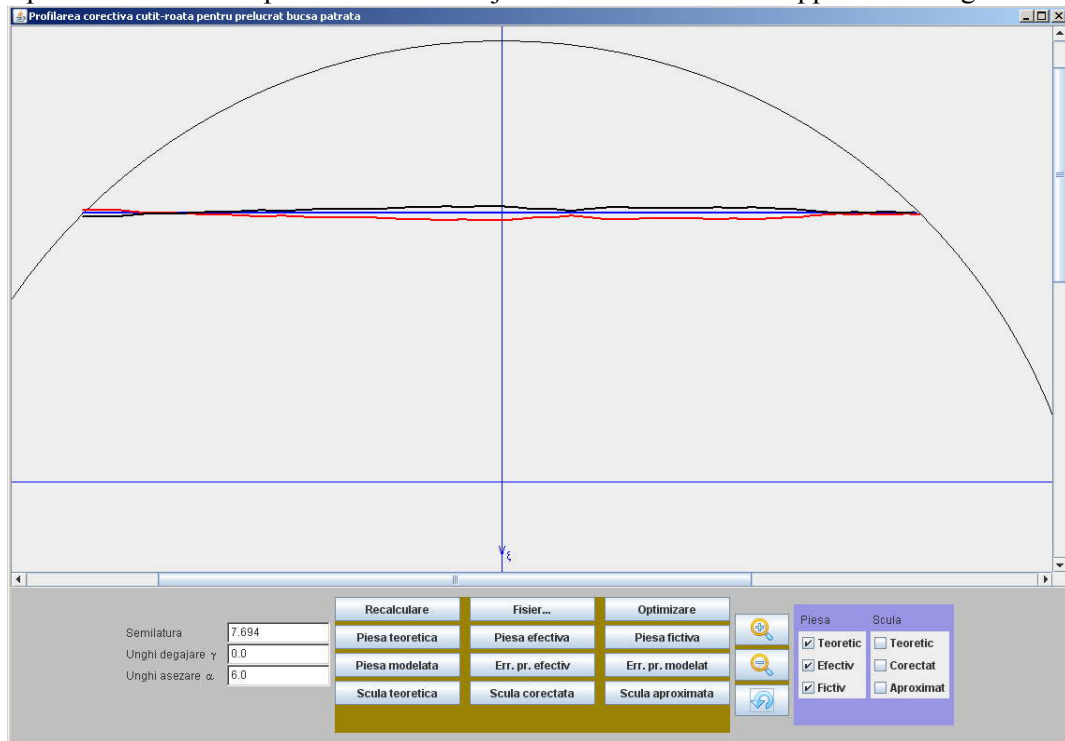


Fig. 6.13. Applet Java

Programul calculează și trasează profilul teoretic, include fișierul profilului efectiv (măsurat) și calculează profilul fictiv (noua țintă) a prelucrării bucsii de generat vezi tabelul 6.4.

De asemenea, pentru parametrii geometrici ai cuțitului-roată α și γ , sunt generate profilurile teoretice, corectat și aproximativ ale muchiei de așchiere a sculei, vezi tabelul 6.4.

Tabelul 6.4. Profiluri ale piesei

Profil teoretic		Profil efectiv (măsurat)		Profil fictiv	
$X [mm]$	$Y [mm]$	$X_E [mm]$	$Y_E [mm]$	$X_F [mm]$	$Y_F [mm]$
-7.694	-7.694	-7.754	-7.694	-7.634	-7.694
-7.694	-7.617	-7.750	-7.051	-7.638	-7.110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-7.694	7.569	-7.690	7.460	-7.698	7.525
-7.694	7.646	-7.664	7.694	-7.724	7.598

Tabelul 6.5. Profiluri ale sculei

Profil teoretic		Profil corectat		Profil aproximat	
$\xi [mm]$	$\eta [mm]$	$\xi_e [mm]$	$\eta_e [mm]$	$\xi_a [mm]$	$\eta_a [mm]$
-4.080	-7.067	-4.232	-6.543	-4.077	-7.067
-4.100	-6.993	-4.227	-6.536	-4.105	-6.993
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-4.112	6.947	-4.354	6.412	-4.110	6.947
-4.092	7.021	-4.360	6.419	-4.091	7.021

• Concluzii

Modelul de corecție propus se bazează pe ideea că alegerea unei noi ținte a prelucrării (o nouă țintă de reglare) poate să conducă la atingerea unei performanțe superioare a preciziei de generare în condițiile în care nu se poate stabili cu exactitate cauza erorii de generare. Aceasta, cu condiția ca să nu fie modificate condițiile tehnologice ale procesului de generare, pe mașini de prelucrat prin rulare cu cuțite-roată.

Algoritmul de calcul al noului profil al sculei, reciproc înfășurător al noii ținte acceptate (profilul fictiv), descris în formă discretă și bazat pe măsurarea efectivă a unui prim profil generat, utilizează o metodă de profilare-*metoda distanței minime*, dedicată unui astfel proces de înfășurare, pentru profiluri cunoscute ca un ansamblu de puncte discrete.

S-a propus înlocuirea profilului sculei astfel dedus numit profil corectat, cu un profil ce se obține relativ simplu prin reascuțirea sculei-roată, calculată pentru profilul teoretic. Parametrul geometric modificat – mărimea unghiului de degajare ” γ ”, poate varia între limite destul de largi, acceptabile tehnologic.

Exemplul numeric prezentat dovedește capacitatea modelului propus de substituire a muchiei de așchiere a sculei reciproc înfășurătoare profilului fictiv al piesei (noua țintă) cu un profil ce rezultă din intersecția suprafețelor de așezare și de degajare ale sculei-roată, pentru o altă mărime a parametrului γ numit *profilul aproximat*.

O eliminare totală a erorii de generare pe această cale nu este întru totul posibilă.

Produsul soft elaborat dedicat acestei problematice, în limbajul Java și prezentat sub forma unei aplicații –applet– este interactiv cu utilizatorul și permite vizualizarea formei profilurilor teoretic, efectiv și fictiv ale semifabricatului precum și a profilurilor teoretic, corectat și aproximat ale sculei-roată, precum și a coordonatelor tuturor acestor profiluri.

Un algoritm de optimizare, pe baza erorii maxime între profilurile corectat și aproximat ale sculei permite alegerea valorii optime, din acest punct de vedere, a mărimii unghiului de degajare a cuțitului-roată.

Este posibil ca această mărime a unghiului de degajare să nu fie acceptabilă din considerente tehnologice și, atunci, este necesară limitarea mărimii sale, în detrimentul preciziei de realizare a modelului suprafeței de generat.

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*, Int. Jou. of Adv. Manuf. Tech., 43, 2006, pag. 1417-1427.
2. Cucu, M., *Contribuții privind algoritimizarea profilării de corecție a sculelor în scopul diminuării erorilor de generare*, Teză de doctorat, “Dunărea de Jos” University of Galați, 2007;
3. Jian, L., Hongxing, L., *Modeling System Errors in Batch Machining Based on Genetic Algorithm*, Int. Jou. of Adv. Manuf. Tech., 43, 2003, pp. 599-604;
4. Lee, J.H., Liu, Y., Yang, S.H., *Accuracy Improvement of Miniaturising Machine Tool: Geometric Error Modeling and Compensation*, Int. Jou. of Adv. Manuf. Tech., 46, 2006, pp. 1508-1516;
5. Sabri, T.E., Can, C., *A Cutting Force Induced Error Elimination Method for Turning Operations*, Int. Jou. of Adv. Manuf. Tech., 170, 2005, pp. 192-203.

6. Shi, M., Zhang, Y.F., Loh, H.T., Bradley, C., Wong, Y.S., *Triangular Mesh Generation Employing a Boundary Expansion Technique*, Int. Jou. of Adv. Manuf. Tech., 30, 2006, pp. 54-60.

7. Oancea, N., *Generarea suprafețelor prin înfășurare*. Editura Fundației Univeristare "Dunărea de Jos" , vol. II, ISBN 973-627-106-4, 2004.

8. Teodor, V., Cucu, M., Oancea, N., *Algorithm for Corrective Profiling of Rack-Gear Tools*, În Analele Universității "Dunărea de Jos" din Galați, fasc. V, Technologies in Machine Building, XXV (XXX), pag. 104-110, ISSN 1221-4566, 2007.

6.3. Produse soft specifice pentru profilarea corectivă a sculelor generatoare prin înfășurare prin metoda rulării

- **Produs soft pentru profilarea corectivă a cuțitelor pieptene**

În baza algoritmilor prezentați anterior, s-au elaborat, în limbajul de programare Java, produse soft dedicate pentru profilarea corectivă a sculei cremalieră și a cuțitului-roată.

În figura 6.14, este prezentat un applet specific programului de profilare corectivă a sculei cremalieră pentru generarea danturii evolventice.

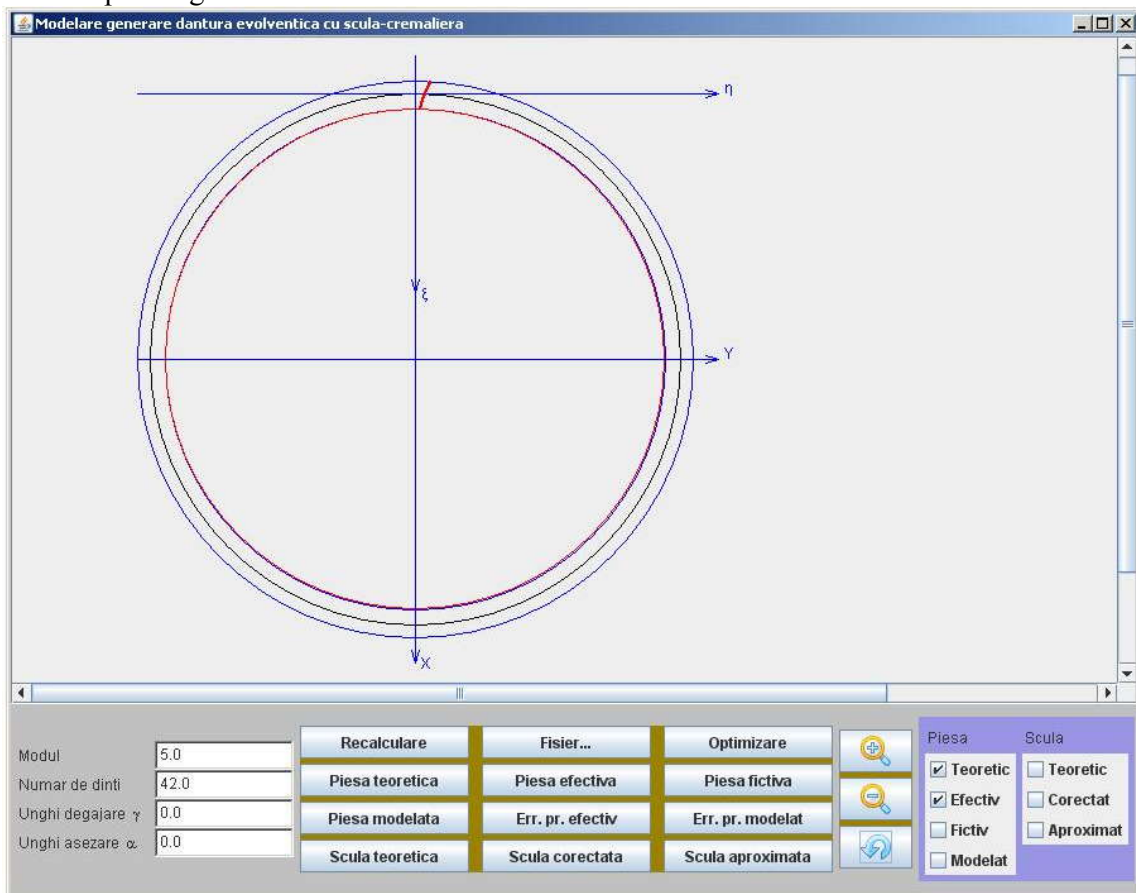


Fig. 6.14. Captura de ecran a appletului de modelare a profilării

Programul permite modificarea caracteristicilor roții dințate (modul și număr de dinți), precum și parametrii geometrici ai cuțitului pieptene (unghi de așezare și unghi de degajare) pentru care se realizează modelarea profilării corective, în limite acceptabile tehnic.

În applet, există posibilitatea reprezentării grafice a profilurilor semifabricatului (piesa efectivă, piesă teoretică și piesa fictivă) precum și ale sculei (teoretic, corectat și aproximat), prin

alegerea din casetele de validare din partea dreaptă a ferestrei. Reprezentarea grafică poate fi scalată cu un factor de mărire ales de utilizator, vezi figurile 6.7 și 6.8.

Coordonatele profilurilor calculate ale sculei pot fi vizualizate și exportate în vederea unei analize ulterioare sau prelucrării pe o mașină cu comandă numerică.

Coordonatele profilului efectiv (măsurat) sunt preluate din fișiere text externe rezultate în urma măsurării pe mașini de măsurat 3D, în exemplele noastre pe mașina de măsurat Micro Hite 3D.

Parametrii geometrici ai cuțitului pieptene pot fi stabiliți de operator sau se acceptă optimizarea mărimii acestora, realizată automat de program, pentru o abatere minimă a erorii profilului aproximat față de profilul corectat al sculei (vezi figura 6.14, butonul *Optimizare*).

- **Produs soft pentru profilarea corectivă a cuțitelor-roată destinate prelucrării bușelor poligonale**

În figura 6.15, este prezentat un applet specific programului de profilare corectivă a sculei cuțit-roată pentru generarea bușelor poligonale cu secțiuni transversale pătrat sau hexagon. Appletul Java are aceeași structură ca și programul anterior.

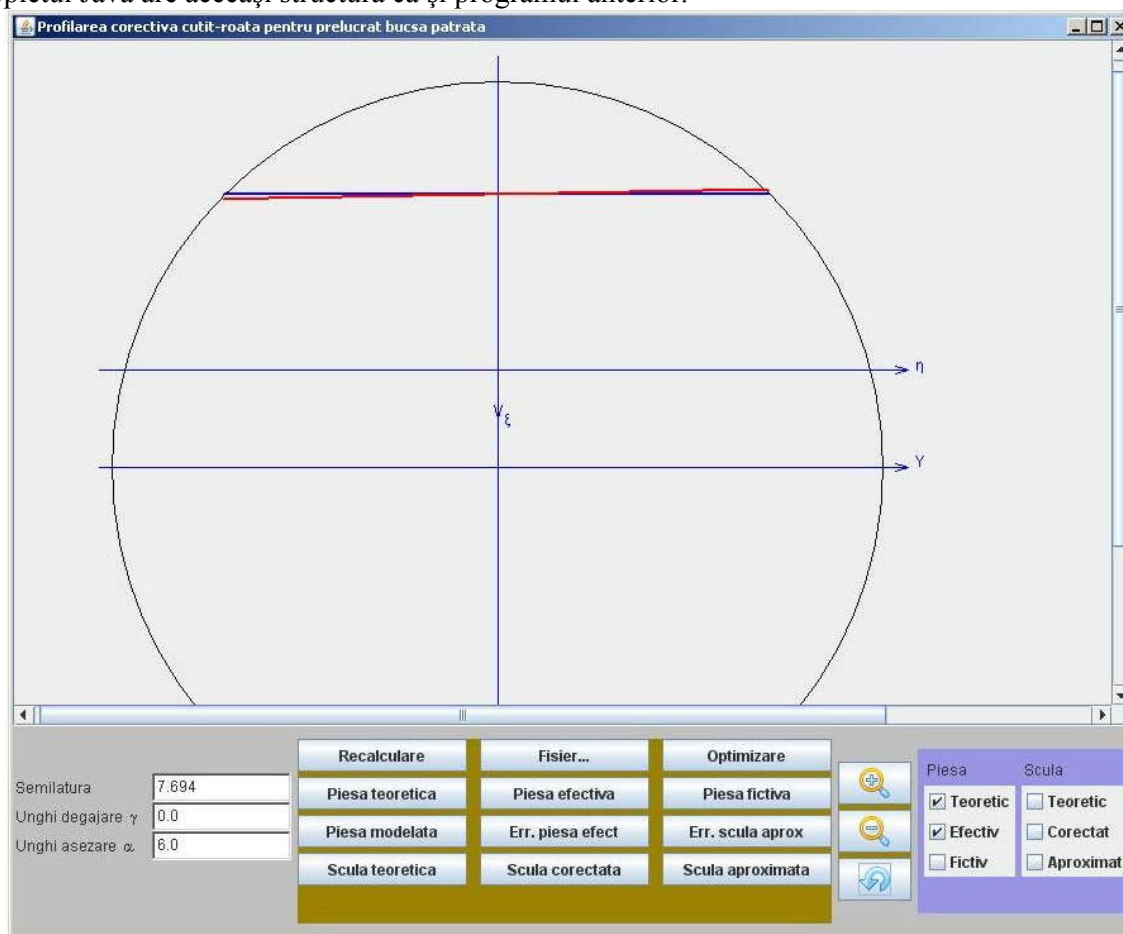


Fig. 6.15. Captura de ecran a appletului de profilare a sculei de tip roată

Programul permite modificarea caracteristicilor profilului de generat, precum și parametrii geometrici ai cuțitului-roată (unghi de așezare și unghi de degajare) pentru care se realizează modelarea profilării corective, în limite acceptabile tehnic.

În applet, există posibilitatea reprezentării grafice a profilurilor semifabricatului (piesa efectivă, piesă teoretică și piesa fictivă) precum și ale sculei (teoretic, corectat și aproximat), prin alegerea din casetele de validare din partea dreaptă a ferestrei. Reprezentarea grafică poate fi scalată cu un factor de mărire ales de utilizator, vezi figurile 6.13.

Coordonatele profilurilor calculate ale sculei pot fi vizualizate și exportate în vederea unei analize ulterioare sau prelucrării pe o mașină cu comandă numerică.

Coordonatele profilului efectiv (măsurat) sunt preluate din fișiere text externe rezultate în urma măsurării pe mașini de măsurat 3D, în exemplele noastre pe mașina de măsurat Micro Hite 3D.

Parametrii geometrici ai cuțitului-roată pot fi stabiliți de operator sau se acceptă optimizarea mărimii acestora, realizată automat de program, pentru o abatere minimă a erorii profilului aproximat față de profilul corectat al sculei (vezi figura 6.15, butonul *Optimizare*).

- **Programul sursă al aplicației profilării corective a sculei cremalieră**

Fișier ModelareErori.java

```
import java.awt.*;
import java.applet.*;
import javax.swing.*;

/**
 * Un test interactiv de determinare a profilului obtinut la prelucrarea unei danturi evolventice
 * cu o scula cremaliera, odata cu variatia unghiului de degajare. La cresterea unghiului de degajare
 * Gama, eroarea de obtinere a profilului efectiv creste (creste diferenta dintre profilul teoretic si
 * cel efectiv)
 */

public class ModelareErori extends Applet {
    /**
     *
     */
    private static final long serialVersionUID = 8973386537078803691L;

    ModelareControls controls; // partea interactiva
    ModelareCanvas canvas; // partea de desenare
    JScrollPane panouDesenare;
    public static ModelareErori modelare = new ModelareErori();

    static JFrame f = new JFrame("Modelare generare dantura evolventica cu scula-cremaliera");

    public void init() {

        setLayout(new BorderLayout());
        canvas = new ModelareCanvas();
        canvas.setBackground (Color.lightGray);

        panouDesenare = new JScrollPane(canvas);

        add("Center", panouDesenare);
        add("South", controls = new ModelareControls(canvas));
        System.out.println("init");
    }

    public void destroy() {
        remove(controls);
        remove(canvas);
    }
}
```

```

        System.out.println("Exit...");
        System.exit(0);
    }

    public void start() {
controls.setEnabled(true);
    }

    public void stop() {
controls.setEnabled(false);
    }

    public void processEvent(AWTEvent e) {
        if (e.getID() == Event.WINDOW_DESTROY) {
            System.out.println("Iesire..");
            System.exit(0);
        }
    }

    public static void main(String args[]) {

modelare.init();
modelare.start();

modelare.setBackground(Color.lightGray);

f.add("Center", modelare);
f.setSize(900, 600);
f.setVisible(true);
    }
}

```

Fișier Profil.java

```

import java.util.*;

public class Profil {

String nume;
Vector<Punct2D> element;

public Profil(String den, Vector<Punct2D> v){
    this.nume = den;
    this.element = v;
}

public Profil (String den){
    this.nume = den;
    this.element = new Vector<Punct2D>(1,1);
}

public void setNume (String den){
    this.nume = den;
}

public String getNume(){
    return this.nume;
}

public void adaugPunct(Punct2D pct){
    this.element.add(pct);
}

public Punct2D getPunct (int index){
    return (Punct2D)this.element.elementAt(index);
}
}

```

```
}  
}
```

Fișier Punct2D.java

```
public class Punct2D {  
    double x,y;  
    public Punct2D (double xx, double yy){  
        this.x = xx;  
        this.y = yy;  
    }  
    public void setX (double xx){  
        this.x = xx;  
    }  
    public void setY (double yy) {  
        this.y = yy;  
    }  
    public double getX(){  
        return this.x;  
    }  
    public double getY(){  
        return this.y;  
    }  
    public String toString(){  
        return ("+"this.x+" "+"this.y+"");  
    }  
}
```

Fișier ModelareControls.java

```
import java.awt.Button;  
import java.awt.Color;  
import java.awt.GridLayout;  
import java.awt.Label;  
import java.awt.Panel;  
import java.awt.TextField;  
import java.awt.event.ActionEvent;  
import java.awt.event.ActionListener;  
import java.io.File;  
import javax.swing.*;  
import javax.swing.ImageIcon;  
class ModelareControls extends Panel implements ActionListener  
{  
    private static final long serialVersionUID = 1L;  
    ModelareCanvas canvas;  
    TextField mm, zz, gam, alf;  
  
    public ModelareControls(ModelareCanvas canvas)  
    {  
        this.canvas = canvas;  
        Panel p = new Panel(), pDate = new Panel(), pButoane = new Panel(), pZoom =  
new Panel(), pCheck = new Panel();  
        @SuppressWarnings("unused")  
        Label em, ez, egama, ealf, eteta;  
        pDate.setLayout(new GridLayout(4, 2));  
        pDate.add(em = new Label ("Modul"));  
        pDate.add(mm = new TextField(""+canvas.m, 3));  
        pDate.add(ez = new Label ("Numar de dinti"));  
        pDate.add(zz = new TextField(""+canvas.z, 3));  
        pDate.add(egama = new Label ("Unghi degajare \u03b3"));
```

```

pDate.add(gam = new TextField(""+canvas.gamaGrade, 3));
pDate.add(ealf = new Label ("Unghi asezare \u03b1"));
pDate.add(alf = new TextField(""+canvas.alfaGrade, 3));
JButton b1 = new JButton ("Recalculare"),
        b2 = new JButton ("Fisier..."),
        b3 = new JButton ("Optimizare"),
        b4 = new JButton ("Piesa teoretica"),
        b5 = new JButton ("Piesa efectiva"),
        b6 = new JButton ("Piesa fictiva"),
        b7 = new JButton ("Piesa modelata"),
        b8 = new JButton ("Err. pr. efectiv"),
        b9 = new JButton ("Err. pr. modelat"),
        b10 = new JButton ("Scula teoretica"),
        b11 = new JButton ("Scula corectata"),
        b12 = new JButton ("Scula aproximata");
pButoane.setLayout(new GridLayout(4, 4, 10, 4));
pButoane.setBackground(new Color(10191360));
pButoane.add(b1); pButoane.add(b2);pButoane.add(b3);pButoane.add(b4);
pButoane.add(b5); pButoane.add(b6);pButoane.add(b7);pButoane.add(b8);
pButoane.add(b9); pButoane.add(b10);pButoane.add(b11);pButoane.add(b12);
b1.addActionListener(this);
b2.addActionListener(this);
b3.addActionListener(this);
b4.addActionListener(this);
b5.addActionListener(this);
b6.addActionListener(this);
b7.addActionListener(this);
b8.addActionListener(this);
b9.addActionListener(this);
b10.addActionListener(this);
b11.addActionListener(this);
b12.addActionListener(this);
Imagelcon butonMarire = createlmagelcon("zoom_in.png","zoom_in.png");
JButton bMarire = new JButton(butonMarire);
bMarire.setActionCommand("Marire");
Imagelcon butonMicsorare = createlmagelcon("zoom_out.png","zoom_out.png");
JButton bMicsorare = new JButton(butonMicsorare);
bMicsorare.setActionCommand("Micsorare");
Imagelcon butonRedesenare = createlmagelcon("refresh.png","refresh.png");
JButton bRedesenare = new JButton(butonRedesenare);
bRedesenare.setActionCommand("Redesenare");
bMarire.addActionListener(this);
bMicsorare.addActionListener(this);
bRedesenare.addActionListener(this);
pZoom.setLayout(new GridLayout(3, 1, 10, 4));
pZoom.setBackground(new Color(10191360));
pZoom.add(bMarire);
pZoom.add(bMicsorare);
pZoom.add(bRedesenare);
JCheckBox pTeoretic = new JCheckBox("Teoretic");
pTeoretic.setSelected(true);
pTeoretic.setActionCommand("pTeoretic");
JCheckBox pEfectiv = new JCheckBox("Efectiv");
pEfectiv.setSelected(true);
pEfectiv.setActionCommand("pEfectiv");
JCheckBox pFictiv = new JCheckBox("Fictiv");
pFictiv.setSelected(false);
pFictiv.setActionCommand("pFictiv");
JCheckBox pModelat = new JCheckBox("Modelat");
pModelat.setSelected(false);

```

```

pModelat.setActionCommand("pModelat");
Panel pPiesa = new Panel();
pPiesa.setLayout(new GridLayout(5, 1));
pPiesa.add(em = new Label ("Piesa"));
pPiesa.add(pTeoretic);
pPiesa.add(pEfectiv);
pPiesa.add(pFictiv);
pPiesa.add(pModelat);
JCheckBox sTeoretic = new JCheckBox("Teoretic");
sTeoretic.setSelected(false);
sTeoretic.setActionCommand("sTeoretic");
JCheckBox sCorectat = new JCheckBox("Corectat");
sCorectat.setSelected(false);
sCorectat.setActionCommand("sCorectat");
JCheckBox sAproximat = new JCheckBox("Aproximat");
sAproximat.setSelected(false);
sAproximat.setActionCommand("sAproximat");
Panel pScula = new Panel();
pScula.setLayout(new GridLayout(5, 1));
pScula.add(em = new Label ("Scula"));
pScula.add(sTeoretic);
pScula.add(sCorectat);
pScula.add(sAproximat);
pCheck.setBackground(new Color(10000100));
pCheck.add(pPiesa); pCheck.add(pScula);
//Register a listener for the check boxes.
pTeoretic.addActionListener(this);
pEfectiv.addActionListener(this);
pFictiv.addActionListener(this);
pModelat.addActionListener(this);
sTeoretic.addActionListener(this);
sAproximat.addActionListener(this);
sCorectat.addActionListener(this);
    p.add(pDate);
    p.add(pButoane);
    p.add(pZoom);
    p.add(pCheck);
    add(p);
}
protected ImagemIcon creatImagemIcon(String path, String description)
{
    java.net.URL imgURL = getClass().getResource(path);
    if (imgURL != null)
    {
        System.out.println("url:"+imgURL+" descr:"+description);
        String cale = imgURL.toString();
        String url = cale.substring(6);
        System.out.println("noul url:"+url+" descr:"+description);
        return new ImagemIcon(url, description);
    }
    else
    {
        System.err.println("Couldn't find file: " + path);
        return null;
    }
}
public void actionPerformed(ActionEvent ev)
{
    String label = ev.getActionCommand();
    @SuppressWarnings("unused")

```

```

Object ob = ev.getSource();

if (label.equals("Recalculare"))
{
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  1
                  );
}
if (label.equals("Marire"))
{
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  500
                  );
}
if (label.equals("Micsorare"))
{
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  -300
                  );
}
if (label.equals("Redesenare"))
{
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  1
                  );
}
if (label.equals("pTeoretic"))
{
    ModelareCanvas.pTeor = !ModelareCanvas.pTeor;
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  1
                  );
}
if (label.equals("pEfectiv"))
{
    ModelareCanvas.pEfec = !ModelareCanvas.pEfec;
    canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                  Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                  1
                  );
}
if (label.equals("pFictiv"))
{

```

```

        ModelareCanvas.pFict = !ModelareCanvas.pFict;
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                      1
        );
    }
    if (label.equals("pModelat"))
    {
        ModelareCanvas.pMode = !ModelareCanvas.pMode;
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                      1
        );
    }
    if (label.equals("sTeoretic"))
    {
        ModelareCanvas.sTeor = !ModelareCanvas.sTeor;
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                      1
        );
    }
    if (label.equals("sCorectat"))
    {
        ModelareCanvas.sCore = !ModelareCanvas.sCore;
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                      1
        );
    }
    if (label.equals("sAproximat"))
    {
        ModelareCanvas.sApro = !ModelareCanvas.sApro;
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(gam.getText().trim()),
                      Double.parseDouble(alf.getText().trim()),
                      1
        );
    }
    if (label.equals("Piesa teoretica"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilTeoreticPiesa);
    }

    if (label.equals("Piesa efectiva"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilEfectivPiesa);
    }

    if (label.equals("Piesa fictiva"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilFictivPiesa);
    }

```

```

    }
    if (label.equals("Piesa modelata"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilObtinutPiesa);
    }

    if (label.equals("Err. pr. efectiv"))
    {
        canvas.arataCoordonate3(ModelareCanvas.profilEfectivPiesa,
ModelareCanvas.eroareProfile(ModelareCanvas.profilEfectivPiesa, ModelareCanvas.profilTeoreticPiesa));
    }
    if (label.equals("Err. pr. modelat"))
    {
        canvas.arataCoordonate3(ModelareCanvas.profilObtinutPiesa,
ModelareCanvas.eroareProfile(ModelareCanvas.profilObtinutPiesa, ModelareCanvas.profilTeoreticPiesa));
    }
    if (label.equals("Scula teoretica"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilTeoreticScula);
    }
    if (label.equals("Scula corectata"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilCorectatScula);
    }

    if (label.equals("Scula aproximata"))
    {
        canvas.arataCoordonate1(ModelareCanvas.profilAproximatScula);
    }
    if (label.equals("Optimizare"))
    {
        canvas.eroareMin = canvas.optimizareProfil(6.0, 7, 0, 12.0);
        gam.setText(""+(canvas.gamaOptim*180.0/canvas.PI));
        alf.setText(""+(canvas.alfaOptim*180.0/canvas.PI));
        canvas.marire( Double.parseDouble(mm.getText().trim()),
            Double.parseDouble(zz.getText().trim()),
            canvas.gamaOptim,
            canvas.alfaOptim,
            500);
    }
    if (label.equals("Fisier..."))
    {
        final JFileChooser fc = new JFileChooser();
        int returnVal = fc.showOpenDialog(ModelareControls.this);
        if (returnVal == JFileChooser.APPROVE_OPTION)
        {
            File file = fc.getSelectedFile();
            System.out.println("Am ales:");
            System.out.println(file);
            canvas.fisier = file;
            canvas.dinFisier = true;
        }
    }
}
}

```

Fisier ModelareCanvas.java


```

import java.awt.BasicStroke;
import java.awt.Color;
import java.awt.Image;
import java.awt.Container;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.Graphics;
import java.awt.Graphics2D;
import java.awt.geom.GeneralPath;
import java.util.Vector;
import java.awt.geom.*;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileReader;
import java.io.IOException;
import javax.swing.JDialog;
import javax.swing.JOptionPane;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JScrollPane;
import javax.swing.JTable;
import javax.swing.JViewport;
class ModelareCanvas extends JPanel
{
private static final long serialVersionUID = 1L;
int max_dim = 20002; // dimensiunea maxima a vectorilor
double PI = Math.PI;
boolean trebuieCalcul = true;
boolean dinFisier = false;
//cotele initiale ale graficului
double csi_minim = Double.MAX_VALUE;
double eta_minim = Double.MAX_VALUE;
double deplasareEta = 0.0;
// datele initiale

double gamaGrade = 0.0; //valoarea aleasa pentru prima generare, in grade
double alfaGrade = 0.0;
int points_num = 0;
    double z = 42.0; // numar de dinti
    double m = 5.0; // modul dantura
    double alfaProfil = 20.0;
// profile scula-cremaliera
static Profil profilTeoreticScula;
static Profil profilAproximatScula;
static Profil profilCorectatScula;
//profile semifabricat
static Profil profilTeoreticPiesa;
static Profil profilEfectivPiesa;
static Profil profilFictivPiesa;
static Profil profilTrecere;
static Profil profilObtinutPiesa;
// eroare profil
static double epsilon;
static Profil vectorEroarePiesaObtinuta;
static Profil vectorEroarePiesaEfectiva;
static Profil vectorEroareSculaAproximata;
static Profil vectorEroareSculaCorectata;
//static Vector<double> vectorAbatere;
// parametri pt reprezentare grafica
static boolean pTeor = true;
static boolean pEfec = true;

```

```

static boolean pFict = false;
static boolean pMode = false;
static boolean sTeor = false;
static boolean sCore = false;
static boolean sApro = false;
static double gamaOptim, alfaOptim;
static double eroareMin = Double.MAX_VALUE;
static File fisier;
/*****/
// transformare din grade in radiani
double radiani (double grd)
{
    return grd * PI /180.0;
}
double razaRulare (double mm, double zz)
{
    return mm*zz/2.0;
}
double razaDeDivizare (double mm, double zz)
{
    return mm*zz/2.0;
}
double razaDeBaza (double rd)
{
    return rd*Math.cos(radiani(alfaProfil));
}
double razaInterioara (double rd, double mm)
{
    return rd-1.2*mm;
}
double razaExterioara (double rd, double mm)
{
    return rd+mm;
}
double evolventa (double unghilnRadiani)
{
    System.out.println("evolventa = "+(Math.sin(unghilnRadiani)/Math.cos(unghilnRadiani)-
unghilnRadiani));
    return Math.sin(unghilnRadiani)/Math.cos(unghilnRadiani)-unghilnRadiani;
}
double deltaB (double zz)
{
    return PI/2/zz-evolventa(radiani(alfaProfil ));
}
static double distanta (Punct2D p1, Punct2D p2)
{
    return Math.sqrt((p1.getX()-p2.getX())*(p1.getX()-p2.getX())+
(p1.getY()-p2.getY())*(p1.getY()-p2.getY()));
}
public static Profil eroareProfile (Profil profil1, Profil profil2)
{
    Profil eroare = new Profil("eroarea dintre "+profil1.getNume()+" si "+profil2.getNume());
    for (int i = 0; i<profil1.element.size(); i++)
    {
        double d = Double.MAX_VALUE;
        for (int j = 0; j<profil2.element.size(); j++)
        {
            if(d > distanta(profil1.getPunct(i), profil2.getPunct(j)))
            {
                d = distanta(profil1.getPunct(i), profil2.getPunct(j));
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    eroare.adaugPunct(new Punct2D(profil1.getPunct(i).getX(),d));
}
return eroare;
}
double gamma = radiani(gamaGrade);
double alfa = radiani(alfaGrade);
// calcul efectiv
public double calculEfectiv(double gama, double alfa)
{
    /*******/
    double Rd = razaDeDivizare(m, z); // raza de divizare
    double Rb = razaDeBaza(Rd); // raza de baza
    double Ri = razaInterioara(Rd, m); // raza interioara
    double Re = razaExterioara(Rd, m); // raza exterioara
    double fiMin = Math.sqrt(Math.abs(Ri*Ri-Rb*Rb)/(Rb*Rb));
    double fiMax = Math.sqrt((Re*Re-Rb*Rb)/(Rb*Rb))+0.3;
    double delta = deltaB(z);
    System.out.println("fiMin = "+fiMin+" fimAx="+fiMax+" Rd="+Rd+" Ri="+Ri+" Re="+Re+"
Rb="+Rb+" delta="+delta*180.0/PI);
    // initializari
    int x1 = 10, y1 = 10; // margini nedesenabile, 10 pixeli fata de extremitatile applet-ului
    @SuppressWarnings("unused")
    int w = getSize().width -x1, h = getSize().height -y1;
    profilTeoreticScula = new Profil("profil teoretic scula");
    profilAproximatScula = new Profil("profil aproximat scula");
    profilCorectatScula = new Profil("profil corectat scula");
    profilTeoreticPiesa = new Profil("profil teoretic piesa");
    profilFictivPiesa = new Profil("profil fictiv piesa");
    if (!dinFisier)
        profilEfectivPiesa = new Profil("profil efectiv piesa");
    profilObtinutPiesa = new Profil("profil obtinut piesa");
    profilTrecere = new Profil("curba de trecere");
    epsilon = 0.0;
    double pasFi = radiani(0.05);
    double tetaMin = -2.0/z/Math.sin(radiani(alfaProfil))-0.1;
    double tetaMax = 2.4/z/Math.sin(radiani(alfaProfil))+0.001;
    deplasareEta = Rd*tetaMax;
    /** calcul profile teoretic si aproximat ale sculei, teoretic si efectiv(modelat, in viitor masurat) ale
piesei ***/
    for (double fi = 0; fi<=fiMax; fi+=pasFi)
    {
        double teta = fi-radiani(alfaProfil)+delta;
        if (teta <= tetaMax && teta>=tetaMin)
        {
            double unghi = radiani(alfaProfil);
            double csi = -Rb*Math.cos(fi+delta-teta)-Rb*fi*Math.sin(fi+delta-teta)+Rd;
            double csi_v = 0; //initializare
            if (fi==fiMin)
            {
                csi_v = csi;
            }
            double eta = Rb*Math.sin(fi+delta-teta)-Rb*fi*Math.cos(fi+delta-
teta)+Rd*teta;
            Punct2D pct = new Punct2D (csi,eta);
            profilTeoreticScula.adaugPunct(pct);
            double csi_e = csi + (csi-csi_v) *
Math.sin(gama)*Math.sin(alfa)/Math.cos(alfa+gama);
            Punct2D pct_e = new Punct2D (csi_e, eta);

```

```

profilAproximatScula.adaugPunct(pct_e);

double X = -Rb*Math.cos(fi+delta)-Rb*fi*Math.sin(fi+delta);
double Y = Rb*Math.sin(fi+delta)-Rb*fi*Math.cos(fi+delta);
Punct2D pct_p_t = new Punct2D (X, Y);
profilTeoreticPiesa.adaugPunct(pct_p_t);
if (!dinFisier)
{
    double Rbe = Rb-0.2;
    double Xe = -Rbe*Math.cos(fi+delta)-Rbe*fi*Math.sin(fi+delta);
    double Ye = Rbe*Math.sin(fi+delta)-Rbe*fi*Math.cos(fi+delta);
    Punct2D pct_p_e = new Punct2D (Xe, Ye);
    profilEfectivPiesa.adaugPunct(pct_p_e);
}
} //if teta
} //for fi
if (dinFisier)
{
    profilEfectivPiesa = null;
    profilEfectivPiesa = extragereProfil (fisier);
}

/***** calcul arc teoretic pe cercul de divizare *****/
double minim = Double.MAX_VALUE;
double xbun = 0, ybun = 0;
for (int i = 0; i<profilTeoreticPiesa.element.size(); i++)
{
    double x = profilTeoreticPiesa.getPunct(i).getX();
    double y = profilTeoreticPiesa.getPunct(i).getY();
    double min = Math.abs(Math.sqrt(x*x+y*y)-Rd);
    if(min < minim)
    {
        minim = min;
        xbun=x;
        ybun=y;
    }
    if (i==profilTeoreticPiesa.element.size()-1)
    {
        double uu = 2*Math.atan(ybun/Rd);
    }
}

/***** determinare profil fictiv evolventa (cel oglindit) *****/
for (int i = 0; i<profilEfectivPiesa.element.size(); i++)
{
    double Xe = profilEfectivPiesa.getPunct(i).getX();
    double Ye = profilEfectivPiesa.getPunct(i).getY();
    double Xt = 0.0;
    double Yt = 0.0;
    double d = Double.MAX_VALUE;
    for (int j = 0; j<profilTeoreticPiesa.element.size(); j++)
    {
        double XX = profilTeoreticPiesa.getPunct(j).getX();
        double YY = profilTeoreticPiesa.getPunct(j).getY();
        if(d > Math.sqrt((Xe-XX)*(Xe-XX)+(Ye-YY)*(Ye-YY)))
        {
            d = Math.sqrt((Xe-XX)*(Xe-XX)+(Ye-YY)*(Ye-YY));
            Xt = XX;
            Yt = YY;
        }
    }
}

```

```

    }
    }
    double Xf = 2*Xt-Xe;
    double Yf = 2*Yt-Ye;
    Punct2D pct = new Punct2D(Xf,Yf);
    profilFictivPiesa.adaugPunct(pct);
}
/***** determinare cremaliera corectata (din piesa sub forma de fisier) *****/
fiMin=-m*(Math.cos(radiani(alfaProfil))/Math.sin(radiani(alfaProfil))
+Math.sin(radiani(alfaProfil))/Math.cos(radiani(alfaProfil)))/Rd;
fiMax = -1.2*fiMin;
for (double fi = fiMin; fi<=fiMax; fi+=pasFi)
{
    double d = Double.MAX_VALUE;
    double Cm = -100, Em = -100;
    for (int i = 0; i<profilFictivPiesa.element.size(); i++)
    {
        double X = profilFictivPiesa.getPunct(i).getX();
        double Y = profilFictivPiesa.getPunct(i).getY();
        double C = X*Math.cos(fi) - Y*Math.sin(fi) + Rd;
        double E = X*Math.sin(fi) + Y*Math.cos(fi) + Rd*fi;
        double Cp = 0;
        double Ep = Rd*fi;
        if(d > Math.sqrt((C-Cp)*(C-Cp)+(E-Ep)*(E-Ep)))
        {
            d = Math.sqrt((C-Cp)*(C-Cp)+(E-Ep)*(E-Ep));
            Cm = C;
            Em = E;
        }
    } // for...(csi, eta) efectiv
    Punct2D pct = new Punct2D(Cm,Em);
    profilCorectatScula.adaugPunct(pct);
} //for fi
/**** determinare profil evolventa generat cu scula aproximata (din cremaliera fisier) ****/
for (double fi = fiMin; fi<=fiMax; fi+=pasFi)
{
    double d = Double.MAX_VALUE;
    double Xm = -100, Ym = -100;
    for (int i = 0; i<profilAproximatScula.element.size(); i++)
    {
        double cs = profilAproximatScula.getPunct(i).getX();
        double et = profilAproximatScula.getPunct(i).getY();
        double X = (cs - Rd)*Math.cos(fi) + (et - Rd*fi)*Math.sin(fi);
        double Y = -(cs - Rd)*Math.sin(fi) + (et - Rd*fi)*Math.cos(fi);
        double Xp = -Rd*Math.cos(fi);
        double Yp = Rd*Math.sin(fi);
        if(d > Math.sqrt((X-Xp)*(X-Xp)+(Y-Yp)*(Y-Yp)))
        {
            d = Math.sqrt((X-Xp)*(X-Xp)+(Y-Yp)*(Y-Yp));
            Xm = X;
            Ym = Y;
        }
    }
    profilObtinutPiesa.adaugPunct(new Punct2D(Xm,Ym));
} //for fi
/**** determinare profil trecere *****/
for (double fi = fiMin-radiani(20); fi<=fiMax+radiani(20); fi+=pasFi)
{
    double cs = profilAproximatScula.getPunct(0).getX();

```

```

        double et = profilAproximatScula.getPunct(0).getY();
        double Xv = (cs - Rd)*Math.cos(fi) + (et - Rd*fi)*Math.sin(fi);
        double Yv = -(cs - Rd)*Math.sin(fi) + (et - Rd*fi)*Math.cos(fi);
        profilTrecere.adaugPunct(new Punct2D(Xv,Yv));
    }
    /***** determinare maxim abatere *****/
    double err=-Double.MAX_VALUE;
    vectorEroarePiesaObtinuta = eroareProfile(profilObtinutPiesa, profilTeoreticPiesa);
    for (int i = 0; i<vectorEroarePiesaObtinuta.element.size(); i++)
    {
        double ee=vectorEroarePiesaObtinuta.getPunct(i).getY();
        if (ee>err)
        {
            err=ee;
        }
    }
    System.out.println("Abaterea maxima a profilelor (piesa modelata fata de cea teoretica):
    "+err);
    return err;
} // calculEfectiv

/***** determinarea optimului pentru cremaliera aproximata *****/
double optimizareProfil(double aMin, double aMax, double gMin, double gMax)
{
    double min=Double.MAX_VALUE;
    double g = 0, a=0;
    double gamaMin = radiani(gMin);
    double gamaMax = radiani(gMax);
    double pasGama = radiani(1.0);
    for (double ga=gamaMin; ga<=gamaMax; ga+=pasGama)
    {
        double alfaMin = radiani(aMin);
        double alfaMax = radiani(aMax);
        double pasAlfa = radiani(1.0);
        for (double al=alfaMin; al<=alfaMax; al+=pasAlfa)
        {
            double minim = calculEfectiv (ga,al);
            if (minim < min)
            {
                min = minim;
                g=ga;
                a=al;
            }
        } //for alfa
    } //for gama
    gamaOptim = g;
    alfaOptim = a;
    System.out.println("Optimizare: gama ="+g*180.0/PI+" alfa = "+a*180.0/PI+" abaterea
maxima: "+min);
    return min;
}

/***** extragere coordonate piesa efectiva din fisierul masurat *****/
Profil extragereProfil(File fis)
{
    Profil profil = new Profil("profil efectiv masurat piesa");
    FileReader inputStream = null;
    double unghi = radiani(2.704);
    double xbun = 0, ybun=0;
    double minim = Double.MAX_VALUE;
    try {

```

```

        inputStream = new FileReader(fis);
        BufferedReader inputBuffer = new BufferedReader(inputStream);
        String line;
        while((line = inputBuffer.readLine()) != null)
        {
            char[] sir = line.toCharArray();
            String sir1="", sir2="";
            int k;
            for (k=0; !(sir[k]<' '); k++)
            {
                if (!(sir[k]==' '))
                {
                    sir1+=sir[k];
                }
            }
            for (int cont = k; cont<sir.length; cont++)
            {
                if (!(sir[cont]==' '))
                    sir2+=sir[cont];
            }
            double xx = Double.parseDouble(sir1);
            double yy = Double.parseDouble(sir2);
            profil.adaugPunct(new Punct2D(-yy,xx));
        }
        inputBuffer.close();
        double uu = 2*Math.atan(ybun/m/z*2);

    } catch (FileNotFoundException e) {
        e.printStackTrace();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    } finally {
        if (inputStream != null) {
            try {
                inputStream.close();
            } catch (IOException e) {e.printStackTrace();}
        }
    }
    return profil;
}
}
GeneralPath profilGraficXY (Profil profil, int sc)
{
    GeneralPath p = new GeneralPath(GeneralPath.WIND_EVEN_ODD, profil.element.size()-
1);

    p.moveTo(profil.getPunct(0).getX()*sc, profil.getPunct(0).getY()*sc);
    for(int i = 1; i<profil.element.size(); i++) {
        double oriz = profil.getPunct(i).getX();
        double vert = profil.getPunct(i).getY();
        p.lineTo(oriz*sc, vert*sc);
    };
    return p;
}
GeneralPath profilGraficYX (Profil profil, int sc)
{
    GeneralPath p = new GeneralPath(GeneralPath.WIND_EVEN_ODD,profil.element.size()-1);
    p.moveTo(profil.getPunct(0).getY()*sc, profil.getPunct(0).getX()*sc);
    //System.out.println((profil.getPunct(0).getY()*sc)+" , " +profil.getPunct(0).getX()*sc);
    for(int i = 1; i<profil.element.size(); i++) {
        double oriz = profil.getPunct(i).getY();
        double vert = profil.getPunct(i).getX();
    }
}

```

```

        p.lineTo(orziz*sc, vert*sc);
        //System.out.println(orziz*sc+", "+vert*sc);
    };
    return p;
}
Ellipse2D.Double cerc (double raza, double scara)
{
    return new Ellipse2D.Double(-raza*scara, -raza*scara, 2.0*raza*scara, 2.0*raza*scara);
}

public void paint(Graphics g)
{
    if (trebuieCalcul)
        eroareMin=calculEfectiv(gamma, alffa);
    int x1 = (int)(ModelareErori.modelare.canvas.getSize().width/10),
        y1 = (int)(ModelareErori.modelare.canvas.getSize().height/10);
    // margini nedesenabile, 10 pixeli fata de extremitatile applet-ului
    @SuppressWarnings("unused")
    int w = ModelareErori.modelare.canvas.getSize().width -x1,
        h = ModelareErori.modelare.canvas.getSize().height -y1;
    // determinare scara maxima pentru reprezentarea grafica
    System.out.println ("Desenare");
    double rrp = razaRulare(m,z);
    double Rd = razaDeDivizare(m, z);
    double Rb = razaDeBaza(Rd);
    double Ri = razaInterioara(Rd, m);
    double Re = razaExterioara(Rd, m);
    double scaraOriz = w/2/rrp;
    double scaraVert = h/2.2/rrp;
    int scara = (int)Math.min(scaraOriz, scaraVert);
    System.out.println("scara = "+scara);
    // desenare
    Graphics2D g2D = (Graphics2D) g;
    /***** figura *****/
    g2D.translate(x1, y1);
    g2D.translate((int)rrp*scara,(int) rrp*scara);
    // g2D.setStroke(Stroke.dashed);
    g2D.setColor(Color.black);
    g2D.draw(cerc(rrp, scara));
    g2D.setColor(Color.blue);
    g2D.draw(cerc(Ri, scara));
    g2D.draw(cerc(Re, scara));
    g2D.setColor(Color.red);
    g2D.draw(cerc(Rb, scara));
    Punct2D inceputAxaY, sfarsitAxaY;
    inceputAxaY = new Punct2D(-rrp*scara-10, 0.0);
    sfarsitAxaY = new Punct2D(rrp*scara+30, 0.0);
    Line2D.Double axaY = new Line2D.Double(inceputAxaY.x,inceputAxaY.y,
        sfarsitAxaY.x, sfarsitAxaY.y);
    Line2D.Double sageticaJos = new Line2D.Double(sfarsitAxaY.x, sfarsitAxaY.y,
        sfarsitAxaY.x-10, sfarsitAxaY.y+3);
    Line2D.Double sageticaSus = new Line2D.Double(sfarsitAxaY.x, sfarsitAxaY.y,
        sfarsitAxaY.x-10, sfarsitAxaY.y-3);
    g2D.setColor(Color.blue);
    g2D.draw(axaY);
    g2D.draw(sageticaJos);
    g2D.draw(sageticaSus);
    g2D.drawString("Y", (float)sfarsitAxaY.x+5, (float)sfarsitAxaY.y);
    Punct2D inceputAxaXCsi, sfarsitAxaX/, inceputAxaCsiDeplasata*/;
}

```



```

inceptAxaXCsi = new Punct2D(0.0, -rrp*scara-30);
sfarsitAxaX = new Punct2D(0.0, rrp*scara+30);
Line2D.Double axaXCsi = new Line2D.Double(inceptAxaXCsi.x,inceptAxaXCsi.y,
sfarsitAxaX.x, sfarsitAxaX.y);
Line2D.Double sageticaStangaX = new Line2D.Double(sfarsitAxaX.x, sfarsitAxaX.y,
sfarsitAxaX.x-3, sfarsitAxaX.y-10);
Line2D.Double sageticaDreaptaX = new Line2D.Double(sfarsitAxaX.x,
sfarsitAxaX.y, sfarsitAxaX.x+3, sfarsitAxaX.y-10);

Punct2D sfarsitAxaCsi;
sfarsitAxaCsi = new Punct2D(0.0, -rrp*scara/4);
Line2D.Double sageticaStangaCsi = new Line2D.Double(sfarsitAxaCsi.x,
sfarsitAxaCsi.y, sfarsitAxaCsi.x-3.0, sfarsitAxaCsi.y-10);
Line2D.Double sageticaDreaptaCsi = new Line2D.Double(sfarsitAxaCsi.x,
sfarsitAxaCsi.y, sfarsitAxaCsi.x+3, sfarsitAxaCsi.y-10);

g2D.draw(axaXCsi);
g2D.draw(sageticaStangaX);
g2D.draw(sageticaDreaptaX);
g2D.drawString("X", (float)sfarsitAxaX.x+5, (float)sfarsitAxaX.y+5);
g2D.draw(sageticaStangaCsi);
g2D.draw(sageticaDreaptaCsi);
g2D.drawString("\u03be", (float)sfarsitAxaCsi.x+5, (float)sfarsitAxaCsi.y+5);
Punct2D inceptAxaEta, sfarsitAxaEta;
inceptAxaEta = new Punct2D(-rrp*scara-10, -rrp*scara);
sfarsitAxaEta = new Punct2D(rrp*scara+30, -rrp*scara);
Line2D.Double axaEta = new Line2D.Double(inceptAxaEta.x,inceptAxaEta.y,
sfarsitAxaEta.x, sfarsitAxaEta.y);
sageticaJos = new Line2D.Double(sfarsitAxaEta.x, sfarsitAxaEta.y,
sfarsitAxaEta.x-10, sfarsitAxaEta.y+3);
sageticaSus = new Line2D.Double(sfarsitAxaEta.x, sfarsitAxaEta.y,
sfarsitAxaEta.x-10, sfarsitAxaEta.y-3);

g2D.draw(axaEta);
g2D.draw(sageticaJos);
g2D.draw(sageticaSus);
g2D.drawString("\u03b7", (float)sfarsitAxaEta.x+5, (float)sfarsitAxaEta.y);
/***** profilele calculate *****/
GeneralPath pSculaTeoretic = profilGraficYX(profilTeoreticScula, scara);
GeneralPath pSculaAproximat = profilGraficYX(profilAproximatScula, scara);
GeneralPath pSculaCorectat = profilGraficYX(profilCorectatScula, scara);
GeneralPath pPiesaEfectiv = profilGraficYX(profilEfectivPiesa, scara);
GeneralPath pPiesaFictiv = profilGraficYX(profilFictivPiesa, scara);
GeneralPath pPiesaTeoretic = profilGraficYX(profilTeoreticPiesa, scara);
GeneralPath pPiesaObtinut = profilGraficYX(profilObtinutPiesa, scara);
GeneralPath pTrecere = profilGraficYX(profilTrecere, scara);
g2D.setStroke(new BasicStroke(2.0f , // Width of stroke
BasicStroke.CAP_ROUND, // End cap style
BasicStroke.JOIN_ROUND // Join style
));
g2D.setColor(Color.blue);
if (pTeor) g2D.draw(pPiesaTeoretic);
g2D.setColor(Color.red);
if (pEfec) g2D.draw(pPiesaEfectiv);
g2D.setColor(Color.black);
if (pFict) g2D.draw(pPiesaFictiv);
g2D.setColor(Color.yellow);
if (pMode) g2D.draw(pPiesaObtinut);
//g2D.draw(pTrecere);
g2D.translate(0.0, -rrp*scara);
g2D.setColor(Color.black);
if (sCore) g2D.draw(pSculaCorectat);
g2D.setColor(Color.blue);

```

```

if (sTeor) g2D.draw(pSculaTeoretic);
g2D.setColor(Color.red);
if (sApro) g2D.draw(pSculaAproximat);
} // paint Method
double aflaGapOriz (Profil profil)
{
    double min, max;
    min = Double.MAX_VALUE;
    max = -Double.MAX_VALUE;

    for (int i=0; i<profil.element.size()-1; i++)
    {
        Punct2D pct = profil.getPunct(i);
        min = Math.min(min, pct.getX());
        max = Math.max(max, pct.getX());
    }

    System.out.println(profil.getNume()+" "+(max-min));
    return max - min;
}
double aflaGapVert (Profil profil)
{
    double min, max;
    min = Double.MAX_VALUE;
    max = -Double.MAX_VALUE;
    for (int i=0; i<profil.element.size()-1; i++)
    {
        Punct2D pct = profil.getPunct(i);
        min = Math.min(min, pct.getY());
        max = Math.max(max, pct.getY());
    }
    return max - min;
}
int aflaScaraXY (Profil profil)
{
    System.out.println("Determin scara "+profil.getNume());
    int x1 = 30, y1 = 30; // margini nedesenabile, 10 pixeli fata de extremitatile applet-ului
    int w = ModelareErori.modelare.canvas.getSize().width -x1;
    int h = ModelareErori.modelare.canvas.getSize().height -y1;

    double oriz_gap = aflaGapOriz(profil);
    double vert_gap = aflaGapVert(profil);
    System.out.println("Oriz_gap="+oriz_gap+"; Vert_gap="+vert_gap);
    double sc_oriz = w/oriz_gap, sc_vert = h/vert_gap;
    double Gap = Math.min(sc_oriz, sc_vert);
    int rap = (int)(Gap);
    System.out.println("Oriz:"+oriz_gap+"          Vert:"+vert_gap+"          sc_oriz:"+sc_oriz+"
sc_vert:"+sc_vert+" -> Scara = "+rap);
    System.out.println("w="+w+", h="+h);
    return rap;
}
int aflaScaraYX (Profil profil)
{
    System.out.println("Determin scara "+profil.getNume());
    int x1 = 30, y1 = 30; // margini nedesenabile, 10 pixeli fata de extremitatile applet-ului
    int w = getSize().width -x1, h = getSize().height -y1;
    double oriz_gap = aflaGapVert(profil);
    double vert_gap = aflaGapOriz(profil);
    System.out.println("Oriz_gap="+oriz_gap+"; Vert_gap="+vert_gap);
    double sc_oriz = w/oriz_gap, sc_vert = h/vert_gap;
    double Gap = Math.min(sc_oriz, sc_vert);
}

```

```

int rap = (int)(Gap);
System.out.println("Oriz:"+oriz_gap+" Vert:"+vert_gap+" sc_oriz:"+sc_oriz+"
                 sc_vert:"+sc_vert+" -> Scara = "+rap);
System.out.println ("w="+w+", h="+h);
return rap;
}
double aflaMinOriz (Profil profil)
{
    double min;
    min = Double.MAX_VALUE;
    for (int i=0; i<profil.element.size()-1; i++)
    {
        Punct2D pct = profil.getPunct(i);
        min = Math.min(min, pct.getX());
    }
    return min;
}
double aflaMinVert (Profil profil)
{
    double min;
    min = Double.MAX_VALUE;
    for (int i=0; i<profil.element.size()-1; i++)
    {
        Punct2D pct = profil.getPunct(i);
        min = Math.min(min, pct.getY());
    }
    return min;
}
@SuppressWarnings("unchecked")
public void arataCoordonate1(Profil profil)
{
    JDialog fer = new JDialog(ModelareErrori.f, "Coordonate "+profil.getNume());
    fer.setLocation(200, 50);
    fer.setSize(700, 500);
    Container cp = fer.getContentPane ();
    JPanel panou = new JPanel ();
    panou.setSize (fer.getWidth(), fer.getHeight());
    cp.add (panou);
    Vector coordonate = new Vector();
    Vector numeColoane=new Vector(6);
    numeColoane.add("Nr. crt.");
    int tipProfil = profil.getNume().lastIndexOf( "piesa" );
    System.out.println("tipProfil: "+tipProfil);
    if (tipProfil>=0) // adica este un profil de piesa
    {
        numeColoane.add("X [mm]");
        numeColoane.add("Y [mm]");
    }
    else /// este un profil de scula
    {
        numeColoane.add("\u03be [mm]");
        numeColoane.add("\u03b7 [mm]");
    }
    for(int i = 0; i <profil.element.size(); i++)
    {
        Vector m=new Vector();
        m.add(i+" ");
        m.add(""+profil.getPunct(i).getX());
        m.add(""+profil.getPunct(i).getY());
        coordonate.add(m);
    }
}

```

```

        //System.out.println(i);
    }
    JTable tabel = new JTable (coordonate,numeColoane);
    JScrollPane p1=new JScrollPane();
    JViewport vv = new JViewport();
    vv.setViewSize(new Dimension(fer.getWidth(), 500));
    p1.setViewport(vv);
    vv.add(tabel);
    panou.add(p1);
    fer.setVisible(true);
}
@SuppressWarnings("unchecked")
public void arataCoordonate2(Profil profil1, Profil profil2)
{
    JDialog fer = new JDialog(ModelareErrori.f, "Coordonate "+profil1.getNume()+
        " si "+profil2.getNume());
    fer.setLocation(200, 50);
    fer.setSize(700, 500);
    Container cp = fer.getContentPane ();
    JPanel panou = new JPanel ();
    panou.setSize (fer.getWidth(), fer.getHeight());
    cp.add (panou);
    Vector coordonate = new Vector();
    Vector numeColoane=new Vector(6);
    numeColoane.add("Nr. crt.");
    int tipProfil1 = profil1.getNume().lastIndexOf( "piesa" );
    int tipProfil2 = profil2.getNume().lastIndexOf( "piesa" );
    if (tipProfil1>=0) // daca este profil de piesa
    {
        numeColoane.add("X [mm]");
        numeColoane.add("Y [mm]");
    }
    else // daca este profil de scula
    {
        numeColoane.add("\u03be [mm]");
        numeColoane.add("\u03b7 [mm]");
    }
    if (tipProfil2>=0) // daca este profil de piesa
    {
        numeColoane.add("X [mm]");
        numeColoane.add("Y [mm]");
    }
    else // daca este profil de scula
    {
        numeColoane.add("\u03be [mm]");
        numeColoane.add("\u03b7 [mm]");
    }
    int nr = Math.min(profil1.element.size(), profil2.element.size());
    for(int i = 0; i <nr; i++)
    {
        Vector m=new Vector();
        m.add(i+" ");
        m.add(""+profil1.getPunct(i).getX());
        m.add(""+profil1.getPunct(i).getY());
        m.add(""+profil2.getPunct(i).getX());
        m.add(""+profil2.getPunct(i).getY());
        coordonate.add(m);
    }
    JTable tabel = new JTable (coordonate,numeColoane);
    JScrollPane p1=new JScrollPane();

```

```

JViewport vv = new JViewport();
vv.setViewSize(new Dimension(fer.getWidth(), 500));
p1.setViewport(vv);
vv.add(tabel);
panou.add(p1);
fer.setVisible(true);
}
@SuppressWarnings("unchecked")
public void arataCoordonate3(Profil profil1, Profil profil2) // pentru a afisa si eroarea (din profil2 Y-ul)
{
    JDialog fer = new JDialog(ModelareErori.f, "Coordonate "+profil1.getNume()+" si abaterea");
    fer.setLocation(200, 50);
    fer.setSize(700, 500);
    Container cp = fer.getContentPane ();
    JPanel panou = new JPanel ();
    panou.setSize (fer.getWidth(), fer.getHeight());
    cp.add (panou);
    Vector coordonate = new Vector();
    Vector numeColoane=new Vector(5);
    numeColoane.add("Nr. crt.");
    int tipProfil1 = profil1.getNume().lastIndexOf( "piesa" );
    if (tipProfil1>=0) // daca este un profil de piesa
        {
            numeColoane.add("X [mm]");
            numeColoane.add("Y [mm]");
        }
    else // daca este un profil de scula
        {
            numeColoane.add("\u03be [mm]");
            numeColoane.add("\u03b7 [mm]");
        }
    numeColoane.add("Abaterea [mm]");
    for(int i = 0; i < profil1.element.size(); i++)
        {
            Vector m=new Vector();
            m.add(i+" ");
            m.add(""+profil1.getPunct(i).getX());
            m.add(""+profil1.getPunct(i).getY());
            //m.add(""+profil2.getPunct(i).getX());
            m.add(""+profil2.getPunct(i).getY());
            coordonate.add(m);
        }
    JTable tabel = new JTable (coordonate,numeColoane);
    JScrollPane p1=new JScrollPane();
    JViewport vv = new JViewport();
    vv.setViewSize(new Dimension(fer.getWidth(), 500));
    p1.setViewport(vv);
    vv.add(tabel);
    panou.add(p1);
    fer.setVisible(true);
}
public void marire (double mm, double zz, double ga, double al, int dif)
{
    ModelareErori.modelare.canvas.setPreferredSize(new
        Dimension(ModelareErori.modelare.canvas.getSize().width+dif,
        ModelareErori.modelare.canvas.getSize().height+dif));
    ModelareErori.modelare.canvas.revalidate();
    //repaint();
    redraw(mm, zz, ga, al);
}
}

```

```

public void microrare (double mm, double zz, double ga, double al)
{
ModelareErori.modelare.canvas.setPreferredSize(new
    Dimension(ModelareErori.modelare.canvas.getSize().width-100,
        ModelareErori.modelare.canvas.getSize().height-100));
ModelareErori.modelare.canvas.revalidate();
redraw(mm, zz, ga, al);
}
public void redraw( double mm, double zz, double ga, double al)
{
    if (ga < -80 || ga > 80 )
        {
            JOptionPane.showMessageDialog(ModelareErori.f,
                "Valoarea aleasa pentru unghiul de degajare este \"neuzuala\"!!!",
                "Informatie",JOptionPane.WARNING_MESSAGE);
        }
    else
        {
            if (mm==this.m && zz==this.z && ga==this.gamaGrade
                && al==this.alfaGrade)
                {
                    this.trebuieCalcul = false;
                    repaint();
                }
            else
                {
                    this.m = mm;
                    this.z = zz;
                    this.gamaGrade = ga;
                    this.alfaGrade = al;
                    this.trebuieCalcul = true;
                    repaint();
                }
        }
    }
}
}

```

OBIECTIVUL 7. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA DE CORECȚIE A SUPRAFEȚELOR GENERATE PRIN ÎNFĂȘURARE CU APLICAȚII LA PROFILAREA SCULELOR GENERATOARE CU CONTACT PUNCTIFORM (SCULA MELC), PRIN METODE DE REPREZENTARE DISCRETĂ

7.1. Sinteza de algoritmi pentru profilarea corectivă a sculelor de tip melc

Introducere

Sunt cunoscute modalități de profilare a suprafeței periferice a sculei-melc, reciproc înfășurătoare a unui vârtej ordonat de suprafețe, asociat unei axoide în rulare cu axoida unei cremaliere, comuna cu cremaliera suprafeței elicoidale a sculei melc (cazul generării roților dințate evolventice, a canelurilor cu flancuri paralele și alte forme de profiluri ne-evolventice, care au ca la baza teoremele fundamentale ale generării: teorema a II-a Oliver, pentru suprafețe în înfășurare cu contact punctiform, și teorema Gohman, prin metoda suprafeței intermediare; metoda descompunerii mișcării elicoidale, Nicolaev.

Principial, teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor presupun cunoașterea în forma analitică a suprafețelor în înfășurare; condițiile de contact între suprafețele conjugate au exprimări analitice care, asociate familiilor de suprafețe generate în mișcările relative între acestea și suprafețele periferice primare ale sculelor, determina forma acestora din urma.

Motive diverse, între care cel impus de cunoașterea prin măsurare directă pe mașini de măsurat 3D a suprafețelor generate, în scopul evaluării erorilor dimensionale a acestora, în vederea realizării unor eventuale corecții de forma a sculelor generatoare, poate impune abordarea problematicii profilării suprafețelor periferice primare a sculei de tip melc în condițiile cunoașterii în forma discretă a suprafeței de generat.

O astfel de problemă de generare necesită un algoritm particular dedicat acestei probleme. Descrierea unei suprafețe, cunoscută numeric, prin polinoame de aproximare Bezier poate constitui o variantă de algoritm pentru profilarea sculei melc, în condițiile în care precizia de generare este satisfăcătoare. Evident, o rezolvare de acest tip este destinată generării vârtejurilor ordonate de suprafețe, în primul rând pentru cele neevolventice pentru care apare întotdeauna necesitatea unei profilări a sculei, profilul acesteia nefiind îndeobște cunoscut.

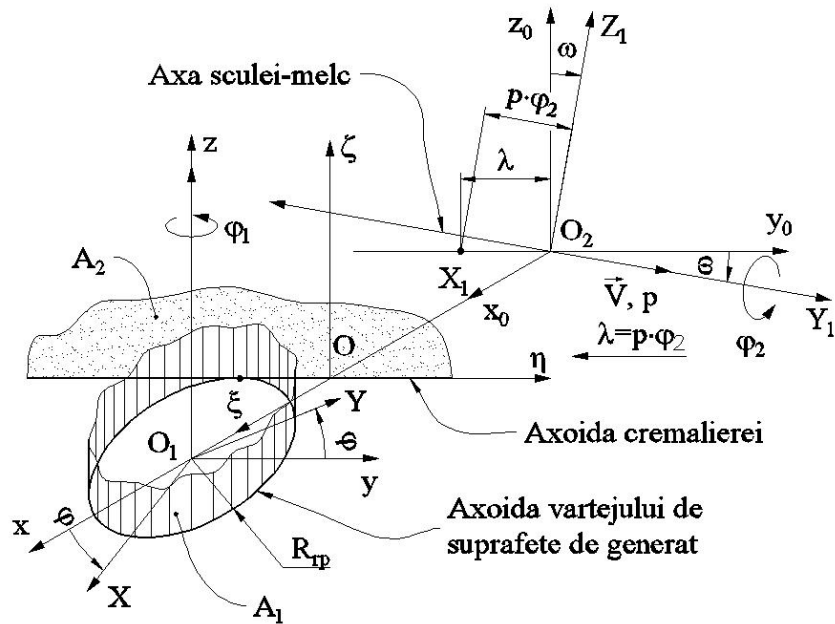


Fig. 7.1. Sisteme de referință. Mișcări de generare

În figura 7.1, este prezentat sistemul de axoide în rulare: axoida vârtejului de suprafețe de generat, axoida cremalierii reciproc înfășurătoare, poziția axei suprafeței periferice primare a sculei-melc, precum și mișcările absolute ale sistemelor de referință asociate acestor axoide.

Se definesc sistemele:

- xyz – este sistemul fix cu axa z , axa de rotație a axoidei asociată vârtejului de suprafețe de generat;
- $x_0y_0z_0$ - sistemul fix, cu axa y_0 suprapusă axei suprafeței periferice primare a sculei melc;
- XYZ - sistemul mobil solidar axoidei vârtejului de suprafețe de generat, $A1$;
- $\xi\eta\zeta$ - sistemul mobil solidar axei cremalierii (suprafața plană suprapusă planului $\eta\zeta$), $A2$;
- $X_1Y_1Z_1$ - sistemul mobil asociat suprafeței periferice primare a sculei-melc.

Este cunoscută cinematica de principiu a procesului de generare:

$$n = \omega_3^T(\varphi_1)X \quad (7.1)$$

- rotația axoidei $A1$ (cilindru de revoluție de rază R_{rp}), solidară cu sistemul XYZ , cu parametrul φ -parametrul unghiular de mișcare;

$$x = \xi + a, a = \begin{pmatrix} -R_{rp} \\ -\lambda \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

- translația axoidei $A2$ (plan paralel cu planul $\eta\zeta$), solidară cu sistemul $\xi\eta\zeta$ și λ parametrul de mișcare;

$$x_0 = \omega_2^T(\varphi_2)X_1 \quad (7.3)$$

- rotația sistemului $X_1Y_1Z_1$ în jurul axei y_0 , cu φ_2 parametrul unghiular de mișcare.

De asemenea, sunt cunoscute condițiile:

$$\lambda = R_{rp} \cdot \varphi_1 \quad (7.4)$$

- condiția de rulare a axoizilor $A1$ și $A2$

$$\lambda = p \cdot \varphi_2 \cdot \cos \omega$$

- dependența dată de forma suprafeței periferice primare a sculei-melc (melc cilindric de pas cunoscut cu p – parametrul elicoidal) și transformarea între sistemele de referință fixe:

$$x_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \kappa & -\sin \kappa \\ 0 & \sin \kappa & \cos \kappa \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \|x\| \\ \|y\| \\ \|z\| \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \|A_{12}\| \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (7.5)$$

- A_{12} distanța dintre axele axoidei A_1 și axa suprafeței elicoidale \bar{V} .

În principiu, vitezele unghiulare cu care se realizează mișcările de rotație sunt mișcări uniforme.

Mișcarea relativă a sistemului solidar axei A_1 , a suprafeței de generat, XYZ , în raport cu sistemul de referință asociat spațiului cremalierii $\xi\eta\zeta$ este dată de transformarea:

$$\xi = \omega_3^T(\varphi_1) \cdot X - a \quad (7.6)$$

cu definiția punctului curent de pe suprafața de generat, ca o suprafață cilindrică cu generatoarele paralele cu direcția $Z(\bar{K})$:

$$\Sigma \begin{cases} X = X(U) \\ Y = Y(U) \\ Z = t \end{cases}, \quad (7.7)$$

pentru u variabilă discretă cunoscută printr-un număr redus de valori (3 sau 4 puncte), ca element al unui profil complex, ce urmează a fi generat prin înfășurare.

Profilul transversal al suprafeței cilindrice (7.7) poate fi un segment de dreaptă, un arc de cerc, arc de evolventă etc.

Parametrul t se măsoară în lungul generatoarei suprafeței cilindrice.

Se analizează problema profilării sculei-melc (determinarea suprafeței periferice primare elicoidale reciproc înfășurătoare unui vârtej de suprafețe cilindrice asociate axoidei A_1 , vezi figura 7.1, apelând la modalitatea de exprimare printr-un număr limitat de puncte a generatoarei suprafeței cilindrice, cinematica generării descrisă de transformarea (7.6) și una dintre teoremele fundamentale sau complementare a generării prin înfășurare.

• Determinarea formei suprafeței cremalierii

Din (7.6) și (7.7), se determină familiile de suprafețe în sistemul de referință al cremalierii, $\xi\eta\zeta$, cu φ parametru variabil

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(u) \\ Y(u) \\ t \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -R_p \\ -R_p \cdot \varphi \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7.8)$$

căreia i se asociază condiția de înfășurare, fie aceasta

$$[X - X(u)]X'_u + [Y - Y(u)]Y'_u = 0 \quad (7.9)$$

unde,

$$\begin{cases} X = R_p \cos \varphi_1; \\ Y = R_p \sin \varphi_1, \end{cases} \quad (7.10)$$

reprezentând „condiția normalelor” [5], [6] (R_p - raza cercului de rulare, raza axoidei cilindrice A_1 căreia îi este asociat vârtejul de suprafețe de generat: $X(u)$ și $Y(u)$ din (7.7), pentru numai 3 sau 4 valori ale parametrului u).

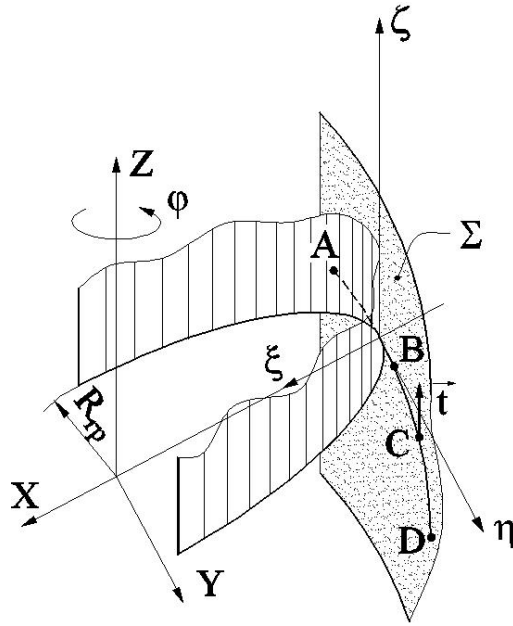


Fig. 7.2. Suprafața Σ a vârtejului de suprafețe de generat, cunoscută prin 4 puncte ale generatoarei: $A[X_A, Y_A]$, $B[X_B, Y_B]$, $C[X_C, Y_C]$, $D[X_D, Y_D]$

Principial, înfășurătoarea familiei de suprafețe descrisă de ecuațiile (7.8) este de forma:

$$S: \begin{cases} \xi = \lambda^3 \cdot A_\xi + 3\lambda^2(1-\lambda) \cdot B_\xi + 3\lambda(1-\lambda)^2 \cdot C_\xi + (1-\lambda)^3 \cdot D_\xi; \\ \eta = \lambda^3 \cdot A_\eta + 3\lambda^2(1-\lambda) \cdot B_\eta + 3\lambda(1-\lambda)^2 \cdot C_\eta + (1-\lambda)^3 \cdot D_\eta. \end{cases} \quad (7.11)$$

Identificarea coeficienților $A_\xi, B_\xi, C_\xi, D_\xi, A_\eta, B_\eta, C_\eta, D_\eta$ este prezentată în tabelul 7.1, pentru o suprafață cilindrică de generat, având curba directoare circulară și, în mod similar, și pentru alte tipuri de generatoare. În lungul directoarei unei asemenea suprafețe se definesc un număr mic de puncte (3 sau 4) prin intermediul cărora se descrie un polinom Bezier, înlocuitor al acestei curbe.

Prin identificarea coeficienților polinomului (7.11) se definește în forma discretă, forma flancului cremalierii reciproc înfășurătoare vârtejului de suprafețe de generat.

Tabelul 7.1. Identificarea coeficienților polinomului Bezier

u	Profilul primar	Conditia de infasurare
0	X_A, Y_A	$\varphi_A = \arccos \left[\frac{X_A \cos \alpha + Y_A \sin \alpha}{Rrp} \right] + \alpha$
1/3 u_{\max}	$X_B = X_A + \frac{1}{3}[X_D - X_A]$ $Y_B = Y_A + \frac{1}{3}[Y_D - Y_A]$	$\varphi_B = \arccos \left[\frac{X_B \cos \alpha + Y_B \sin \alpha}{Rrp} \right] + \alpha$
2/3 u_{\max}	$X_C = X_A + \frac{2}{3}[X_D - X_A]$ $Y_C = Y_A + \frac{2}{3}[Y_D - Y_A]$	$\varphi_C = \arccos \left[\frac{X_C \cos \alpha + Y_C \sin \alpha}{Rrp} \right] + \alpha$
u_{\max}	X_D, Y_D	$\varphi_D = \arccos \left[\frac{X_D \cos \alpha + Y_D \sin \alpha}{Rrp} \right] + \alpha$
λ	Puncte pe profilul cremalierii	Coeficientii polinomului de aproximare
0	$\xi_A = X_A \cos \varphi_A - Y_A \sin \varphi_A + Rrp$ $\eta_A = X_A \sin \varphi_A + Y_A \cos \varphi_A + Rrp \cdot \varphi_A$	$D_\xi = \xi_A$ $D_\eta = \eta_A$
1/3	$\xi_C = X_C \cos \varphi_C - Y_C \sin \varphi_C + Rrp$ $\eta_C = X_C \sin \varphi_C + Y_C \cos \varphi_C + Rrp \cdot \varphi_C$	$B_\xi = \frac{18 \cdot \xi_C - 9 \cdot \xi_D + 2 \cdot \xi_A - 5 \cdot \xi_D}{6}$ $B_\eta = \frac{18 \cdot \eta_C - 9 \cdot \eta_D + 2 \cdot \eta_A - 5 \cdot \eta_D}{6}$
2/3	$\xi_D = X_D \cos \varphi_D - Y_D \sin \varphi_D + Rrp$ $\eta_D = X_D \sin \varphi_D + Y_D \cos \varphi_D + Rrp \cdot \varphi_D$	$C_\xi = \frac{-5 \cdot \xi_A + 2 \cdot \xi_D + 18 \cdot \xi_B - 9 \cdot \xi_C}{6}$ $C_\eta = \frac{-5 \cdot \eta_A + 2 \cdot \eta_D + 18 \cdot \eta_B - 9 \cdot \eta_C}{6}$
1	$\xi_B = X_B \cos \varphi_B - Y_B \sin \varphi_B + Rrp$ $\eta_B = X_B \sin \varphi_B + Y_B \cos \varphi_B + Rrp \cdot \varphi_B$	$A_\xi = \xi_D$ $A_\eta = \eta_D$

- **Profilarea suprafeței periferice primare a sculei-melc**

Cunoscută fiind suprafața flancului cremalierii (în forma aproximată sub forma unui polinom Bezier) se propune determinarea caracteristicii (curba de contact) la contactul acesteia cu viitoarea suprafața periferică primară a sculei melc, prin utilizarea metodei descompunerii mișcării elicoidale [2], vezi figura 7.3.

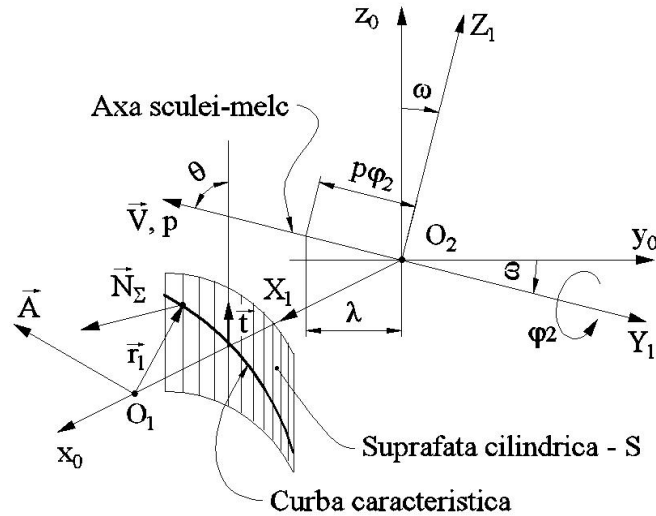


Fig. 7.3. Metoda descompunerii mișcării elicoidale. Sisteme de referință

Se acceptă că mișcarea elicoidală generatoare a suprafeței periferice primare a sculei-melc, (\vec{V}, p) se descompune într-o sumă de mișcări echivalente: mișcare de translație, după direcția \vec{t} a versorului generatoarelor suprafețelor cilindrice – flancul cremalierii – și o mișcare de rotație de axă \vec{A} , paralelă cu \vec{V} și aflată la distanța:

$$a = p \cdot \tan(\theta) \quad (7.12)$$

de axa suprafeței elicoidale \vec{V} , vezi și figura 7.3.

Astfel, caracteristica suprafeței S , în mișcarea compusă: translație în lungul generatoarei \vec{t} și rotație în jurul axei \vec{A} , nu depinde de acea componentă a mișcării în decursul căreia suprafața se autogenerază, fiind îndeplinită identitatea:

$$\vec{N}_S \cdot \vec{t} \equiv 0, \quad (7.13)$$

(normala la suprafața S , suprafața cilindrică, este întotdeauna perpendiculara pe generatoarea proprie), și, deci, condiția pentru determinarea caracteristicii în mișcarea elicoidală \vec{V}, p va depinde numai de mișcarea de rotație în jurul axei \vec{A} .

Ca urmare, caracteristica suprafeței cilindrice S - flancul sculei cremalieră – în mișcarea elicoidală de axă \vec{V} și parametru p , este definită ca fiind proiecția axei \vec{A} pe suprafața S . Aceasta se traduce ca fiind locul geometric al punctelor de pe suprafața cilindrică S pentru care normalele la aceasta intersectează axa \vec{A} .

Se definesc, vezi și figura 7.3:

- axa \vec{A} , în sistemul $x_0 y_0 z_0$

$$\vec{A} = -\cos\omega \vec{j} + \sin\omega \vec{k}, \quad (7.14)$$

- normala la suprafața S , vezi și (7.7) precum și tabelul 7.1, principal, în forma:

$$\vec{N}_S = N_{x_0} \vec{i} + N_{y_0} \vec{j} + N_{z_0} \vec{k}, \quad (7.15)$$

cu $N_{x_0}, N_{y_0}, N_{z_0}$ parametrii directori ai normalei la suprafața S , aproximată printr-un polinom Bezier:

$$\vec{N}_S = \left(\frac{\partial x_0}{\partial \lambda} \vec{i} + \frac{\partial y_0}{\partial \lambda} \vec{j} + \frac{\partial z_0}{\partial \lambda} \vec{k} \right) \times \left(\frac{\partial x_0}{\partial t} \vec{i} + \frac{\partial y_0}{\partial t} \vec{j} + \frac{\partial z_0}{\partial t} \vec{k} \right)$$

vezi și exprimarea (7.18) a suprafeței flancului sculei-cremalieră.

- vectorul
$$\vec{r}_1 = O_1 O \cdot \vec{i} + \vec{r} \quad (7.16)$$

în care \vec{r} este vectorul punctului curent pe suprafața reprezentată în formă discretă.

Din (7.11), rezultă și transformarea de coordonate în sistemul $x_0 y_0 z_0$,

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -R_{rs} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7.17)$$

conducând la forma de exprimare a suprafeței S în sistemul $x_0 y_0 z_0$:

$$\begin{cases} x_0 = A_\xi \lambda^3 + 3\lambda^2(1-\lambda)B_\xi + 3\lambda(1-\lambda)^2 C_\xi + (1-\lambda)^3 D_\xi + R_{rs}; \\ y_0 = A_\eta \lambda^3 + 3\lambda^2(1-\lambda)B_\eta + 3\lambda(1-\lambda)^2 C_\eta + (1-\lambda)^3 D_\eta; \\ z_0 = t, \end{cases} \quad (7.18)$$

cu R_{rs} - raza cilindrului de divizare a sculei-melc (mărime stabilită în baza unor considerente tehnologice).

Mărimea parametrului ω se determina din condiția ca elicea aparținând elicoidului \vec{V}, p aflată pe cilindrul de raza R_{rs} să fie paralelă cu \vec{t} versorul generatoarei flancului cilindric al cremalierii, vezi figura 7.4,

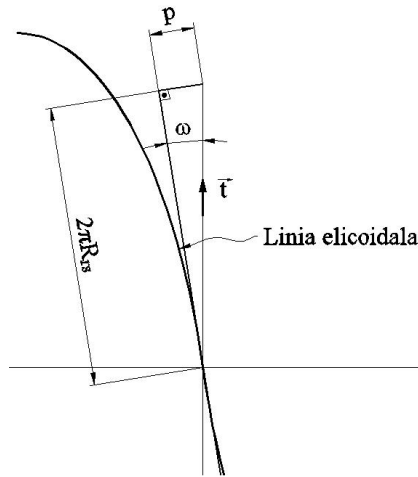


Fig. 7.4. Desfășurata liniei elicoidale, de pe cilindrul de raza R_{rs}

$$\tan \omega = \frac{2\pi \cdot p}{2\pi \cdot R_{rs}} = \frac{p}{R_{rs}} \quad (7.19)$$

cu p - parametrul elicoidal al suprafeței periferice primare a sculei melc.

Astfel, condiția pentru determinarea caracteristicii devine:

$$(\vec{A}, \vec{N}_S, \vec{r}_1) = 0 \quad (7.20)$$

sau, după înlocuiri:

$$\begin{vmatrix} N_{x_0} & N_{y_0} & N_{z_0} \\ x_0(\lambda, t) - a & y_0(\lambda, t) & t \\ 0 & -\cos \omega & \sin \omega \end{vmatrix} = 0, \quad (7.21)$$

Principial, condiția (7.21) reprezintă o legătură între parametrii variabili λ și t de tipul:

$$q(\lambda, t) = 0 \quad (7.22)$$

cu $0 \leq \lambda \leq 1$, vezi și tabelul 7.1.

Ansamblul ecuațiilor (7.18) și (7.22) reprezintă un loc geometric pe suprafața S , vezi și figura 7.3, semnificând caracteristica suprafeței S în mișcarea elicoidală de axă \vec{V} și parametru elicoidal “ p ” – axa și parametrul elicoidului căreia îi aparține suprafața periferică primară a sculei-melc, reciproc înfășurătoare suprafeței Σ , suprafața de generat.

Perechile de valori ale parametrilor λ și t pentru care este satisfăcută condiția (7.22), prin înlocuirea în forma Bezier a flancului cremalierii determină matricea

$$C_S = \begin{pmatrix} X_{O_1} & Y_{O_1} & Z_{O_1} \\ X_{O_2} & Y_{O_2} & Z_{O_2} \\ \dots\dots\dots \\ X_{O_i} & Y_{O_i} & Z_{O_i} \\ \dots\dots\dots \\ X_{O_n} & Y_{O_n} & Z_{O_n} \end{pmatrix}^T \quad (7.23)$$

reprezentând coordonatele curbei caracteristice C_S .

Curba C_S , cunoscută în formă numerică, reprezintă curba de tangență între suprafața S - flancul cremalierii și suprafața periferică primară a sculei elicoidale freza melc generatoare prin înfășurare a profilului Σ .

În mișcare elicoidală de axă \vec{V} și parametru p curba C_S generează suprafața periferică primară a viitoarei scule-melc.

Se propune schimbarea de coordonate, sistemul $X_O Y_O Z_O$, la un sistem având axa Y_1 suprapusă axei sculei-melc, $X_1 Y_1 Z_1$, vezi și figura 7.1.

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix} \quad (7.24)$$

astfel că, în mișcarea elicoidală (\vec{V}, p) a caracteristicii C_S

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_2) & 0 & \sin(\varphi_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi_2) & 0 & \cos(\varphi_2) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{O_i} \\ Y_{O_i} \\ Z_{O_i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ p\varphi_2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7.25)$$

se ajunge la forma de principiu:

$$\Pi \begin{cases} X_1 = X_1 [X_{O_i}, Y_{O_i}, Z_{O_i}, \varphi_2]; \\ Y_1 = Y_1 [X_{O_i}, Y_{O_i}, Z_{O_i}, \varphi_2]; \\ Z_1 = Z_1 [X_{O_i}, Y_{O_i}, Z_{O_i}, \varphi_2]; \end{cases} \quad (7.26)$$

reprezentând ecuațiile suprafeței periferice primare a sculei-melc – suprafața Π .

Asociind suprafeței Π condiția

$$Z_1 = 0, \quad (7.27)$$

se obține secțiunea axială a sculei-melc Π_A , principal, în forma:

$$\Pi_A \begin{cases} X_1 = X_1[X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}, \varphi_2]; \\ Y_1 = Y_1[X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}, \varphi_2]; \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.28)$$

cu variabila φ_{a_i} reprezentând mărimea parametrului φ_2 corespunzător secțiunii axiale, $Z_1 = 0$.

• Linii de contact pe suprafețele în înfășurare

Liniile de contact între două suprafețe în înfășurare se definesc ca fiind locul geometric al punctelor de tangență între acestea (dacă contactul este liniar).

Astfel, între suprafețele:

- flancul vârtejului de suprafețe cilindrice, Σ (7.7)

- flancul sculei-cremalieră, S (7.11)

linia de contact este una dintre generatoarele suprafeței cilindrice: $L_{\Sigma, S}$. De asemenea, între

- flancul sculei-cremalieră, S (7.11)

- flancul suprafeței periferice primare a sculei melc, $\Pi: L_{S, \Pi}$ (această linie de contact este caracteristica C_S

Punctul de intersecție al celor două curbe, $L_{\Sigma, S}$ și $L_{S, \Pi}$, pe suprafața intermediară (flancul cremalierii), este punctul caracteristic al suprafețelor S (suprafața de generat) și Π (suprafața periferică primară a sculei melc).

• Exemple numerice

• *Scula melc pentru arbore poligonal*

Se propune un prim exemplu, ca aplicație a algoritmului prezentat pentru profilarea sculei-melc reciproc înfășurătoare unui arbore poligonal cu secțiunea transversală pătrată, figura 7.5.

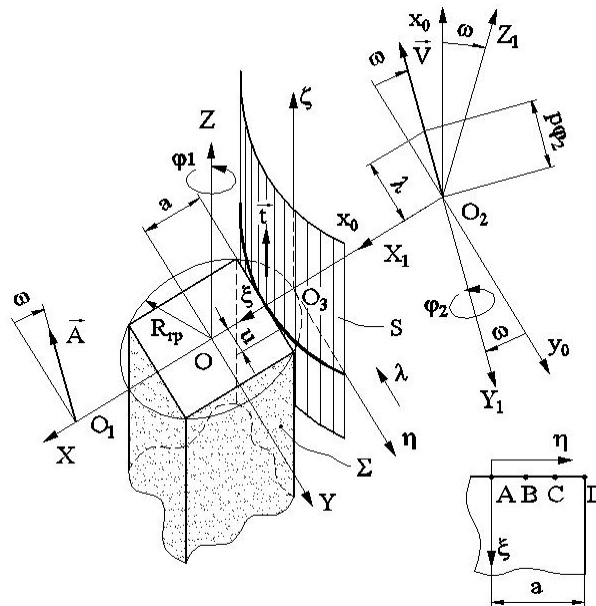


Fig. 7.5. Arbore pătrat. Suprafețele S și Σ (flancul semifabricatului și flancul cremalierii)

Semnificațiile sistemelor de referință se păstrează, vezi 7.5:

- suprafața de generat, suprafața plană Σ , vezi și ecuațiile (7.7):

$$\Sigma: \begin{cases} X = -a; \\ Y = u; \\ Z = t, \end{cases} \quad (7.29)$$

unde a - latura pătratului, u și t variabile.

- se determina familia de suprafețe Σ în sistemul de referință al sculei cremaliera, vezi ecuațiile (7.8):

$$\begin{aligned} \begin{cases} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{cases} &= \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a \\ u \\ t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -R_{r_p} \\ -R_{r_p} \cdot \varphi_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \\ \xi &= -a \cos \varphi_1 - u \sin \varphi_1 + R_{r_p}; \\ \eta &= -a \sin \varphi_1 + u \cos \varphi_1 + R_{r_p} \cdot \varphi_1; \\ \zeta &= t. \end{aligned} \quad (7.30)$$

Se consideră pentru mărimea u patru valori, vezi tabelul 7.2,

Tabelul 7.2. Identificarea coeficienților cremalierii

u		Condiția de înfășurare	Puncte pe profilul cremalierii
0	$X_A = -R_{r_p}$ $Y_A = 0$	$\varphi_{1A} = 0$	$\xi_A = -a + R_{r_p}$ $\eta_A = 0$
$\frac{1}{3}a$	$X_B = -R_{r_p}$ $Y_B = \frac{a}{3}$	$\varphi_{1B} = \arcsin \frac{a}{3R_{r_p}}$	$\xi_B = -a \cos \varphi_{1B} - \frac{a}{3} \sin \varphi_{1B} + R_{r_p}$ $\eta_B = -a \sin \varphi_{1B} + \frac{a}{3} \cos \varphi_{1B} + R_{r_p} \cdot \varphi_{1B}$
$\frac{2}{3}a$	$X_C = -R_{r_p}$ $Y_C = 2\frac{a}{3}$	$\varphi_{1C} = \arcsin \frac{2a}{3R_{r_p}}$	$\xi_C = -a \cos \varphi_{1C} - \frac{2a}{3} \sin \varphi_{1C} + R_{r_p}$ $\eta_C = -a \sin \varphi_{1C} + \frac{2a}{3} \cos \varphi_{1C} + R_{r_p} \cdot \varphi_{1C}$
a	$X_D = -R_{r_p}$ $Y_D = a$	$\varphi_{1D} = \arcsin \frac{a}{R_{r_p}}$	$\xi_D = -a \cos \varphi_{1D} - a \sin \varphi_{1D} + R_{r_p}$ $\eta_D = -a \sin \varphi_{1D} + a \cos \varphi_{1D} + R_{r_p} \cdot \varphi_{1D}$

λ	Identificarea constantelor polinomului
0	$D_\xi = \xi_A$ $D_\eta = 0$
1/3	$B_\xi = 3\xi_C - (3/2)\xi_B + (1/3)\xi_A - (5/6)\xi_D$ $B_\eta = 3\eta_C - (3/2)\eta_B + (1/3)\eta_A - (5/6)\eta_D$
2/3	$C_\xi = -(5/6)\xi_A + (1/3)\xi_D + 3\xi_B - (3/2)\xi_C$ $C_\eta = -(5/6)\eta_A + (1/3)\eta_D + 3\eta_B - (3/2)\eta_C$
1	$A_\xi = \xi_D$ $A_\eta = \eta_D$

În baza produsului soft realizat în limbajul Java se prezintă rezultate numerice pentru un arbore având următoarele caracteristici dimensionale: raza de rulare a piesei 30 mm; latura pătratului 42.42 mm; raza de rulare a sculei 40 mm; pasul circular al piesei 47.12 mm.

În tabelul 7.3, este prezentat profilul axial al sculei melc în două variante: aproximare cu polinoame Bezier și profil teoretic, determinat printr-o metodă analitică riguroasă. Se definește eroarea profilului aproximat cu polinoame Bezier în raport cu profilul teoretic.

În figurile 7.6 și 7.7, sunt prezentate applet-urile programului cu modelarea formei suprafeței periferice primare a sculei melc și, de asemenea, a secțiunii axiale a melcului.

Tabelul 7.3. Profilul axial al sculei melc

λ	Profil cu aproximare Bezier		Profil teoretic		Eroare [mm]
	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	
0,000	48,790	-0,001	48,790	-0,001	0,001
0,050	48,769	1,303	48,780	1,303	0,012
0,100	48,705	2,606	48,722	2,606	0,017
0,150	48,600	3,906	48,618	3,907	0,018
0,200	48,452	5,201	48,468	5,203	0,016
0,250	48,262	6,492	48,273	6,493	0,011
0,300	48,029	7,775	48,035	7,775	0,006
0,333	47,852	8,618	47,855	8,617	0,003
0,350	47,753	9,050	47,754	9,049	0,001
0,400	47,434	10,315	47,431	10,313	0,004
0,450	47,072	11,569	47,065	11,566	0,008
0,500	46,665	12,809	46,657	12,806	0,009
0,550	46,214	14,034	46,205	14,031	0,010
0,600	45,718	15,241	45,711	15,239	0,008
0,650	45,177	16,430	45,172	16,429	0,005
0,666	44,994	16,805	44,991	16,806	0,003
0,700	44,589	17,596	44,589	17,598	0,002
0,750	43,954	18,738	43,958	18,743	0,006
0,800	43,271	19,853	43,279	19,860	0,011
0,850	42,538	20,938	42,549	20,947	0,015
0,900	41,754	21,988	41,766	21,998	0,015
0,950	40,917	22,999	40,925	23,007	0,011
1,000	40,022	23,967	40,041	23,948	0,026

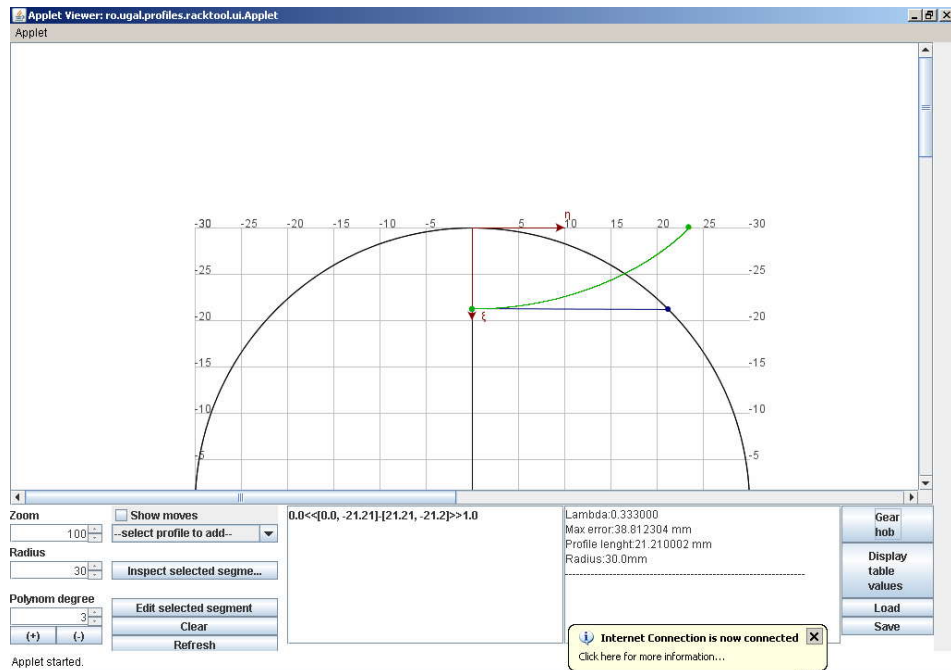


Fig. 7.6. Secțiunea transversală a profilului de generat și secțiunea axială a sculei

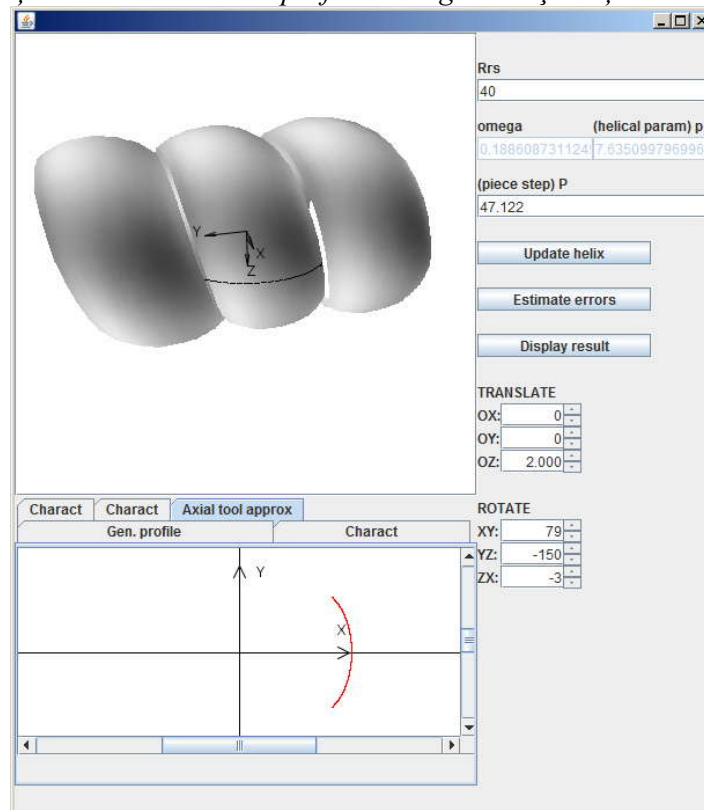


Fig. 7.7. Modelul suprafeței periferice primare a sculei

- **Scula melc pentru roată de lanț (profil compus din arce de cerc)**

În baza produsului soft aplicat succesiv pentru cele două profiluri elementare ale roții de lanț, vezi figura 7.8, se prezintă rezultate numerice piesa având caracteristicile geometrice: (pasul roti) $p_{roata} = 15\text{mm}$; $D_{divizare} = 4.8097 \cdot p_{roata} = 36.0727\text{mm}$; $z=15$ dinți.

Puncte caracteristice pe flancul dintelui: A [-35 ; 0]; B [-36.25 ; 2.16]; C [-40 ; 8.660].

Razele semiprofilurilor circulare: $R_1 = 2.5$ mm; $R_2 = 7.5$ mm.

Caracteristici dimensionale ale frezei melc: $R_{rs} = 40$ mm; $\omega = 0.0597$ rad.; parametrul elicoidal $p = 16.1807$ mm.

Centroida asociată vârtejului de profiluri ale roții de lanț este cercul de rază R_{r_p} .

Ecuțiile profilului - arc de cerc - AB sunt:

$$\Sigma_1 \begin{cases} X = -R_0 + R_1 \cos(\theta) \\ Y = R_1 \sin(\theta) \end{cases} \quad (7.31)$$

$$0 \leq \theta \leq \varepsilon$$

și, de asemenea, pentru arcul CD sunt:

$$\Sigma_2 \begin{cases} X = -R_0 + (R_1 + R_2) \cos \varepsilon - R_2 \sin \left[\frac{\pi}{2} + \psi - \varepsilon \right] \cos(\varepsilon - \psi); \\ Y = (R_1 + R_2) \sin \varepsilon - R_2 \cos \left[\frac{\pi}{2} + \psi - \varepsilon \right] \sin(\varepsilon - \psi); \end{cases} \quad (7.32)$$

$$0 \leq \psi \leq \psi_G.$$

Mărima unghiului ψ_G se determină din condiția de intersecție a profilului Σ_2 cu cercul exterior, de rază R_e .

Familia de profiluri Σ_1 în sistemul cremalierii reciproc înfășurătoarei profilului roții de lanț (vezi figura 7.8)

$$(\Sigma_1)_{\varphi_1} \begin{cases} \xi = [-R_0 + R_1 \cos \theta] \cos \varphi_1 - R_1 \sin \theta \sin \varphi_1 + R_{r_p} \\ \eta = [-R_0 + R_1 \cos \theta] \sin \varphi_1 + R_1 \sin \theta \cos \varphi_1 + R_{r_p} \varphi_1 \\ \zeta = t \end{cases} \quad (7.33)$$

și condiția de înfășurare specifică,

$$\varphi_1 = -\theta + \arcsin \left[\frac{R_0}{R_{r_p}} \sin \theta \right]. \quad (7.34)$$

Ansamblul ecuațiilor (7.31) și (7.33) reprezintă profilul sculei cremalieră, care este aproximat prin polinoame Bezier de gradul 3.

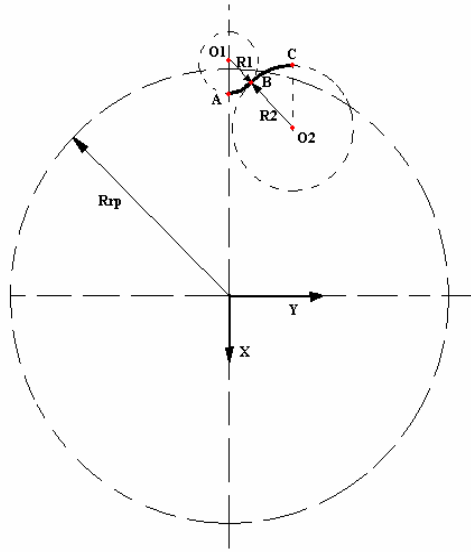


Fig. 7.8. Profilul roții de lanț și puncte caracteristice pe profil

Tabelul 7.4. Profilul axial al sculei corespunzător arcului AB

λ	Profil cu aproximare Bezier		Profil teoretic		Eroare [mm]
	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	
0,000	41,000	-0,000	41,000	-0,000	0,000
0,050	40,996	0,130	40,998	0,130	0,002
0,100	40,986	0,260	40,988	0,260	0,002
0,150	40,968	0,389	40,970	0,390	0,002
0,200	40,944	0,518	40,945	0,518	0,002
0,250	40,912	0,644	40,914	0,644	0,001
0,300	40,874	0,769	40,875	0,769	0,001
0,333	40,845	0,851	40,846	0,850	0,000
0,350	40,830	0,892	40,830	0,892	0,000
0,400	40,778	1,013	40,778	1,012	0,001
0,450	40,720	1,130	40,720	1,129	0,001
0,500	40,656	1,244	40,655	1,244	0,001
0,550	40,586	1,355	40,585	1,355	0,001
0,600	40,510	1,462	40,509	1,462	0,001
0,650	40,427	1,565	40,427	1,565	0,000
0,666	40,400	1,597	40,400	1,597	0,000
0,700	40,339	1,663	40,339	1,664	0,000
0,750	40,246	1,757	40,246	1,758	0,001
0,800	40,147	1,845	40,148	1,846	0,001
0,850	40,043	1,927	40,044	1,928	0,002
0,900	39,934	2,003	39,935	2,005	0,002
0,950	39,821	2,073	39,821	2,074	0,001
1,000	39,703	2,135	39,705	2,134	0,003

Tabelul 7.4. Profilul axial al sculei corespunzător arcului BC

λ	Profil cu aproximare Bezier		Profil teoretic		Eroare [mm]
	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	
0,000	39,691	2,141	39,691	2,141	0,000
0,050	39,368	2,302	39,366	2,297	0,005
0,100	39,050	2,473	39,047	2,467	0,007
0,150	38,739	2,656	38,735	2,650	0,007
0,200	38,434	2,851	38,431	2,846	0,005
0,250	38,136	3,059	38,135	3,056	0,003
0,300	37,848	3,279	37,848	3,278	0,001
0,333	37,662	3,431	37,663	3,431	0,001
0,350	37,569	3,512	37,570	3,512	0,001
0,400	37,300	3,757	37,301	3,758	0,002
0,450	37,041	4,014	37,044	4,016	0,003
0,500	36,795	4,283	36,797	4,285	0,003
0,550	36,561	4,564	36,562	4,565	0,002
0,600	36,339	4,856	36,340	4,857	0,002
0,650	36,132	5,157	36,132	5,158	0,000
0,666	36,068	5,256	36,068	5,256	0,000
0,700	35,938	5,469	35,937	5,469	0,001
0,750	35,759	5,790	35,757	5,789	0,002
0,800	35,595	6,119	35,593	6,118	0,003
0,850	35,447	6,456	35,444	6,455	0,003
0,900	35,315	6,799	35,312	6,799	0,003
0,950	35,200	7,149	35,198	7,149	0,002
1,000	35,101	7,505	35,103	7,498	0,007

În figura 7.8, este prezentat applet-ul programului cu modelarea formei suprafeței periferice primare a cremalierii reciproc înfășurătoare roții de lanț, iar în figura 7.9 este prezentat applet-ul cu modelarea formei suprafeței periferice primare a sculei melc, precum și secțiunea axială a acesteia.

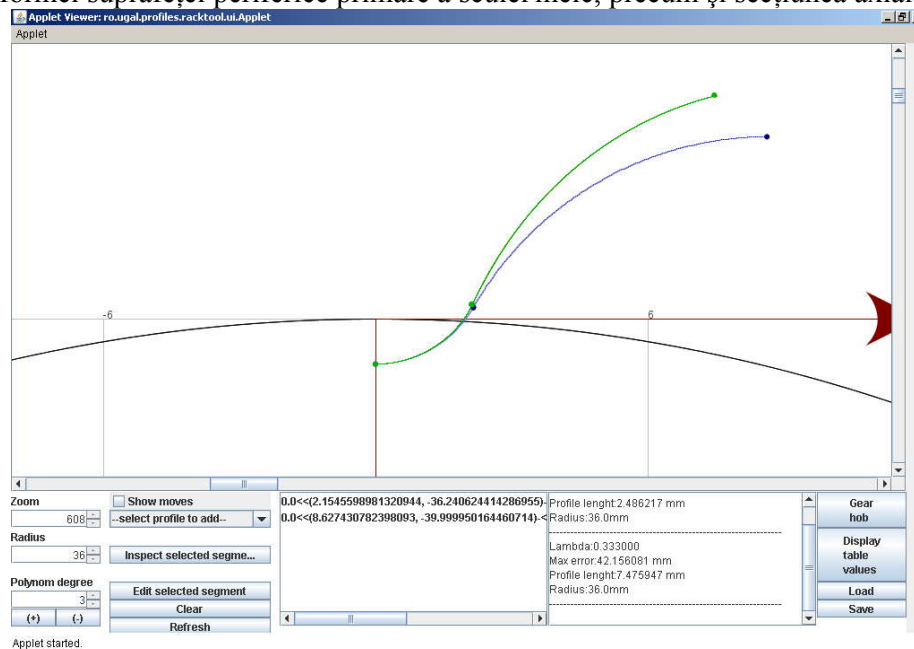


Fig. 7.8. Secțiunea transversală a profilului de generat și secțiunea axială a sculei

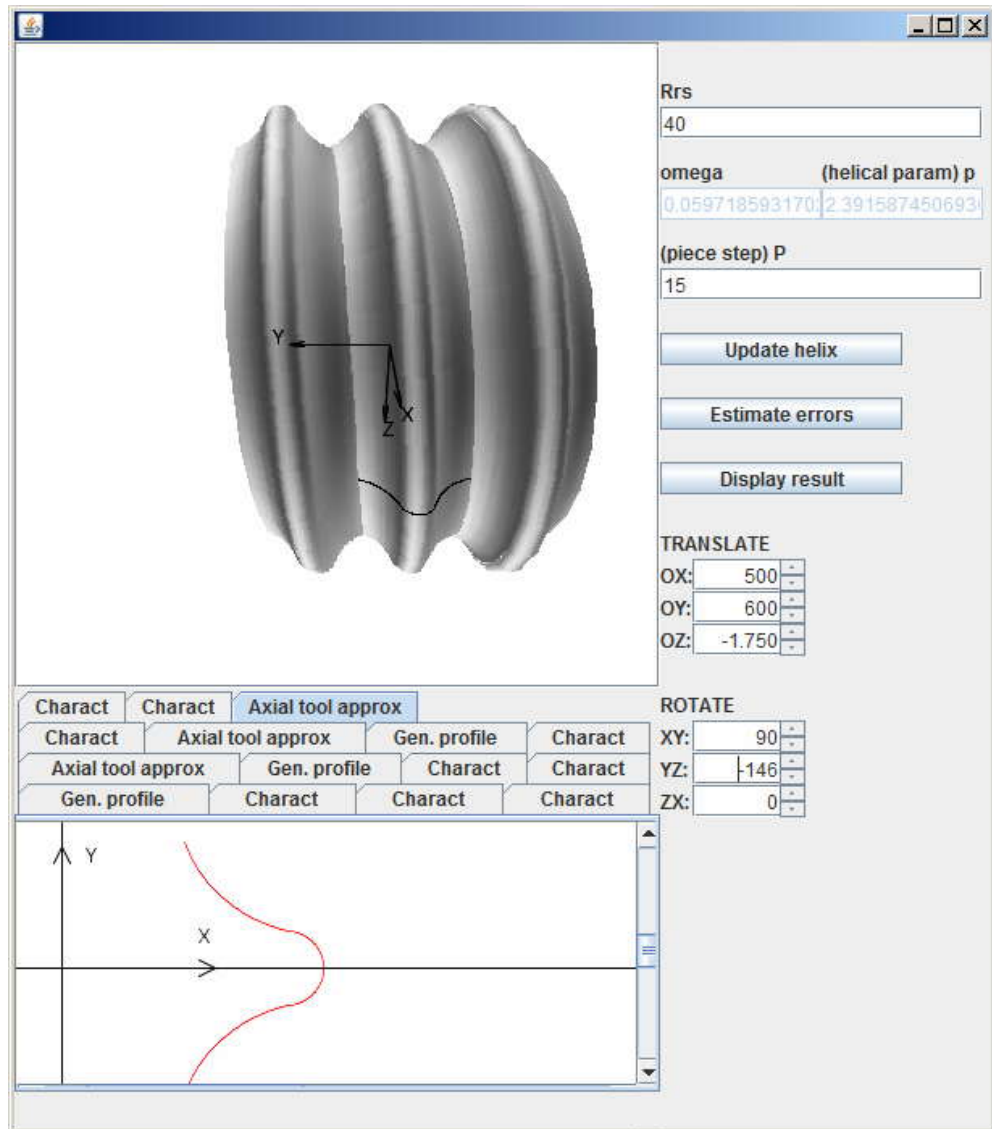


Fig. 7.9. Modelul suprafeței periferice primare a sculei

- **Profil compozit, rotor de compresor elicoidal**

Se analizează profilarea sculei melc pentru un profil compozit reprezentând secțiunea transversală a unui melc cilindric de pas constant, melc aparținând unui rotor de compresor elicoidal. Profilul axial al melcului are următoarele porțiuni de profil.

- AB – arc de cerc de rază R_0 ;
- BC – segment de dreaptă;
- CD – arc de cerc de rază r_0 ;
- AH – curbă polinomială Bezier;
- HG – curbă polinomială Bezier;
- GF – segment de dreaptă;
- FE – arc de cerc de rază R_0 ;

Profilurile elementare consecutive sunt tangente în punctele lor de contact, vezi figura 7.10.

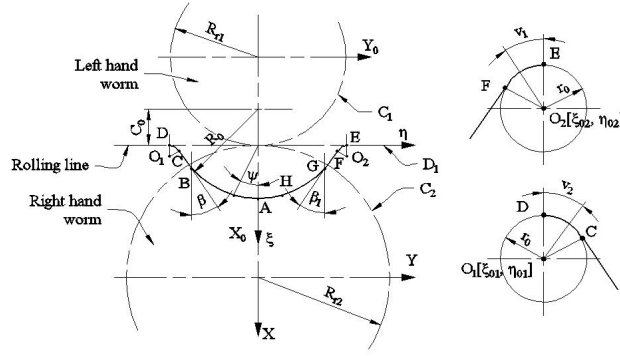


Fig. 7.10 . Profilul transversal al melcului

Se definesc ecuațiile parametriche ale profilurilor elementare ale cremalierii reciproc înfășurătoare melcului considerat:

- suprafața cilindrică corespunzătoare arcului AB :

$$S_{AB} \begin{cases} \xi = R_0 \cos \psi - C_0; \\ \eta = -R_0 \sin \psi + t \sin \beta_d \\ \zeta = t \cos \beta_d. \end{cases} \quad (7.35)$$

C_0 - este constantă, t și ψ parametri variabili;

$$0 \leq \psi \leq \psi_{\max}; \psi_{\max} = \frac{\pi}{2} - \beta; \quad (7.36)$$

- suprafață plană BC :

$$S_{BC} \begin{cases} \xi = \xi_B - u \cos \beta; \\ \eta = \eta_B + u \sin \beta + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cos \beta_d, \end{cases} \quad (7.37)$$

t, u - parametri variabili, $\beta = \frac{\pi}{2} - \psi_{\max}$; ξ_B, η_B - sunt determinați din ecuația (7.35) când $\psi = \psi_{\max}$

- suprafață cilindrică corespunzătoare arcului CD

$$S_{CD} \begin{cases} \xi = \xi_{O_1} - r_0 \cos v; \\ \eta = \eta_{O_1} + r_0 \sin v + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cos \beta_d, \end{cases} \quad (7.38)$$

t și v parametri variabili; ξ_{O_1}, η_{O_1} - coordonatele centrului cercului fiind valori constructive,

$$0 \leq v \leq \frac{\pi}{2} - \beta; \quad (7.39)$$

- suprafețe cilindrice corespunzătoare arcelor AH și HG (pentru AH se consideră un polinom Bezier de gradul 2)

$$S_{AH} \begin{cases} \xi = P_{\xi_{AH}} = \lambda_1^2 A_{\xi} + 2(1-\lambda_1)\lambda_1 B_{\xi} + (1-\lambda_1)^2 C_{\xi}; \\ \eta = P_{\eta_{AH}} = \lambda_1^2 A_{\eta} + 2(1-\lambda_1)\lambda_1 B_{\eta} + (1-\lambda_1)^2 C_{\eta} + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cos \beta_d. \end{cases} \quad (7.40)$$

cu $0 \leq \lambda_1 \leq 1$, și similar pentru HG ,

$$S_{HG} \begin{cases} \xi = P_{\xi_{HG}} = \lambda_2^2 D_\xi + 2(1-\lambda_2)\lambda_2 E_\xi + (1-\lambda_2)^2 F_\xi; \\ \eta = P_{\eta_{HG}} = \lambda_2^2 D_\eta + 2(1-\lambda_2)\lambda_2 E_\eta + (1-\lambda_2)^2 F_\eta + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cos \beta_d, \end{cases} \quad (7.41)$$

cu $0 \leq \lambda_2 \leq 1$.

Coefficienții polinoamelor din ecuațiile (7.40) și (7.41) se deduc din condițiile:

- punct comun în - A , și condiții de tangență între S_{AB} și S_{AH} ;
- punct comun în - G , și condiții de tangență între S_{FG} și S_{HG} ;
- punct comun în - H , și condiții de tangență între S_{AH} și S_{HG} ;
- suprafața plană pe porțiunea EF :

$$S_{EF} \begin{cases} \xi(u_1) = \xi_F + u_1 \cos \beta_1; \\ \eta(u_1) = \eta_F - u_1 \sin \beta_1 + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cdot \cos \beta_d, \end{cases} \quad (7.42)$$

cu $0 \leq u_1 \leq u_{1_{\max}}$, și β_1 parametri constructivi;

- suprafața cilindrică pe porțiunea CD :

$$S_{CD} \begin{cases} \xi = \xi_{O_2} - r_0 \cos v_1; \\ \eta = [L_p - \eta_{O_2}] + r_0 \sin v_1 + t \sin \beta_d; \\ \zeta = t \cos \beta_d, \end{cases} \quad (7.43)$$

cu ξ_{O_2}, η_{O_2} - coordonatele centrului cercului și L_p lungimea profilului cremalierii în direcția axei de translație.

În figura 7.11, se prezintă sistemele de referință solidare cu cremaliera reciproc înfășurătoare melcului de compresor, precum și poziția axei viitoare a sculei melc, vezi și figura 7.1.

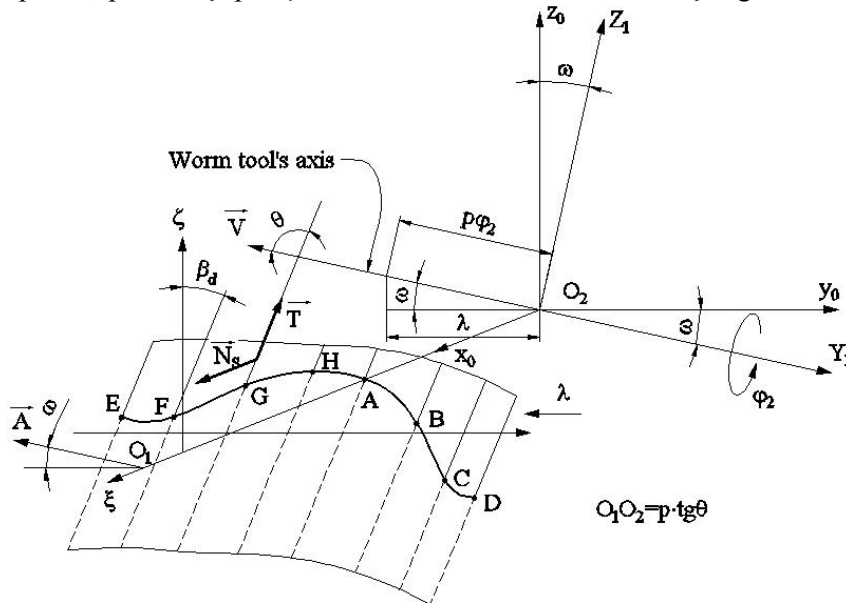


Fig. 7.11. Descompunerea mișcării elicoidale

Se definesc:

$$\omega = \beta_d \pm \omega_s, \tan \omega_s = \frac{p}{R_s} \quad (7.44)$$

precum și normalele la suprafața cilindrică a cremalierii, vezi tabelul 7.5.

Tabelul 7.5. Vectorii normală la suprafață

Zona	Vectorul normală
S_{AB}	$\vec{N}_{S_{AB}} = (-\cos\psi\vec{i} + \sin\psi\vec{j})\cos\beta_d - \sin\psi\sin\beta_d\vec{k}$
S_{BC}	$\vec{N}_{S_{BC}} = (\sin\beta\vec{i} + \cos\beta\vec{j})\cos\beta_d - \cos\beta\sin\beta_d\vec{k}$
S_{CD}	$\vec{N}_{S_{CD}} = (\cos v\vec{i} - \sin v\vec{j})\cos\beta_d + \sin v\sin\beta_d\vec{k}$
S_{AH}	$\vec{N}_{S_{AH}} = \left(\frac{\partial\eta}{\partial\lambda_1}\vec{i} - \frac{\partial\xi}{\partial\lambda_1}\vec{j}\right)\cos\beta_d + \frac{\partial\xi}{\partial\lambda_1}\sin\beta_d\vec{k}$
S_{HG}	$\vec{N}_{S_{HG}} = \left(\frac{\partial\eta}{\partial\lambda_2}\vec{i} - \frac{\partial\xi}{\partial\lambda_2}\vec{j}\right)\cos\beta_d + \frac{\partial\xi}{\partial\lambda_2}\sin\beta_d\vec{k}$
S_{FG}	$\vec{N}_{S_{FG}} = (-\sin\beta_1\vec{i} - \cos\beta_1\vec{j})\cos\beta_d + \cos\beta_1\sin\beta_d\vec{k}$
S_{EF}	$\vec{N}_{S_{EF}} = (\cos v_1\vec{i} - \sin v_1\vec{j})\cos\beta_d + \sin v_1\sin\beta_d\vec{k}$

Se poate scrie acum, pentru fiecare porțiune, condiția de înfășurare, de tipul

$$\begin{vmatrix} N_{X_0} & N_{Y_0} & N_{Z_0} \\ X_0 - a & Y_0 & Z_0 \\ 0 & -\cos\omega & \sin\omega \end{vmatrix} = 0 \quad (7.45)$$

cu X_0, Y_0, Z_0 ecuațiile flancului profilului, vezi ecuațiile (7.35)...(7.43).

- **Rezultate numerice**

Pentru un melc având caracteristicile: $A_2 = 80\text{mm}$; $r_0 = 1.1\text{mm}$; $R_0 = 22\text{mm}$ și punctele de control D [-25.267; -52.000]; C [-24.282; -51.357]; B [-19.671;-42.149]; A [6.938; -30.000]; G [20.671; -45.957]; E [24.057; -51.444]; F [24.998; -52.000], se definesc, în conformitate cu algoritmul anterior prezentat, coordonatele profilului axial al sculei melc, vezi tabelul 7.6.

Table 7.6. Secțiunea axială a suprafeței periferice primare a sculei melc

Nr. crt	X[mm]	Y[mm]
1	46.000	-25.590
2	46.001	-25.587
3	46.001	-25.583
4	46.002	-25.579
5	46.002	-25.570
6	46.003	-25.562
7	46.003	-25.554
8	46.004	-25.551
9	46.004	-25.548
10	46.005	-25.542
11	46.006	-25.533
12	46.006	-25.524
13	46.007	-25.519
14	46.008	-25.515
15	46.008	-25.512
16	46.009	-25.505

17	46.010	-25.497
18	46.010	-25.489
19	46.011	-25.484
...
350	66.817	9.018
351	66.761	9.184
352	66.704	9.349
353	66.648	9.514
354	66.586	9.678
355	66.525	9.841
356	66.460	10.004
357	66.395	10.166
358	66.327	10.327
359	66.259	10.488
360	66.187	10.647
361	66.115	10.806
362	66.040	10.962
363	65.962	11.118
364	65.884	11.274
365	65.803	11.429
366	65.721	11.583
367	65.637	11.735
368	65.549	11.885
369	65.461	12.036
370	65.370	12.185
...
681	46.027	25.113
682	46.025	25.121
683	46.022	25.138
684	46.019	25.155
685	46.016	25.172
686	46.015	25.182
687	46.014	25.189
688	46.013	25.196
689	46.013	25.202
690	46.012	25.204
691	46.011	25.208
692	46.009	25.225
693	46.007	25.243
694	46.005	25.260
695	46.003	25.277
696	46.002	25.291
697	46.002	25.298
698	46.001	25.306
699	46.001	25.312
700	46.000	25.315
701	46.000	25.318

În figura 7.12, se prezintă applet-ul, realizat în limbajul Java, dedicat prezentului exemplu.

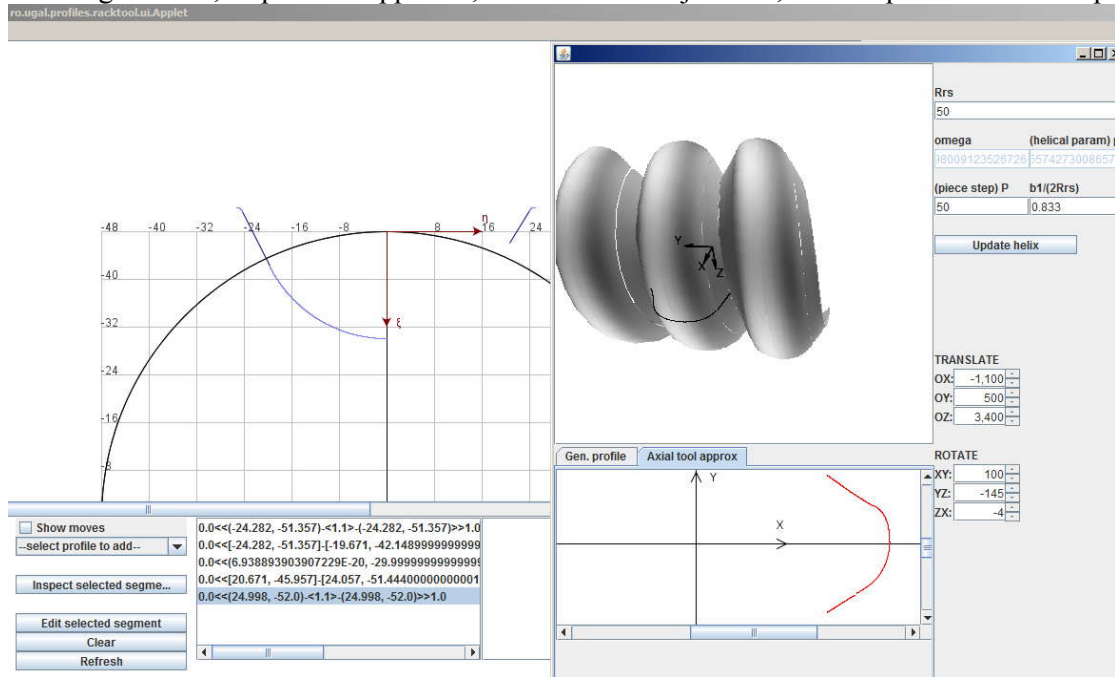


Fig. 7.12. Applet - secțiunea axială a suprafeței periferice primare a sculei melc

Bibliografie

- [1] Ball, R.S., *A Treatise on the Theory of Screws*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990;
- [2] Lukshin, V.S., *Theory of Screw Surfaces in Cutting Tool Design*, Mashinstroyeniye, Moscow, 1968;
- [3] Radzevich, S.P., *Kinematic Geometry of Surface Machining*, CRC Press, London, ISBN 978-1-4200-6340-0, 2008;
- [4] Litvin, F.C. *Theory of Gearing*, Reference Publication, 1212, NASA, Scientific and Technical Information Division, Washington, D.C, 1989;
- [5] Oancea, N., *Surface generation through Winding*, Galați, 2004, ISBN 973-627-206-4;
- [6] Teodor, V., Dima, M., Oancea, N., *Profilarea sculelor prin metode analitice*, Galați, 2005, ISBN 973-627-333-4.

7.2. Elaborarea de produse soft (Produs soft pentru profilarea suprafețelor periferice primare ale sculelor generatoare prin înfășurare cu contact punctiform – freza melc)

- Profilarea frezei melc (pentru generarea prin înfășurare cu contact punctiform)
- Introducerea profilului piesei

Aplicația permite configurarea profilului piesei de generat, ca profil compus al mai multor profiluri elementare (segment de dreaptă, arc de cerc, arc de evolventa, arc de epicycloida, profiluri cunoscute discret). Condiția de tangenta între profilurile componente ale profilului piesei trebuie rezolvată apriori de către utilizator. De asemenea, se pot introduce profiluri elementare care prezintă discontinuități, de contact sau tangență, în scopul modelării discontinuităților ce rezulta pe profilul frezei melc.

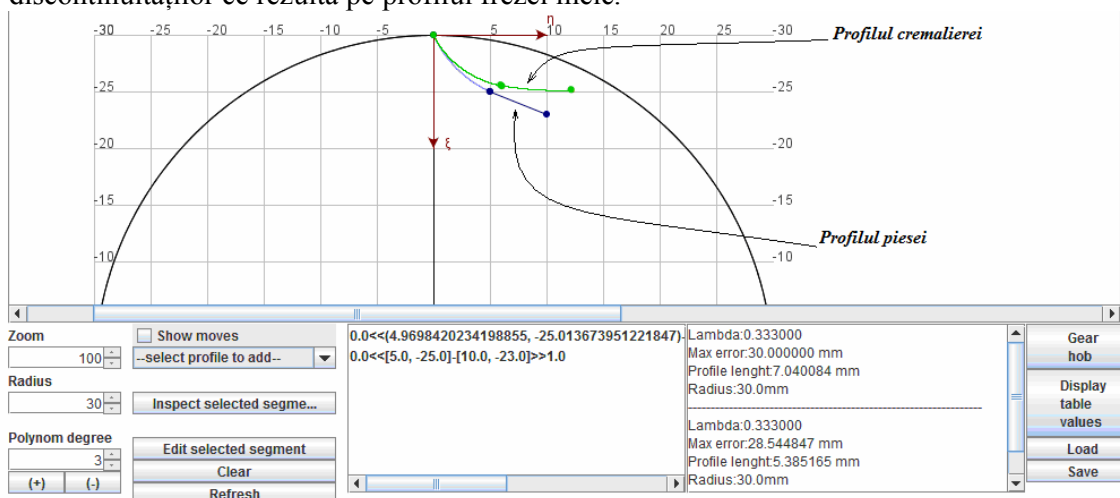


Fig. 7.13. Applet Java – fereastra de configurare a profilurilor piesei și a cremalierii reciproc înfășurătoare

Din bara de unelte „select profile to add” se poate alege tipul de profil elementar adăugat la profilul piesei, parametrii acestuia fiind introduși într-o fereastră asemănătoare cu cea din fig 7.14. În cazul segmentelor de dreaptă utilizatorul precizează coordonatele capetelor acestuia. În cazul arcelor de cerc, utilizatorul precizează coordonatele capetelor arcului și mărimea raza cercului din care face parte (raza fiind „pozitivă” sau „negativă”, pentru a putea controla concavitatea / convexitatea arcului de cerc); în cazul arcului de evolventa, utilizatorul precizează punctul inițial al arcului de evolventa, mărimea razelor de bază, interioara și exteriora între care este trasat arcul de evolventa; de asemenea, se poate controla sensul în care este trasat arcul de evolventa – trigonometric / invers trigonometric). În cazul arcului de epicycloidă, utilizatorul introduce coordonatele punctului inițial al arcului, mărimea razelor cercului mobil (ruleta) și a cercului fix (baza) precum și mărimea unghiului de rulare.

Nu în ultimul rând, aplicația permite introducerea de profiluri discrete prin fișiere (CSV) de coordonate, approximate ulterior în mod automat de către program sub forma unor polinoame Bezier al căror grad poate fi ales din bara de instrumente.

Utilizatorul poate edita parametrii unui profil deja adăugat, sau inspecta (extrage coordonatele punctelor de pe) un profil existent în program.

Se pot modifica mărimea razei semifabricatului sau gradul polinomului de aproximare folosit pentru aproximarea profilurilor elementare.

Se permite, de asemenea, salvarea și încărcarea coordonatelor profilurilor compuse în / din fișiere.

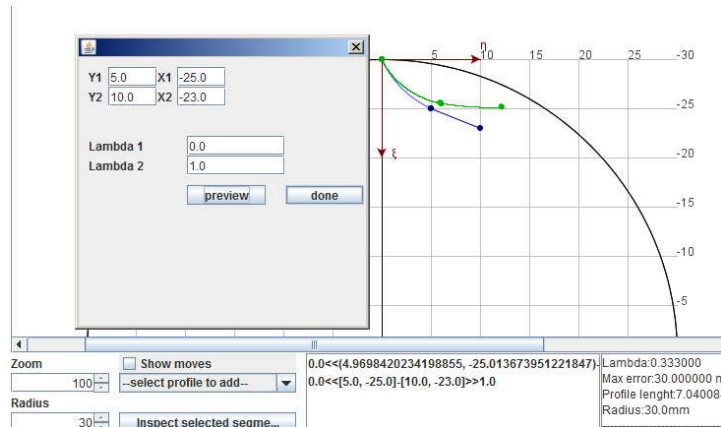


Fig. 7.14. Applet – fereastra configurare profil elementar segment de dreaptă

- **Profilarea sculei melc**

Prin activarea butonului „Gear hob” este încărcată fereastra din fig. 7.15 care permite vizualizarea suprafeței elicoidale(periferică primară) a frezei melc, precum și trasarea curbei caracteristice și determinarea erorii de aproximare între secțiunea axială a frezei melc modelată utilizând una din teoremele fundamentale ale înfășurării (profil teoretic) și cea obținută prin aproximări cu polinoame Bezier.

Se pot alege atât mărimea razei cilindrului de divizare al frezei melc precum și pasul frezei melc in corelație cu pasul circular al piesei.

Reprezentarea grafică din program permite translația și rotirea modelului 3D al sculei melc, pentru asigurarea vizualizării dorite.

Coordonatele profilurilor generator (profilul cremalierii asociate), al curbei caracteristice și al secțiunii axiale a suprafeței periferice primare a frezei melc pot fi exportate sub formă de fișiere CSV (comma separated values).

Unghiul omega (unghiul de înclinare al axei sculei melc) precum și parametrul elicoidal, sunt mărimi calculate automat de sistem.

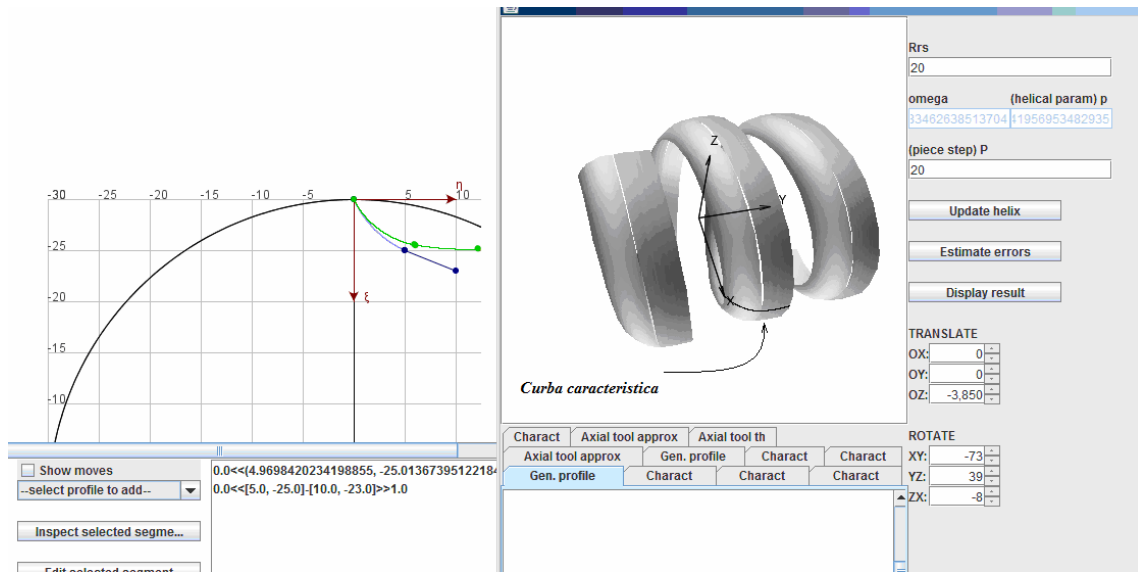


Fig. 7.15. Aplicație– fereastra de generare a suprafeței periferice primare a sculei melc

- **Profilarea suprafeței periferice primare a sculei melc având ca bază profilul cremalierii asociate**

Într-o manieră asemănătoare celei indicate mai sus, se introduc coordonatele profilului cremalierii generatoare. Totuși, spre deosebire de cazul precedent, programul permite ca discontinuitățile de pe suprafața cremalierii (profilul transversal al acesteia) (vezi fig. 7.16) să fie înlocuite prin două polinoame Bezier (vezi fig. 7.17), ale căror coeficienți sunt calculați automat de aplicație astfel încât să se asigure continuitatea profilului cremalierii, la nivelul speței I și II de continuitate.

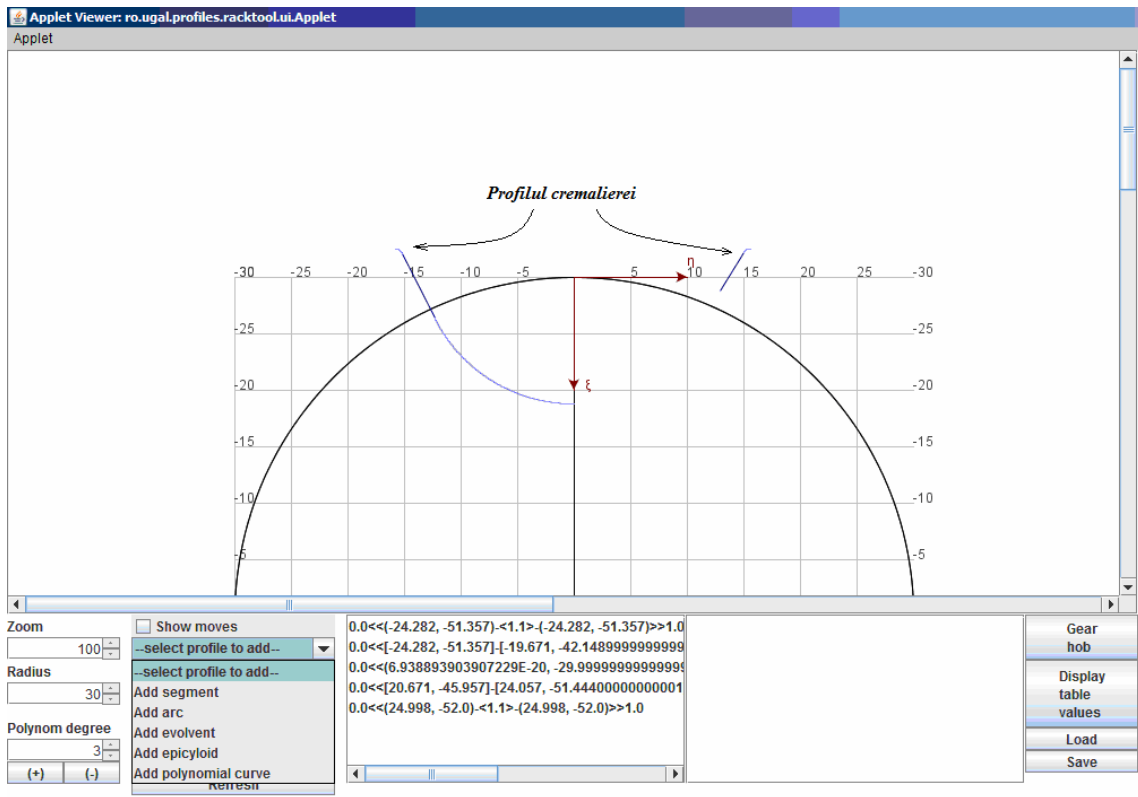


Fig. 7.16. Applet –configurarea profilului cremalierii

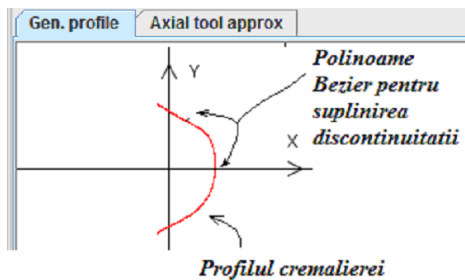


Fig. 7.17. Captura ecran – profilul cremalierii după suplinirea discontinuității prin polinoame Bezier

În applet, se prezintă modelele suprafețelor periferice primare ale sculelor melc pentru generarea melcului condus (fig. 7.18) respective conducător (fig. 7.19) din construcția compresorului elicoidal. Programul permite exportul coordonatelor profilurilor secțiunilor axiale ale sculelor melc în fișiere de tip CSV (comma separated values) care pot fi ulterior prelucrate în vederea comandării unei mașini cu comanda numerică pentru realizarea și controlul sculelor melc. De asemenea, pe modelele suprafețelor periferice ale sculelor melc sunt trasate curbele caracteristice (curba de contact între flancurile cremalierii și suprafața periferică primară a sculei melc), ale căror coordonate pot fi în același mod exportate sub forma de fișiere. Cunoașterea curbei caracteristice permite evidențierea continuității (de ambele spețe) ale profilurilor axiale ale suprafețelor periferice primare ale sculelor melc.

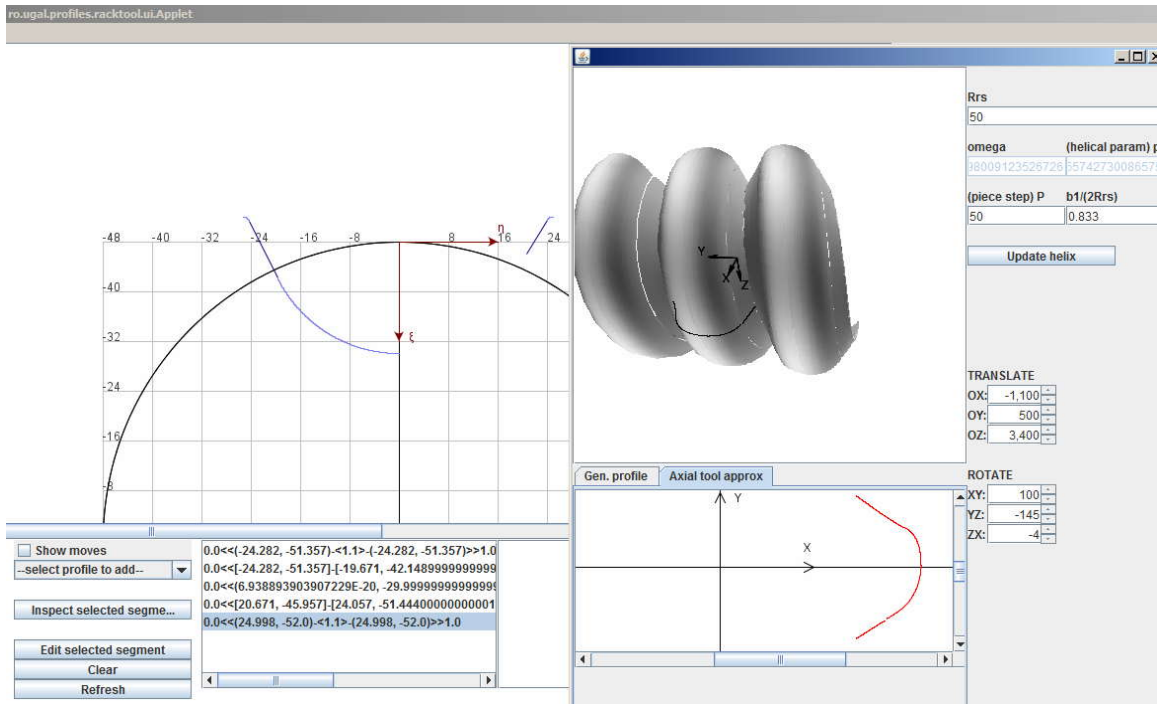


Fig 7.18. Applet - profilarea suprafeței periferice primare a sculei melc pentru generarea melcului condus

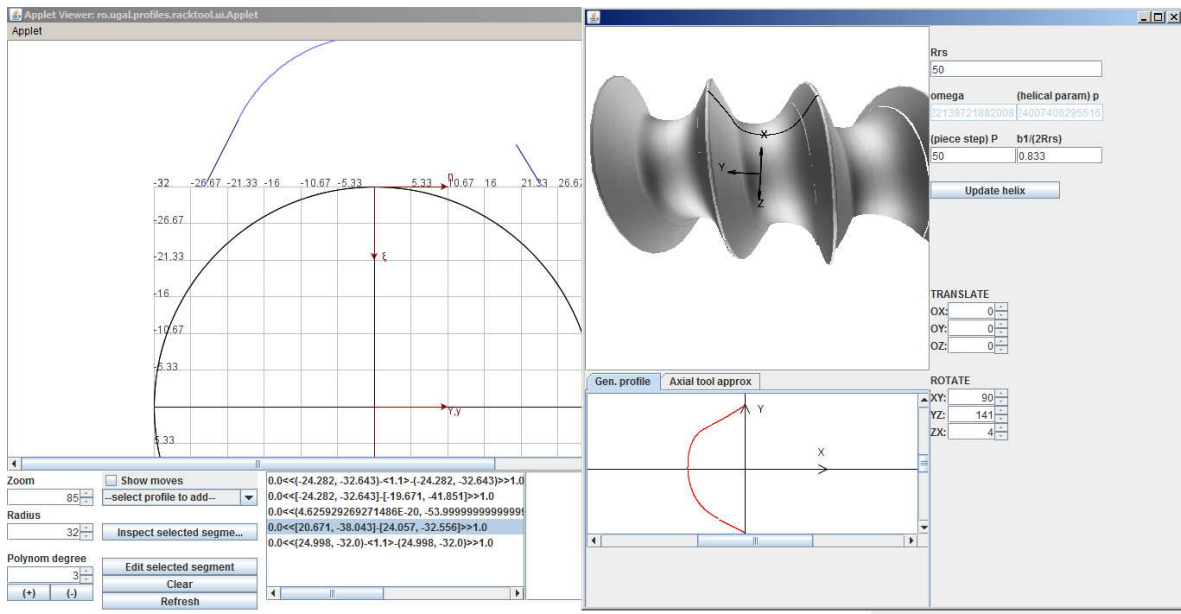


Fig. 7.19. Applet - profilarea suprafeței periferice primare a sculei melc pentru generarea melcului conducător

- Algoritm pentru modelarea de corecție a suprafeței periferice primare a sculei-melc

În conformitate cu principiul enunțat, vezi Obiectivul 6, al realizării unei noi ținte (suprafață fictivă) de generat, se imaginează un algoritm pentru profilarea de corecție a formei suprafeței

periferice primare a sculei-melc, pentru generarea prin înfășurare, prin metoda rulării a unui vârtej ordonat de profiluri asociat unei centroide (de regulă, de forma circulară)

Noua țintă (generatoarea fictivă)

Pentru situația în care profilul efectiv generat G_E nu coincide cu profilul teoretic G_T (practic, nu se află în câmpul de toleranță acceptat al acestuia) se imaginează o modalitate de corecție a sculei generatoare (scula-melc) prin acceptarea unei noi ținte a generării – profilul fictiv, G_F , vezi figura 7.20.

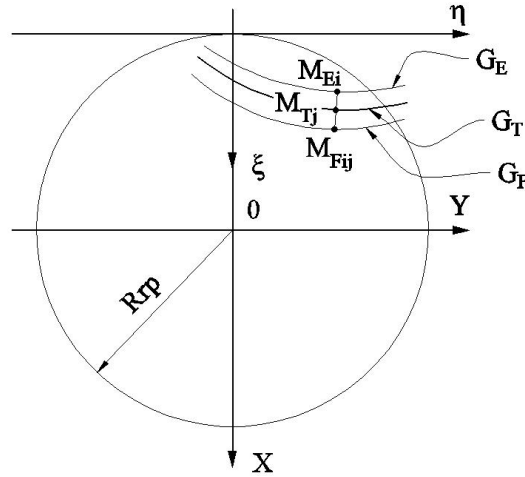


Fig. 7.20. Profilurile efectiv, teoretic și fictiv ale piesei

Profilul efectiv (măsurat) al piesei este cunoscut printr-o matrice de coordonate

$$G_E = \begin{pmatrix} X_{Ei} \\ Y_{Ei} \end{pmatrix}^T; \quad (i = 1 \dots n), \quad (7.46)$$

cu n finit.

Pornind de la aceste coordonate, se calculează o nouă țintă a generării, *generatoarea fictivă* G_F , ca „oglină” a generatoarei efective G_E , față de generatoarea teoretică, G_T . Astfel, pentru punctul M_{Ei} al generatoarei efective se determină distanța minimă față de generatoarea teoretică

$$G_{Tj} = \begin{pmatrix} X_{Tj} \\ Y_{Tj} \end{pmatrix}^T; \quad (j = 1 \dots m), \quad (7.47)$$

ca fiind

$$\delta_{ij} = \left(\sqrt{(X_{Tj} - X_{Ei})^2 + (Y_{Tj} - Y_{Ei})^2} \right)_{\min}; \quad (i = 1 \dots n; j = 1 \dots m). \quad (7.48)$$

În baza acestei distanțe, se calculează o nouă țintă, generatoarea fictivă, G_{Fij} , cu relațiile:

$$\begin{aligned} X_{Fij} &= X_{Tj} + \delta(1+k)l; \\ Y_{Fij} &= Y_{Tj} + \delta(1+k)m. \end{aligned} \quad (7.49)$$

cu

$$l = \frac{X_{Tj} - X_{Ei}}{\delta}; \quad m = \frac{Y_{Tj} - Y_{Ei}}{\delta}, \quad (7.50)$$

și k factor de amplificare.

Se obține, astfel, o nouă generatoare țintă, profilul fictiv al generatoarei G_F , în raport cu care se reprofilează suprafața periferică primară a sculei-melc.

Notă: O astfel de corecție este realmente posibilă pentru sculele melc abrazive ale căror profile pot fi corectate cu o mai mare ușurință.

În figura 7.21, se prezintă cazul profilării sculei melc pentru generarea unui arbore poligonal cu secțiune pătrată.

Se propune un model al generatoarei fictive, vezi tabelul 7.7, în baza căruia se determină modelul generatoarei fictive, ca bază pentru profilarea corectivă a suprafeței periferice primare a sculei melc.

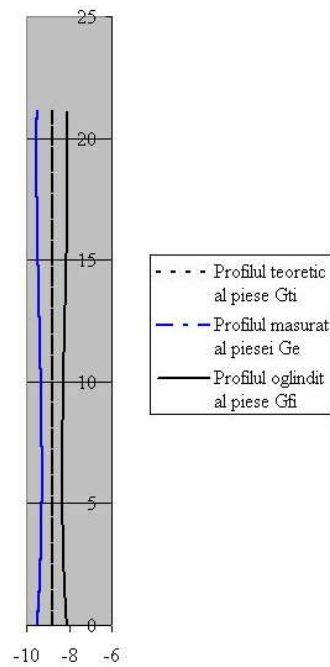


Fig. 7.21.

Tabelul 7.7. Profilurile teoretic, fictiv și efectiv ale piesei (arbore pătrat cu semilatura $a=21.21$ mm, $Rrp=30$ mm)

Profilul teoretic		Profilul efectiv		Profilul fictiv	
X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]
-8.790	0.000	-9.480	0.000	-8.100	0.000
-8.790	0.214	-9.464	0.213	-8.116	0.213
-8.790	0.428	-9.449	0.425	-8.131	0.425
-8.790	0.643	-9.435	0.638	-8.145	0.638
-8.790	0.857	-9.422	0.851	-8.158	0.851
-8.790	1.071	-9.409	1.064	-8.171	1.064
-8.790	1.285	-9.396	1.277	-8.184	1.277
-8.790	1.500	-9.385	1.490	-8.195	1.490
-8.790	1.714	-9.374	1.703	-8.206	1.703
-8.790	1.928	-9.363	1.916	-8.216	1.916
-8.790	2.142	-9.354	2.129	-8.226	2.129
-8.790	2.357	-9.344	2.342	-8.235	2.342
-8.790	2.571	-9.336	2.555	-8.244	2.555
-8.790	2.785	-9.328	2.768	-8.252	2.768
-8.790	2.999	-9.320	2.981	-8.259	2.981
-8.790	3.214	-9.314	3.194	-8.266	3.194
-8.790	3.428	-9.307	3.407	-8.273	3.407
-8.790	3.642	-9.301	3.621	-8.278	3.621
-8.790	3.856	-9.296	3.834	-8.284	3.834
-8.790	4.071	-9.291	4.047	-8.288	4.047
-8.790	4.285	-9.287	4.260	-8.293	4.260
-8.790	4.499	-9.284	4.473	-8.296	4.473
-8.790	4.713	-9.280	4.687	-8.300	4.687

-8.790	4.928	-9.277	4.900	-8.302	4.900
-8.790	5.142	-9.275	5.113	-8.305	5.113
-8.790	5.356	-9.273	5.326	-8.307	5.326
-8.790	5.570	-9.272	5.540	-8.308	5.540
-8.790	5.785	-9.271	5.753	-8.309	5.753
-8.790	5.999	-9.270	5.966	-8.310	5.966
-8.790	6.213	-9.270	6.179	-8.310	6.179
-8.790	6.427	-9.270	6.393	-8.310	6.393
-8.790	6.642	-9.271	6.606	-8.309	6.606
-8.790	6.856	-9.271	6.819	-8.309	6.819
-8.790	7.070	-9.273	7.032	-8.307	7.032
-8.790	7.284	-9.274	7.245	-8.306	7.246
-8.790	7.498	-9.276	7.459	-8.304	7.459
-8.790	7.713	-9.278	7.672	-8.302	7.672
-8.790	7.927	-9.281	7.885	-8.299	7.885
-8.790	8.141	-9.284	8.098	-8.296	8.099
-8.790	8.355	-9.287	8.312	-8.293	8.312
-8.790	8.570	-9.290	8.525	-8.290	8.525
-8.790	8.784	-9.294	8.738	-8.286	8.738
-8.790	8.998	-9.298	8.951	-8.282	8.951
-8.790	9.212	-9.302	9.165	-8.278	9.165
-8.790	9.427	-9.306	9.378	-8.274	9.378
-8.790	9.641	-9.311	9.591	-8.269	9.591
-8.790	9.855	-9.316	9.804	-8.264	9.804
-8.790	10.069	-9.320	10.017	-8.260	10.017
-8.790	10.284	-9.325	10.231	-8.254	10.231
-8.790	10.498	-9.331	10.444	-8.249	10.444
-8.790	10.712	-9.336	10.657	-8.244	10.657
-8.790	10.926	-9.342	10.870	-8.238	10.870
-8.790	11.141	-9.347	11.083	-8.233	11.083
-8.790	11.355	-9.353	11.296	-8.227	11.297
-8.790	11.569	-9.359	11.510	-8.221	11.510
-8.790	11.783	-9.365	11.723	-8.215	11.723
-8.790	11.998	-9.371	11.936	-8.209	11.936
-8.790	12.212	-9.377	12.149	-8.203	12.149
-8.790	12.426	-9.383	12.362	-8.197	12.362
-8.790	12.640	-9.389	12.575	-8.191	12.576
-8.790	12.855	-9.395	12.789	-8.185	12.789
-8.790	13.069	-9.401	13.002	-8.179	13.002
-8.790	13.283	-9.407	13.215	-8.173	13.215
-8.790	13.497	-9.413	13.428	-8.167	13.428
-8.790	13.712	-9.419	13.641	-8.161	13.641
-8.790	13.926	-9.425	13.854	-8.155	13.855
-8.790	14.140	-9.431	14.068	-8.149	14.068
-8.790	14.354	-9.437	14.281	-8.143	14.281
-8.790	14.568	-9.443	14.494	-8.137	14.494
-8.790	14.783	-9.449	14.707	-8.131	14.707
-8.790	14.997	-9.454	14.920	-8.126	14.920
-8.790	15.211	-9.460	15.133	-8.120	15.134
-8.790	15.425	-9.465	15.347	-8.115	15.347
-8.790	15.640	-9.470	15.560	-8.110	15.560
-8.790	15.854	-9.475	15.773	-8.105	15.773
-8.790	16.068	-9.480	15.986	-8.100	15.986
-8.790	16.282	-9.484	16.199	-8.096	16.200

-8.790	16.497	-9.489	16.413	-8.091	16.413
-8.790	16.711	-9.493	16.626	-8.087	16.626
-8.790	16.925	-9.497	16.839	-8.083	16.839
-8.790	17.139	-9.500	17.052	-8.080	17.052
-8.790	17.354	-9.504	17.266	-8.076	17.266
-8.790	17.568	-9.507	17.479	-8.073	17.479
-8.790	17.782	-9.509	17.692	-8.070	17.692
-8.790	17.996	-9.512	17.905	-8.068	17.905
-8.790	18.211	-9.514	18.118	-8.066	18.119
-8.790	18.425	-9.516	18.332	-8.064	18.332
-8.790	18.639	-9.517	18.545	-8.062	18.545
-8.790	18.853	-9.518	18.758	-8.061	18.758
-8.790	19.068	-9.519	18.971	-8.061	18.972
-8.790	19.282	-9.519	19.185	-8.060	19.185
-8.790	19.496	-9.519	19.398	-8.060	19.398
-8.790	19.710	-9.519	19.611	-8.061	19.611
-8.790	19.925	-9.518	19.824	-8.062	19.825
-8.790	20.139	-9.516	20.038	-8.063	20.038
-8.790	20.353	-9.515	20.251	-8.065	20.251
-8.790	20.567	-9.512	20.464	-8.068	20.464
-8.790	20.782	-9.509	20.677	-8.070	20.678
-8.790	20.996	-9.506	20.891	-8.074	20.891
-8.790	21.210	-9.502	21.104	-8.078	21.104

Notă: S-a considerat un model de generatoare efectivă mult diferită de generatoarea teoretică pentru a fi vizibilă eroarea între profilurile corectate in imaginile editate.

În figura 7.22, se prezintă applet-ul programului Java realizat în scopul corecției suprafeței periferice primare a sculei melc pentru care, în baza modelelor generatoarelor efectivă și fictivă mai sus prezentate, se determină *forma corectată a suprafeței periferice primare* a viitoarei scule melc, sub forma unui model 3D al flancului suprafeței elicoidale, precum și curbele reprezentând secțiunile axiale ale sculelor melc (scula melc teoretică și scula melc corectată).

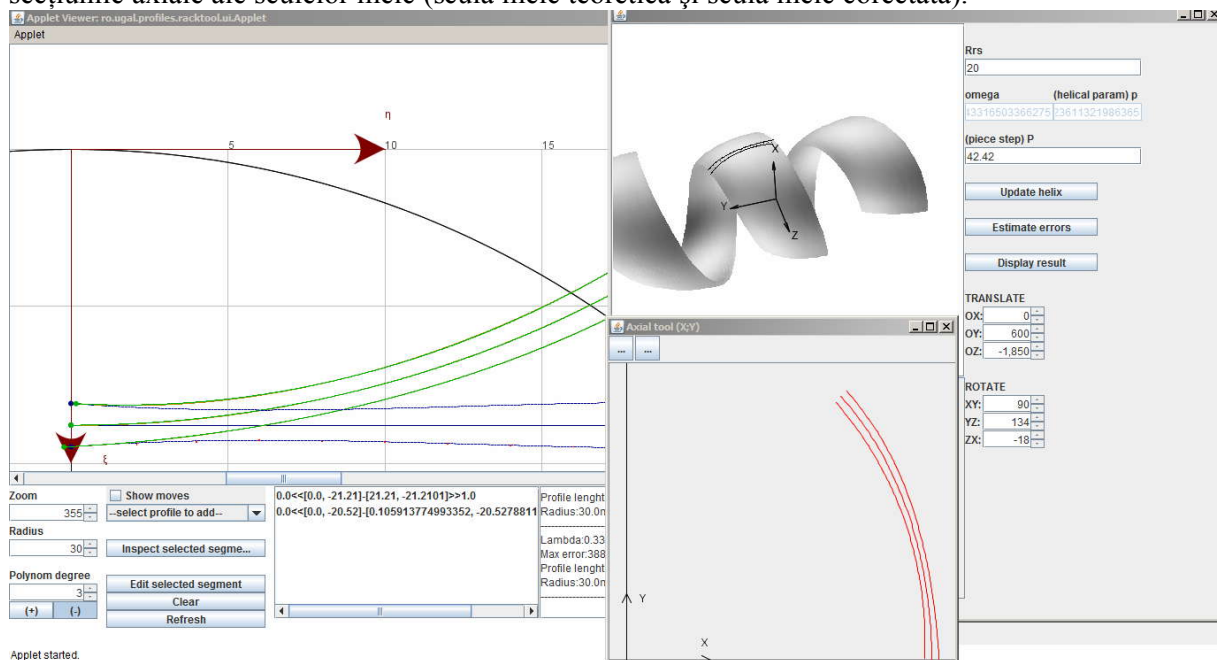


Fig. 7.22. Applet- scula melc corectată (semiprofilul sculei), Rrs=20 mm

Tabelul 7.8. Coordonatele secțiunii axiale a suprafeței periferice primare a sculei melc ($R_{rs}=20\text{mm}$)

Secțiune axială a sculei melc teoretică		Secțiunea axială a sculei melc corectată	
R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]
28.790	0.000	28.105	0.156
28.787	0.271	28.116	0.420
28.782	0.542	28.126	0.683
28.778	0.813	28.134	0.947
28.773	1.085	28.139	1.210
28.766	1.356	28.143	1.474
28.757	1.627	28.144	1.737
28.746	1.898	28.143	2.001
28.733	2.169	28.140	2.264
28.719	2.440	28.136	2.528
28.703	2.710	28.129	2.791
28.685	2.981	28.120	3.055
28.666	3.251	28.109	3.318
28.646	3.522	28.096	3.582
28.623	3.792	28.081	3.845
28.599	4.062	28.064	4.108
28.574	4.332	28.044	4.371
28.547	4.602	28.023	4.633
28.518	4.872	28.000	4.896
28.487	5.141	27.975	5.158
28.455	5.411	27.948	5.420
28.422	5.680	27.919	5.682
28.387	5.949	27.887	5.944
28.350	6.218	27.854	6.206
28.311	6.486	27.819	6.467
28.271	6.754	27.782	6.728
28.229	7.022	27.743	6.988
28.185	7.290	27.702	7.249
28.140	7.557	27.659	7.509
28.093	7.824	27.613	7.768
28.045	8.091	27.567	8.028
27.995	8.358	27.517	8.287
27.943	8.624	27.466	8.545
27.889	8.890	27.414	8.804
27.834	9.156	27.358	9.061
27.776	9.421	27.302	9.319
27.717	9.685	27.243	9.576
27.657	9.950	27.183	9.832
27.595	10.214	27.120	10.089
27.531	10.478	27.055	10.344
27.465	10.741	26.988	10.599
27.397	11.003	26.920	10.854
27.328	11.266	26.849	11.108
27.257	11.528	26.777	11.361
27.184	11.789	26.703	11.614
27.109	12.050	26.626	11.867
27.032	12.310	26.548	12.118
26.954	12.570	26.468	12.370
26.874	12.829	26.386	12.620
26.792	13.087	26.302	12.870
26.707	13.345	26.216	13.119

26.622	13.603	26.128	13.368
26.534	13.859	26.037	13.615
26.444	14.115	25.946	13.863
26.353	14.371	25.853	14.109
26.260	14.626	25.757	14.355
26.164	14.879	25.660	14.600
26.067	15.133	25.560	14.844
25.968	15.385	25.459	15.088
25.867	15.637	25.358	15.331
25.764	15.888	25.253	15.573
25.659	16.138	25.145	15.813
25.552	16.388	25.038	16.053
25.445	16.636	24.927	16.292
25.335	16.884	24.816	16.531
25.221	17.130	24.701	16.768
25.106	17.376	24.585	17.005
24.991	17.621	24.466	17.240
24.872	17.865	24.347	17.475
24.752	18.107	24.225	17.708
24.629	18.349	24.102	17.942
24.504	18.590	23.976	18.173
24.377	18.829	23.849	18.404
24.249	19.069	23.721	18.635
24.118	19.306	23.590	18.864
23.986	19.543	23.456	19.091
23.852	19.779	23.321	19.317
23.714	20.012	23.185	19.543
23.575	20.245	23.047	19.767
23.434	20.477	22.907	19.991
23.291	20.707	22.765	20.213
23.145	20.936	22.622	20.434
22.997	21.164	22.477	20.654
22.848	21.390	22.330	20.873
22.697	21.616	22.181	21.091
22.544	21.840	22.030	21.307
22.389	22.062	21.878	21.523
22.231	22.283	21.725	21.737
22.072	22.503	21.570	21.950
21.911	22.721	21.412	22.162
21.748	22.938	21.253	22.372
21.583	23.153	21.093	22.581
21.415	23.366	20.931	22.790
21.246	23.578	20.768	22.996
21.075	23.789	20.602	23.202
20.902	23.998	20.435	23.406
20.728	24.206	20.267	23.609
20.552	24.412	20.098	23.811
20.374	24.617	19.928	24.013
20.193	24.819	19.754	24.211

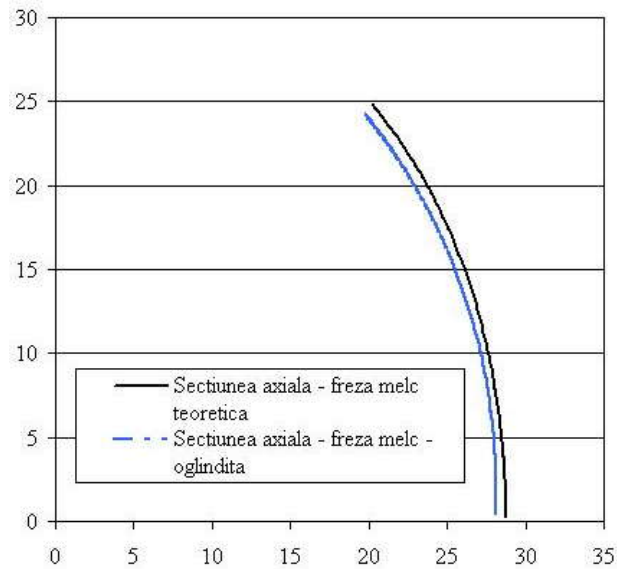


Fig. 7.23. Profilurile teoretic și corectat ale sculei melc(dimensiuni in mm)

În Fig. 7.24 și tabelul 7.9 sunt prezentate, forma și coordonatele semiprofilului sculei melc reciproc înfășurătoare arborelui poligonal (pătrat) cu semilatura 21.21 mm, pentru o rază de rulare a sculei melc, $R_{rs} = 180$ mm.

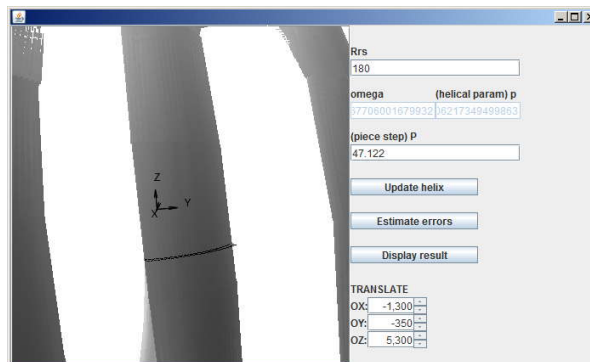


Fig. 7.24. Captura ecran - scula melc corectată (semiprofilul sculei), $R_{rs}=180$ mm

Tabelul 7.9. Coordonatele secțiunii axiale a suprafeței periferice primare a sculei melc($R_{rs}=180$ mm)

Secțiune axială a sculei melc teoretică		Secțiunea axială a sculei melc corectată	
R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]
187.420	10.187	186.882	10.272
187.347	10.321	186.814	10.393
187.274	10.454	186.745	10.515
187.201	10.587	186.677	10.636
187.128	10.721	186.608	10.758
187.055	10.854	186.540	10.879
186.982	10.988	186.472	11.001

186.909	11.121	186.403	11.122
186.836	11.255	186.335	11.244
186.762	11.388	186.267	11.366
186.689	11.521	186.198	11.487
186.616	11.655	186.130	11.609
186.543	11.788	186.062	11.730
186.470	11.922	185.993	11.852
186.397	12.055	185.925	11.973
186.324	12.188	185.856	12.095
186.251	12.322	185.788	12.217
186.178	12.455	185.720	12.338
186.104	12.589	185.651	12.460
186.031	12.722	185.583	12.581
185.958	12.856	185.515	12.703
185.885	12.989	185.446	12.824
185.812	13.122	185.378	12.946
185.739	13.256	185.310	13.067
185.666	13.389	185.241	13.189
185.593	13.523	185.173	13.311
185.520	13.656	185.104	13.432
185.446	13.790	185.036	13.554
185.373	13.923	184.968	13.675
185.300	14.056	184.899	13.797
185.227	14.190	184.831	13.918
185.154	14.323	184.763	14.040
185.081	14.457	184.694	14.161
185.008	14.590	184.626	14.283
184.935	14.723	184.558	14.405
184.862	14.857	184.489	14.526
184.788	14.990	184.421	14.648
184.715	15.124	184.352	14.769
184.642	15.257	184.284	14.891
184.569	15.391	184.216	15.012
184.496	15.524	184.147	15.134
184.423	15.657	184.079	15.256
184.350	15.791	184.011	15.377
184.277	15.924	183.942	15.499
184.204	16.058	183.874	15.620
184.130	16.191	183.806	15.742
184.057	16.325	183.737	15.863
183.984	16.458	183.669	15.985
183.911	16.591	183.600	16.106
183.838	16.725	183.532	16.228
183.765	16.858	183.464	16.350
183.692	16.992	183.395	16.471

183.619	17.125	183.327	16.593
183.546	17.258	183.259	16.714
183.472	17.392	183.190	16.836
183.399	17.525	183.122	16.957
183.326	17.659	183.054	17.079
183.253	17.792	182.985	17.201
183.180	17.926	182.917	17.322
183.107	18.059	182.848	17.444
183.034	18.192	182.780	17.565
182.961	18.326	182.712	17.687
182.888	18.459	182.643	17.808
182.814	18.593	182.575	17.930
182.741	18.726	182.507	18.051
182.668	18.860	182.438	18.173
182.595	18.993	182.370	18.295
182.522	19.126	182.301	18.416
182.449	19.260	182.233	18.538
182.376	19.393	182.165	18.659
182.303	19.527	182.096	18.781
182.229	19.660	182.028	18.902
182.156	19.793	181.960	19.024
182.083	19.927	181.891	19.145
182.010	20.060	181.823	19.267
181.937	20.194	181.755	19.389
181.864	20.327	181.686	19.510
181.791	20.461	181.618	19.632
181.718	20.594	181.549	19.753
181.645	20.727	181.481	19.875
181.571	20.861	181.413	19.996
181.498	20.994	181.344	20.118
181.425	21.128	181.276	20.240
181.352	21.261	181.208	20.361
181.279	21.395	181.139	20.483
181.206	21.528	181.071	20.604
181.133	21.661	181.003	20.726
181.060	21.795	180.934	20.847
180.987	21.928	180.866	20.969
180.913	22.062	180.797	21.090
180.840	22.195	180.729	21.212
180.767	22.329	180.661	21.334
180.694	22.462	180.592	21.455
180.621	22.595	180.524	21.577
180.548	22.729	180.456	21.698
180.475	22.862	180.387	21.820
180.402	22.996	180.319	21.941

180.329	23.129	180.251	22.063
180.255	23.262	180.182	22.184
180.182	23.396	180.114	22.306

Concluzii

Programele realizate în limbajul Java permit o ușoară modificare a parametrilor geometrici ai tipului de compresor elicoidal, vizualizarea formei suprafețelor periferice primare ale sculelor melc, generatoare a melcilor constituenți ai compresorului elicoidal. Coordonatele profilurilor axiale ale frezelor melc pot fi accesibile în format CSV și utilizare pentru un sistem CAM/CAD/CAI.

OBIECTIVUL 8. ELABORAREA UNOR ALGORITMI PENTRU PROFILAREA CORECTIVĂ A SCULELOR MĂRGINITE DE SUPRAFEȚE PERIFERICE PRIMARE DE REVOLUȚIE (SCULA DISC, SCULA CILINDRO-FRONTALĂ, SCULE INELARE) ÎN SCOPUL CORECȚIEI A SUPRAFEȚELOR ELICOIDALE GENERATE PE MAȘINI UNELTE

8.1. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei de tip disc

Se propune abordarea problemei profilării sculelor mărginite de suprafețe periferice primare de revoluție (scule-disc, scula cilindro-frontală, scula cilindrică) pentru generarea suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant, în condițiile cunoașterii unui număr limitat de puncte ale unei generatoare plane ale acesteia.

Generatoarea plană este substituită cu un polinom Bezier de grad inferior (2 sau 3), vezi și figura 8.1, în condițiile în care se consideră că generatoarea aparține planului transversal axei suprafeței elicoidale – \vec{V} (axa Z):

$$\begin{aligned} X &= P_X(\lambda) \\ Y &= P_Y(\lambda) \end{aligned} \quad (8.1)$$

cu $\lambda \in [0,1]$, $P_X(\lambda)$ și $P_Y(\lambda)$ sunt polinoamele Bezier de aproximare a generatoarei G.

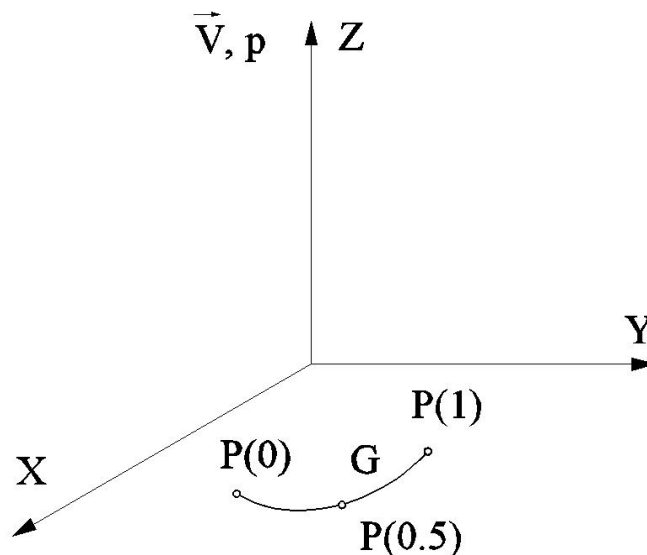


Fig. 8.1. Generatoare, în planul transversal axei suprafeței elicoidale (polinom de aproximare de gradul 2)

Notă: Problema poate fi tratată și în condițiile cunoașterii unei generatoare spațiale, prin acceptarea proiecțiilor acesteia pe planurile sistemului de referință triortogonal drept.

În mișcarea elicoidală de pe axă \vec{V} și parametru p ,

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_X(\lambda) \\ P_Y(\lambda) \\ P_Z(\lambda) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p\varphi \end{pmatrix}, \quad (8.2)$$

cu φ parametru variabil, și se definește suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant în exprimarea:

$$\Pi(\lambda, \varphi) : \begin{cases} X = P_X(\lambda) \cdot \cos \varphi - P_Y(\lambda) \cdot \sin \varphi; \\ Y = P_X(\lambda) \cdot \sin \varphi + P_Y(\lambda) \cdot \cos \varphi; \\ Z = p \cdot \varphi, \end{cases} \quad (8.3)$$

cu λ și φ parametri variabili.

Parametrul λ este cunoscut pentru un număr mic de valori (3 sau 4) în funcție de gradul polinomului de aproximare (2 sau 3) și de forma generatoarei suprafeței elicoidale. Se identifică, astfel, polinomul de aproximare pentru generatoarea suprafeței elicoidale în forma unor polinoame de gradul 2:

$$P \begin{cases} P_X(\lambda) = \lambda^2 A_X + 2\lambda(1-\lambda)C_X + (1-\lambda)^2 B_X; \\ P_Y(\lambda) = \lambda^2 A_Y + 2\lambda(1-\lambda)C_Y + (1-\lambda)^2 B_Y, \end{cases} \quad (8.4)$$

sau de gradul 3,

$$P \begin{cases} P_X(\lambda) = \lambda^3 A_X + 3\lambda^2(1-\lambda)B_X + 3\lambda(1-\lambda)^2 C_X + (1-\lambda)^3 D_X; \\ P_Y(\lambda) = \lambda^3 A_Y + 3\lambda^2(1-\lambda)B_Y + 3\lambda(1-\lambda)^2 C_Y + (1-\lambda)^3 D_Y, \end{cases} \quad (8.5)$$

prin determinarea coeficienților $A_X, A_Y, B_X, B_Y, C_X, C_Y, D_X, D_Y$, în funcție de coordonatele punctelor cunoscute pe generatoarea suprafeței elicoidale.

Din (8.3), (8.4) și (8.5), se determină suprafața elicoidală “aproximată”, care, în această accepțiune, se poate considera ca având o reprezentare “analitică”, astfel că se pot utiliza teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor pentru profilarea suprafețelor periferice, de revoluție, ale sculelor care generează prin înfășurare această suprafață elicoidală, cunoscută în forma de aproximare Bezier, în principiu, în forma:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X = \Pi_X(\lambda, \varphi); \\ Y = \Pi_Y(\lambda, \varphi); \\ Z = p \cdot \varphi, \end{cases} \quad (8.6)$$

în care, $\Pi_X(\lambda, \varphi)$ și $\Pi_Y(\lambda, \varphi)$ sunt determinabile din (8.3),

$$\begin{aligned}\Pi_X(\lambda, \varphi) &= P_X(\lambda) \cdot \cos \varphi - P_Y(\lambda) \cdot \sin \varphi \\ \Pi_Y(\lambda, \varphi) &= P_X(\lambda) \cdot \sin \varphi + P_Y(\lambda) \cdot \cos \varphi\end{aligned}\quad (8.7)$$

Se calculează normala la suprafața elicoidală “aproximată” - $\Pi(\lambda, \varphi)$, acum, într-o formă de reprezentare analitică,

$$\vec{N}_\Pi = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \Pi_X'(\varphi) & \Pi_Y'(\varphi) & p \\ \Pi_X'(\lambda) & \Pi_Y'(\lambda) & 0 \end{vmatrix}, \quad (8.8)$$

sau

$$\vec{N}_\Pi = N_X \vec{i} + N_Y \vec{j} + N_Z \vec{k}, \quad (8.9)$$

vezi și formele (8.7), putându-se scrie, acum, condiția de înfășurare NIKOLAEV

$$(\vec{N}_\Pi, \vec{r}_1, \vec{A}) = 0 \quad (8.10)$$

în care :

$$\vec{r}_1 = [\Pi_X(\lambda, \varphi) - a] \cdot \vec{j} + \Pi_Y(\lambda, \varphi) \cdot \vec{j} + p\varphi \cdot \vec{k} \quad (8.11)$$

$$\vec{A} = -\sin(\alpha) \vec{j} + \cos(\alpha) \vec{k} \quad (8.12)$$

a și α - parametrii determinați din considerente tehnologice, vezi și figura 8.2.

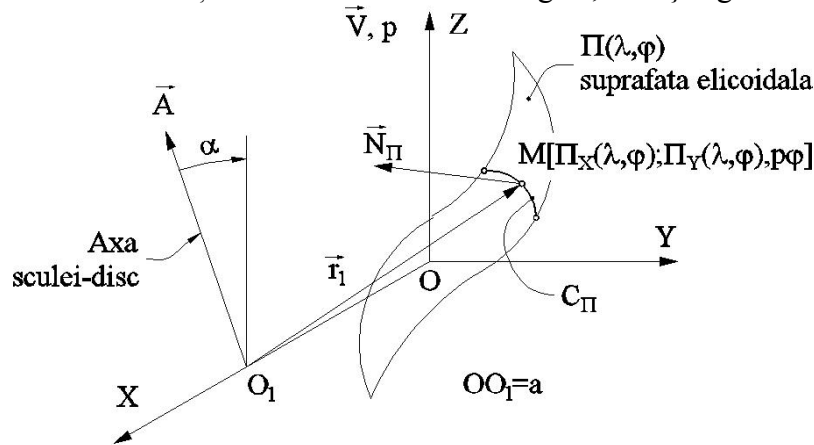


Fig. 8.2. Condiția Nikolaev

Condiția de înfășurare specifică devine, vezi (8.10),

$$-\varepsilon \leq \begin{vmatrix} N_X & N_Y & N_Z \\ \Pi_X(\lambda, \varphi) - a & \Pi_Y(\lambda, \varphi) & \Pi_Z(\lambda, \varphi) \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} \leq \varepsilon \quad (8.13)$$

cu ε suficient de mic în valoare absolută.

Se determină în baza condiției (8.13) punctele aparținând curbei caracteristice, pentru 3 sau 4 mărimi ale parametrului „ λ ”, în funcție de gradul polinomului de aproximare al generatoarei suprafeței elicoidale (8.4), (8.5), C_{Π} , vezi figura 8.2, în forma

$$C_{\Pi} = \left\| \begin{array}{ccc} X_{C_{\Pi}, \lambda=0} & Y_{C_{\Pi}, \lambda=0} & Z_{C_{\Pi}, \lambda=0} \\ X_{C_{\Pi}, \lambda=1/2} & Y_{C_{\Pi}, \lambda=1/2} & Z_{C_{\Pi}, \lambda=1/2} \\ X_{C_{\Pi}, \lambda=1} & Y_{C_{\Pi}, \lambda=1} & Z_{C_{\Pi}, \lambda=1} \end{array} \right\|, \quad (8.14)$$

pentru un polinom de gradul 2.

Prin transformarea de coordonate la sistemul de referință al sculei-disc, figura 8.3, se determină aceste 3 sau 4 puncte de pe scula – S:

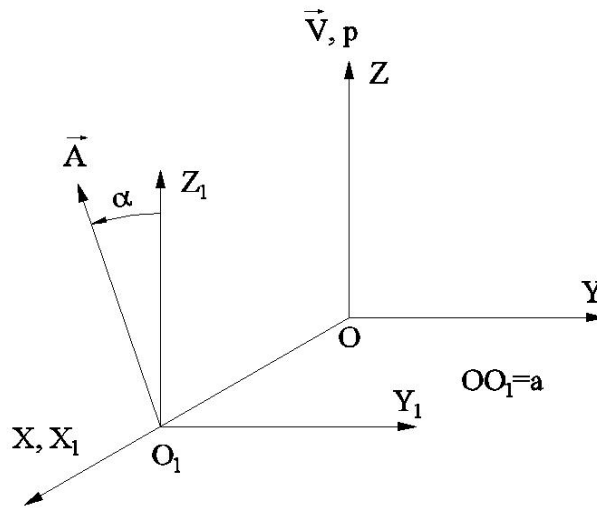


Fig. 8.3. Sisteme de referință, \vec{A} axa sculei disc

$$\left\| \begin{array}{c} X_{i_{C_{\Pi}}} \\ Y_{i_{C_{\Pi}}} \\ Z_{i_{C_{\Pi}}} \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{array} \right\| \cdot \left[\left\| \begin{array}{c} X_{C_{\Pi}} \\ Y_{C_{\Pi}} \\ Z_{C_{\Pi}} \end{array} \right\| - \left\| \begin{array}{c} a \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\| \right], \quad (8.15)$$

Rezultă, în baza transformării (8.15), coordonatele curbei caracteristice a sculei-disc, figura 8.4, fie

$$\left[X_{i_{C_{\Pi}}}, Y_{i_{C_{\Pi}}}, Z_{i_{C_{\Pi}}} \right], \quad (i = 1, 2, 3). \quad (8.16)$$

acestea.

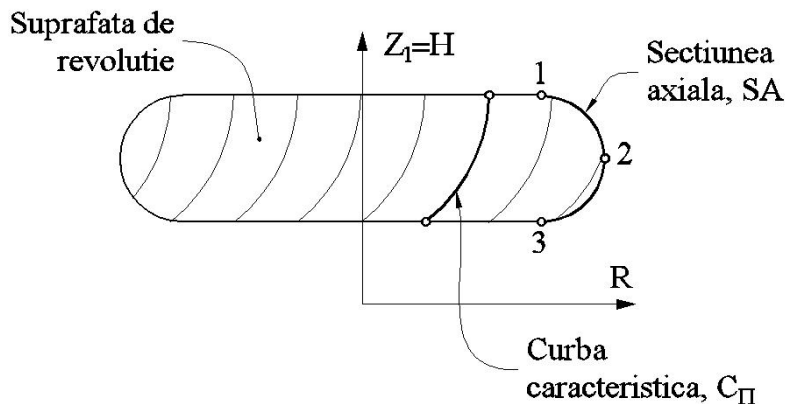


Fig. 8.4. Secțiunea axială a suprafeței periferice a sculei-disc

Se definesc, coordonatele secțiunii axiale, S_A :

$$S_A \begin{cases} (Z_{i_{c_{\pi}}})_i = H_i; \\ (\sqrt{X_{i_{c_{\pi}}}^2 + Y_{i_{c_{\pi}}}^2})_i = R_i, \end{cases} \quad (i=1,2,3) \quad (8.17)$$

pentru un polinom de gradul 2, sau $i=1,2,\dots,4$ un polinom de gradul 3, în funcție de aproximarea generatoarei suprafeței elicoidale.

Aproximarea secțiunii axiale, astfel determinate, se face printr-un polinom Bezier de gradul 2 (3),

$$Q: \begin{cases} Q_H(\lambda) = \lambda^2 D_H + 2\lambda(1-\lambda) E_H + (1-\lambda)^2 F_H \\ Q_R(\lambda) = \lambda^2 D_R + 2\lambda(1-\lambda) E_R + (1-\lambda)^2 F_R \end{cases} \quad (8.18)$$

în care

$$Q(0) = S_1; Q\left(\frac{1}{2}\right) = S_2; Q(1) = S_3 \quad (8.19)$$

vezi și definițiile (8.16).

Din aceste definiții (8.19), se determină coeficienții $D_H, D_R, E_H, E_R, F_H, F_R$ ai polinomului de aproximare $Q(\lambda)$ a secțiunii axiale aparținând sculei-disc - suprafața de revoluție.

Se obține, astfel, sub forma unei reprezentări polinomiale Bezier (mai sus, în forma unui polinom de gradul 2) o reprezentare aproximată a secțiunii axiale a sculei-disc, reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas constant, cunoscută în formă discretă.

Metoda, caracterizată prin utilizarea unui număr restrâns de puncte de pe generatoarea suprafeței elicoidale (3 sau 4) în conformitate cu gradul polinomului de aproximare, poate avea avantajul unei profilări, deși aproximativă, mai rapidă decât în cazul utilizării unor metode ce decurg din legile generale ale înfășurării suprafețelor, în cazul reprezentării prin formulele analitice ale suprafețelor de generare.

Mai mult, metoda permite profilarea sculei-disc și în condițiile în care suprafața elicoidală (generatoarea acesteia) este cunoscută prin măsurătoarea efectivă a acesteia, prin mijloace de măsurare specifice inclusiv mijloace O.M.M.

Evident, numărul de puncte de pe generatoarea discretă, poate fi oricât de mare, precizia reprezentării crescând, odată cu acesta.

Calitatea metodei propuse se poate exprima prin compararea rezultatelor obișnuite pentru aceleași cazuri numerice, pe suprafețe elicoidale cunoscute în forma analitică tratate prin metodică teoremelor fundamentale ale generării prin înfășurare (de exemplu, metoda NIKOLAEV) și metodică propusă, de aproximare prin polinoame Bezier.

• Aplicații

1. Suprafață elicoidală și de pas constant cu profil rectiliniu al generatoarei (melcul convolut)

Se urmărește a se determina precizia de profilare a sculei-disc, reciproc înfășurătoare unui melc cu generatoarea rectilinie, prin metoda propusă, (metoda de aproximare prin polinoame Bezier), prin compararea față de rezultatele obținute printr-o metodă analitică clasică, pentru acest caz.

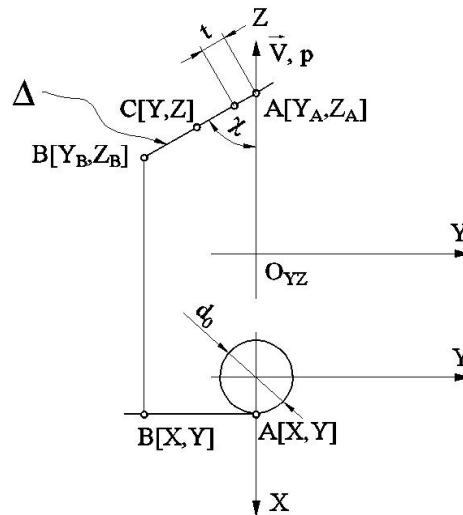


Fig. 8.5. Sisteme de referință. Generatoarea Δ a suprafeței elicoidale de axă \vec{V}

În figura 8.5, sunt prezentate sistemele de referință forma generatoarei rectilinii și punctele caracteristice ale acesteia:

- XYZ este sistemul de referință față de care este definită generatoarea suprafeței elicoidale Δ ;
- puncte caracteristice în lungul generatoarei, $A[X_A, Y_A, Z_A]$ și $B[X_B, Y_B, Z_B]$;
- κ - parametru unghiular constant;
- d_0 - diametrul cilindrului, coaxial suprafeței elicoidale la care este tangentă generatoarea.

Polinomul de substituție a generatoarei este un polinom de gradul 1, astfel încât ecuațiile generatoarei sunt:

$$\Delta \begin{cases} X = \frac{d_0}{2}; \\ Y = \lambda A_Y + (1 - \lambda) B_Y; \\ Z = \lambda A_Z + (1 - \lambda) B_Z. \end{cases} \quad (8.20)$$

Din transformarea (8.3), rezultă forma de exprimare a suprafeței elicoidale aproximată:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X = \frac{d_0}{2} \cdot \cos(\varphi) - Y(\lambda) \sin(\varphi); \\ Y = \frac{d_0}{2} \cdot \cos(\varphi) + Y(\lambda) \sin(\varphi); \\ Z = Z(\lambda) + p \cdot \varphi. \end{cases} \quad (8.21)$$

Rezultă parametrii directori ai normalei suprafeței elicoidale aproximată, vezi (8.8) și (8.9):

$$\begin{aligned} N_{\Pi_x} &= p[A_Y - B_Y] \cos(\varphi) - [A_Z - B_Z] \cdot \left[\frac{d_0}{2} \cos(\varphi) - Y(\lambda) \cdot \sin(\varphi) \right]; \\ N_{\Pi_y} &= - \left\{ -p[A_Y - B_Y] \sin(\varphi) + [A_Z - B_Z] \cdot \left[\frac{d_0}{2} \sin(\varphi) + Y(\lambda) \cdot \cos(\varphi) \right] \right\}; \\ N_{\Pi_z} &= - \left[\frac{d_0}{2} \cos(\varphi) - Y(\lambda) \cdot \sin(\varphi) \right] \cdot (A_Y - B_Y) \cdot \sin(\varphi) - \\ &\quad - \left[-\frac{d_0}{2} \sin(\varphi) - Y(\lambda) \cdot \cos(\varphi) \right] \cdot (A_Y - B_Y) \cdot \cos(\varphi). \end{aligned} \quad (8.22)$$

Astfel, cu definiția

$$\begin{aligned} \vec{r}_1 &= \left[\frac{d_0}{2} \cos(\varphi) + Y(\lambda) \cdot \sin(\varphi) - a \right] \cdot \vec{i} + \left[\frac{d_0}{2} \sin(\varphi) + Y(\lambda) \cdot \cos(\varphi) \right] \cdot \vec{j} + \\ &\quad + [Z(\lambda) + p \cdot \varphi] \cdot \vec{k}, \end{aligned} \quad (8.23)$$

se scrie condiția de înfășurare specifică (8.13), care, împreună cu (8.21), determină curba caracteristică pe suprafața elicoidală aproximată.

Se identifică polinomul de gradul 1, vezi tabelul 8.1

Tabelul 8.1

t	Profilul primar	λ	Coef. polinomului de aproximare
t_A	$t_A = 0$ $Y = Y_A$ $Z = Z_A$	0	$B_Y = Y_A$ $B_Z = Z_A$
t_B	$t_B = \sqrt{[Y_A - Y_B]^2 + [Z_A - Z_B]^2}$	1	$A_Y = Y_B$ $A_Z = Z_B$

• **Aplicație numerică**

Se dezvoltă o aplicație numerică pentru profilarea sculei-disc generatoare a canalului elicoidal al burghiului elicoidal, vezi și figura 8.5, pentru datele inițiale:

- diametrul exterior al burghiului $D = 20mm$;
- diametrul miezului burghiului $d_0 = 0,16 \cdot D = 3,2mm$;
- distanța $a=50$ mm;
- unghiul de înclinare al elicei pe diametrul exterior al burghiului, $\omega = \frac{\pi}{6}$;
- parametrul elicoidal al suprafeței canalului burghiului $p = \frac{D}{2 \cdot tg\omega}$;

În tabelul 8.2, sunt prezentate, comparativ, coordonatele secțiunii axiale a sculei-disc calculate în baza unei metode analitice (riguroase) a suprafețelor reciproc înfășurătoare și prin metoda de aproximare cu polinoame Bezier.

Tabelul 8.2

λ	Profil aproximat		Profil teoretic		Eroare
	R[mm]	H[mm]	[mm]	[mm]	
0.000	48.400	0.000	48.400	0.000	0.000
0.050	48.384	0.527	48.388	0.531	0.006
0.100	48.338	1.053	48.343	1.058	0.007
0.150	48.260	1.577	48.266	1.578	0.006
0.200	48.151	2.098	48.155	2.103	0.006
0.250	48.011	2.615	48.013	2.619	0.005
0.300	47.840	3.126	47.841	3.126	0.001
0.333	47.710	3.459	47.709	3.461	0.002
0.350	47.638	3.630	47.636	3.633	0.003
0.400	47.404	4.127	47.401	4.127	0.003
0.450	47.139	4.615	47.133	4.618	0.007
0.500	46.843	5.093	46.838	5.094	0.006
0.550	46.516	5.561	46.516	5.554	0.007
0.600	46.157	6.016	46.154	6.014	0.003
0.650	45.766	6.457	45.767	6.454	0.004
0.666	45.634	6.595	45.630	6.599	0.005
0.700	45.342	6.884	45.339	6.888	0.005
0.750	44.886	7.293	44.887	7.297	0.004
0.800	44.395	7.685	44.403	7.686	0.008
0.850	43.869	8.056	43.868	8.065	0.009
0.900	43.306	8.405	43.311	8.409	0.007
0.950	42.703	8.728	42.703	8.732	0.004
1.000	42.053	9.020	42.053	9.020	0.000

Eroarea maximă obținută este: 0.008mm pentru valoarea parametrului $\lambda = 0.841$.
 În figura 8.6, este prezentată forma secțiunii axiale a suprafeței periferice primare a sculei-disc.

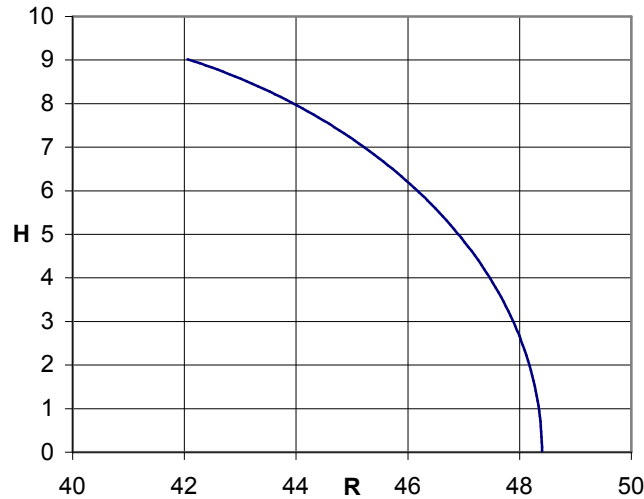


Fig. 8.6. Profilul secțiunii axiale al sculei-disc

Este evident faptul că, eroarea între cele două profiluri axiale ale sculei-disc este suficient de mică astfel că metoda aproximării generatoarei suprafeței elicoidale prin polinoame Bezier de grad inferior (în cazul de față cu un polinom de gradul 3) asigură o precizie de determinare a profilului sculei-disc, satisfăcătoare pentru generarea canalului burghiului elicoidal.

2. Suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant cu profil circular într-un plan paralel planului axial (burghiu elicoidal cu tășuri curbe)

În figura 8.7, sunt prezentate forma profilului secțiunii plane prin suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant, coordonate punctelor cunoscute și sistemele de referință.

Profilul suprafeței elicoidale este un arc de cerc, de rază R , având cunoscute punctele caracteristice $A[X_A, Y_A, Z_A]$ și $B[X_B, Y_B, Z_B]$, precum și centrul cercului $O[X_{O_c}, Y_{O_c}, Z_{O_c}]$.

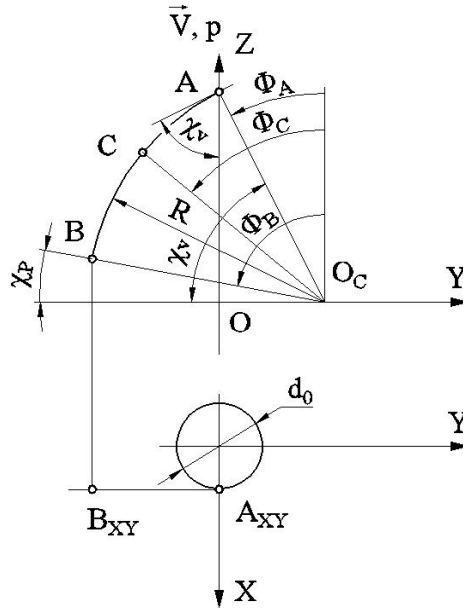


Fig. 8.7. Profilul generatoarei suprafeței elicoidale—puncte caracteristice

Se identifică polinomul de aproximare a profilului circular, (generatoarea suprafeței elicoidale) ca un polinom de gradul 2, vezi tabelul 8.3 sau de gradul 3, vezi tabelul 8.4.

Tabelul 8.3.

Φ	Profilul primar	λ	Polinomul înlocuitor
Φ_A	$X_A = d_0/2$ $Y_A = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_A)$ $Z_A = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Phi_A)$	1	$A_Y = Y_A$ $A_Z = Z_A$
Φ_C	$\Phi_C = \Phi_A + (\Phi_B - \Phi_A) \cdot 0.5$ $X_C = d_0/2$ $Y_C = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_C)$ $Z_C = Z_{O_C} + R \cdot \cos(\Phi_C)$	0,5	$C_Y = \frac{Y_C - 0,25 \cdot X_A - 0,25 \cdot X_B}{0,5}$ $C_Z = \frac{Z_C - 0,25 \cdot Z_A - 0,25 \cdot Z_B}{0,5}$
Φ_B	$X_B = d_0/2$ $Y_B = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_B)$ $Z_B = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Phi_B)$	0	$B_Y = Y_B$ $C_Z = Z_B$

- Polinom de gradul 3

Tabelul 8.4.

Φ	Profil primar	λ	Coefficienții polinomului
Φ_A	Φ_A $X_A = d_0/2$ $Y_C = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_C)$ $Z_C = Z_{O_C} + R \cdot \cos(\Phi_C)$	0	$D_Y = Y_A$ $D_Z = Z_A$
Φ_C	$\Phi_C = \Phi_A + (\Phi_B - \Phi_A)/3$ $X_C = d_0/2$ $Y_C = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_B)$ $Z_C = Z_{O_C} + R \cdot \cos(\Phi_B)$	$\frac{1}{3}$	$C_Y = \frac{18 \cdot Y_C - 9 \cdot Y_D + 2 \cdot Y_B - 5 \cdot Y_A}{6}$ $C_Z = \frac{18 \cdot Z_C - 9 \cdot Z_D + 2 \cdot Z_B - 5 \cdot Z_A}{6}$
Φ_D	$\Phi_D = \Phi_A + (2/3)(\Phi_B - \Phi_A)$ $X_D = d_0/2$ $Y_D = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_B)$ $Z_D = Z_{O_C} + R \cdot \cos(\Phi_C)$	$\frac{2}{3}$	$B_Y = \frac{-5 \cdot Y_B + 2 \cdot Y_A + 18 \cdot Y_D - 9 \cdot Y_C}{6}$ $B_Z = \frac{-5 \cdot Z_B + 2 \cdot Z_A + 18 \cdot Z_D - 9 \cdot Z_C}{6}$
Φ_B	$X_B = d_0/2$ $Y_B = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Phi_B)$ $Z_B = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Phi_B)$	1	$A_Y = Y_B$ $A_Z = Z_B$

Mărimi inițiale $R, \Phi_A, \Phi_B, [Y_{O_C}, Z_{O_C}]$ - centrul cercului.

Se identifică, în acest fel, un tip de polinom înlocuitor de grad inferior, vezi (8.4) și (8.5), în baza căruia se determină forma “aproximată” a suprafeței elicoidale, vezi forma (8.3), sau, principial, forma (8.6).

Astfel, în baza condiției (8.13), se determină forma (8.14) a curbei caracteristice pe suprafața elicoidală “aproximată” și prin transformarea (8.15), se definește secțiunea axială S_A - a viitoarei suprafețe periferice primare a sculei-disc (8.17).

Se aproximează acest profil printr-un polinom de grad inferior, de exemplu, forma (8.18) reprezentând profilul aproximat al șablonului de control al sculei-disc (secțiunea axială S_A).

Precizăm că, în toate aceste etape, se operează numai cu 3 puncte de pe aceste profiluri ceea ce conduce la o substanțială reducere a numărului de calcule necesar.

Totodată, problematica dezbătută este aplicabilă și în cazul în care punctele pe profilul generatoarei suprafeței elicoidale, vezi figura 8.7, sunt date de coordonate efectiv măsurate, metodica permițând o transpunere în formă analitică prin „aproximarea” cu polinoame Bezier de grad mic (2 sau 3).

Se prezintă, în tabelul 8.5 și figura 8.8, coordonatele și forma profilului sculei de ordin doi, pentru generarea canalului elicoidal, vezi figura 8.7, determinată prin metoda aproximării prin polinoame Bezier, precum și printr-o metodă analitică – metoda NIKOLAEV.

• Aplicație numerică

Se prezintă un exemplu numeric pentru profilarea secțiunii axiale a sculei-disc, generatoare a canalului elicoidal având caracteristicile geometrice:

- diametrul burghiului $D=20$ mm;
- diametrul miezului, $d_0=3,2$ mm;

$$- \text{ raza muchiei principale de așchiere } R = \frac{\sqrt{\frac{d_1^2}{4} - \frac{d_0^2}{4}}}{\cos \frac{\pi}{6} - \cos \frac{\pi}{3}};$$

- limitele de variație a mărimii unghiului de atac, $k_p=30^\circ$, $k_v=60^\circ$;
- coordonatele centrului cercului de rază R ,

$$X_{O_c} = 0;$$

$$Y_{O_c} = R \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right);$$

$$Z_{O_c} = 0;$$

- distanța între axa sculei-disc și axa suprafeței generate, $a=50$ mm;

- unghiul de înclinare al elicei pe diametrul exterior al burghiului, $\omega = \frac{\pi}{10}$;

- parametrul elicoidal al suprafeței canalului burghiului $p = \frac{D}{2 \cdot \text{tg} \omega}$;

În tabelul 8.5 și figura 8.8, sunt prezentate, comparativ, forma profilurilor sculei-disc (secțiunea axială) determinate prin metoda de aproximare Bezier și o metodă riguroasă, teoretică.

Tabelul 8.5.

λ	Profilul aproximat		Profilul teoretic		Eroare
	R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]	
0.000	49.666	13.033	49.669	13.027	0.006
0.051	49.805	12.785	49.800	12.785	0.006
0.101	49.945	12.504	49.937	12.502	0.008
0.152	50.080	12.190	50.071	12.191	0.010
0.202	50.213	11.831	50.206	11.829	0.007
0.253	50.328	11.457	50.325	11.452	0.006
0.303	50.429	11.056	50.429	11.050	0.005
0.336	50.487	10.776	50.488	10.774	0.003
0.354	50.513	10.628	50.515	10.625	0.004
0.404	50.578	10.176	50.586	10.135	0.042
0.455	50.622	9.700	50.631	9.631	0.070
0.505	50.642	9.202	50.648	9.124	0.079
0.556	50.638	8.684	50.639	8.614	0.069

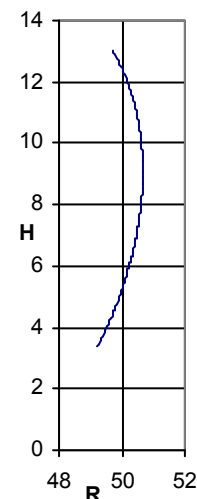


Fig. 8.8. Profilul sculei disc in secțiune axială

0.606	50.606	8.146	50.605	8.105	0.041
0.657	50.533	7.499	50.533	7.495	0.005
0.673	50.506	7.317	50.505	7.312	0.005
0.707	50.438	6.924	50.437	6.928	0.004
0.758	50.311	6.335	50.308	6.336	0.003
0.808	50.150	5.732	50.147	5.732	0.003
0.859	49.956	5.118	49.953	5.119	0.003
0.909	49.726	4.494	49.723	4.492	0.004
0.960	49.460	3.863	49.460	3.864	0.001
1.000	49.170	3.091	49.170	3.091	0.000

Eroarea maximă obținută este: 0.078mm pentru valoarea parametrului $\lambda = 0.504$.

3. Profilarea sculei-disc pentru generarea unui melc cu generatoare circulară în plan transversal.

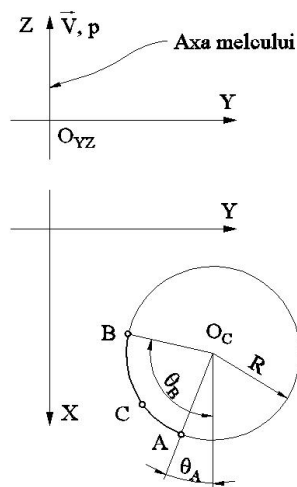


Fig. 8.9. Generatoarea suprafeței elicoidale

În figura 8.9, este prezentată generatoarea suprafeței elicoidale cilindrice și de pas constant având o formă de arc de cerc, în planul frontal al suprafeței.

Se presupun cunoscute:

- coordonatele centrului arcului de cerc, $O_C [X_{O_C}, Y_{O_C}]$;
- coordonatele capetelor arcului de cerc, $A [X_A, Y_A]$, $B [X_B, Y_B]$.

Pornind de la ecuațiile ecuațiile analitice ale profilului circular:

$$\begin{aligned} X &= X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta); \\ Y &= Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta). \end{aligned} \quad (8.24)$$

Se definesc coordonatele punctelor caracteristice pe profilul circular.

$$\begin{aligned} A \left\{ \begin{aligned} X_A &= X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_A); \\ Y_A &= Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_A); \end{aligned} \right. & B \left\{ \begin{aligned} X_B &= X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_B); \\ Y_B &= Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_B); \end{aligned} \right. \\ C \left\{ \begin{aligned} X_C &= X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_C); \\ Y_C &= Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_C). \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (8.25)$$

- **Notă**

Coordonata Z a tuturor punctelor definite pe arcul de cerc, poate fi considerată $Z = H$ cu H variabilă, cel mai adesea $H = 0$.

Se definesc polinoame de substituție Bezier de gradul 2 sau 3, vezi formele (8.4) și (8.5) identificate în formele, vezi tabelele 8.6 și 8.7.

Tabelul 8.6

Θ	Profil primar	λ	Polinom înlocuitor
Θ_A	$X_A = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_A)$ $Y_A = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_A)$	1	$A_X = X_A$ $A_Y = Y_A$
Θ_C	$\Theta_C = \Theta_A + \frac{1}{2}(\Theta_B - \Theta_A)$	0,5	$C_X = \frac{X_C - 0,25 \cdot X_A - 0,25 \cdot X_B}{0,5}$ $C_Y = \frac{Y_C - 0,25 \cdot Y_A - 0,25 \cdot Y_B}{0,5}$
Θ_B	$X_B = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_B)$ $Y_B = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_B)$	0	$B_X = X_B$ $B_Y = Y_B$

pentru un polinom de gradul 2, și, în mod asemănător, pentru un polinom de gradul 3, vezi tabelul 8.7.

Tabelul 8.7

Θ	Profilul primar	λ	Polinom înlocuitor
Θ_A	$X_A = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_A)$ $Y_A = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_A)$	0	$D_X = X_A$ $D_Y = Y_A$
Θ_C	$\Theta_C = \Theta_A + \frac{1}{3}(\Theta_B - \Theta_A)$ $X_C = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_C)$ $Y_C = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_C)$	$\frac{1}{3}$	$C_X = \frac{18 \cdot X_C - 9 \cdot X_D + 2 \cdot X_B - 5 \cdot X_A}{6}$ $C_Y = \frac{18 \cdot Y_C - 9 \cdot Y_D + 2 \cdot Y_B - 5 \cdot Y_A}{6}$
Θ_D	$\Theta_D = \Theta_A + \frac{2}{3}(\Theta_B - \Theta_A)$ $X_D = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_D)$ $Y_D = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_D)$	$\frac{2}{3}$	$D_Y = \frac{-5 \cdot X_B + 2 \cdot X_A + 18 \cdot X_D - 9 \cdot X_C}{6}$ $D_Y = \frac{-5 \cdot Y_B + 2 \cdot Y_A + 18 \cdot Y_D - 9 \cdot Y_A}{6}$
Θ_B	$X_B = X_{O_C} + R \cdot \cos(\Theta_B)$ $Y_B = Y_{O_C} - R \cdot \sin(\Theta_B)$	1	$A_X = X_B$ $A_Y = Y_B$

Urmărind pașii algoritmului propus anterior, se determină profilul axial al sculei-disc S_A (vezi (8.17)) care, ulterior, aproximată printr-un polinom Bezier, (vezi (8.18))

poate fi comparat cu același profil determinat printr-una din metodele analitice clasice, urmărindu-se aflarea erorii de determinare a metodei de aproximare prin polinoame Bezier.

În figura 8.10 și tabelul 8.8, sunt prezentate, comparativ, coordonatele numerice ale profilului axial al sculei-disc, reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale cu generatoare frontală-circulară, coordonate determinate prin cele două metode, pentru melc având caracteristicile dimensionale:

$R= 55\text{mm}; X_{OC}= 125\text{mm}; Y_{OC}= 0\text{mm};$

$\theta_A= 0; \theta_B= \frac{2\pi}{9}; p=75 \text{ mm}.$

Tabelul 8.8

λ	Profil aproximat		Profil teoretic		Eroare [mm]
	R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]	
0.000	100.004	0.347	100.004	0.338	0.010
0.050	100.094	1.794	100.104	1.806	0.016
0.100	100.303	3.227	100.316	3.237	0.016
0.150	100.628	4.640	100.635	4.632	0.011
0.200	101.060	6.023	101.063	6.017	0.007
0.250	101.591	7.371	101.589	7.363	0.009
0.300	102.213	8.680	102.205	8.671	0.012
0.333	102.668	9.522	102.658	9.513	0.013
0.350	102.916	9.948	102.905	9.941	0.013
0.400	103.691	11.173	103.683	11.172	0.008
0.450	104.530	12.354	104.530	12.364	0.010
0.500	105.426	13.493	105.422	13.495	0.004
0.550	106.373	14.591	106.369	14.590	0.004
0.600	107.364	15.648	107.364	15.647	0.001
0.650	108.395	16.667	108.402	16.667	0.006
0.666	108.733	16.985	108.726	16.972	0.015
0.700	109.462	17.648	109.474	17.650	0.012
0.750	110.560	18.594	110.576	18.596	0.016
0.800	111.687	19.506	111.701	19.505	0.015
0.850	112.838	20.386	112.843	20.377	0.011
0.900	114.013	21.236	114.018	21.228	0.009
0.950	115.208	22.056	115.220	22.056	0.012
1.000	116.422	22.847	116.420	22.845	0.004

Eroarea maxima este: 0.018 obținută pentru valoarea parametrului $\lambda = 0.108$.

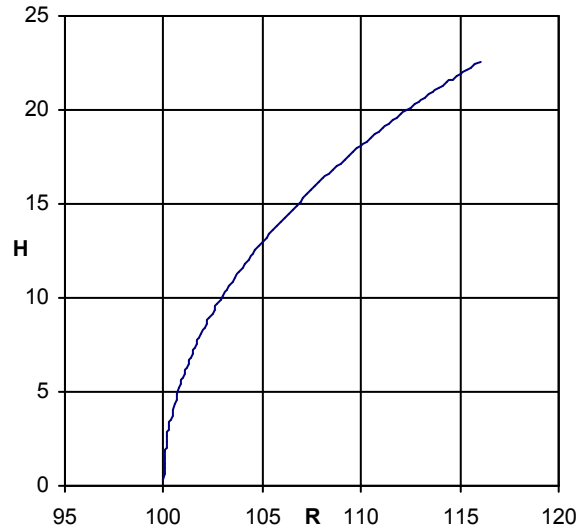


Fig. 8.10. Profilul axial al sculei-disc

Concluzii

S-a definit o modalitate de aproximare a unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas constant, cu o generatoare plană, cunoscută, în formă discretă, printr-un număr redus de puncte (3 sau 4), utilizând polinoame Bezier de grad mic (2 sau 3).

S-a elaborat un algoritm specific pentru determinarea profilului axial al sculei-disc, reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale, cunoscută în formă discretă și exprimată prin polinoame de înlocuire Bezier.

În baza algoritmului elaborat, s-au realizat aplicații numerice pentru suprafețe elicoidale cu generatoare exprimate, discret, printr-un număr redus de puncte.

Algoritmul prezentat se caracterizează printr-o precizie de determinare suficientă a profilurilor sculelor, pentru practica curentă uzuală, mai ales pentru suprafețe care nu sunt utilizate în construcția danturilor care au ca scop transmiterea de mișcare, în condițiile unei sarcini dinamice mari.

Metodica prezintă și avantajul că poate fi aplicată și în condițiile în care punctele, cunoscute pe generatoarea exprimată discret a suprafeței elicoidale, sunt rezultatul unei măsurări efective a suprafeței, (generatoarei acesteia).

Numărul de puncte cu care se operează este, în toate etapele algoritmului prezentat, foarte mic, 3 sau 4 puncte de pe profilul generatoarei suprafeței în analiză.

Mărirea preciziei de determinare a generatoarei impune creșterea gradului polinomului de aproximare, ca rezultat al considerării unui număr mai mare de puncte pe generatoarea suprafeței elicoidale.

Algoritmul propus se bazează pe teorema Nicolaev dar pot fi aplicate și celelalte metode cunoscute în studiul suprafeței reciproc înfășurătoare.

Precizia de determinare a profilului sculei-disc reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale, aproximată cu polinoame Bezier de grad inferior, pentru una din generatoarele plane ale acesteia, se diminuează pentru lungimi mari ale generatoarelor, sau unghiuri mari la centru, pentru generatoare circulare.

8.2. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei cilindro-frontale

În mod similar cu problematica analizată la generarea cu scula-disc, referitoare la determinarea profilului unei scule mărginită de o suprafață periferică primară de revoluție, se abordează și cazul specific profilării sculei cilindro-frontale.

Generatoarea plană a suprafeței elicoidale, aici considerată în planul XZ al sistemului de referință, este substituită de un polinom Bezier, de grad 2 sau 3, în funcție de numărul de puncte considerate (măsurate) în lungul generatoarei (3 sau 4 puncte).

Sunt definite axa și parametrul elicoidal al suprafeței, pentru care se urmărește a se determina forma unei suprafețe de revoluție reciproc înfășurătoare axa $\vec{V}(Z)$ și parametrul p , precum și coordonatele punctelor,

$$A[X_A, Z_A]; B[X_B, Z_B]; C[X_C, Z_C] \quad (8.26)$$

pe generatoarea cunoscută în formă discretă, figura 8.11.

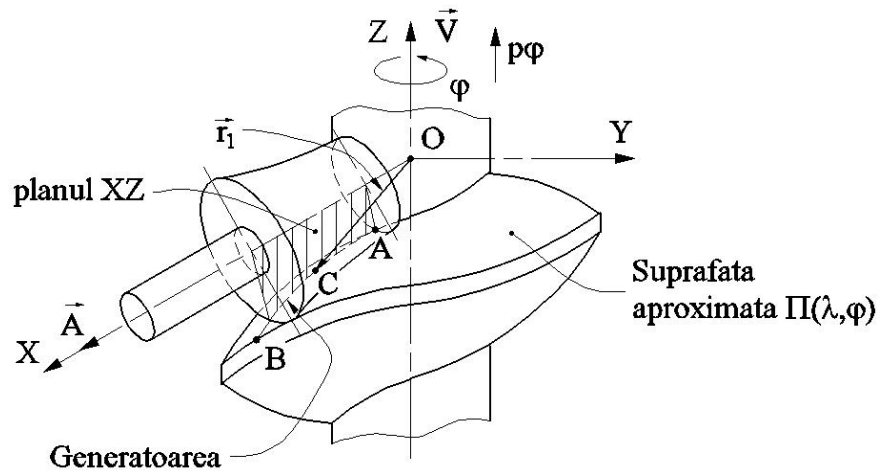


Fig. 8.11. Scula cilindro-frontală; sisteme de referință; axa sculei

Dacă se notează cu :

$$G \begin{cases} X(\lambda) = \lambda^2 A_x + 2\lambda(1-\lambda)C_x + (1-\lambda)^2 B_x; \\ Z(\lambda) = \lambda^2 A_z + 2\lambda(1-\lambda)C_z + (1-\lambda)^2 B_z, \end{cases} \quad (8.27)$$

polinomul Bezier de substituție, atunci, suprafața elicoidală de axa \vec{V} și parametru p , poate căpăta o exprimare, principială, în forma:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X(\lambda, \varphi) = X(\lambda) \cdot \cos(\varphi); \\ Y(\lambda, \varphi) = X(\lambda) \cdot \sin(\varphi); \\ Z(\lambda, \varphi) = Z(\lambda) + p \cdot \varphi. \end{cases} \quad (8.28)$$

Notă:

- Polinoamele $X(\lambda)$ și $Z(\lambda)$ urmează a fi identificate, în funcție de coordonatele cunoscute pe generatoarea G;

- Este posibilă cunoșterea și a unei generatoare spațiale (curbă strâmbă), prin considerarea simultană a proiecțiilor acesteia pe planurile sistemului de referință.

Pornind de la formele (8.28) ale suprafeței elicoidale $\Pi(\lambda, \varphi)$, se pot defini parametrii directori ai normalei la suprafața substitutivă, în formele:

$$\begin{aligned} N_X &= \dot{Y}_\lambda \cdot \dot{Z}_\varphi - \dot{Y}_\varphi \cdot \dot{Z}_\lambda; \\ N_Y &= -[\dot{X}_\lambda \cdot \dot{Z}_\varphi - \dot{X}_\varphi \cdot \dot{Z}_\lambda]; \\ N_Z &= \dot{X}_\lambda \cdot \dot{Y}_\varphi - \dot{X}_\varphi \cdot \dot{Y}_\lambda. \end{aligned} \quad (8.29)$$

Derivatele parțiale se calculează din forma (8.28) a suprafeței elicoidale. Pentru definiția axei sculei

$$\vec{A} = \vec{i} \quad (8.30)$$

și a vectorul de poziție al punctului curent pe suprafața $\Pi(\lambda, \varphi)$,

$$\vec{r} = X(\lambda, \varphi)\vec{i} + Y(\lambda, \varphi)\vec{j} + Z(\lambda, \varphi)\vec{k} \quad (8.31)$$

condiția de înfășurare

$$|\vec{N}_\Pi, \vec{A}, \vec{R}| \leq q \quad (8.32)$$

cu q – pozitiv și foarte mic (de exemplu $q = 1 \cdot 10^{-2}$), poate fi adusă la forma

$$|[Z(\lambda) + p \cdot \varphi] \cdot N_Y - [X(\lambda) \cdot \sin(\varphi)] \cdot N_Z| \leq q. \quad (8.33)$$

Se determină secțiunea axială a sculei cilindro-frontale, figura 8.12.

$$S_A \begin{cases} H = X(\lambda) \cdot \cos(\varphi); \\ R = \sqrt{Y^2(\lambda) \cdot \sin^2(\varphi) + [Z(\lambda) + p \cdot \varphi]^2}. \end{cases} \quad (8.34)$$

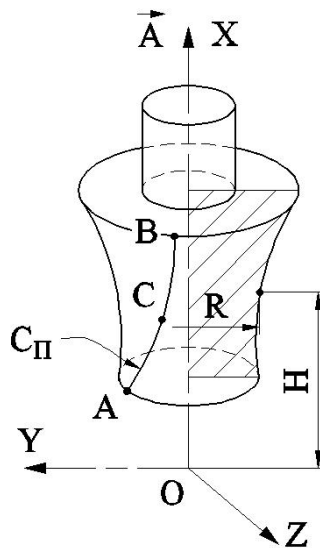


Fig. 8.12. Secțiunea axială a sculei cilindro-frontale

NOTĂ: În toate etapele algoritmului prezentat, calculul profilurilor se face numai pentru cele 3 (4) puncte considerate pe profil.

Pentru secțiunea axială (8.34), cunoscută în formă discretă pentru un număr de 3 (4) puncte ale acesteia, se face o aproximare printr-un polinom Bezier de gradul 2 (3) – determinându-se o formă de reprezentare pentru aceasta, vezi și (8.18), (8.19).

• Aplicații

Scală cilindro-frontală pentru generarea unui melc cu secțiunea axială circulară

Sunt presupuse cunoscute (măsurabile) coordonatele a trei puncte pe profilul generatoarei suprafeței elicoidale, figura 8.13:

$$\begin{array}{l}
 A \left\{ \begin{array}{l} X_A = X_{O_C} - R \cdot \cos(\Theta_A); \\ Y_A = 0; \\ Z_A = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Theta_A); \end{array} \right. \quad
 B \left\{ \begin{array}{l} X_B = X_{O_C} - R \cdot \cos(\Theta_B); \\ Y_B = 0; \\ Z_B = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Theta_B); \end{array} \right. \quad
 C \left\{ \begin{array}{l} X_C = X_{O_C} - R \cdot \cos(\Theta_C); \\ Y_C = 0; \\ Z_C = Z_{O_C} + R \cdot \sin(\Theta_C). \end{array} \right. \quad (8.35)
 \end{array}$$

și, de asemenea, coordonatele centrului arcului de cerc care reprezintă generatoarea cunoscută în formă discretă a suprafeței elicoidale

$$O_C(X_{O_C}, 0, Z_{O_C}) = (52, 0, 0), \quad (8.36)$$

precum și valorile unghiurilor: $\Theta_A = 0, \Theta_C = \frac{5\pi}{18}$ și a razei $R = 8mm$.

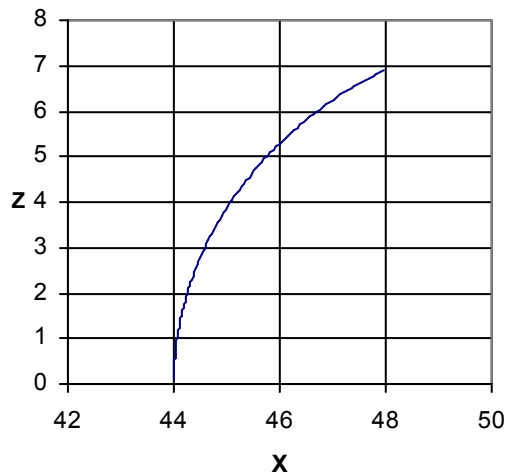


Fig. 8.13. Profilul generator – arc de cerc in plan axial

Algoritmul de indentificare a polinomului Bezier substitutiv profilului generatoarei suprafeței elicoidale este prezentat în tabelul 8.10, pentru un polinom de gradul 2.

Tabelul 8.10

Θ	Profilul primar al generatoarei	λ	Coefficienții polinomului
Θ_A	$X_A = X_{O_c} - R \cdot \cos(\Theta_A)$ $Z_A = Z_{O_c} + R \cdot \sin(\Theta_A)$	0	$B_X = X_A$ $B_Z = Z_A$
Θ_C	$\Theta_C = \Theta_A + \frac{\Theta_B - \Theta_A}{2}$ $X_C = X_{O_c} - R \cdot \cos(\Theta_C)$ $Z_C = Z_{O_c} + R \cdot \sin(\Theta_C)$	$\frac{1}{2}$	$C_X = \frac{X_C - 0,25 \cdot X_A - 0,25 \cdot X_B}{0,5}$ $C_Z = \frac{Z_C - 0,25 \cdot Z_A - 0,25 \cdot Z_B}{0,5}$
Θ_B	$X_B = X_{O_c} - R \cdot \cos(\Theta_B)$ $Z_B = Z_{O_c} + R \cdot \sin(\Theta_B)$	1	$A_X = X_B$ $A_Z = Z_B$

Notă

Așa cum s-a precizat anterior, mărimea parametrului elicoidal, p , este cunoscut (dată a problemei):

$$p = 3.18$$

În figura 14 și tabelul 11, sunt prezentate profilul secțiunii axiale a sculei-disc, într-o prezentare aproximată prin polinoame Bezier comparativ cu același profil determinat printr-o metodă analitică a înfășurării suprafețelor. De asemenea, este prezentată mărimea erorii de profilare, în raport cu profilul determinat printr-o metodă analitică, absolut riguroasă.

Tabelul 8.11.

λ	Profilul aproximativ		Profilul teoretic		Eroare [mm]
	R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]	
0.000	44.000	0.080	44.000	0.080	0.000
0.050	44.011	0.422	44.010	0.423	0.002
0.100	44.037	0.764	44.035	0.765	0.002
0.150	44.077	1.104	44.075	1.106	0.003
0.200	44.132	1.442	44.131	1.444	0.002
0.250	44.202	1.777	44.201	1.779	0.002
0.300	44.286	2.109	44.286	2.111	0.002
0.333	44.349	2.326	44.350	2.329	0.002
0.350	44.384	2.438	44.385	2.440	0.002
0.400	44.496	2.761	44.498	2.763	0.003
0.450	44.622	3.080	44.624	3.082	0.003
0.500	44.762	3.392	44.764	3.395	0.004
0.550	44.915	3.699	44.914	3.696	0.003
0.600	45.081	3.998	45.080	3.996	0.003
0.650	45.260	4.290	45.259	4.288	0.002
0.666	45.319	4.382	45.318	4.381	0.002
0.700	45.451	4.575	45.449	4.573	0.002
0.750	45.654	4.850	45.652	4.850	0.002
0.800	45.869	5.117	45.866	5.117	0.002
0.850	46.095	5.374	46.092	5.375	0.003
0.900	46.332	5.622	46.329	5.623	0.002
0.950	46.579	5.859	46.577	5.859	0.002
1.000	46.836	6.085	46.836	6.085	0.000

Eroarea maxima este de 0.003mm obținută pentru valoarea parametrului: $\lambda = 0.501$.

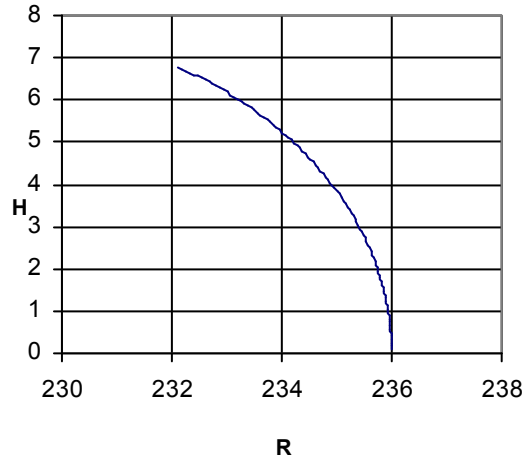


Fig. 8.14. Secțiunea axială a sculei cilindro-frontale

Scula cilindro-frontală pentru generarea unui melc cu secțiune frontală evolventică (scula deget pentru roți dințate evolventice)

Pentru generatoarea evolventică a cercului de rază R_b , figura 8.15, se propune o aproximare prin 4 puncte în lungul profilului. Facem observația că punctele pot fi și rezultatul unei măsurători a profilului pe o mașină de măsurat 2D (3D).

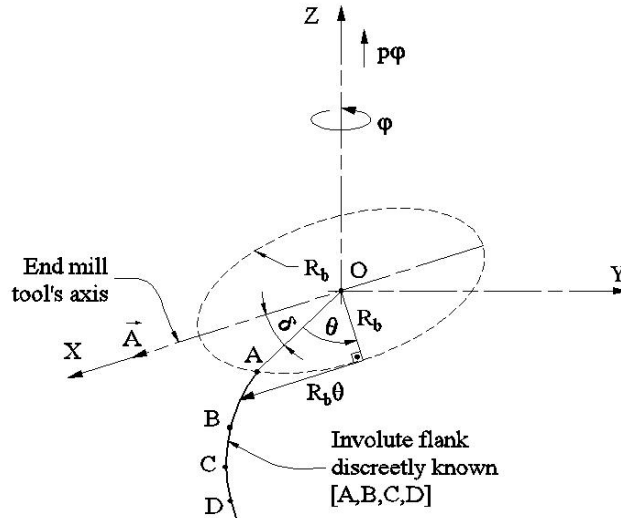


Fig. 8.15. Profil evolventic

Se propune pentru aproximarea evolventei unui polinom de gradul 3, vezi forma (5), cunoscând coordonatele punctelor de pe evolventă, vezi tabelul 8.12:

$$\begin{cases} X_C = A_X \lambda^3 + 3B_X \lambda^2 (1 - \lambda) + 3C_X \lambda (1 - \lambda)^2 + D_X (1 - \lambda)^3 \\ Y_C = A_Y \lambda^3 + 3B_Y \lambda^2 (1 - \lambda) + 3C_Y \lambda (1 - \lambda)^2 + D_Y (1 - \lambda)^3 \end{cases} \quad (8.37)$$

Mărimile unghiulare Θ_A și Θ_B sunt definite pentru evolventa flancului roții dințate de modul “m” și număr de dinți z, în tabelul 8.12.

În tabelul 8.12, este prezentat algoritmul de identificare a polinomului de gradul 3, substitutiv generatoarei evolventice.

Tabelul 8.12.

Θ	Profil primar	λ	Coefficienții polinomului
Θ_A	$X_A = R_b \cos(\delta + \Theta_A) + R_b \Theta_A \sin(\delta + \Theta_A)$ $Y_A = R_b \sin(\delta + \Theta_A) - R_b \Theta_A \cos(\delta + \Theta_A)$ $\Theta_A = \sqrt{\frac{R_i^2 - R_b^2}{R_b^2}} \text{ unde } R_i - \text{raza interioară}$ $R_i = \frac{m \cdot z}{2} - 1 \cdot m$ $R_b = \frac{m \cdot z}{2} \cdot \cos(\alpha)$ $\alpha = 20^\circ$ $\delta - \text{semiunghiul golului între doi dinți}$	0	$D_X = Y_A$ $D_Y = Z_A$
Θ_C	$\Theta_C = \sqrt{\frac{R_C^2 - R_b^2}{R_b^2}}$ <p>unde R_C – raza punctului C $R_i < R_C \leq R_e$</p> $\Theta_C = \Theta_A + \frac{1}{3} \cdot (\Theta_B - \Theta_A)$ $X_C = R_b \cos(\delta + \Theta_C) + R_b \Theta_C \sin(\delta + \Theta_C)$ $Y_C = R_b \sin(\delta + \Theta_C) - R_b \Theta_C \cos(\delta + \Theta_C)$	$\frac{1}{3}$	$C_X = \frac{18 \cdot X_C - 9 \cdot X_D + 2 \cdot X_B - 5 \cdot X_A}{6}$ $C_Y = \frac{18 \cdot Y_C - 9 \cdot Y_D + 2 \cdot Y_B - 5 \cdot Y_A}{6}$
Θ_D	$\Theta_D = \sqrt{\frac{R_D^2 - R_b^2}{R_b^2}}$ <p>unde R_D – raza punctului D $R_i < R_D \leq R_e$</p> $X_D = R_b \cos(\delta + \Theta_D) + R_b \Theta_D \sin(\delta + \Theta_D)$ $Y_D = R_b \sin(\delta + \Theta_D) - R_b \Theta_D \cos(\delta + \Theta_D)$ $\Theta_D = \Theta_A + \frac{2}{3} \cdot (\Theta_B - \Theta_A)$	$\frac{2}{3}$	$B_X = \frac{-5 \cdot X_B + 2 \cdot X_A + 18 \cdot X_D - 9 \cdot X_C}{6}$ $B_Y = \frac{-5 \cdot Y_B + 2 \cdot Y_A + 18 \cdot Y_D - 9 \cdot Y_C}{6}$
Θ_B	$X_B = R_b \cos(\delta + \Theta_B) + R_b \Theta_B \sin(\delta + \Theta_B)$ $Y_B = R_b \sin(\delta + \Theta_B) - R_b \Theta_B \cos(\delta + \Theta_B)$ $\Theta_B = \sqrt{\frac{R_e^2 - R_b^2}{R_b^2}}$	1	$A_X = X_B$ $A_Y = Y_B$

Suprafața elicoidală evolventică în reprezentare „discretă” are, principal, forma:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X(\lambda, \varphi) = X(\lambda) \cos(\varphi) - Y(\lambda) \sin(\varphi); \\ Y(\lambda, \varphi) = X(\lambda) \sin(\varphi) + Y(\lambda) \cos(\varphi); \\ Z(\lambda, \varphi) = p \cdot \varphi. \end{cases} \quad (8.38)$$

Se calculează normala la suprafața înlocuitoare (8.38)

$$\vec{N}_\pi = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dot{X}_\lambda \cos(\varphi) - \dot{Y}_\lambda \sin(\varphi) & \dot{X}_\lambda \sin(\varphi) + \dot{Y}_\lambda \cos(\varphi) & 0 \\ -X(\lambda) \sin(\varphi) - Y(\lambda) \cos(\varphi) & X(\lambda) \cos(\varphi) - Y(\lambda) \sin(\varphi) & p \end{vmatrix} \quad (8.39)$$

și, ținând seama de definițiile:

$$\vec{A} = \vec{i} \quad - \text{versorul axei sculei cilindro-frontale} \quad (8.40)$$

$$\vec{r}(\lambda, \varphi) = X(\lambda, \varphi) \cdot \vec{i} + Y(\lambda, \varphi) \cdot \vec{j} + Z(\lambda, \varphi) \cdot \vec{k}, \quad (8.41)$$

vectorul punctului curent pe suprafața elicoidală, rezultă condiția de înfășurare specifică, în acest caz:

$$\left\{ \begin{vmatrix} N_x & N_y & N_z \\ 1 & 0 & 0 \\ X(\lambda, \varphi) & Y(\lambda, \varphi) & Z(\lambda, \varphi) \end{vmatrix} \right\}_{abs} \leq q, \quad (8.42)$$

q – pozitiv, suficient de mic și $X(\lambda, \varphi), Y(\lambda, \varphi), Z(\lambda, \varphi)$ definite în relațiile (8.38).

În figura 8.16 este reprezentată generatoarea evolventică, iar în figura 8.17 și tabelul 8.13, sunt prezentate forma și coordonatele secțiunii axiale a sculei, vezi (8.34), pentru generarea unei danturi evolventice având caracteristicile

$$m = 10 \text{ mm}; z = 17 \text{ dinti}; p = 86 \text{ mm}, \quad (8.43)$$

comparativ cu soluția oferită de aplicarea uneia dintre teoremele fundamentale ale înfășurării suprafețelor.

Tabelul 8.13.

λ	Profilul aproximativ		Profilul teoretic		Eroarea [mm]
	R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]	
0.000	79.874	-3.477	79.874	-3.483	0.006
0.050	80.142	-3.504	80.142	-3.508	0.005
0.100	80.409	-3.533	80.410	-3.537	0.004
0.150	80.676	-3.565	80.677	-3.568	0.003
0.200	80.943	-3.600	80.944	-3.602	0.002
0.250	81.209	-3.638	81.210	-3.639	0.001
0.300	81.475	-3.678	81.476	-3.678	0.001
0.333	81.651	-3.705	81.652	-3.705	0.001
0.350	81.741	-3.720	81.742	-3.719	0.001
0.400	82.007	-3.764	82.007	-3.763	0.001
0.450	82.272	-3.810	82.272	-3.809	0.001
0.500	82.536	-3.858	82.537	-3.857	0.001
0.550	82.801	-3.908	82.801	-3.907	0.001
0.600	83.065	-3.959	83.065	-3.959	0.000
0.650	83.329	-4.012	83.329	-4.012	0.000
0.666	83.413	-4.030	83.413	-4.030	0.000
0.700	83.592	-4.067	83.592	-4.068	0.001
0.750	83.855	-4.123	83.855	-4.124	0.001
0.800	84.118	-4.181	84.118	-4.182	0.001

0.850	84.380	-4.240	84.380	-4.241	0.001
0.900	84.643	-4.300	84.642	-4.301	0.001
0.950	84.904	-4.362	84.904	-4.362	0.000
1.000	85.166	-4.425	85.166	-4.425	0.001

Eroarea maxima este de 0.006mm obținută pentru valoarea parametrului: $\lambda = 0$.

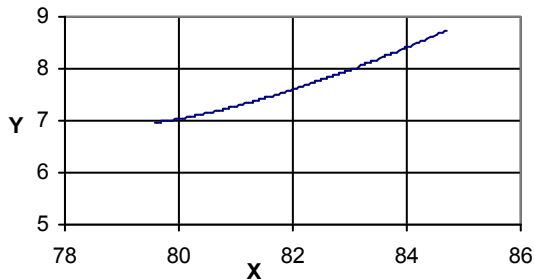


Fig. 8.16. Generatoarea evolventică

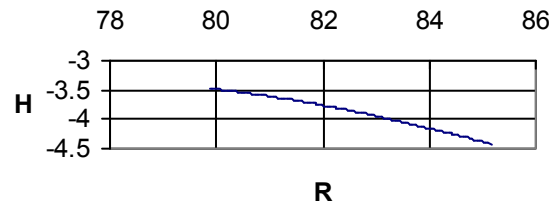


Fig. 8.17. Secțiunea axială a sculei cilindro-frontale

NOTĂ: Metoda propusă se dovedește a fi satisfăcătoare din punctul de vedere al preciziei geometrice de profilare a sculei. Numărul de puncte calculat este relativ mic (4 puncte cunoscute în lungul profilului de generat, într-un plan frontal al acestuia).

8.3. Sinteza unor algoritmi pentru profilarea sculei cilindrice (scula de rabotat)

Scula cilindrică, în realitate scula de rabotat care generează în mișcarea de așchiere rectilinie-alternativă o suprafață cilindrică reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale exprimată în formă discretă, poate fi, de asemenea, profilată în baza unui algoritm similar celor anterior prezentate (vezi scula disc și scula frontală).

Pentru o generatoare plană, definită în formă discretă și aproximată printr-un polinom Bezier de grad inferior, ca rezultat al cunoașterii unui număr mic de puncte pe generatoarea suprafeței elicoidale (3 sau 4 puncte), se acceptă ca formă de exprimare a suprafeței elicoidale prezentată în formă discretă forma (8.3) prin cunoașterea unei generatoare ”discrete” din planul transversal al suprafeței elicoidale.

Curba caracteristică, C_{Π} , pe suprafața elicoidală Π în formă discretă, ca reprezentând curba de tangență cu suprafața cilindrică (în figura 8.16 suprafața având generatoarele perpendiculare pe planul P_T și acceptând ca directoare curba C_{Π}) se definește în baza unei condiții de înfășurare specifice:

$$\vec{N}_{\Pi} \cdot \vec{t} = 0 \quad (8.44)$$

În forma (8.44), condiția NIKOLAEV, specifică acestui gen de problemă de înfășurare s-au notat:

- \vec{N}_{Π} este normala la suprafața elicoidală exprimată în formă discretă, vezi (8.6), (8.7), (8.8), (8.9);
- \vec{t} - versorul generatoarelor suprafeței cilindrice,

$$\vec{t} = \cos(\alpha)\vec{j} + \sin(\alpha)\vec{k} \quad (8.45)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{p}{D_e}\right); \quad (8.46)$$

cu

- p – parametrul elicoidal al suprafeței (cunoscut);
- D_e – diametrul cilindrului exterior al suprafeței elicoidale.

Astfel, ansamblul ecuațiilor (8.6) și condiția (8.44) cu definițiile (8.9) și (8.45) reprezintă curba caracteristică de contact a celor două suprafețe: suprafața elicoidală exprimată în formă discretă și suprafața cilindrică, ca suprafața periferică primară a sculei de rabotat pentru generarea suprafeței elicoidale.

Notă

Condiția (8.44) poate fi privită ca un caz particular al condiției (8.13), în care distanța „ a ” tinde să fie infinită.

Se transformă, astfel, o suprafață de revoluție - suprafața periferică primară a sculei-disc, într-o suprafață cilindrică.

Principial, curba caracteristică C_{II} se exprimă prin coordonatele punctelor acesteia, vezi (8.14).

Suprafața cilindrică – s

Fiind cunoscute :

- direcția generatoarelor suprafeței cilindrice, \vec{t} (8.45);
- forma curbei caracteristice C_{II} (8.14), exprimată în formă discretă,

se poate exprima caracteristica „discretă” (8.14) într-un nou sistem de referință, figura 8.18, în care planul P_T (vezi și figura 8.16) devine planul X_1Z_1 al noului sistem de referință.

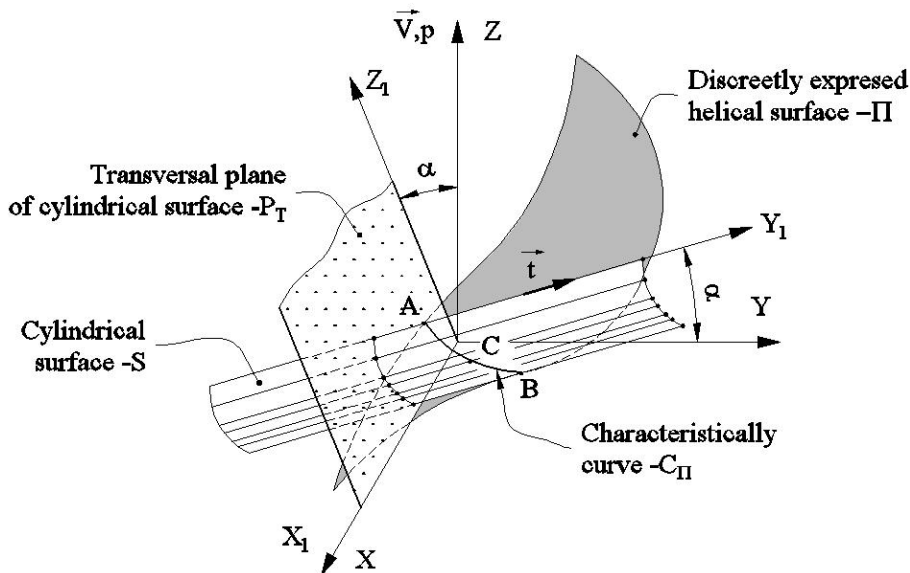


Fig. 8.18. Suprafața cilindrică și curbă caracteristică

Suprafața S rezultă, pentru punctele în care este definită, în forma:

$$\vec{R} = \vec{r} + k \cdot \vec{t} \quad (8.47)$$

în care vectorii \vec{R} și \vec{r} vor fi definiți astfel:

$$\vec{r} = X^{C_n} \vec{i} + Y^{C_n} \vec{j} + Z^{C_n} \vec{k}, \quad (8.48)$$

vectorul punctelor discrete de pe caracteristica C_{II} , vezi (8.14);

\vec{k} - parametru scalar.

Rezultă, principal, coordonatele suprafeței S,

$$S: \begin{cases} X^S = X^{C_n}; \\ Y^S = Y^{C_n} + k \cdot \cos(\alpha); \\ Z^S = Z^{C_n} + k \cdot \sin(\alpha). \end{cases} \quad (8.49)$$

Notă

Reamintim transformarea de coordonate:

$$X_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \quad (8.50)$$

care conduce la forma:

$$S_{X_1 Y_1 Z_1} \begin{cases} X_1 = X^S; \\ Y_1 = Y^S \cos(\alpha) + Z^S \sin(\alpha); \\ Z_1 = -Y^S \sin(\alpha) + Z^S \cos(\alpha), \end{cases} \quad (8.51)$$

reprezentînd suprafața cilindrică discretă S în sistemul $X_1 Y_1 Z_1$, vezi și figura 8.17.

Secțiunea transversală a suprafeței cilindrice discretă (8.51) se obține din condiția

$$|Y_1| \leq q_1 \quad (8.52)$$

cu q_1 - arbitrar, pozitiv, mic, în forma:

$$S_{P_r} \begin{cases} X_1 = X^S; \\ Z_1 = -Y^S \sin(\alpha) + Z^S \cos(\alpha), \end{cases} \quad (8.53)$$

pentru k variabil, vezi și figura 8.18.

Aplicație – Sculă cilindrică pentru generarea suprafeței elicoidale cu profil circular în plan axial

Suprafața elicoidală este exprimată în formă discretă prin intermediul unei generatoare plane cunoscută prin puncte ale sale, figura 8.19.

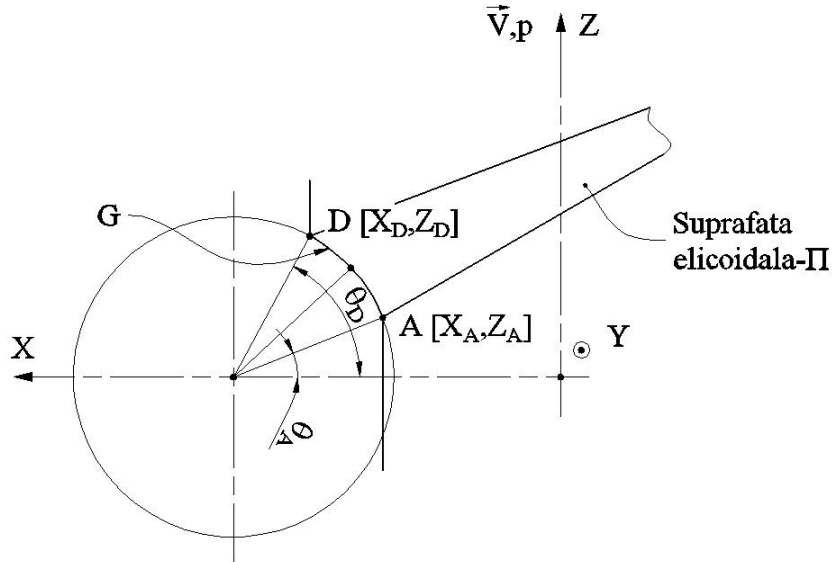


Fig. 8.19. Suprafață elicoidală cu generatoare circulară în planul axial

Sunt presupuse cunoscute (măsurabile) coordonatele de pe generatoarea suprafeței elicoidale, vezi și relațiile (8.35) și (8.36).

Se identifică polinomul Bezier de aproximare a generatoarei G , vezi și tabelul 8.10, pentru un polinom de gradul 2 sau similar, pentru un polinom de grad superior.

Pe suprafața elicoidală:

$$\Pi \begin{cases} X(\lambda, \varphi) = -P_Y(\lambda) \cdot \sin(\varphi); \\ Y(\lambda, \varphi) = P_Y(\lambda) \cdot \cos(\varphi); \\ Z(\lambda, \varphi) = P_Z(\lambda) \cdot \sin(\varphi), \end{cases} \quad (8.54)$$

cu $P_Y(\lambda)$, $P_Z(\lambda)$ polinoamele de substituire a generatoarei discrete;

φ - parametru unghiular variabil, se determină, perechile de valori „ φ ” și „ λ ” care satisfac condiția (8.44), vezi și definițiile (8.6) ... (8.9) și (8.45),

$$|N_y \cos(\alpha) + N_y \cos(\alpha)| \leq q \quad (8.55)$$

q pozitiv și mic.

Se determină, astfel, curba caracteristică – ansamblul ecuațiilor (8.6) și (8.55) – pe suprafața S , suprafața elicoidală exprimată în formă “discretă” și, de aici, prin transformare de coordonate (8.50), forma secțiunii transversale a suprafeței cilindrice - S_{P_t} - vezi (8.53).

În figura 8.20 și tabelul 14, sunt prezentate forma și coordonatele secțiunii transversale a suprafeței cilindrice reciproc înfășurătoare unui melc având caracteristicile dimensionale:

- coordonatele punctelor de pe secțiunea axială

$$\begin{matrix} A & \begin{cases} X_A = 44.01 \\ Z_A = 0.39 \end{cases} & B & \begin{cases} X_B = 44.82 \\ Z_B = 3.52 \end{cases} & C & \begin{cases} X_C = 46.85 \\ Z_C = 6.12 \end{cases} \end{matrix}$$

- parametrul elicoidal al elicei, $p=3.18$

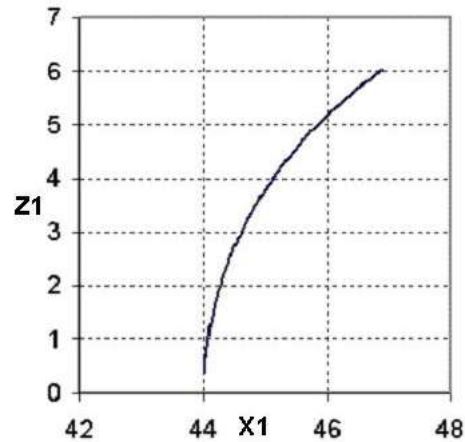


Fig. 8.20. Profilul sculei cilindrice

Rezultatele numerice sunt prezentate în raport cu rezultatele obținute prin utilizarea unei metode fundamentale de calcul a profilului sculei de rabotat.

Tabelul 8.14.

λ	Profilul aproximat		Profilul teoretic		Eroarea [mm]
	X1 [mm]	Z1 [mm]	X1 [mm]	Z1 [mm]	
0.000	44.010	0.395	44.010	0.396	0.000
0.050	44.033	0.720	44.032	0.720	0.001
0.100	44.070	1.043	44.069	1.043	0.002
0.150	44.121	1.364	44.119	1.365	0.002
0.200	44.185	1.683	44.184	1.683	0.001
0.250	44.262	1.999	44.261	1.999	0.001
0.300	44.353	2.312	44.352	2.311	0.000
0.333	44.420	2.516	44.420	2.515	0.000
0.350	44.456	2.620	44.456	2.620	0.000
0.400	44.573	2.924	44.573	2.923	0.001
0.450	44.702	3.222	44.703	3.222	0.001
0.500	44.844	3.515	44.844	3.515	0.001
0.550	44.997	3.802	44.998	3.801	0.001
0.600	45.163	4.081	45.164	4.081	0.000
0.650	45.341	4.354	45.341	4.354	0.000
0.666	45.400	4.439	45.400	4.439	0.000
0.700	45.530	4.619	45.529	4.619	0.001
0.750	45.730	4.875	45.729	4.875	0.001
0.800	45.941	5.123	45.940	5.123	0.001
0.850	46.162	5.361	46.161	5.361	0.002
0.900	46.394	5.590	46.392	5.589	0.001
0.950	46.635	5.808	46.634	5.807	0.001
1.000	46.886	6.015	46.886	6.014	0.001

Eroarea maxima este de 0.001 mm obținută pentru valoarea parametrului $\lambda = 0.125$.

Este evident faptul că, precizia profilului sculei cilindrice reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas constant este suficient de exactă și că pentru

anumite tipuri de suprafețe, metoda reprezentării prin poli a generatoarelor plane ale suprafețelor poate constitui o alternativă la metodele analitice pentru profilare sculelor generatoare a suprafețelor elicoidale.

Metoda propusă caracterizându-se prin aceea că numărul de puncte considerate este relativ mic 3 sau 4 puncte, mărirea preciziei de determinare putându-se obține prin utilizarea unor polinoame de substituție de grad superior.

Metoda are avantajul că permite abordarea problematicii profilării sculei generatoare a suprafeței elicoidale, pornind de la cunoașterea unor puncte efectiv măsurate pe această suprafață.

8.4. Modelarea prin polinoame Bezier a profilului sculei inelare cuprinzătoare

Profilarea sculelor mărginite de suprafețe periferice primare de revoluție, pentru generarea suprafețelor elicoidale —scula disc; scula cilindro-frontală— se face prin metodele specifice ale teoriei suprafețelor reciproc înfășurătoare.

De asemenea, sunt cunoscute metodele analitice de profilare a sculelor reciproc înfășurătoare suprafețelor elicoidale, în baza metodologiei descompunerii mișcării elicoidale în mișcări de rotație, precum și unele metode complementare.

Toate aceste metode se bazează pe cunoașterea în formă analitică (vectorială) a suprafeței de generat.

Există multiple situații în care cunoașterea suprafeței elicoidale este realizată printr-un număr redus de puncte discrete în lungul unei curbe generatoare a acesteia. Adeseori aceste coordonate sunt obținute prin măsurare directă pe mașini 3D. Apare astfel necesitatea de a exprima într-o formă aproximativă suprafețele de generat, prin aproximări Bezier, și, de aici, de a sintetiza metodologii simplificate (care utilizează un număr mic, 3-4 puncte) de pe profil, în vederea profilării sculelor generatoare a suprafețelor elicoidale.

Sculele inelare —scule suprafețe de revoluție cuprinzătoare— sunt destinate generării prin așchiere a suprafeței elicoidale de pas constant de tipul șuruburilor conducătoare a mașinilor-unelte.

Procedeul cunoscut sub denumirea de „filetare în vârtej”, figura 8.21, presupune existența unui utilaj specializat sau a unui echipament specific adaptat unei mașini-unelte universale.

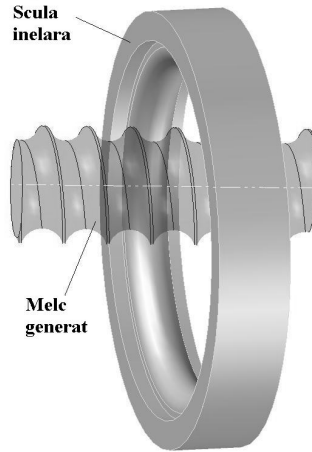


Fig. 8.21. Filetare în vârtej cu scula inelară cuprinzătoare

Profilarea sculei de generare prin înfășurare, ca sculă de prelucrare în vârtej a suprafețelor elicoidale, se poate face, de asemenea, în baza reprezentării în formă discretă a suprafeței elicoidale, prin aproximarea generatoarei acesteia cu o curbă ce constituie un polinom Bezier de grad inferior, astfel că numărul de puncte cunoscut pe generatoarea suprafeței elicoidale să fie redus la 3 sau 4 puncte, în funcție de gradul polinomului de aproximare.

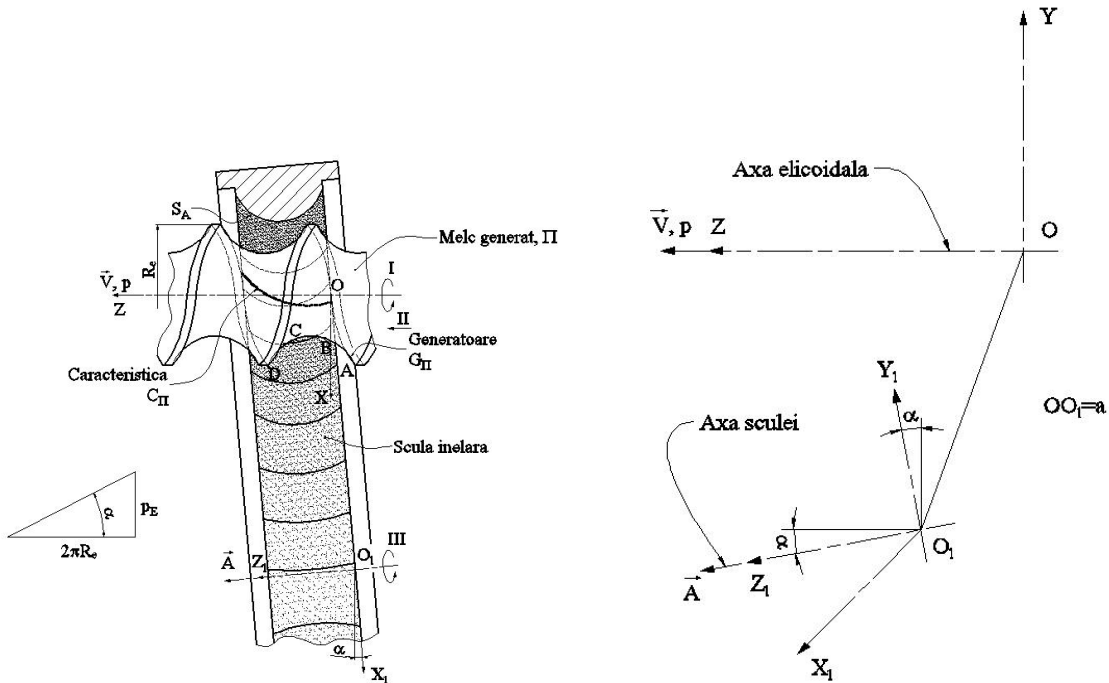


Fig. 8.22. Suprafața elicoidală—II, generatoarea— G_{II} , curba caracteristică— C_{II} , secțiunea axială a scule— S_A

• **Algoritm de profilare**

Dacă se acceptă faptul că pe suprafața elicoidală cilindrică și de pas constant Π , de axă \vec{V} și parametru elicoidal p , este cunoscută o generatoare G_{Π} , în lungul căreia sunt definite 3 (4) puncte, fie:

$$A[X_A, Y_A]; B[X_B, Y_B]; C[X_C, Y_C]; D[X_D, Y_D] \quad (8.56)$$

acestea (în figura 8.22, generatoarea este presupusă ca fiind o curbă plană, cele 4 puncte fiind definite pe o presupusă secțiune axială a suprafeței), în conformitate cu metoda acceptată, se definește un polinom Bezier de grad inferior, substitutiv curbei reprezentând secțiunea axială a suprafeței, secțiune cunoscută prin cele 4 puncte (8.56), fie:

$$\begin{aligned} P_X(\lambda) &= A_X \lambda^3 + B_X \lambda^2 (1-\lambda) + C_X \lambda (1-\lambda)^2 + D_X (1-\lambda)^3; \\ P_Z(\lambda) &= A_Z \lambda^3 + B_Z \lambda^2 (1-\lambda) + C_Z \lambda (1-\lambda)^2 + D_Z (1-\lambda)^3, \end{aligned} \quad (8.57)$$

forma polinomului de substituție, cu $0 \leq \lambda \leq 1$.

Notă Similar, se poate imagina și un polinom Bezier de substituție de gradul doi:

$$\begin{aligned} P_X(\lambda) &= A_X \lambda^2 + C_X \lambda (1-\lambda) + B_X (1-\lambda)^2; \\ P_Z(\lambda) &= A_Z \lambda^2 + C_Z \lambda (1-\lambda) + B_Z (1-\lambda)^2. \end{aligned} \quad (8.58)$$

Se definesc, în baza formelor (8.57), ecuațiile parametrice ale suprafeței elicoidale în mișcarea

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_X(\lambda) \\ 0 \\ P_Z(\lambda) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p\varphi \end{pmatrix}, \quad (8.59)$$

care conduce la forma:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X = P_{X(\lambda)} \cos \varphi; \\ Y = P_{X(\lambda)} \sin \varphi; \\ Z = P_{Z(\lambda)} + p\varphi, \end{cases} \quad (8.60)$$

cu φ — parametru variabil și p — parametru elicoidal al suprafeței elicoidale cilindrice de generat.

Parametrul λ este definit pentru un număr mic de valori (4 în cazul polinomului Bezier de substituție de gradul trei, vezi tabelul 1, pentru identificarea mărimii coeficienților polinomului).

Se acceptă că, fiind cunoscute ecuațiile de aproximare (8.60), acestea constituie o formă analitică a suprafeței elicoidale, formă care poate servi la determinarea curbei caracteristice în mișcarea de rotație a suprafeței elicoidale în jurul axei \vec{A} — axa sculei inelare,

$$\vec{A} = \sin \alpha \cdot \vec{j} + \cos \alpha \cdot \vec{k}, \quad (8.61)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p}{R_e}, \quad (8.62)$$

vezi și figura 8.22.

Se calculează normala la suprafața $\Pi(\lambda, \varphi)$, vezi ecuațiile (8.60).

Tabelul 8.15. Identificarea polinomului Bezier de gradul 3

Punct	Coordonate pe generatoare	λ	Coeficienții polinomului
A	X_A, Z_A	0	$D_X = X_A$ $D_Z = Z_A$
B	X_B, Z_B	$\frac{1}{3}$	$C_X = \frac{18X_C - 9X_B + 2X_A - 5X_D}{6}$ $C_Z = \frac{18Z_C - 9Z_B + 2Z_A - 5Z_D}{6}$
C	X_C, Z_C	$\frac{2}{3}$	$B_X = \frac{-5X_A + 2X_D + 18X_B - 9X_C}{6}$ $B_Z = \frac{-5Z_A + 2Z_D + 18Z_B - 9Z_C}{6}$
D	X_D, Z_D	1	$A_X = X_D$ $A_Z = Z_D$

Notă În cazul în care punctele de pe generatoare, $A[X_A, Y_A]$; $B[X_B, Y_B]$; $C[X_C, Y_C]$; $D[X_D, Y_D]$, sunt puncte ale căror coordonate sunt efectiv măsurate, atunci

mărimea parametrului λ poate fi aproximată cu relațiile: $\lambda_B = \frac{|\overline{AB}|}{|\overline{AB}| + |\overline{BC}| + |\overline{CD}|}$,

$\lambda_C = \frac{|\overline{AB}| + |\overline{BC}|}{|\overline{AB}| + |\overline{BC}| + |\overline{CD}|}$. Evident, segmentele \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CD} aproximează mai bine

arcul generatoarei dacă acesta are o rază mare de curbură.

$$\vec{N}_\Pi = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -P_{X(\lambda)} \sin \varphi & P_{X(\lambda)} \cos \varphi & p \\ \dot{P}_{X(\lambda)} \cos \varphi & \dot{P}_{X(\lambda)} \sin \varphi & \dot{P}_{Z(\lambda)} \end{vmatrix}, \quad (8.63)$$

în principiu

$$\vec{N}_\Pi = N_{\Pi X} \vec{i} + N_{\Pi Y} \vec{j} + N_{\Pi Z} \vec{k}. \quad (8.64)$$

Astfel, definind vectorul curent pe suprafața $\Pi(\lambda, \varphi)$, măsurat din originea O_I ,

$$\vec{r}_1 = [\Pi_X(\lambda, \varphi) - a] \vec{i} + \Pi_Y(\lambda, \varphi) \vec{j} + \Pi_Z(\lambda, \varphi) \vec{k}, \quad (8.65)$$

se definește condiția de înfășurare NIKOLAEV,

$$(\vec{N}_\Pi, \vec{A}, \vec{r}_1) = 0 \quad (8.66)$$

sau, după înlocuiri,

$$-\varepsilon \leq \begin{vmatrix} N_{\Pi X} & N_{\Pi Y} & N_{\Pi Z} \\ \Pi_X(\lambda, \varphi) - a & \Pi_Y(\lambda, \varphi) & \Pi_Z(\lambda, \varphi) \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} \leq \varepsilon, \quad (8.67)$$

cu ε suficient de mic în valoare absolută ($\varepsilon = 1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$).

Mărimea a este o mărime geometrică depinzând de dimensiunea diametrală a sculei inelare.

Se determină, în baza condiției (8.67), perechi de valori λ și φ (3 sau 4 perechi de valori, în funcție de gradul polinomului de aproximare a generatoarei) care permit determinarea pe suprafața elicoidală de generat, a punctelor aparținând curbei caracteristice — C_{II} , vezi (8.68) pentru cazul celor 4 puncte,

$$X_{C_{II,\lambda}} = \begin{vmatrix} X_{C_{II,\lambda=0}} & Y_{C_{II,\lambda=0}} & Z_{C_{II,\lambda=0}} \\ X_{C_{II,\lambda=0.33}} & Y_{C_{II,\lambda=0.33}} & Z_{C_{II,\lambda=0.33}} \\ X_{C_{II,\lambda=0.66}} & Y_{C_{II,\lambda=0.66}} & Z_{C_{II,\lambda=0.66}} \\ X_{C_{II,\lambda=1}} & Y_{C_{II,\lambda=1}} & Z_{C_{II,\lambda=1}} \end{vmatrix}, \quad (8.68)$$

Se pot defini, acum, coordonatele secțiunii axiale, S_A , a sculei inelare cuprinzătoare, dacă se transformă coordonatele (8.68) ale curbei caracteristice, cunoscută în formă discretă, în sistemul X_1, Y_1, Z_1 al sculei, prin transformarea

$$\begin{vmatrix} X_{1C_{II}} \\ Y_{1C_{II}} \\ Z_{1C_{II}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_{C_{II,\lambda}} \\ Y_{C_{II,\lambda}} \\ Z_{C_{II,\lambda}} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} a \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}, \quad (8.69)$$

($\lambda = 0; 0.33; 0.66; 1$).

Rezultă, în baza transformării (8.69) coordonatele curbei caracteristice comună celor două suprafețe, suprafața elicoidală și suprafața periferică primară a sculei inelare, în forma

$$C_{II_1} : [X_{1C_{II,\lambda}}, Y_{1C_{II,\lambda}}, Z_{1C_{II,\lambda}}], \quad (\lambda = 0; 0.33; 0.66; 1). \quad (8.70)$$

Se definesc coordonatele secțiunii axiale, S_A , pornind de la forma (8.70) a curbei caracteristice cunoscută în formă discretă:

$$S_A \begin{cases} (Z_{1C_{II,\lambda}}) = H_\lambda; \\ \sqrt{(X_{1C_{II,\lambda}})^2 + (Y_{1C_{II,\lambda}})^2} = R_\lambda; \end{cases} \quad \lambda = 0; 0.33; 0.66; 1, \quad (8.71)$$

pentru un polinom de aproximare de gradul 3 a generatoarei suprafeței elicoidale de generat.

Astfel, în lungul generatoarei axiale a sculei inelare vor fi cunoscute un număr de 4 puncte care derivă din puncte cunoscute pe generatoarea suprafeței elicoidale.

Pentru o reprezentare a secțiunii axiale a sculei inelare (8.71), se propune aproximarea celor patru puncte ale acesteia, printr-un polinom de gradul 3, în forma:

$$Q(\lambda) \begin{cases} Q_H(\lambda) = \lambda^3 E_H + \lambda^2 (\lambda - 1) F_H + \lambda (\lambda - 1)^2 G_H + (\lambda - 1)^3 H_H; \\ Q_R(\lambda) = \lambda^3 E_R + \lambda^2 (\lambda - 1) F_R + \lambda (\lambda - 1)^2 G_R + (\lambda - 1)^3 H_R, \end{cases} \quad (8.72)$$

pentru $\lambda=0; 0.33; 0.66; 1$, cu mărimi calculate din (8.71).

Se determină coeficienții polinomului de aproximare Bezier: $E_H, F_H, G_H, H_H, E_R, F_R, G_R, H_R$ și se obține, astfel, o reprezentare aproximată a secțiunii axiale a sculei inelare cuprinzătoare, reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas constant, cunoscută printr-o reprezentare discretă, cu un număr redus de puncte (4 puncte) a unei generatoare plane a acesteia.

Notă În cazul cunoașterii în formă discretă (eventual prin măsurare) a unor puncte în lungul unei generatoare spațiale, problema se rezolvă în mod similar, considerând proiecțiile coordonatelor curbei în planurile sistemului de referință.

Calitatea metodei propuse se determină prin compararea rezultatelor algoritmului propus, pentru diferite tipuri de suprafețe, cu rezultatele obținute prin aplicarea metodelor clasice, cu descrierea analitică a suprafețelor elicoidale.

• Aplicații

Scula inelară pentru un melc cu profil axial rectiliniu (melc arhimedic)

În figura 8.23, sunt prezentate generatoarea melcului arhimedic și punctele acceptate pe această generatoare, vezi tabelul 8.16, pentru un polinom de aproximare de gradul II, vezi relațiile (8.58).

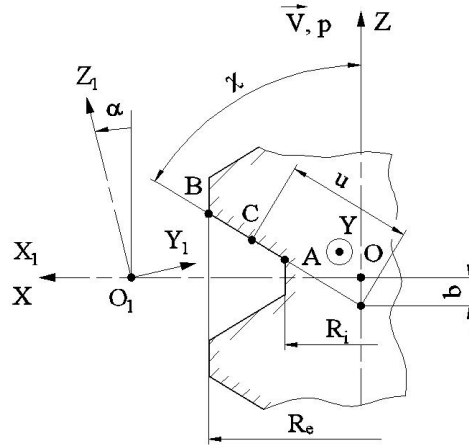


Fig. 8.23. Generatoarea melcului arhimedic

Tabelul 8.16.

Punct	Parametrul variabil	Coordonate	λ
A	$u_A = \frac{R_i}{\cos \chi}$	$X_A = u_A \sin \chi;$ $Z_A = u_A \cos \chi - b;$	0
B	$u_C = \frac{u_A - u_B}{2}$	$X_C = u_C \sin \chi;$ $Z_C = u_C \cos \chi - b;$	0.5
C	$u_B = \frac{R_e}{\cos \chi}$	$X_B = u_B \sin \chi;$ $Z_B = u_B \cos \chi - b.$	1

Notă: b este o constantă geometrică, specifică tipului de melc de generat.

Astfel, suprafața elicoidală a cărei generatoare este aproximată cu un polinom Bezier, are, de principiu, ecuațiile:

$$\Pi(\lambda, \varphi) \begin{cases} X = X(\lambda) \cos \varphi; \\ Y = X(\lambda) \sin \varphi; \\ Z = Z(\lambda) + p\varphi, \end{cases} \quad (8.73)$$

cu φ parametru variabil și $X(\lambda)$, $Z(\lambda)$ polinoamele de substituție ale generatoarei discrete, vezi forma (8.58).

Scrierea condiției de înfășurare

$$(\vec{N}_{\Pi}, \vec{A}, \vec{r}_1) = 0 \quad (8.74)$$

presupune cunoașterea:

— normalei la suprafața elicoidală $\Pi(\lambda, \varphi)$,

$$\vec{N}_{\Pi} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dot{X}_{\lambda} \cos(\varphi + \pi) & \dot{X}_{\lambda} \sin(\varphi + \pi) & \dot{Z}_{\lambda} \\ -X_{(\lambda)} \sin(\varphi + \pi) & X_{(\lambda)} \cos(\varphi + \pi) & p \end{vmatrix} \quad (8.75)$$

sau

$$\vec{N}_{\Pi} = N_{\Pi X} \vec{i} + N_{\Pi Y} \vec{j} + N_{\Pi Z} \vec{k}; \quad (8.76)$$

— axa sculei inelare,

$$\vec{A} = -\sin \alpha \cdot \vec{j} + \cos \alpha \cdot \vec{k}, \quad (8.77)$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{p}{R_e} \right]; \quad (8.78)$$

— vectorul \vec{r}_1 ,

$$\vec{r}_1 = [X_{\Pi}(\varphi, \lambda) - a] \vec{i} + Y_{\Pi}(\varphi, \lambda) \vec{j} + Z_{\Pi}(\varphi, \lambda) \vec{k} \quad (8.79)$$

în care X_{Π} , Y_{Π} , Z_{Π} sunt date de (8.73) - ecuațiile suprafeței elicoidale approximate.

Condiția de înfășurare se reduce la

$$-\varepsilon \leq |\vec{N}_{\Pi}, \vec{A}, \vec{r}_1| \leq \varepsilon \quad (8.80)$$

pentru ε suficient de mic în valoare absolută ($\varepsilon = 1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$).

Ansamblul mărimilor parametrilor λ și φ care satisfac condiția (8.80) permit determinarea punctelor discrete de pe curba caracteristică a suprafeței Π , comună cu cea a suprafeței S — suprafața periferică (interioară) a sculei inelare.

Din (8.73) rezultă, principal, coordonatele pe curba caracteristică,

$$C_{\Pi} : \begin{cases} X_{C\Pi} = X(\lambda); \\ Y_{C\Pi} = Y(\lambda); \\ Z_{C\Pi} = Z(\lambda), \end{cases} \quad (8.81)$$

pentru $\lambda = 0; 0.5; 1$.

Se transferă coordonatele curbei C_{Π} în sistemul de referință asociat sculei inelare — $S, X_I Y_I Z_I$.

$$\begin{pmatrix} X_{1\text{STI}} \\ Y_{1\text{STI}} \\ Z_{1\text{STI}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{\text{CI}}(\lambda) + a \\ Y_{\text{CI}}(\lambda) \\ Z_{\text{CI}}(\lambda) \end{pmatrix}, \quad (8.82)$$

pentru $\lambda = 0; 0.5; 1$.

Se determină, astfel, puncte pe secțiunea axială a suprafeței periferice a sculei:

$$S_A \begin{cases} R(\lambda) = \sqrt{(X_{1\text{STI}})^2 + (Y_{1\text{STI}})^2}; \\ H(\lambda) = Z_{1\text{STI}}, \end{cases} \quad (8.83)$$

pentru $\lambda = 0; 0.5; 1$, care alcătuiesc matricea punctelor secțiunii axiale — S_A ,

$$S_A = \begin{pmatrix} R(0) & H(0) \\ R(0.5) & H(0.5) \\ R(1) & H(1) \end{pmatrix}. \quad (8.84)$$

Se aproximează coordonatele (8.84) cu un polinom Bezier, vezi (8.72), reprezentând profilul aproximat al sculei inelare.

În figura 8.24 și tabelul 8.17, sunt prezentate forma și coordonatele profilului sculei inelare pentru generarea unui filet trapezoidal având caracteristicile $D_i=72$ mm; $D_e=85$ mm; $\chi=75^\circ$; $p=1.91$ mm, $a=$, atât pentru profilul teoretic, cât și pentru profilul aproximat.

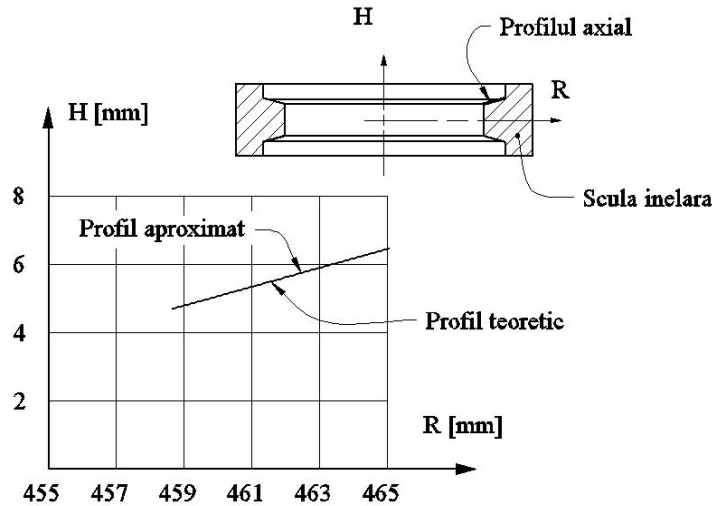


Fig. 8.24. Secțiunea axială a sculei inelare

Tabelul 8.17. Profilul teoretic și aproximat pentru scula inelară

λ	Profil teoretic		Profil aproximat		Eroare [mm]
	R [mm]	H [mm]	R [mm]	H [mm]	
0.000	458.658	4.677	458.658	4.677	0.000
0.050	458.981	4.766	458.981	4.766	0.000
0.100	459.304	4.856	459.304	4.856	0.000
0.150	459.627	4.945	459.627	4.945	0.000
0.200	459.950	5.035	459.950	5.035	0.000
0.250	460.273	5.124	460.273	5.124	0.000
0.300	460.596	5.214	460.596	5.214	0.000
0.333	460.809	5.273	460.809	5.273	0.000

0.350	460.919	5.303	460.919	5.303	0.000
0.400	461.242	5.393	461.242	5.393	0.000
0.450	461.565	5.482	461.565	5.482	0.000
0.500	461.888	5.571	461.888	5.571	0.000
0.550	462.211	5.660	462.211	5.660	0.000
0.600	462.534	5.750	462.534	5.750	0.000
0.650	462.857	5.839	462.857	5.839	0.000
0.666	462.961	5.868	462.961	5.868	0.000
0.700	463.180	5.928	463.180	5.928	0.000
0.750	463.503	6.017	463.503	6.017	0.000
0.800	463.826	6.107	463.826	6.107	0.000
0.850	464.149	6.196	464.149	6.196	0.000
0.900	464.473	6.285	464.473	6.285	0.000
0.950	464.796	6.374	464.796	6.374	0.000
1.000	465.119	6.463	465.119	6.463	0.000

Notă: Eroarea de profilare, față de metoda teoretică, atestă calitatea metodei propuse, metodă ce presupune cunoașterea unui număr deosebit de redus de puncte (3 puncte) în lungul generatoarei suprafeței generate.

Scula inelară pentru un profil circular, în plan axial

Se definește un profil circular aparținând secțiunii axiale a melcului —șurub cu bile— și sistemele de referință, figura 8.25.

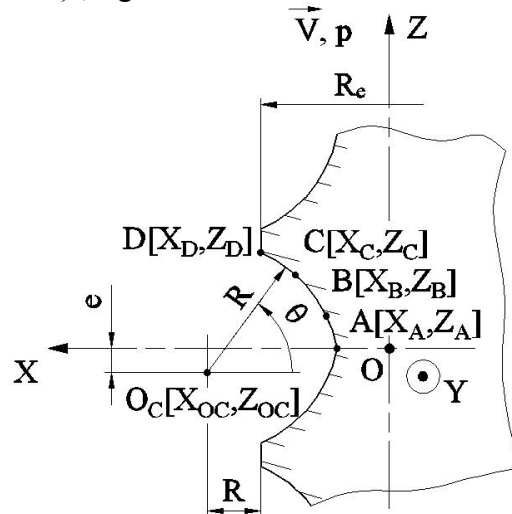


Fig. 8.25. Secțiunea axială a unui șurub cu bile și sistemele de referință, generatoarea G_{II}

Arcul de cerc aparținând profilului ogival al șurubului cu bile este definit de un număr de 3 (4) puncte în lungul profilului acestuia:

$$A[X_A, Z_A]; B[X_B, Z_B]; C[X_C, Z_C]; D[X_D, Z_D]. \quad (8.85)$$

Dacă se notează cu θ parametrul unghiular al arcului de cerc, atunci se definesc formele, pentru coordonatele caracteristice în lungul generatoarei:

$$G_{\Pi} \begin{cases} A_{(\lambda=0)} \begin{cases} X_A = X_{OC} - R \cos \theta_A; \\ Z_A = Z_{OC} + R \sin \theta_A; \end{cases} \\ B_{(\lambda=0.33)} \begin{cases} X_B = X_{OC} - R \cos \theta_B; \\ Z_B = Z_{OC} + R \sin \theta_B; \end{cases} \\ C_{(\lambda=0.66)} \begin{cases} X_C = X_{OC} - R \cos \theta_C; \\ Z_C = Z_{OC} - R \sin \theta_C; \end{cases} \\ D_{(\lambda=1)} \begin{cases} X_D = X_{OC} - R \cos \theta_D; \\ Z_D = Z_{OC} - R \sin \theta_D; \end{cases} \end{cases} \quad (8.86)$$

în care

$$\begin{aligned} X_{OC} &= R_e + n; \\ Z_{OC} &= -e, \end{aligned} \quad (8.87)$$

cu R_e , n și e mărimi constructive ale șurubului cu bile.

Principial, suprafața elicoidală a cărei generatoare este arcul de cerc, căruia îi aparțin punctele (8.86), este descrisă de ecuațiile:

$$\Pi(\theta, \varphi) \begin{cases} X = X(\lambda) \cos \varphi; \\ Y = X(\lambda) \sin \varphi; \\ Z = Z(\lambda) + p\varphi, \lambda [0; 0.33; 0.66; 1] \end{cases} \quad (8.88)$$

φ variabilă, vezi tabelul 8.16, în care X_A , Z_A , X_B , Z_B , X_C , Z_C , X_D , Z_D au semnificațiile date de (8.86).

Condiția pentru determinarea curbei caracteristice

$$(\vec{N}_{\Pi}, \vec{A}, \vec{r}_1) \leq \varepsilon \quad (8.89)$$

în care:

$$\vec{r}_1 = [X(\lambda) \cos \varphi - a] \vec{i} + Y(\lambda) \vec{j} + [Z(\lambda) + p\varphi] \vec{k}, \quad (8.90)$$

reprezentând vectorul de poziție a punctului curent de pe suprafața elicoidală, în raport cu originea sistemului sculei inelare;

$$\vec{N}_{\Pi} = N_{X\Pi} \vec{i} + N_{Y\Pi} \vec{j} + N_{Z\Pi} \vec{k}, \quad (8.91)$$

normala la suprafața elicoidală,

$$\vec{N}_{\Pi} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dot{X}(\lambda) \cos \varphi & \dot{X}(\lambda) \sin \varphi & \dot{Z}(\lambda) \\ -X(\lambda) \sin \varphi & X(\lambda) \cos \varphi & p \end{vmatrix}; \quad (8.92)$$

\vec{A} — versorul axei sculei, vezi forma (8.77); $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$.

Se determină curba caracteristică pe suprafața Π ca fiind totalitatea punctelor aparținând suprafeței Π pentru care este îndeplinită condiția (8.89).

Principial, determinarea secțiunii axiale a suprafeței periferice a sculei inelare urmează etapele prezentate în algoritmul propus.

În tabelul 8.18 și figura 8.26, sunt prezentate forma și coordonatele profilului sculei inelare pentru generarea unui șurub cu bile având caracteristicile: $r=5.4$ mm (raza

arcului de cerc); $e=0.55$ mm; $n=0.170$ mm; $D_e = 48$ mm; $p_e= 16$ (parametrul elicoidal $p=2.54$).

Tabelul 8.18 Profilul teoretic și aproximat pentru scula inelară

λ	Profil teoretic		Profil aproximat		Eroare
	R [mm]	H [mm]	R [mm]	H [mm]	
0.000	258.052	8.088	258.052	8.082	0.006
0.050	258.054	7.939	258.055	7.937	0.001
0.100	258.062	7.789	258.063	7.789	0.001
0.150	258.076	7.640	258.077	7.641	0.001
0.200	258.095	7.491	258.095	7.493	0.002
0.250	258.119	7.343	258.120	7.342	0.002
0.300	258.148	7.197	258.149	7.196	0.001
0.333	258.171	7.100	258.171	7.100	0.001
0.350	258.183	7.051	258.184	7.050	0.001
0.400	258.224	6.907	258.224	6.906	0.001
0.450	258.269	6.764	258.269	6.763	0.001
0.500	258.320	6.623	258.320	6.623	0.001
0.550	258.377	6.484	258.376	6.484	0.001
0.600	258.438	6.348	258.437	6.348	0.002
0.650	258.506	6.214	258.505	6.212	0.002
0.666	258.528	6.172	258.528	6.170	0.001
0.700	258.578	6.083	258.578	6.082	0.001
0.750	258.656	5.955	258.655	5.956	0.001
0.800	258.739	5.831	258.741	5.830	0.001
0.850	258.828	5.710	258.830	5.711	0.002
0.900	258.923	5.594	258.924	5.596	0.003
0.950	259.024	5.483	259.027	5.484	0.003
1.000	259.132	5.379	259.126	5.384	0.008

Notă: Din examinarea rezultatelor numerice prezentate în tabel este evident faptul că eroarea metodei propuse, care presupune cunoașterea unui număr mic de puncte de pe generatoarea suprafeței de generat (4 puncte), este suficient de redusă, pentru ca metoda propusă să poată fi acceptată ca utilă pentru necesitățile industriale la profilarea unor astfel de tipuri de scule.

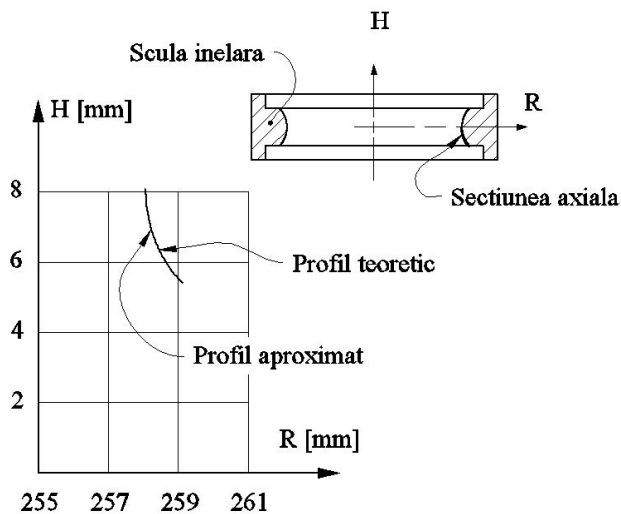


Fig. 8.26. Secțiunea axială a sculei

Concluzii

Metodica profilării sculei inelare (suprafață de revoluție cuprinzătoare) este similară profilării sculei-disc pentru generarea unei suprafețe elicoidale cilindrice de pas constant.

Algoritmul prezentat, spre deosebire de modalitatea de descriere parametrică a suprafeței, utilizează un număr redus de puncte de pe generatoare (cel mai adesea plană) a suprafeței elicoidale — puncte approximate cu un polinom Bezier de grad inferior (gradul 2 sau 3).

Coeficienții polinoamelor Bezier de aproximare pot fi precalculați.

Exemplele numerice, vis-a-vis de o metodică analitică riguroasă de profilare a unei astfel de scule, arată că metoda de aproximare propusă poate fi suficient de exactă pentru necesitățile practice.

Algoritmul propus este aplicabil, în primul rând, pentru profilurile suprafețelor elicoidale cunoscute prin măsurarea discretă a unui număr mic de puncte, în lungul generatoarelor acestora (3 sau 4 puncte, în conformitate cu metodică propusă).

8.5. Scula inelară frontală

Generarea suprafețelor elicoidale cu scule suprafețe de revoluție poate fi realizată, în afara sistemelor cunoscute: generarea cu scula disc, scula cilindro-frontală și scula inelară, și printr-o modalitate specifică, în primul rând proceselor de abrazare, în care axa sculei mărginită de suprafața de revoluție generată este disjunctă față de axa suprafeței elicoidale de generat, figura 8.27.

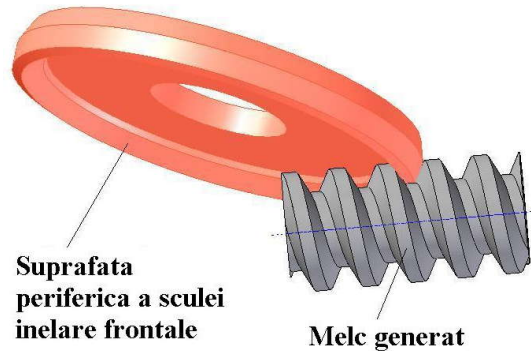


Fig. 8.27. Generarea cu scula frontală

Principiul profilării sculei inelare frontale, ca suprafață de revoluție, este asemănător cu cel al profilării sculei-disc sau cilindro-frontale [1], [2], [3], putându-se utiliza una dintre teoremele fundamentale Gohman [1], Nikolaev [1], [2], [5], sau una dintre metodele complementare [4].

Trebuie făcută observația că scula inelară frontală are particularități care o deosebesc de sculele disc sau cilindro-frontale și tratarea problemei profilării unei astfel de tip de sculă poate constitui un obiectiv de interes în problematica generării suprafețelor prin înfășurare.

- **Sisteme de referință și cinematica generării**

Cinematica generării cu scula inelară tangențială presupune realizarea unui ansamblu de mișcări, figura 8.28:

- mișcarea de rotație a semifabricatului (a suprafeței de generat), în jurul axei proprii (mișcarea I);
- translația suprafeței de generat, în lungul axei proprii (mișcarea II). Cele două mișcări sunt corelate între ele imprimând semifabricatului o mișcare elicoidală de axă și parametru identice cu axa și parametru suprafeței de generat;
- mișcarea de rotație a sculei în jurul axei proprii, axa \vec{A} , mișcare în decursul căreia suprafața de revoluție se autogenerază și care este folosită ca mișcare de așchiere, scula putând fi o sculă de frezat sau un corp abraziv.

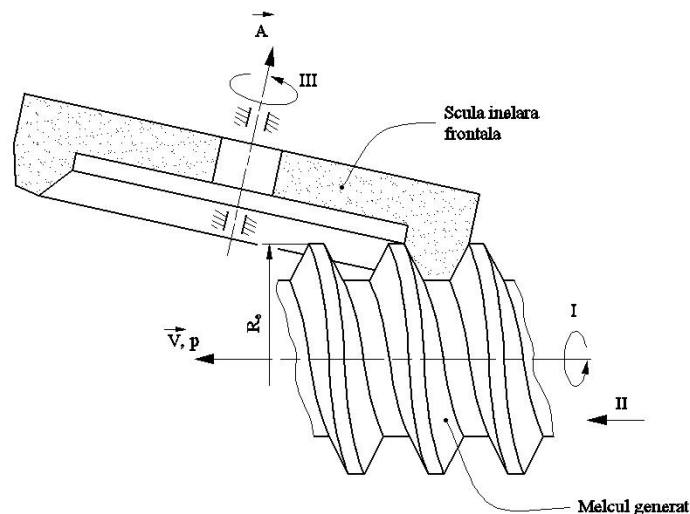


Fig. 8.28. Mișcări de generare

Este evident faptul că, o astfel de generare presupune existența unui lanț cinematic de filetare în componența mașinii-unelte pe care se face prelucrarea.

În figura 8.29, sunt prezentate sistemele de referință, precum și poziționarea relativă a acestora, față de care sunt referite suprafețele care formează sistemul de suprafețe reciproc înfășurătoare: melcul generat (suprafața elicoidală II); suprafața periferică primară a sculei inelare.

Se definesc:

XYZ este sistemul de referință în care este definită suprafața elicoidală de generat;

$X_1Y_1Z_1$ — sistem solidar cu axa sculei inelare;

xyz — sistem ajutător cu originea pe axa sculei inelare, \vec{A} , și cu axele paralele și în același sens cu XYZ .

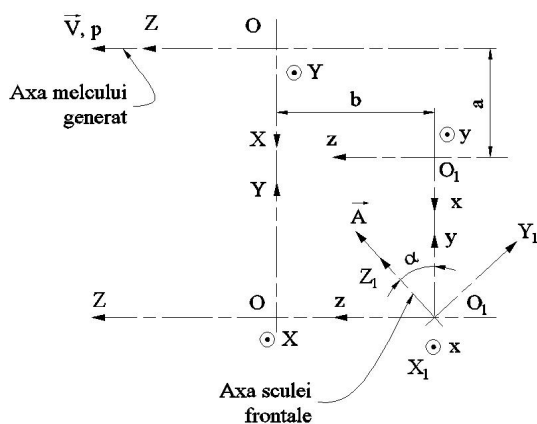


Fig. 8.29. Sisteme de referință (\vec{V} - axa suprafeței de generat; \vec{A} - axa sculei inelare)

- **Suprafața elicoidală înlocuitoare**

Dacă în sistemul XYZ este definită secțiunea axială a suprafeței elicoidale de generat (generatoarea), figura 8.30, în principiu, prin ecuațiile de forma

$$G: \begin{cases} X = X(u); \\ Y = 0; \\ Z = Z(u), \end{cases} \quad (8.93)$$

atunci, pentru 3 (4) mărimi ale parametrului u , sunt cunoscute 3 (4) puncte, fie acestea:

$$A[X_A, Z_A]; B[X_B, Z_B]; C[X_C, Z_C]. \quad (8.94)$$

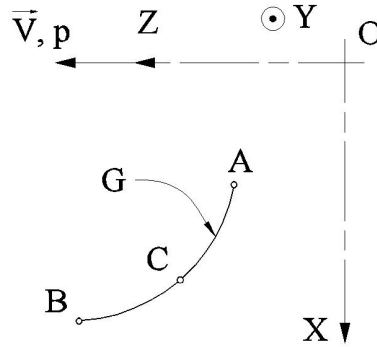


Fig. 8.30. Generatoarea suprafeței elicoidale

Cunoscute cele trei puncte pe generatoarea suprafeței elicoidale, se poate defini un polinom Bezier, de substituire a formei generatoarei, în forma:

$$G(\lambda) \begin{cases} X(\lambda) = \lambda^2 A_X + \lambda(1-\lambda)C_X + (1-\lambda)^2 B_X; \\ Z(\lambda) = \lambda^2 A_Z + \lambda(1-\lambda)C_Z + (1-\lambda)^2 B_Z, \end{cases} \quad (8.95)$$

cu $0 \leq \lambda \leq 1$.

Astfel, se operează, în cele ce urmează, cu polinoamele de tipul (8.95), sau, pentru o precizie mai ridicată a calculului, cu polinoame de gradul 3.

În tabelul 8.19, se prezintă principal, identificarea coeficienților polinomului Bezier de înlocuire a formei generatoarei, cunoscută în formă discretă prin trei puncte ale acesteia.

Tabelul 8.19.

u	Coordonate pe profilul primar	λ	Coeficienții polinomului
u_A	$X_A = X(u_A)$ $Z_A = Z(u_A)$	0	$B_X = X_A$ $B_Z = Z_A$
u_C	$X_C = X(u_C)$ $Z_C = Z(u_C)$	$\frac{1}{2}$	$C_X = \frac{X_C + 0.25X_A - 0.25X_B}{0.5}$ $C_Z = \frac{Z_C - 0.25Z_A - 0.25Z_B}{0.5}$
u_B	$X_B = X(u_B)$ $Z_B = Z(u_B)$	1	$A_X = X_B$ $A_Z = Z_B$

În tabel, prin $X_A, Z_A, X_B, Z_B, X_C, Z_C$ sunt definite coordonatele punctelor aparținând generatoarei G și prin u_A, u_B, u_C , mărimile parametrului u aferente punctelor A, B, C , $u_C = \left| \frac{u_A - u_B}{2} \right|$.

Dacă punctele A, B, C sunt puncte efectiv măsurate pe generatoarea G , atunci parametrul λ aferent este definibil astfel: $\lambda_C = \frac{|AC|}{|AC + CB|}$.

Odată determinați coeficienții polinomiali de substituție se pot defini ecuațiile suprafeței elicoidale înlocuitoare, Π , în forma

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \omega_3^T \cdot \begin{pmatrix} X(\lambda) \\ 0 \\ Z(\lambda) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p\varphi \end{pmatrix} \quad (8.96)$$

cu φ parametru variabil și p parametru elicoidal, care, după dezvoltări, devine:

$$\Pi \begin{cases} X = X(\lambda) \cos \varphi; \\ Y = X(\lambda) \sin \varphi; \\ Z = Z(\lambda) - p\varphi, \end{cases} \quad (8.97)$$

pentru cazul unui melc cu elice „stânga”.

- **Curba caracteristică; suprafața periferică a sculei**

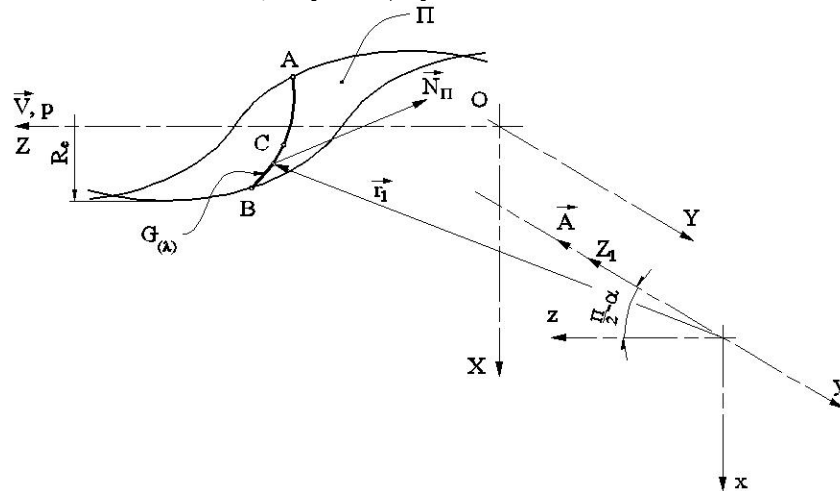


Fig. 8.31. Curba caracteristică pe suprafața Π

Pentru determinarea curbei caracteristice — curba de tangență între suprafața elicoidală Π și suprafața de revoluție de axă \vec{A} , vezi și figura 8.31, este utilizată condiția Nikolaev

$$(\vec{N}_{\Pi}, \vec{A}, \vec{r}) = 0 \quad (8.98)$$

în care:

\vec{N}_{Π} este vectorul normal la suprafața elicoidală Π , vezi forma (8.96)

$$\vec{N}_{\Pi} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dot{X}_{\lambda} \cos \varphi & \dot{X}_{\lambda} \sin \varphi & \dot{Z}_{\lambda} \\ -X_{\lambda} \sin \varphi & X_{\lambda} \cos \varphi & -p \end{vmatrix} \quad (8.99)$$

$$\begin{aligned} N_{\Pi_x} &= -p\dot{X}_{\lambda} \sin \varphi - X_{\lambda}\dot{Z}_{\lambda} \cos \varphi; \\ N_{\Pi_y} &= -[-p\dot{X}_{\lambda} \cos \varphi + X_{\lambda}\dot{Z}_{\lambda} \sin \varphi]; \\ N_{\Pi_z} &= X_{\lambda}\dot{X}_{\lambda}, \end{aligned} \quad (8.100)$$

\vec{r}_1 este vectorul de poziție a punctului curent de pe suprafața Π , în raport cu originea sistemului de referință $X_I Y_I Z_I$, al sculei inelare,

$$\vec{r}_1 = [X_{\lambda} \cos \varphi - a]\vec{i} + X_{\lambda} \sin \varphi \vec{j} + [Z_{\lambda} - p\varphi + b]\vec{k}, \quad (8.101)$$

cu a și b constante tehnologice;

\vec{A} este versorul axei sculei inelare,

$$\vec{A} = \cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}. \quad (8.102)$$

Mărima unghiulară α se determină din condiția de evitare a interferenței sculei cu suprafața generată.

Cu aceste definiții, condiția pentru determinarea curbei caracteristice poate fi rescrisă în forma

$$-\varepsilon \leq (\vec{N}_{\Pi}, \vec{A}, \vec{r}_1) \leq \varepsilon, \quad (8.103)$$

pentru ε suficient de mic în valoare absolută ($\varepsilon \leq 1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$).

Astfel, totalitatea punctelor (valorilor φ și λ) care satisfac condiția (8.103) reprezintă, împreună cu forma (8.96), curba caracteristică, în sistemul de referință al melcului de generat:

$$C_{\Pi} \begin{cases} X_{C_{\Pi}} = X(\varphi); \\ Y_{C_{\Pi}} = Y(\varphi); \\ Z_{C_{\Pi}} = Z(\varphi). \end{cases} \quad (8.104)$$

Prin schimbarea de coordonate

$$X_1 = \alpha [X + a - A] \quad (8.105)$$

între sistemele de referință al melcului de generat (XYZ) și al sculei inelare ($X_I Y_I Z_I$), cu definițiile:

$$A = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad \alpha = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{vmatrix}; \quad a = \begin{vmatrix} -a \\ 0 \\ b \end{vmatrix}, \quad (8.106)$$

vezi și figura 8.31, se obțin ecuațiile curbei caracteristice în sistemul de referință al sculei inelare, vezi (8.105), $C_{1_{\Pi}}$,

$$C_{1n} : \begin{cases} X_{1c_n} = X_{c_n}(\varphi) + a; \\ Y_{1c_n} = Y_{c_n}(\varphi) \sin \alpha - [Z_{c_n}(\varphi) - b] \cos \alpha; \\ Z_{1c_n} = Y_{c_n}(\varphi) \cos \alpha + [Z_{c_n}(\varphi) - b] \sin \alpha. \end{cases} \quad (8.107)$$

Prin rotirea curbei caracteristice C_{1n} în jurul axei Z_1 se obține suprafața periferică primară, de revoluție, a sculei inelare, vezi figura 8.33.

Se poate determina, acum, secțiunea axială a suprafeței de revoluție în coordonate H și R , vezi figura 8.32:

$$S_A \begin{cases} H = Z_{1c_n}; \\ R = \sqrt{X_{1c_n}^2 + Y_{1c_n}^2}. \end{cases} \quad (8.108)$$

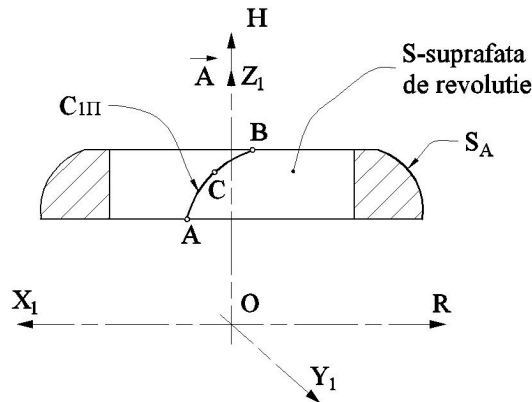


Fig. 8.32. Suprafața de revoluție — S și curba caracteristică C_{1n}

• Parametrii tehnologici

Construcția geometrică a sculei și, cu atât mai mult realizarea fizică a sculei, impun cunoașterea unor mărimi constructive precum:

- poziția centrului sculei inelare în raport cu suprafața elicoidală a melcului de generat, cotele a și b , vezi și figura 8.33;
- raza exterioară a suprafeței periferice a sculei inelare, ca element constructiv, dependent de tipul utilajului folosit;
- unghiul de înclinare a axei sculei inelare frontale, în vederea evitării interferenței sculei cu suprafața elicoidală.

Determinarea mărimilor la care am făcut referire se face prin respectarea condițiilor, vezi figura 8.33:

- tangenta comună între directoarea sculei inelare frontale cu elicea de rază exterioară a melcului de generat;
- punct comun între directoarea sculei inelare și elicea de rază exterioară a melcului de generat;
- condiția evitării interferenței cu cilindrul exterior al melcului de generat.

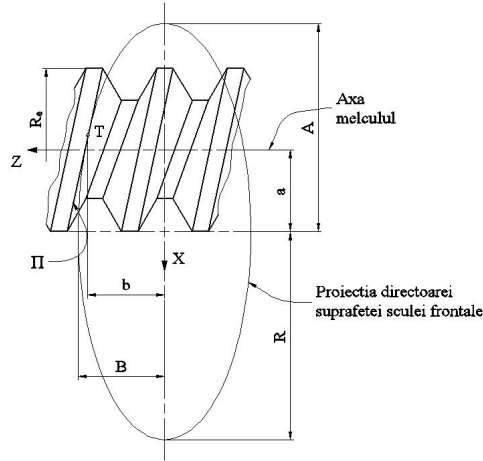


Fig. 8.33. Directoarea suprafeței periferice a sculei tangențiale

Se acceptă că, în planul zx , elipsa cercului director al suprafeței sculei are ecuația implicită

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{z^2}{B^2} = 1, \quad (8.109)$$

și, ca urmare, dacă se impune ca punctul de contact cu suprafața Π să se afle pe această elipsă, rezultă

$$\frac{x_t^2}{A^2} + \frac{z_t^2}{B^2} = 1, \quad (8.110)$$

cu (x_t, z_t) coordonatele punctului de contact.

Se impune

$$T \begin{cases} x_t = -a; \\ z_t = b. \end{cases} \quad (8.111)$$

Condiția de identitate a tangentei la elipsa (8.110) în punctul de ecuație

$$\frac{-ax}{A^2} + \frac{bz}{B^2} = 1, \quad (8.112)$$

cu tangenta la linia elicoidală aparținând cilindrului exterior (de rază R_e) a melcului de generat

$$z = x \tan \beta \quad (8.113)$$

cu $\beta = \arctan\left(\frac{R_e}{p}\right)$, în care p este parametrul elicoidal al suprafeței de generat.

Condiția de evitare a interferenței sculei tangențiale cu cilindrul exterior al melcului de generat, figura 8.34, conduce la condiția

$$\alpha \geq \arcsin\left(\frac{R_e - R_i}{2R}\right). \quad (8.114)$$

Mărimea $(R_e - R_i)$ reprezintă înălțimea profilului de generat și R este mărimea razei cercului director al suprafeței de revoluție a sculei. Sunt evidente egalitățile, vezi figurile 8.34 și 8.35,

$$\begin{aligned} A &= R; \\ B &= R \cos \alpha. \end{aligned} \quad (8.115)$$

Ansamblul de ecuații (8.110), (8.112), (8.113), (8.114), (8.115) permit, impunându-se o anumită mărime a razei R , determinarea mărimilor constructive: a , b , α , în condițiile cunoașterii datelor de intrare (R_e , R_i , p) ale melcului de generat.

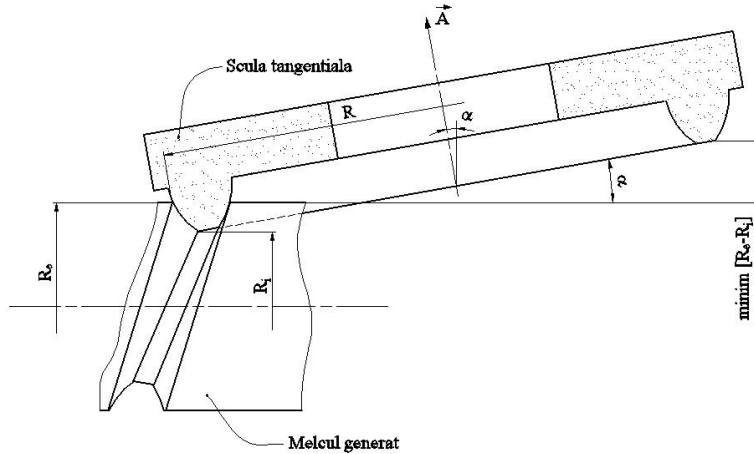


Fig. 8.34. Poziționarea sculei tangențiale

- **Aplicații numerice**

Se propune aplicarea algoritmului de profilare a sculei tangențiale, pentru generarea unui melc arhimedic cu profilul axial prezentat în figura 8.35.

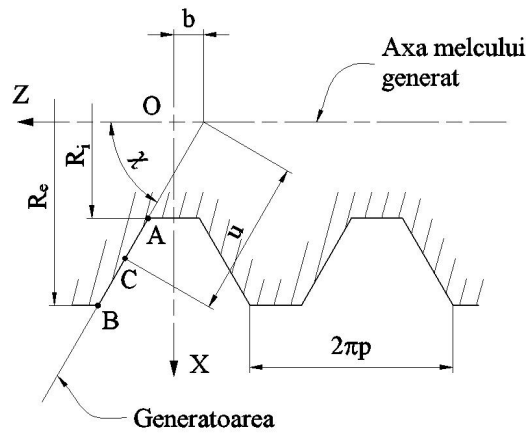


Fig. 8.35. Secțiunea axială a melcului

Pentru melc stânga de parametru elicoidal p , generatoarea suprafeței elicoidale are ecuații de forma:

$$\begin{aligned} X &= u \sin \chi; \\ Y &= 0; \\ Z &= u \cos \chi - d, \end{aligned} \quad (8.116)$$

cu u parametru variabil și d constantă constructivă.

Se presupun cunoscute, în lungul generatoarei suprafeței axiale, trei puncte:

$$A \begin{cases} X_A = \frac{R_i}{\sin \chi} \\ Z_A = \frac{R_i}{\tan \chi} \end{cases}; B \begin{cases} X_B = \frac{R_e}{\sin \chi} \\ Z_B = \frac{R_e}{\tan \chi} - d \end{cases}; C \begin{cases} X_C = \frac{R_e + R_i}{2 \sin \chi} \\ Z_C = \left(\frac{R_e + R_i}{2 \tan \chi} \right) - d. \end{cases} \quad (8.117)$$

În tabelul 8.20, se prezintă coordonatele cunoscute în lungul profilului și coeficienții polinomului de substituire de gradul 2.

Tabelul 8.20.

u	Coordonatele profilului primar	λ	Coeficienții polinomului Bezier
u_A	$X_A = \frac{R_i}{\sin \chi}$ $Z_A = \frac{R_i}{\tan \chi} - d$	0	$B_x = X_A$ $B_z = Z_A$
u_C	$X_C = \frac{R_e + R_i}{2 \sin \chi}$ $Z_C = \frac{R_e + R_i}{2 \tan \chi} - d$	$\frac{1}{2}$	$C_x = \frac{X_C - 0.25X_A - 0.25X_B}{0.5}$ $C_z = \frac{Z_C - 0.25X_A - 0.25X_B}{0.5}$
u_B	$X_B = \frac{R_e}{\sin \chi}$ $Z_B = \frac{R_e}{\tan \chi} - d$	1	$A_x = X_B$ $A_z = Z_B$

În figura 8.36 și tabelul 8.21, sunt prezentate forma și coordonatele profilului axial (8.108) ale sculei tangențiale, pentru cazul: $R = 115$ mm, R — raza directoarei sculei; $R_e = 11.5$ mm; $R_i = 5.5$ mm; $\chi = 75^\circ$; $p = 1.91$ mm.

Pentru evidențierea calității metodei propuse s-a determinat eroarea de profilare, în comparație cu profilul sculei determinat printr-una dintre metodele analitice fundamentale.

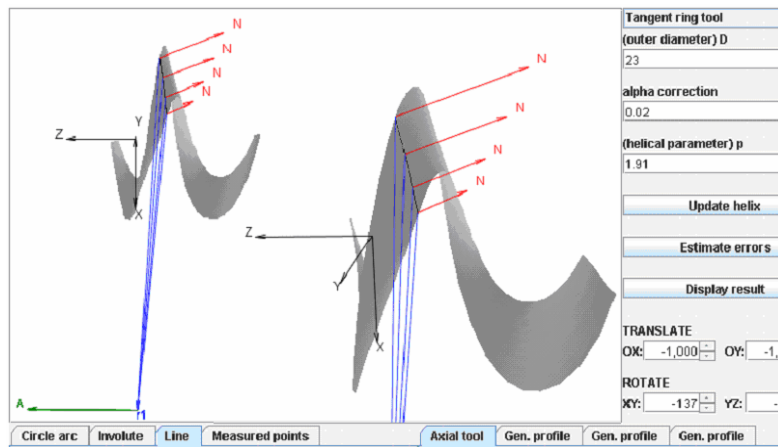


Fig. 8.36. Applet – scula inelară tangențială, secțiunea axială a melcului

Tabelul 8. 21.

λ	Profil aproximat		Profil teoretic		Eroare [mm]
	R[mm]	H[mm]	R[mm]	H[mm]	
0.000	48.975	-4.652	48.975	-4.651	4.6E-4
	49.228	-4.847	49.230	-4.846	2.11E-3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	50.557	-5.734	50.558	-5.734	1.06E-3
0.333	50.738	-5.841	50.739	-5.842	9.3E-4
	50.832	-5.897	50.833	-5.897	7.5E-4
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	52.529	-6.790	52.530	-6.790	4.3E-4
0.666	52.621	-6.834	52.622	-6.834	6.2E-4
	52.818	-6.927	52.819	-6.927	6.5E-4
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	54.278	-7.577	54.279	-7.577	5.8E-4
1.000	54.573	-7.701	54.572	-7.702	6.5E-4

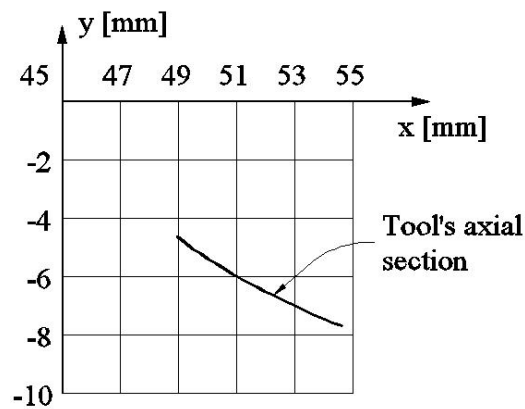


Fig. 8.37. Profilul axial al sculei

Concluzii

Metodologia de profilare a sculei frontale reciproc înfășurătoare cu o suprafață cilindrică de pas constant, utilizând aproximarea generatoarei suprafeței elicoidale cu un polinom Bezier se dovedește, pentru un profil rectiliniu, a fi riguros exactă.

Algoritmul propus poate fi extins și pentru suprafețe elicoidale având o altă formă de generatoare.

Bibliografie

1. **Litvin, E. L.**, *Theory of Gearing*, Reference Publication 1212, NASA, Scientific and Technical Information Division, Washington D.C., 1984;
2. **Lukshin, V. S.**, *Theory of Screw Surfaces in Cutting Tool Design*, Machinostroyenie, Moscow, 1968;
3. **Radzevich, S. P.**, *Kinematic Geometry of Surface Machining*, CRC Press, London, ISBN 978-1-4200-6340-0, 2008;
4. **Oancea, N.**, *Surfaces Engineering Through Winding*, “Dunărea de Jos” University Foundation Publishing House, Galați, 2004, ISBN 973-627-106-4;

Elaborarea unor noi algoritmi pentru profilarea corectivă a sculelor mărginite de suprafețe de revoluție prin metoda reprezentării poliedrice a suprafețelor

Reprezentarea suprafețelor elicoidale exprimate în formă discretă, ca rezultat al măsurării, în forma imaginată în Obiectivul 2-metoda reprezentării poliedrale, conduce la cunoașterea unei generatoare efective G_E , presupusă plană, vezi figura 8.38, care permite determinarea unei oglindite a acesteia în raport cu generatoarea teoretică a suprafeței:

$$M_{F_k} \begin{cases} X_{F_k} = X_{M_{E_k}} + (1 + \lambda) d_{\min} \sin \alpha_i; \\ Y_{F_k} = Y_{M_{E_k}} - (1 + \lambda) d_{\min} \cos \alpha_i; \end{cases}$$

$$d_{\min} = \left| \sqrt{(X_{E_k} - X_{T_i})^2 + (Y_{E_k} - Y_{T_i})^2} \right|_{\min} \quad (8.118)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{|Y_{T(i+1)} - Y_{T_i}|}{|X_{T(i+1)} - X_{T_i}|}$$

λ coeficient de amplificare, obișnuit ($\lambda = 1$), care conduce la o formă a generatoarei fictive

$$G_F = \left\| \begin{matrix} X_{F1} & X_{F2} & \dots & X_{Fk} \\ Y_{F1} & Y_{F2} & \dots & Y_{Fk} \end{matrix} \right\|^T. \quad (8.119)$$

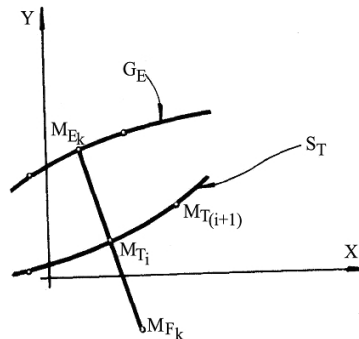


Fig. 8.38. Generatoarea fictivă

Scula disc. Profilarea corectivă a sculelor mărginite de suprafețe de revoluție (scule disc, inelare, cilindro-frontale) presupune elaborarea unor algoritmi pentru aproximarea condiției de înfășurare.

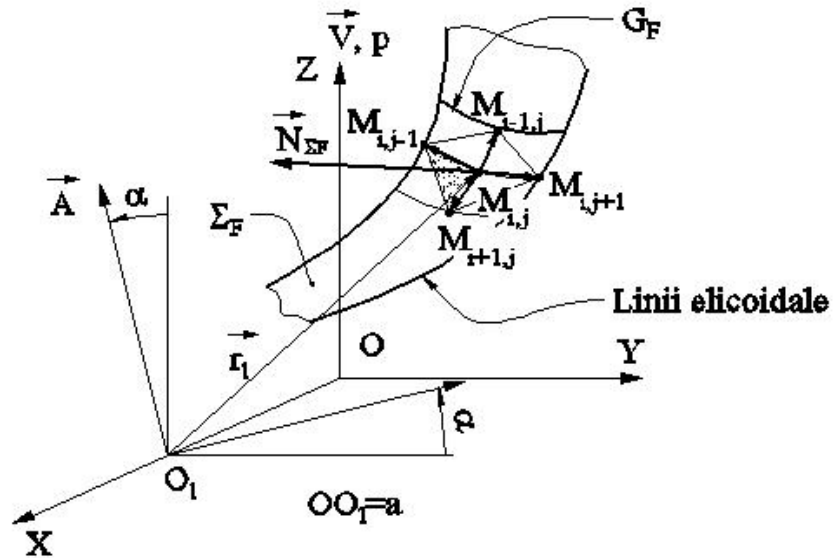


Fig. 8.39. Scule suprafețe de revoluție scula disc

Se definește, pentru cazul sculei disc suprafața fictivă, care rezultă imprimând generatoarei (8.119) o mișcare elicoidală (\vec{V}, p) , vezi figura 8.39.

Condiția de înfășurare se reduce la:

$$\left| \vec{A}, \vec{r}_1, \left(\overrightarrow{M_{i,j}M_{i,j-1}} \times \overrightarrow{M_{i,j}M_{i+1,j}} \right) \right| \leq \varepsilon \quad (8.120)$$

ε - arbitrar și suficient de mic în valoare absolută ($\varepsilon = 10^{-3} \dots 10^{-2}$ mm).

Totalitatea punctelor suprafeței fictive care satisfac condiția de înfășurare specifică, (8.120), formează caracteristica suprafeței fictive, care permit, ulterior, determinarea suprafeței periferice primare a sculei disc.

În baza algoritmilor s-a elaborat un produs soft dedicat, în figura 8.40, fiind prezentată o captură de ecran specifică. S-au elaborat aplicații pentru profilarea sculelor generatoare a canalelor burghiilor elicoidale multitaieș, cu tăișuri curbe.

În figura 8.40. și tabelul 8.22, sunt prezentate rezultatele aplicării algoritmului pentru profilarea corectivă a sculei disc generatoare a unei suprafețe elicoidale cilindrice de pas constant a cărei generatoare modelată are următoarele caracteristici dimensionale:

- arc de cerc în planul ZX, cu raza $R=5$ mm, parametrul elicoidal al melcului $p=5$ mm, axa melcului de generat de versor \vec{k} (axa Z);
- coordonatele capetelor arcului de cerc $X_A=10$ mm; $Z_A=5$ mm; $X_B=8.926$ mm; $Z_B=7.823$ mm (arcul subîntins 0.6 rad.), vezi figura 8.40;
- coordonatele centrului cercului: $X_C=5$ mm; $Z_C=5$ mm;

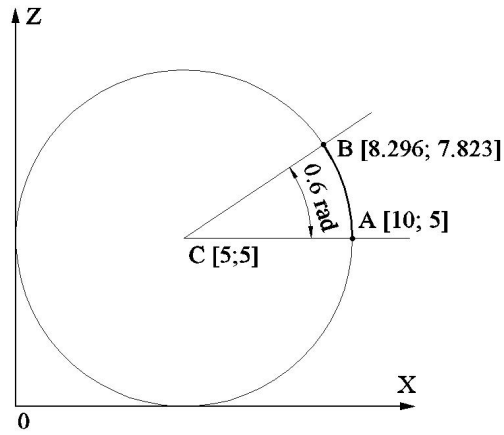


Fig. 8.40. Profilul de generat

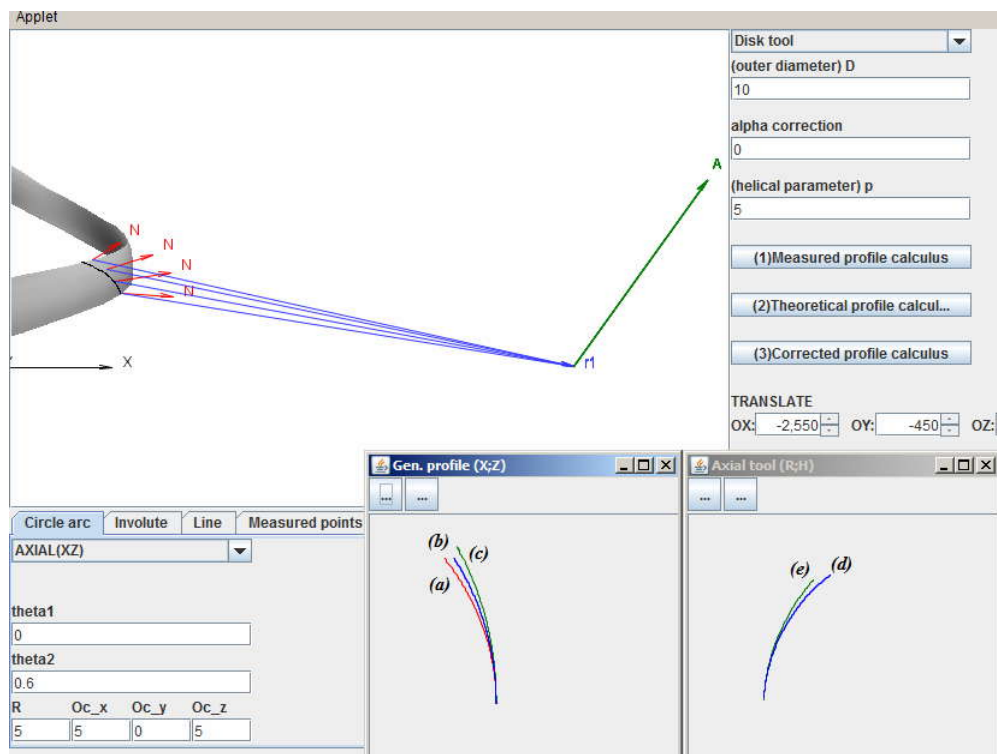


Fig. 8.41. Applet java-scula disc: (a) – profilul efectiv; (b) – profilul teoretic; (c) – profilul fictiv, (d) – secțiunea axială a sculei teoretice; (e) – secțiunea axială corectată a sculei disc

Tabelul 8.22. Generatoarele profilului circular

Generatoare măsurată		Generatoare teoretica		Generatoare fictivă	
X[mm]	Z[mm]	X[mm]	Z[mm]	X[mm]	Z[mm]
9.999	5.000	10.000	5.000	10.001	5.000
9.996	5.156	9.998	5.151	9.999	5.158
9.987	5.311	9.991	5.303	9.994	5.315
9.972	5.466	9.979	5.454	9.984	5.473
9.951	5.620	9.963	5.605	9.971	5.630
9.924	5.774	9.943	5.755	9.954	5.787
9.892	5.926	9.918	5.904	9.933	5.943
9.854	6.077	9.888	6.053	9.905	6.098
9.811	6.227	9.854	6.200	9.876	6.253
9.762	6.375	9.815	6.347	9.843	6.407
9.708	6.521	9.772	6.492	9.806	6.561
9.649	6.665	9.725	6.636	9.765	6.713
9.584	6.807	9.673	6.778	9.716	6.863
9.515	6.946	9.617	6.919	9.667	7.013
9.441	7.083	9.557	7.058	9.614	7.161
9.362	7.217	9.492	7.195	9.555	7.307
9.279	7.349	9.424	7.330	9.492	7.452
9.192	7.478	9.351	7.463	9.426	7.595
9.100	7.604	9.274	7.594	9.352	7.734
8.926	7.823	9.127	7.823	9.328	7.823

În tabelul 8.22, sunt prezentate coordonatele secțiunii axiale a melcului teoretic, de asemenea ale melcului efectiv (măsurat), precum și coordonatele generatoarei fictive ale melcului de generat (noua țintă).

În tabelul 8.23, în baza appletului anterior sunt prezentate coordonatele secțiunii axiale ale sculei disc (R,H), vezi (8.17), pentru cele două situații: generarea profilului teoretic al melcului și scula cu profil corectat generatoare a profilului fictiv al melcului generat. Profilul corectat poate fi aproximat cu un profil pe suprafața periferică primară teoretică, pentru un unghi de degajare al sculei diferit de 0.

Tabelul 8.23. Secțiunea axială a sculei

Secțiunea axială a sculei (profil corectat)		Secțiunea axială a sculei (profil teoretic)	
R [mm]	H [mm]	R [mm]	H [mm]
40.121	3.807	40.124	3.855
40.130	3.957	40.138	4.017
40.145	4.107	40.159	4.179
40.165	4.256	40.187	4.339
40.191	4.404	40.222	4.498
40.222	4.551	40.264	4.655
40.259	4.697	40.313	4.811
40.300	4.842	40.368	4.964
40.346	4.985	40.430	5.114
40.398	5.127	40.499	5.262
40.454	5.266	40.574	5.406
40.515	5.404	40.655	5.547
40.580	5.539	40.741	5.685
40.650	5.672	40.834	5.819
40.725	5.803	40.932	5.949
40.804	5.931	41.036	6.074
40.887	6.057	41.145	6.195
40.974	6.179	41.258	6.312
41.066	6.299	41.377	6.424
41.240	6.506	41.601	6.612

În mod similar, pentru **scula cilindro-frontală**, vezi figura 8.42, condiția pentru determinarea curbei caracteristice este:

$$\left| \vec{A}, \vec{r}_1, \left(\overrightarrow{M_{i,j} M_{i,j-1}} \times \overrightarrow{M_{i,j} M_{i+1,j}} \right) \right| \leq \varepsilon. \quad (8.121)$$

Cazul profilării sculei suprafață cilindrică, similar, se ajunge la o forma a condiției de înfășurare

$$\left| \vec{t}, \left(\overrightarrow{M_{i,j} M_{i,j-1}} \times \overrightarrow{M_{i,j} M_{i+1,j}} \right) \right| \leq \varepsilon. \quad (8.122)$$

cu \vec{t} , direcția generatoarelor suprafeței cilindrice.

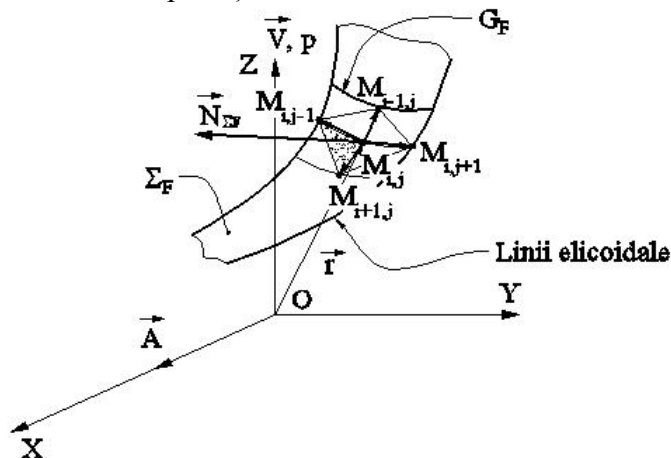


Fig. 8.42. Scule suprafețe de revoluție scula cilindro-frontală

- **Exemple de modelare**

Se prezintă, în cele ce urmează, aplicații privind profilarea sculelor mărginite de suprafețe periferice primare de revoluție pentru generarea suprafețelor elicoidale, exprimate în formă discretă, prin metoda reprezentării poliedrale.

Aplicațiile au fost realizate prin „modelarea” numerică a generatoarei suprafeței elicoidale și, în acest scop, s-a realizat un model analitic al generatoarei pe baza căreia s-a „modelat” numeric „generatoarea efectivă” a suprafeței, profilarea sculei urmărind a urma algoritmul cunoscut al profilării sculelor mărginite de suprafețe de revoluție reciproc înfășurătoare suprafețelor elicoidale cilindrice și de pas constant – metoda Nikolaev, cu particularizările definirii normalei la suprafața în exprimare poliedrală, și condiția de înfășurare.

- **Generatoare circulară în planul frontal al suprafeței elicoidale**

Se propune modelul generatoarei teoretice în forma:

$$\begin{cases} X = R - r \cos v, \\ Y = r \sin v, \\ Z = 0, \end{cases} \quad (8.123)$$

unde v este unghiul profilului, iar p și φ sunt parametrii mișcării elicoidale, vezi și figura 8.43, în baza căruia se definește generatoarea efectivă în forma, vezi tabelul 8.24, pentru $r = 10 \text{ mm}$, $R = 50 \text{ mm}$, $v = 0^\circ \dots 30^\circ$, $p = 50 \text{ mm}$, $\varphi = -5^\circ \dots +5^\circ$.

Se modelează forma generatoarei fictive în baza unui model de eroare față de generatoarea teoretică sau prin măsurarea directă a suprafeței generate, vezi figura 8.44.

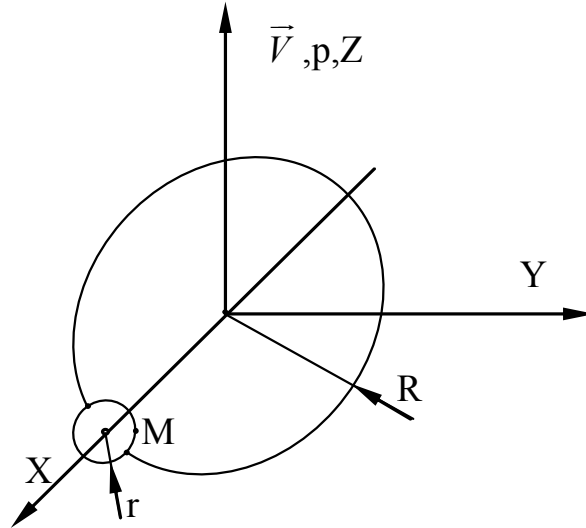


Fig. 8.43. Modelul generatoarei teoretice

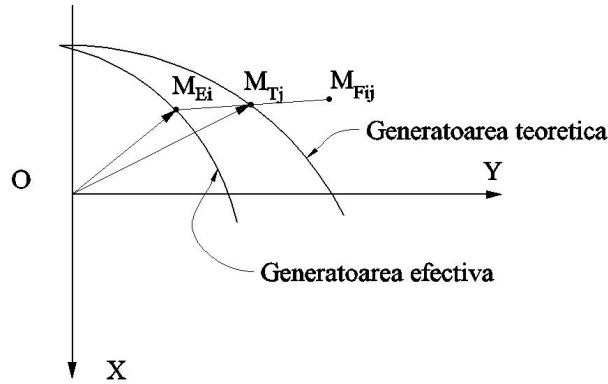


Fig. 8.44. Generatoarea efectivă

Pornind de la forma generatoarei efective se poate determina generatoarea fictivă (noua țintă) pentru profilarea corectivă a sculei cilindro-frontale. Pentru un punct curent al generatoarei efective $G_{Ei}(X_{Ei}, Y_{Ei}, Z_{Ei})$ se determină pe generatoarea teoretică punctul aflat la distanța minimă față de acesta, fie $M_{Tj}(X_{Tj}, Y_{Tj}, Z_{Tj})$ punctul considerat.

Astfel, distanță între punctele G_{Ei} și M_{Tj} este

$$\delta_{\min} = \sqrt{(X_{Ei} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ei} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ei} - Z_{Tj})^2}. \quad (8.124)$$

Se consideră generatoarea fictivă (noua țintă) ca „oglindita” în raport cu generatoarea teoretică a generatoarei efective conform algoritmului

$$\begin{aligned} X_{Fij} &= X_{Ei} + (1+k)\delta_{\min} \cdot l; \\ Y_{Fij} &= Y_{Ei} + (1+k)\delta_{\min} \cdot m; \\ Z_{Fij} &= Z_{Ei} + (1+k)\delta_{\min} \cdot n, \end{aligned} \quad (8.125)$$

în care:

- k este constanta de amplificare (curent $k=1$);

- l, m, n sunt parametrii directori ai dreptei determinată de punctele M_{Ei} și M_{Tj} ,

$$l = \frac{|X_{Tj} - X_{Ei}|}{\delta_{\min}}, m = \frac{|Y_{Tj} - Y_{Ei}|}{\delta_{\min}}, n = \frac{|Z_{Tj} - Z_{Ei}|}{\delta_{\min}}. \quad (8.126)$$

Pentru $i=1\dots p$ și $j=1\dots q$ (p și q numere naturale), se generează un fișier de coordonate reprezentând generatoarea fictivă,

$$G_F = \begin{pmatrix} X_{Fij} \\ Y_{Fij} \\ Z_{Fij} \end{pmatrix}, (i=1\dots p; j=1\dots q). \quad (8.127)$$

Noua generatoare (8.127), reprezintă forma în baza căreia se construiește analitic noua suprafață elicoidală fictivă pentru care, conform algoritmului prezentat, se calculează profilul corectat al sculei cilindro-frontale.

În tabelul 8.24 și figura 8.45, sunt prezentate profilurile teoretic, efectiv și fictiv al viitoarei suprafețe elicoidale țintă.

Pornind de la modelul numeric al generatoarei fictive (vezi tabelul 8.24) pentru o variație incrementală a parametrului „ ϕ ”, în mișcarea

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(j\varphi) & -\sin(j\varphi) & 0 \\ \sin(j\varphi) & \cos(j\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p(j\varphi) \end{pmatrix} \quad (8.128)$$

unde $k = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$, se generează „modelul” poliedral al suprafeței elicoidale cilindrice și de pas constant.

Tabelul 8.24. Modelul numeric al generatoarei teoretice, efective și fictive

Profil teoretic			Profil efectiv			Profil fictiv		
x[mm]	y[mm]	z[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]	x[mm]	y[mm]	z[mm]
40.000	0.000	0.000	40.000	0.000	0.000	40.000	0.000	0.000
40.002	0.181	0.000	40.003	0.181	0.000	40.000	0.181	0.000
40.007	0.361	0.000	40.010	0.361	0.000	40.003	0.361	0.000
40.015	0.541	0.000	40.020	0.541	0.000	40.009	0.542	0.000
40.026	0.722	0.000	40.033	0.721	0.000	40.019	0.722	0.000
40.041	0.902	0.000	40.050	0.901	0.000	40.032	0.902	0.000
40.059	1.081	0.000	40.069	1.080	0.000	40.048	1.082	0.000
40.080	1.260	0.000	40.092	1.259	0.000	40.067	1.262	0.000
40.104	1.439	0.000	40.118	1.437	0.000	40.090	1.441	0.000
40.132	1.618	0.000	40.148	1.615	0.000	40.116	1.620	0.000
40.163	1.796	0.000	40.180	1.792	0.000	40.145	1.799	0.000
40.197	1.973	0.000	40.216	1.969	0.000	40.177	1.977	0.000
40.234	2.150	0.000	40.255	2.145	0.000	40.213	2.154	0.000
40.274	2.326	0.000	40.297	2.320	0.000	40.251	2.331	0.000
40.318	2.501	0.000	40.342	2.495	0.000	40.293	2.507	0.000
40.365	2.675	0.000	40.391	2.668	0.000	40.338	2.683	0.000
40.414	2.849	0.000	40.442	2.841	0.000	40.387	2.857	0.000
40.467	3.021	0.000	40.497	3.012	0.000	40.438	3.031	0.000
40.523	3.193	0.000	40.554	3.183	0.000	40.493	3.203	0.000
40.583	3.364	0.000	40.615	3.352	0.000	40.550	3.375	0.000
40.645	3.533	0.000	40.679	3.520	0.000	40.611	3.546	0.000
40.710	3.701	0.000	40.745	3.687	0.000	40.675	3.715	0.000
40.779	3.868	0.000	40.815	3.853	0.000	40.742	3.884	0.000
40.850	4.034	0.000	40.888	4.018	0.000	40.812	4.051	0.000
40.924	4.199	0.000	40.964	4.181	0.000	40.885	4.217	0.000
41.002	4.362	0.000	41.042	4.342	0.000	40.961	4.382	0.000
41.082	4.524	0.000	41.124	4.503	0.000	41.040	4.545	0.000
41.165	4.684	0.000	41.208	4.661	0.000	41.122	4.707	0.000
41.251	4.843	0.000	41.295	4.818	0.000	41.207	4.867	0.000

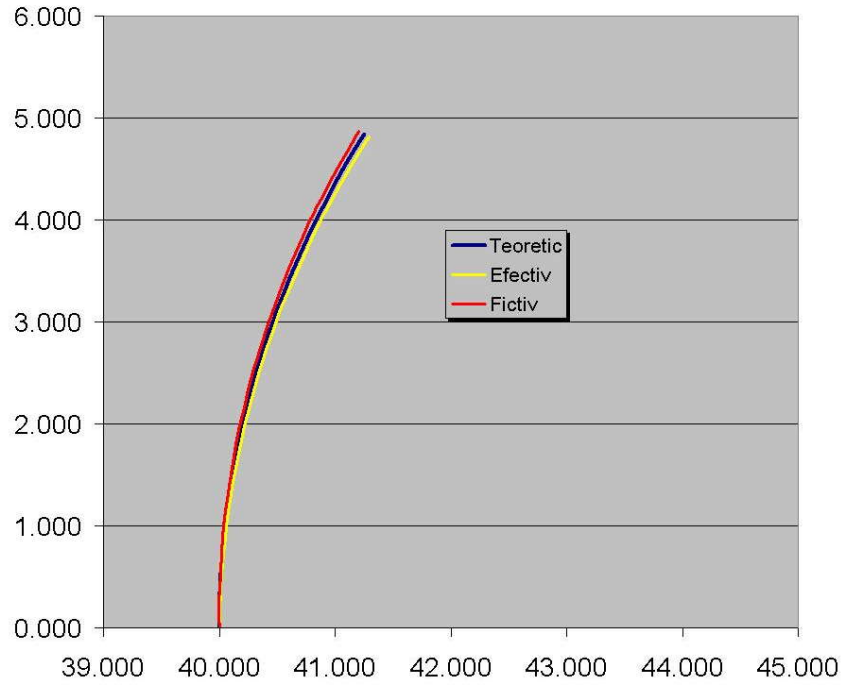


Fig. 8.45. Profilurile teoretic, efectiv și fictiv

Aplicația referitoare la profilarea sculei cilindro-frontale a fost realizată sub forma unui applet java, în baza unei scheme logice, prezentată în figura 8.46.

În figura 8.47 și tabelul 8.25, sunt prezentate rezultatele rulării aplicației.

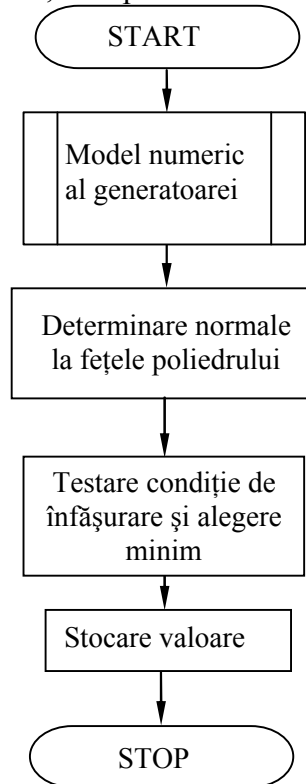


Fig. 8.46. Schema logică

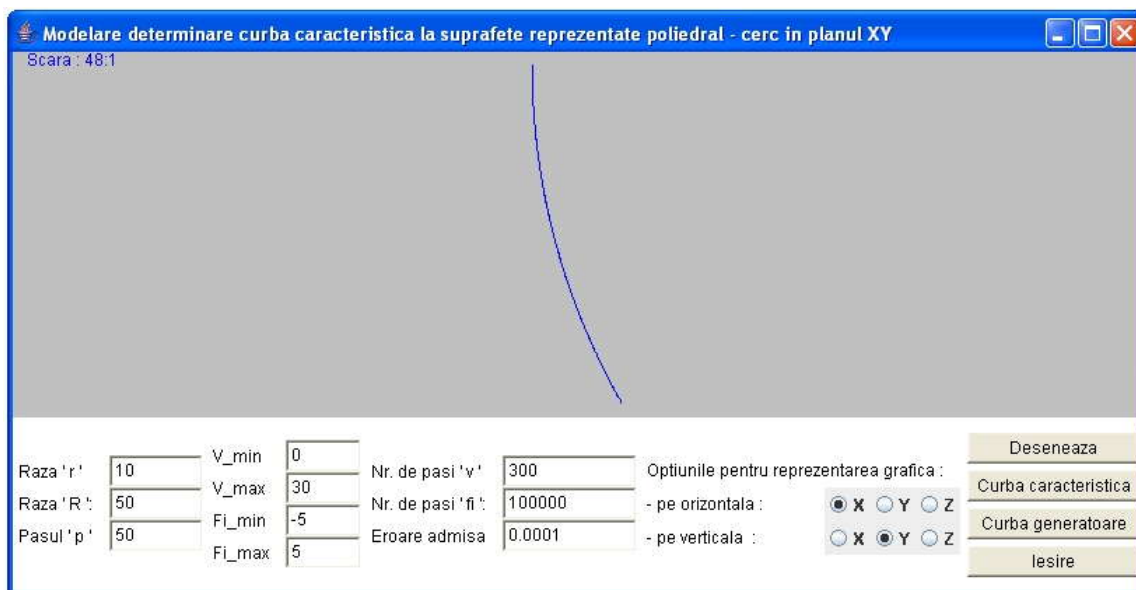


Fig. 8.47. Applet profil circular in planul XY

Tabelul 8.25. Coordonatele curbei caracteristice, profil circular în planul XY

X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	V [grd]	f[grd]
40.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000
40.000	0.018	0.000	0.00175	0.00000
40.000	0.035	0.000	0.00350	0.00000
40.000	0.053	0.000	0.00525	0.00001
40.000	0.070	0.000	0.00700	0.00001
40.000	0.088	0.000	0.00876	0.00001
40.001	0.105	0.000	0.01051	0.00001
40.001	0.123	0.001	0.01226	0.00001
40.001	0.141	0.001	0.01401	0.00001
40.001	0.158	0.001	0.01576	0.00002
...
41.251	4.868	0.025	0.50434	0.00050
41.259	4.884	0.025	0.50609	0.00051
41.268	4.899	0.025	0.50784	0.00051
41.277	4.914	0.025	0.50959	0.00051
41.285	4.930	0.026	0.51134	0.00051
41.294	4.945	0.026	0.51309	0.00051
41.302	4.960	0.026	0.51484	0.00051
41.311	4.977	0.026	0.51659	0.00052
41.320	4.991	0.026	0.51835	0.00052
41.328	5.006	0.026	0.52010	0.00052
41.251	4.868	0.025	0.52185	0.00052

Applet-ul este interactiv, permițând modificarea valorilor pentru raza „r” a generatoarei suprafeței elicoidale, raza „R” a centrului generatoarei, parametrul elicoidal „p”, limitele „v_min” și „v_max” ale profilului de generat, numărul de incrementări în lungul liniei elicoidale „j”, numărul de pași în care este împărțit unghiul „φ” și mărimea erorii acceptabile pentru îndeplinirea condiției de înfășurare. De asemenea, există mai multe opțiuni pentru reprezentarea grafică a curbei caracteristice.

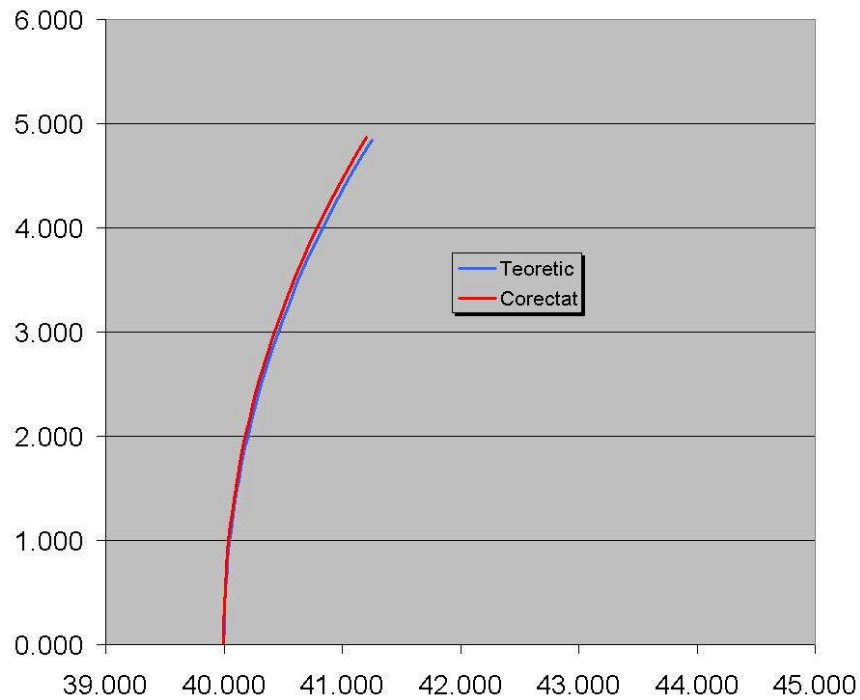


Fig. 8.48. Curbe caracteristice de contact ale suprafeței periferice primare ale sculei cu suprafața teoretică și cu suprafața fictivă – profilul corectat

ANEXA

Lucrări publicate în cadrul fazei pe anul 2009 a contractului:

1. [An Efficient Approximate Profiling Method for the Rack Gear Tool](#), Nicolae Oancea, Virgil Teodor, Ionut Popa, Victor Oancea, International Journal of Advanced Manufacturing Technologies, DOI 10.1007/s00170-009-1957-3;
2. [The Profiling of Disk Tool for Generation of Discretely Known Helical Surfaces](#), Virgil Teodor, Ionuț Popa, Gabriel Dura, Nicolae Oancea, New Tech 2009, Analele Universității “Dunărea de Jos” din Galați, Fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2009, pag. 53-58;
3. [End Mill and Planning Tool’s Profiling for Generation of Discretely Known Helical Surfaces](#), Nicolae Oancea, Ionuț Popa, Virgil Teodor, Gabriel Dura, New Tech 2009, Analele Universității “Dunărea de Jos” din Galați, Fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2009, pag. 59-64;
4. [The Corrective Profiling Modeling of Rack Tool for Involute Teethed Gear Generation](#), Cucu Marian, Teodor Virgil, Dumitrașcu Nicolae, Oancea Nicolae, New Tech 2009, Analele Universității “Dunărea de Jos” din Galați, Fascicle V, Technologies in machine building, ISSN 1221- 4566, 2009, pag. 65-68;
5. [The Modeling of the Helical Drill Back Face Using Approximating Bezier Polynomials](#), Ionut Popa, Gabriel Dura, Nicolae Dumitrașcu, Nicolae Oancea, ModTech International Conference - New face of TMCR, Modern Technologies, Quality and Innovation - New face of TMCR, pag. 491-494;
6. [Frontal Ring Tool](#), Ionut Popa, Gabriel Dura, Virgil Teodor, Nicolae Oancea, ModTech International Conference - New face of TMCR, Modern Technologies, Quality and Innovation - New face of TMCR, pag. 495-498;
7. [Method for Multi-Edge Drills with Curved Cutting Edge Sharpening](#), Gabriel Frumușanu, Nicolae Oancea, Proceedings of the International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS, Vol. 4, 2009, ISSN 1842-3183, University POLITEHNICA of Bucharest, Machine and Manufacturing Systems Department, în curs de publicare;
8. [The Synthesis of an Algorithm for Corrective Profiling Modeling of the Gear-Shaped Cutter](#), Marian Cucu, Virgil Teodor, Gabriel Dura, Ionut Popa , Nicolae Oancea, ICAMT 2009, în curs de publicare;
9. [Algorithm for Gear Hub Tool Profiling by Bezier Polynomial Approximation. The Rotary Helical Screw Compressor Case](#), Virgil Teodor, Ionuț Popa, Camelia Popa, Gabriel Dura, Nicolae Oancea, WSEAS 2009 Genova, în curs de publicare.