

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

- Sinteza pe anul 2008 (01.01 – 30.10) –

Activitatea de cercetare în cadrul CONTRACTULUI ID 656/2007 în anul 2008, a avut o etapă unică cu următoarele obiective:

1. Sinteza unor modalități de *reprezentare prin poli* ca metoda de apreciere a formei efective a *generatoarei suprafeței*.
2. Elaborarea de modele de predicție și compensare a erorii de generare.
3. Extinderea modelelor de reprezentare în forma discretă a suprafețelor în scopul modificării geometriei burghiilor elicoidale.
4. Elaborarea unor algoritmi capabili a estima condițiile de înfășurare în forma discretă, prin metodele de reprezentare *discretă a tangentei* și a reprezentării *prin poli*.

2.1. Forme de reprezentare prin poli a generatoarei suprafeței cilindrice

S-au elaborat forme de reprezentare prin poli a generatoarelor suprafeței cilindrice de tipul: segment de dreaptă; arc de cerc; arc de evolventă; curbe cicloidale.

Formele de reprezentare prin poli a generatoarelor sunt definite de polinoame Bezier de aproximare de tipul polinoamelor de gradul 1, 2 sau 3. Creșterea gradului polinomului Bezier reprezintă o situație care complică, adesea în mod inutil, reprezentarea segmentelor de curbă deoarece precizia profilării poate fi satisfăcută în limite tehnic acceptabile de polinoame de grad inferior. În funcție de tipul polinomului și a formei generatoarei suprafeței cilindrice se prezintă în tabelele 1 și 2, spre exemplificare, condiții de identificare a acestor polinoame.

În formulele (1), (2) mărimile $A_x, A_h, B_x, B_h, C_x, C_h, D_x, D_h$ reprezintă coeficienții polinoamelor de aproximare a profilului suprafețelor cilindrice, care pot constitui flancurile primare ale sculelor de tip cremalieră și cuțit-roată, generatoare a suprafeței cilindrice aparținând semifabricatului:

$$\begin{aligned} x &= I^2 \cdot A_x + 2I(1-I) \cdot B_x + (1-I)^2 \cdot C_x; \\ h &= I^2 \cdot A_h + 2I(1-I) \cdot B_h + (1-I)^2 \cdot C_h, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} x &= I^3 \cdot A_x + 3I^2(1-I) \cdot B_x + 3I(1-I)^2 \cdot C_x + (1-I)^3 \cdot D_x; \\ h &= I^3 \cdot A_h + 3I^2(1-I) \cdot B_h + 3I(1-I)^2 \cdot C_h + (1-I)^3 \cdot D_h. \end{aligned} \tag{2}$$

Identificarea coeficienților polinoamelor este prezentată tabelar (vezi tabelul 1).

Tabelul 1. Segment de dreaptă, identificarea coeficienților polinomului de aproximare de gradul 2, pentru cremaliera generatoare

u	Profilul primar	Condiția de înfășurare
0	X_A, Y_A	$j_A = \arccos \left[\frac{X_A \cos a + Y_A \sin a}{Rrp} \right] + a$
0.5 u_{\max}	$X_C = 0.5 \cdot X_A + 0.5 \cdot X_B$ $Y_C = 0.5 \cdot Y_A + 0.5 \cdot Y_B$	$j_C = \arccos \left[\frac{X_C \cos a + Y_C \sin a}{Rrp} \right] + a$
u_{\max}	X_B, Y_B	$j_B = \arccos \left[\frac{X_B \cos a + Y_B \sin a}{Rrp} \right] + a$

λ	Puncte pe profilul cremalierii	Coeficienții polinomului de aproximare
1	$x_A = X_A \cos j_A - Y_A \sin j_A + Rrp$ $h_A = X_A \sin j_A + Y_A \cos j_A + Rrp \cdot j_A$	$A_x = x_A$ $A_h = h_A$
0.5	$x_C = X_C \cos j_C - Y_C \sin j_C + Rrp$ $h_C = X_C \sin j_C + Y_C \cos j_C + Rrp \cdot j_C$	$B_x = \frac{x_C - 0.25 \cdot x_A - 0.25 \cdot x_B}{0.5}$ $B_h = \frac{h_C - 0.25 \cdot h_A - 0.25 \cdot h_B}{0.5}$
0	$x_B = X_B \cos j_B - Y_B \sin j_B + Rrp$ $h_B = X_B \sin j_B + Y_B \cos j_B + Rrp \cdot j_B$	$C_x = x_B$ $C_h = h_B$

În mod similar, s-au definit algoritmi de identificare și pentru polinoame de grad superior.

2.2. Elaborarea unor algoritmi pentru identificarea nivelului de eroare a reprezentării prin poli

Se propune determinarea nivelului de eroare a profilului sculei-cremalieră reciproc înfășurător unui segment de dreaptă aparținând unui profil compus asociat centroidei de rază Rrp , figura 1.

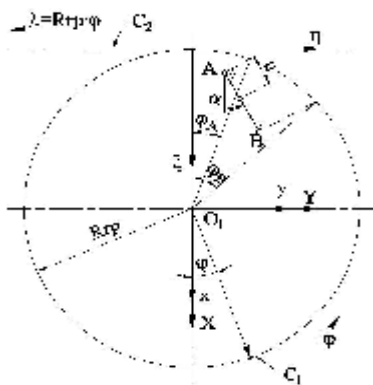


Fig. 1 Profilul rectiliniu (C_1, C_2 – centroide de rulare)

S-au elaborat algoritmi dedicați pentru determinarea nivelului de eroare a generatoarelor suprafețelor cilindrice precum și a erorii de profilare a sculelor care generează prin înfășurare aceste suprafețe cilindrice, care constituie vârtejuri de profiluri rectilinii, arce de cerc, arce de epicloidă, arce de evolventă.

Se prezintă, în continuare, în tabelul 2 și figura 2, un exemplu de aplicare în care este evidențiat nivelul erorii profilului sculei-cremalieră determinat în raport cu o metodă de profilare teoretică a unei scule generatoare prin înfășurare a unui vârtej de suprafețe rectilinii.

Tabelul 2. Eroarea de reprezentare prin poli a profilului sculei cremalieră

l	Profilul aproximată al sculei		Profilul teoretic al sculei		Eroare [mm]
	x [mm]	h [mm]	x [mm]	h [mm]	
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.991	1.009	0.999	1.019	0.013
	1.990	2.065	1.997	2.077	0.014
	7.846	9.165	7.834	9.157	0.015
	8.766	10.438	8.769	10.447	0.009
0.5	9.690	11.765	9.690	11.765	0.000
	10.599	13.121	10.597	13.111	0.010
	11.476	14.479	11.487	14.484	0.012
	12.356	15.892	12.362	15.882	0.012
	15.665	21.713	15.682	21.710	0.016
	16.457	23.237	16.464	23.222	0.017
	17.219	24.758	17.226	24.754	0.008
1.0	17.968	26.306	17.968	26.306	0.000

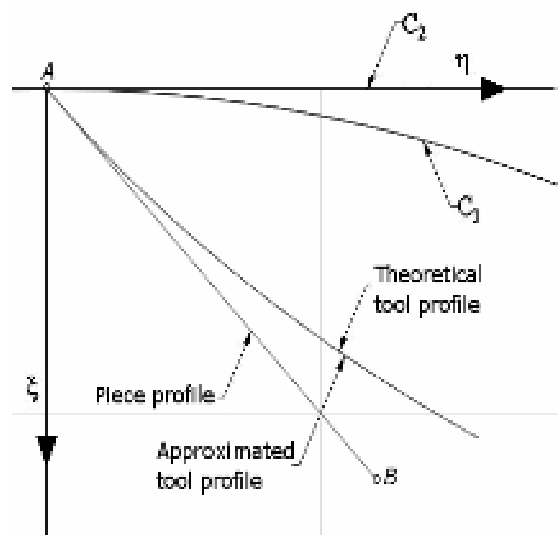


Fig. 2 Profilul cremalierii reciproc înfășurător unui profil rectiliniu în exprimare analitică și prin poli (C_1 și C_2 sunt cele două centroide în rulare)

Nivelul de eroare este de ordinul 10^{-2} mm, suficient pentru profilarea sculelor care generează vârtejuri de suprafețe care nu sunt utilizate în transmiterea mișcării și a momentului.

Precizia reprezentării profilurilor crește prin mărirea gradului polinomului de aproximare.

2.3. Metode de aproximare prin poli a profilurilor suprafețelor generate prin metoda rulării

S-au elaborat algoritmi specifici și modele de aproximare prin poli a suprafețelor generate prin înfășurare prin metoda rulării pentru: scula cremalieră; cuțitul-roată; cuțitul rotativ, elaborându-se metodologii specifice pentru profiluri compozite, problematica interferenței profilurilor, a discontinuităților pe profilurile sculelor.

În figura 3 și tabelul 3, sunt prezentate forma, coordonatele și eroarea profilului cuțitului roată generator a unui profil exprimat prin polinoame de aproximare Bezier (aproximare prin poli).

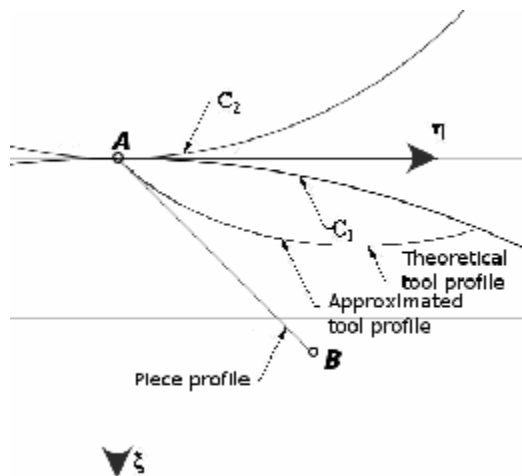


Fig. 3 Profilarea cuțitului-roată

Tabelul 3. Profiluri ale cuțitului-roată: teoretic; aproximat prin poli; eroarea de profilare

λ	Aproximare (ξ)	Aproximare (η)	Profilul sculei (ξ)	Profilul sculei (η)	Eroare
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	1.0196	1.0250	0.9977	1.0596	0.0410
M	M	M	M	M	M
0.3	5.5597	8.0247	5.5476	8.0275	0.0125
0.333	6.0503	9.1347	6.0503	9.1347	0.0000
0.35	6.2915	9.7214	6.2973	9.7201	0.0059
M	M	M	M	M	M
0.65	9.0446	21.4439	9.0496	21.4431	0.0051
0.666	9.0998	22.1268	9.0998	22.1268	0.0000
0.7	9.1823	23.5918	9.1709	23.5935	0.0115
M	M	M	M	M	M
0.95	8.1859	34.7593	8.1516	34.7629	0.0345
1.0	7.6135	37.0313	7.6135	37.0313	0.0000

2.4. Aplicații pentru suprafețele active ale sculelor

S-au realizat aplicații și pentru profilarea sculelor destinate generării suprafețelor elicoidale ale canalelor burghiilor elicoidale, utilizând algoritmi specifici profilării prin poli (polinoame Bezier) a generatoarelor canalelor elicoidale.

Se prezintă în figura 4, spre exemplificare, profilul sculelor generatoare pentru prelucrarea canalelor burghiilor cu tășuri curbilini.

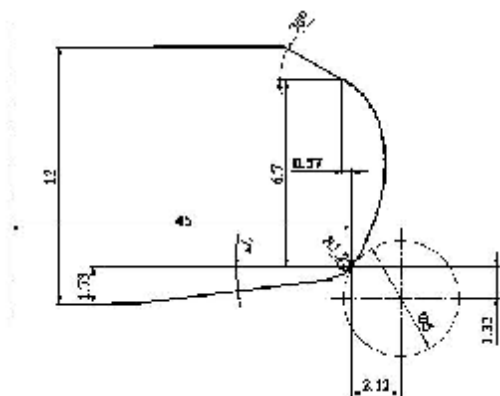


Fig. 4 Profilul frezei disc pentru prelucrarea canalelor burghiilor elicoidale

Tabelul 4. Coordonatele punctelor de pe profilul frezei disc

R [mm]	H [mm]
50.43	-10.877
50.301	-10.812
50.175	-10.739
50.051	-10.658
M	M
49.583	-2.9401
49.718	-2.6834
49.861	-2.4264
50.01	-2.1694

2.5 Elaborarea de produse soft specifice

În baza algoritmilor elaborați, s-a realizat un produs soft dedicat pentru profilarea sculelor care generează prin înfășurare vârtejuri ordonate de suprafețe (scula-cremalieră, cuțitul-roată; cuțitul rotativ) precum și probleme specifice ale acestui tip de generare: probleme de interferența profilurilor; puncte singulare pe profil; discontinuități ale profilurilor generatoare.

În figura 5, se prezintă o „fereastră” a produsului soft specific elaborat.

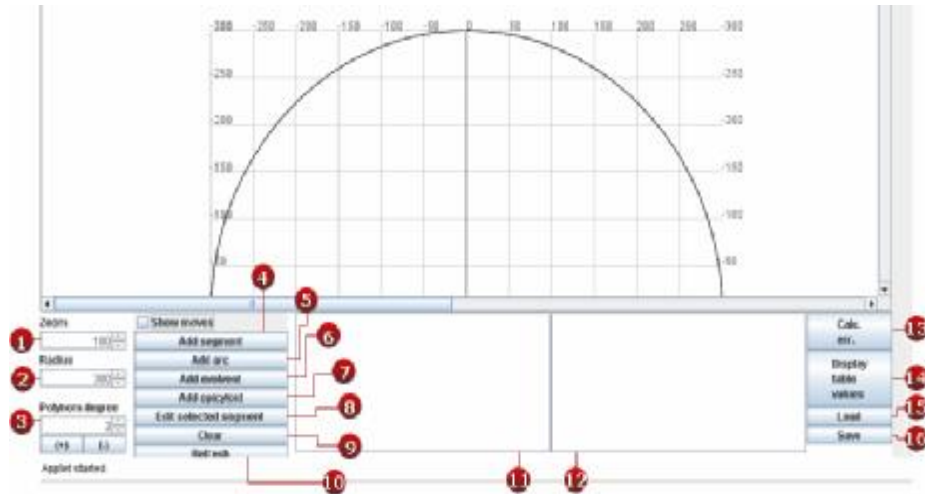


Fig. 5 Softul specific elaborat

3.1. Elaborarea de modele de predicție a erorii de geometrice de generare

S-a elaborat un model pentru predicția erorii geometrice în vederea realizării unor algoritmi de corecție prin considerarea noțiunii de *generatoare fictivă*, diferită de *generatoarea teoretică*, care să aibă față de aceasta din urmă o formă care să permită predicția geometrică a erorilor nedeterminate din procesul de generare.

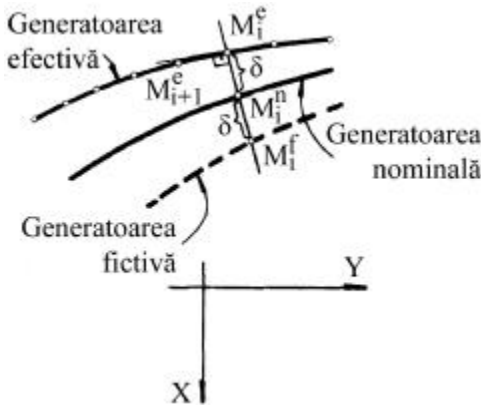


Fig. 6 Puncte pe generatoarea fictivă - G_F

Se propune definirea *generatoarei fictive* ca *imaginea în oglindă a generatoarei efective*, G_E , față de *generatoarea teoretică*. În acest fel, se poate considera că factorii perturbatori, acționând în același fel, vor conduce la obținerea unei generatoare G_E mai apropiată de forma teoretică a secțiunii transversale a suprafeței, la o nouă reluare a procesului de generare.

De asemenea, modelul a fost extins și pentru scule care generează prin înfășurare prin metoda rulării și pentru sculele generatoare a suprafețelor elicoidale.

Se determină coordonatele punctului curent de pe generatoarea fictivă,

$$M_i^f : \begin{cases} X_i^f = X_i^n + d \cos a_i; \\ Y_i^f = Y_i^n + d \sin a_i. \end{cases} \quad (3)$$

Ansamblul punctelor M_i^f determină generatoarea fictivă pe baza căreia se va determina *profilul corectat* al sculei, aplicat, în cele ce urmează, pentru o scula de tip roată.

3.2. Crearea unor modele fictive ale suprafeței de generat (în corelație și cu acțiunea 5.1, 5.2)

Se prezintă un exemplu de profilare a sculei de tip roată a unei generatoare fictivă, determinată conform principiului enunțat.

Dacă se acceptă forma de exprimare a generatoarei fictive a sculei de tip roată în forma (4)

$$G^F = \begin{Bmatrix} X_1^F & X_2^F & \mathbf{L} & X_m^F \\ Y_1^F & Y_2^F & \mathbf{L} & Y_m^F \end{Bmatrix}^T \quad (4)$$

în baza *metodei tangentelor* se definește familia de profiluri exprimate în formă discretă, în sistemul de referință al cuțitului-roată, pentru $j = 0$,

$$\begin{Bmatrix} x \\ h \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos j_2 & -\sin j_2 \\ \sin j_2 & \cos j_2 \end{Bmatrix} \mathbf{g} \begin{Bmatrix} \cos j_1 & -\sin j_1 \\ \sin j_1 & \cos j_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_i^F \cos j - Y_i^F \mathbf{g} \sin j \\ X_i^F \mathbf{g} \sin j + Y_i^F \mathbf{g} \cos j \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -A_{12} \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

pentru $i = 1, 2, 3, \dots, m$ (numărul punctelor de pe generatoarea fictivă).

După dezvoltare, rezultă:

$$\begin{cases} x = X_i^F \mathbf{g} \cos(j_1 + j_2) - Y_i^F \mathbf{g} \sin(j_1 + j_2) + A_{12} \mathbf{g} \cos j_2; \\ h = X_i^F \mathbf{g} \sin(j_1 + j_2) + Y_i^F \mathbf{g} \cos(j_1 + j_2) + A_{12} \mathbf{g} \sin j_2. \end{cases} \quad (6)$$

Condiția de înfășurare specifică, vezi (2.53), pentru $j = 0$,

$$\left[(i+1) \mathbf{g} Y_i^F - i \mathbf{g} A_{12} \mathbf{g} \sin j_1 \right] \mathbf{g} \sin b_i^F + \left[(i+1) \mathbf{g} X_i^F + i \mathbf{g} A_{12} \mathbf{g} \cos j_1 \right] \mathbf{g} \cos b_i^F = 0, \quad (7)$$

cu definiția

$$b_i^F = \arctg \left[\frac{Y_{i+1}^F - Y_i^F}{X_{i+1}^F - X_i^F} \right] \quad (8)$$

în care $X_i^F, Y_i^F, X_{i+1}^F, Y_{i+1}^F$ sunt coordonate ale matricei generatoarei fictive G^F .

4.1. Extinderea algoritmilor de profilare de corecție la corecția de formă a canalelor burghiilor elicoidale

În scopul modificării geometriei burghiilor în vederea îmbunătățirii performanțelor acestora s-au urmărit două căi: modificarea formei tăișului, în sensul acceptării

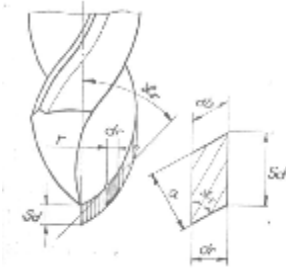


Fig. 7 Tăiș curbiliniu

unui tăiș curbiliniu, care să asigure uniformizarea încărcării energetice în lungul tăișului, figura 7; modificarea geometriei canalului elicoidal cu scopul diminuării variației mărimii unghiului de degajare.

S-a propus modificarea geometriei canalului elicoidal astfel încât muchia așchietoare să rezulte curbilinie conducând la o încărcare

energetică relativ constantă în lungul tăișului sculei.

În figura 8, sunt prezentate modele a legilor de variație a încărcării energetice unitare în lungul tăișului principal pentru diferite forme corectate ale canalului feței de degajare.

Modelul arată că realizarea corecțiilor de canal elicoidal în scopul obținerii unor muchii de așchiere curbe asigură o forță unitară în lungul tăișului mult diferită de cazul sculelor standard, cu tăiș rectiliniu, situație ce conduce la uniformizarea încărcării energetice în lungul tăișului burghiului.

4.2. Extinderea algoritmului de profilare la corecția de formă a fețelor de așezare

S-au extins algoritmii de profilare a suprafețelor de așezare a burghiilor pentru procedeele de ascuțire după quadrice și suprafețe elicoidale utilizând o metodă ce apelează la principiile înfășurării suprafețelor descriind în formă discretă suprafețele de așezare ale burghiului elicoidal.

Noua metodologie dovedește că geometria feței de așezare este diferită față de caracteristicile geometrice cunoscute prin metodele convenționale de studiu, curbele de detalonare ale fețelor de așezare care definesc tăișurile transversale fiind diferite în cele două cazuri.

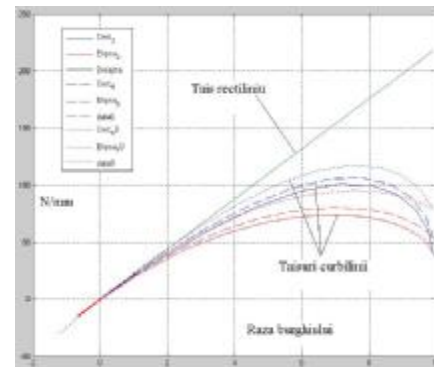


Fig. 8 Modele ale legii de variație a încărcării energetice unitare

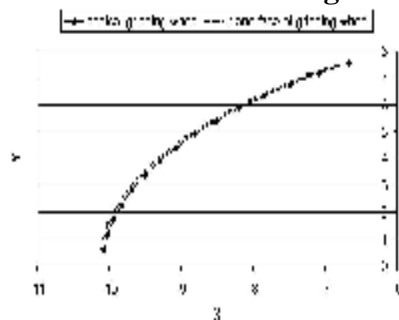


Fig. 7 Curbe de detalonare ale feței de așezare (convențional și model corectat)

5.1. Elaborarea de algoritmi pentru profilarea de corecție a sculelor care lucrează prin metoda rulării

S-a dezvoltat un algoritm specific pentru profilarea de corecție a sculelor: cremalieră; roată și cuțit rotativ. Cunoscând legitățile pentru determinarea profilului (suprafața periferică primară) sculei-cremalieră pornind de la generatoarea nominală a suprafeței de generat și definind, de asemenea, *generatoarea fictivă* a suprafeței ca noua suprafață țintă se construiește un masiv, în baza transformărilor (9), dezvoltându-se un algoritm, utilizând *metoda tangentelor*, aplicată generatoarei fictive a noii suprafețe țintă:

$$\begin{cases} x = X_i^F \mathfrak{g} \cos j_1 - Y_i^F \mathfrak{g} \sin j_1 + R_{rp}; \\ h = X_i^F \mathfrak{g} \sin j_1 + Y_i^F \mathfrak{g} \cos j_1 + R_{rp} \mathfrak{g} j_1. \end{cases} \quad (9)$$

Ecuțiile reprezintă *modelul familiei de generatoare fictive*, în sistemul de referință al sculei-cremalieră, vezi și figura 10.

Condiția de înfășurare specifică, poate fi adusă la forma :

$$\left[Y_i^F - R_{rp} \mathfrak{g} \sin j_1 \right] \mathfrak{g} \sin b_i^F - \left[-X_i^F - R_{rp} \mathfrak{g} \cos j_1 \right] \mathfrak{g} \cos b_i^F = 0. \quad (10)$$

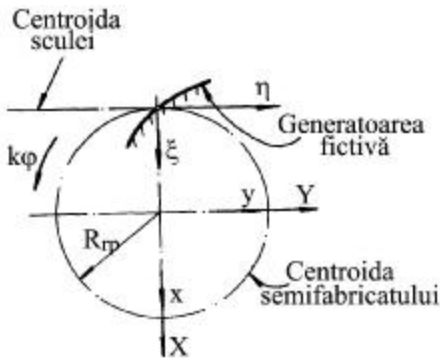


Fig. 8 Scula cremalieră, centroide

În(10), X_i^F , Y_i^F sunt coordonate ale matricei reprezentând generatoarea fictivă, iar b_i^F are exprimarea (8). Ansamblul ecuațiilor (9), (10) reprezintă *profilul corectat* al sculei-cremalieră.

Și în acest caz, profilul corectat, determinat de (9), (10), este un profil ideal.

Muchia efectivă de așchiere a sculei-cremalieră rezultă din intersecția suprafeței de degajare (în cele mai multe cazuri realizată ca o suprafață plană) cu suprafața de așezare (realizată ca o suprafață cilindrică).

- *Profilul aproximat*

Profilul primar (teoretic) al sculei-cremalieră are o exprimare de forma matricei (11),

$$P_T = \begin{bmatrix} \xi_{T_1} & \xi_{T_2} & \mathbf{L} & \xi_{T_i} & \mathbf{L} & \xi_{T_n} \\ \eta_{T_1} & \eta_{T_2} & \mathbf{L} & \eta_{T_i} & \mathbf{L} & \eta_{T_n} \end{bmatrix}^T. \quad (11)$$

Pentru punctul curent de pe profilul teoretic al sculei, familia generatoarelor suprafeței de așezare are un model de reprezentare discretă dată de (12):

$$(\Delta\alpha) \begin{cases} \xi = \xi_{T_i} - u_1 \sin \alpha; \\ \eta = \eta_{T_i}; \\ \zeta = u_1 \cos \alpha, \quad (i = 1, 2, \dots, n); \end{cases} \quad (12)$$

în care: - $[\xi_{T_i}, \eta_{T_i}]$ sunt coordonatele profilului curent al suprafeței periferice primare al sculei în planul $\xi\eta$;

- u_1 este parametrul variabil discret.

Suprafața de degajare a sculei-cremalieră se definește ca fiind planul care, trecând prin punctul de coordonate (ζ_v, η_v) al profilului P_T , formează cu planul $\zeta\eta$ al sistemului de referință, unghiul γ , vezi (13):

$$S_\gamma \begin{cases} \xi = \xi_v - t_1 \cos \gamma; \\ \eta = \eta_v; \\ \zeta = t_1 \sin \gamma; \end{cases} \quad (13)$$

În (13), s-au definit:

- punctul $[\xi_v, \eta_v]$ reprezintă punctul de pe profilul teoretic cu cea mai mare valoare a abscisei ξ , din (11);
- t_1 - parametru variabil.

Intersecția familiei de generatoare a suprafeței de așezare ($\Delta\alpha$) (12) cu planul suprafeței de degajare (13) reprezintă profilul efectiv al muchiei de așchiere a sculei în planul $\xi\eta$ - P_A figura 11, - *profilul aproximat*,

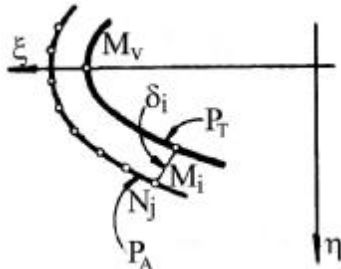


Fig. 9 Profilul efectiv al muchiei de așchiere (profilul aproximat)

$$P_A : \begin{cases} \xi = \xi_v - \frac{\xi_v - \xi_t}{(\cos \alpha - \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha)} \cos \gamma; \\ \eta = \eta_t. \end{cases} \quad (14)$$

Formele(14) conduc la o exprimare in formă discretă a profilului aproximat, P_A :

$$P_A = \begin{pmatrix} \xi_{A_1} & \xi_{A_2} & \mathbf{L} & \xi_{A_j} & \mathbf{L} & \xi_{A_n} \\ \eta_{A_1} & \eta_{A_2} & \mathbf{L} & \eta_{A_j} & \mathbf{L} & \eta_{A_n} \end{pmatrix}^T. \quad (15)$$

Pentru un număr suficient de mare de puncte cu care sunt descrise cele două profiluri, *corectat* - P_T și *aproximat* - P_A , se poate defini o poziție relativă între acestea.

Se calculează distanțele

$$\delta_{i,j} = \left| \sqrt{(\xi_{A_j} - \xi_{T_i})^2 - (\eta_{A_j} - \eta_{T_i})^2} \right|, i = 1, 2, \dots, n \text{ și } j = 1, 2, \dots, m. \quad (16)$$

Valorile minime ale distanțelor (16) reprezintă, pentru punctele M_i și N_j , o mărime comparabilă cu distanța măsurată pe normala la una dintre curbe între P_T și P_A .

Se limitează valorile $\delta_{i,j}$, astfel determinate, la o valoare suficient de mică, pentru a putea accepta că, din punct de vedere tehnic, cele două profiluri P_T și P_A sunt identice.

Valoarea unghiului γ pentru care P_T și P_A sunt apropiate reprezintă unghiul de degajare al sculei-cremalieră cu profilul corectat.

5.2. Elaborarea de produse soft specifice

Se prezintă fereastra produsului soft realizat ca applet JAVA care realizează profilarea de corecție pentru o sculă cremalieră, definind profilurile: corectat, aproximat și limitele de variație acceptabile.

Produse soft similare sunt realizate, în cadrul proiectului, și pentru alte metode de generare prin înfășurare.

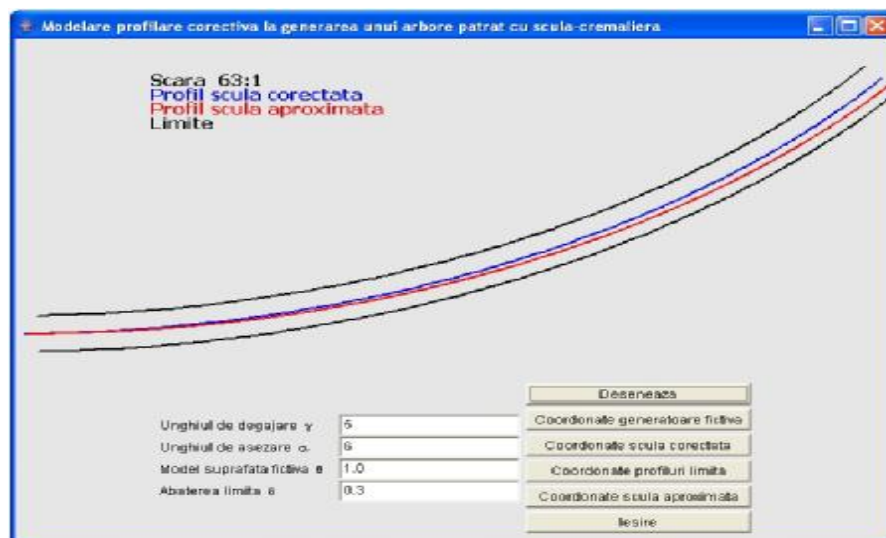


Fig. 10 Profilurile aproximat, corectat și limită