

## O FORMA A RELAȚIILOR PENTRU CALCULUL FORȚELOR, MOMENTELOR, PUTERII DE AȘCHIERE ȘI A PUTERII DE AVANS LA PRELUCRAREA GĂURILOR ADÂNCI

M. Bunea, T. Cherecheș, G. Rosniște, H. Verțan  
Academia Tehnică Militară București, România

### INTRODUCERE

Particularitățile sculelor, ale proceselor tehnologice și ale mașinilor-unelte utilizate la prelucrarea găurilor adânci, trebuie să fie exprimate și să se regăsească și în relațiile pentru calculul forțelor și momentelor de așchiere, puterii de așchiere și a puterii de avans. În consecință, dimensionarea pe baze științifice a elementelor sculelor așchietoare și alegerea mașinii-unelte corespunzătoare presupune cunoașterea mărimii forțelor și momentelor de așchiere, a puterii de așchiere și a puterii de avans care se dezvoltă pe timpul procesului de așchiere și acționează asupra sculelor și a mașinilor-unelte.

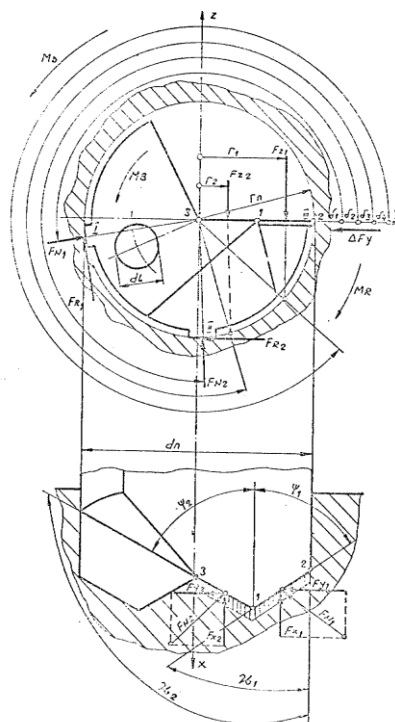
În această lucrare am adaptat și dezvoltat la specificul prelucrării găurilor adânci relațiile generale din teoria așchierii, stabilind, totodată, unele relații noi, derivate din teoria echilibrului dinamic.

### 1. CALCULUL COMPONENTEI PRINCIPALE A FORȚEI DE AȘCHIERE

La burghiul pentru prelucrarea găurilor adânci, cu evacuarea așchiilor prin exterior, a cărei formă este prezentată în Fig. 1, ecuațiile care exprimă forțele de așchiere pot fi scrise sub forma:

$$\begin{aligned} F_{z1} &= C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz}, \\ F_{z2} &= C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz}, \\ F_{x1} &= \frac{1}{4} F_{z1} = \frac{1}{4} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz}, \\ F_{x2} &= \frac{1}{4} F_{z2} = \frac{1}{4} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz}, \\ F_{y1} &= \frac{2}{5} F_{z1} = \frac{2}{5} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz}, \\ F_{y2} &= \frac{2}{5} F_{z2} = \frac{2}{5} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz}, \end{aligned} \quad (1)$$

$P_{aș}$  – puterea de așchiere, în kW;  
 $P_{av}$  – puterea de avans, în kW.



**Figura 1.** Burghiu pentru prelucrarea găurilor adânci cu evacuarea așchiilor prin exterior.  $d_n$  – diametrul nominal; 1-2 – muchia așchietoare exterioară; 1-3 – muchia așchietoare interioară;  $\chi_1$  și  $\chi_2$  – unghiurile de atac; I, II – elemente de sprijin și de ghidare;  $d_L$  – orificiul pentru lichidul de așchiere;  $F_{x1}$ ,  $F_{y1}$ ,  $F_{z1}$  – forțe de așchiere;  $F_{NB}$ ,  $F_{RI}$  – forțe normale și de reacție

Se notează:

$F_z$  – componenta principală a forței de așchiere, în daN;

$F_{Ax}$  – forța axială, - componenta forței de așchiere după direcția avansului, în daN;

$F_y$  – forța de respingere, - componenta forței de așchiere, perpendiculară pe direcția avansului, în daN;

$M_B = M_D$  – momentul de găurire (alezare), a cărei valoare este egală cu a momentului dinamic, în daN;

Componenta principală a forței de așchiere  $F_z$ , obținută prin adunarea componentelor  $F_{z1}$  și  $F_{z2}$ , pentru a opera cu o singură forță de așchiere, este dată de relația:

$$F = F_{z1} F_{z2} \quad (2)$$

sau, înlocuind cele două componente cu relațiile lor, se obține:

$$F_z = C_{F_z} \cdot d_n^{q_{F_z}} \cdot S^{x_{F_z}} \cdot \left( \frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2} \right) K_{F_z}, \quad (3)$$

Dacă se ține seama că sculele moderne pentru găuri adânci sunt executate din carburi metalice, se poate considera:

$$\begin{aligned} q_{F_z} &= 1 \\ x_{F_z} &= 1 \end{aligned}$$

și relația (3) devine:

$$F_z = C_{F_z} \cdot d_n \cdot S \cdot \left( \frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2} \right) K_{F_z} [daN]. \quad (4)$$

## 2. CALCULUL FORȚEI AXIALE $F_{Ax}$ ȘI AL FORȚEI DE RESPINGERE $F_y$ .

Din relațiile (1), similar ca și în cazul forței  $F_z$ , se obțin relațiile pentru  $F_{Ax}$  și  $F_y$ :

$$F_{Ax} = C_{F_x} \cdot d_n \cdot S \cdot \left( \frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2} \right) K_{F_x} [daN], \quad (5)$$

$$F_y = C_{F_y} \cdot d_n \cdot S \cdot \left( \frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2} \right) K_{F_y} [daN], \quad (6)$$

Relațiile (4), (5) și (6) sunt derivate din relațiile generale, factorii  $\frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2}$  exprimând specificul sculelor pentru prelucrarea găurilor adânci.

Din relațiile (4), (5) și (6) rezultă că valoarea componentelor forței de așchiere  $F_z$ ,  $F_{Ax}$  și  $F_y$  se reduc atunci când valoarea unghiurilor de atac crește. Acest lucru este important mai ales pentru forța axială a cărei valoare este de dorit să fie mai redusă, deoarece, valoarea mică a forței axiale face posibilă ridicarea regimurilor de așchiere.

Unghiurile de atac  $\chi_1$  și  $\chi_2$  au valoarea optimă cuprinsă în domeniul  $64^\circ \dots 74^\circ$ , față de circa  $60^\circ$  la burghiile elicoidale și, în consecință, forța axială optimă  $F_{Ax}$  la găurirea adâncă cu burghie prezentate în Fig. 1., este și din acest punct de vedere mai mică decât la găurirea cu burghie elicoidale.

Valoarea optimă efectivă a unghiului de atac  $\chi_1$  se stabilește în funcție de calitatea materialului ce se prelucrează, iar valoarea optimă efectivă a unghiului de atac  $\chi_2$  se stabilește, din considerente dinamice, în funcție de calitatea

urmărită a prelucrării respective, prelucrare obișnuită sau prelucrare de precizie.

În Fig. 2. este redată variația componentelor forței de așchiere în funcție de unghiurile de atac  $\chi_1$  și  $\chi_2$  din care rezultă că, odată cu creșterea unghiurilor de atac, valoarea componentelor forțelor de așchiere se reduce. Ridicarea diagramei s-a făcut considerând toți factorii din structura relației forței de așchiere înglobați într-o constantă C, cu excepția sinusurilor unghiurilor de atac,

$$F_z = C \frac{1}{\sin \chi_1} + \frac{1}{\sin \chi_2} \quad (7)$$

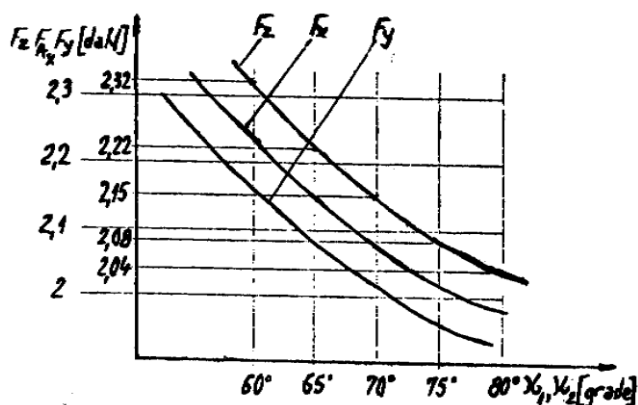


Figura 2. Variația componentelor forței de așchiere în funcție de unghiurile de atac  $\chi_1$  și  $\chi_2$ .

## 3. RELAȚII DE CALCULUL AL MOMENTULUI DE GĂURIRE (ALEZARE).

Sculele având rigiditate mică, momentul de găurire (alezare) este de forma:

$$M_B \ddot{Y} M_{aș.} ; M_R, \quad (8)$$

unde:

$M_B$  – este momentul de găurire (alezare), în daNmm;

$M_{aș.}$  – momentul de așchiere, în daNmm;

$M_R$  – momentul de frecare (rezistență), datorat forțelor de frecare, în daNmm.

Folosindu-se Fig. 1. se poate nota:

$$a) \quad M_{aș.} \ddot{Y} F_{z1} r_{1j} F_{z2} r_{2j}, \quad (9)$$

unde:

$$\begin{aligned} r_1 &\ddot{Y}^{3/4} r_m; \\ r_2 &\ddot{Y}^{1/4} r_m \end{aligned}$$

dacă se admite că:

$$F_{z1j} F_{z2} \ddot{Y} F_z,$$

se obține:

$$M_{as} \ddot{Y} 0,5 F_z r_n \quad (10)$$

Relația (10) arată că la burghiul pentru găurirea adâncă, care are ambele muchii aşchietoare situate de aceeaşi parte a axei, momentul de aşchiere  $M_{as}$  reprezintă jumătate din momentul de aşchiere al burghiului elicoidal, la care, cele două muchii sunt situate simetric în raport cu axa de rotație.

$$b) M_R \ddot{Y} F_{R1} r_n \dot{F}_{R2} r_n \ddot{Y} r_n (F_{R1} \dot{F}_{R2}) \quad (11)$$

Din relațiile forțelor de frecare sunt:

$$F_{R1} = \frac{\mu \Delta F_y + \mu^2 (F_{z1} + F_{z2})}{1 + \mu^2}, \quad (12)$$

$$F_{R2} = \frac{\mu (F_{z1} + F_{z2}) - \mu^2 \Delta F_y}{1 + \mu^2}$$

Dacă se introduc în relația (9) și se fac operațiile necesare, se obține:

$$M_R = \mu \cdot r_n \left[ F_z + \Delta F_y \frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \right] \quad (13)$$

Relația (13) arată că momentul de frecare (rezistent) depinde de coeficientul de frecare  $\mu$  și de forțele  $F_z$  și  $\Delta F_y$ .

Coeficientul de frecare  $\mu$  evidențiază faptul că sculele au rigiditate mică și, deci, pe timpul procesului de aşchiere se sprijină pe suprafața găurii.

Forța  $\Delta F_y$  evidențiază starea de echilibru a sculelor pe timpul procesului de aşchiere, valoarea ei depinzând de relația în care se află unghiului de atac  $\chi_1$  și  $\chi_2$ .

Se va studia variația momentului  $M_R$  pentru două valori limită a forței  $\Delta F_y$ .

c<sub>1</sub>) Când  $\chi_1 \ddot{Y} \chi_2$ , forțele de respingere sunt egale  $F_{y1} \ddot{Y} F_{y2}$  și deci  $\Delta F_y \ddot{Y} 0$ . Situația este utilizabilă la găurirea adâncă obișnuită. În această situație, expresia momentului de frecare din relația (13) devine:

$$M_R \ddot{Y} \mu F_z r_n \quad (14)$$

Introducând relațiile (10) și (14) în relația (8) se obține expresia momentului de găurire:

$$M_B = F_z \cdot r_n \cdot \left( \frac{1 + 2\mu}{2} \right) \quad (15)$$

în care:  $\mu \ddot{Y} 0,22 \dots 0,28$ , iar momentul de găurire va fi:

$$M_B \ddot{Y} 0,78 F_z r_n \quad (16)$$

Relația (15) arată că la burghierea adâncă, atunci când unghiurile de atac sunt egale, valoarea momentului de găurire  $M_B$  este mai mare decât valoarea momentului de aşchiere  $M_A$  cu 56%, datorită influenței momentului de frecare  $M_R$ .

c<sub>2</sub>) Când  $\chi_1 \dot{Y} \chi_2$ , forțele de respingere sunt neegale  $F_{y1} \dot{Y} F_{y2}$  și deci,  $\Delta F_y \dot{Y} 0$  și are semnul "plus". Situația este utilizabilă la găurirea adâncă de precizie.

Pentru calcule, valoarea optimă a forței  $\Delta F_y$  reprezintă cca. 0,7% din valoarea forței  $F_z$ , putându-se nota:

$$\Delta F_y \ddot{Y} 0,7 F_z. \quad (17)$$

Dacă relația (17) se introduce în relația (13) se obține:

$$M_R = F_z \cdot r_n \cdot \mu \left[ 1 + 0,7 \frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \right] \quad (18)$$

Introducând relațiile (10) și (18) în relația (8) și dacă  $\mu$  se înlocuiește cu valoarea sa, se obține expresia momentului de găurire,

$$M_B \ddot{Y} 0,8 F_z r_n \quad (19)$$

Relația (19) arată că atunci când unghiurile de atac nu sunt egale și se află în relația  $\chi_1 \dot{Y} \chi_2$ , rezultă că  $F_{y1} \dot{Y} F_{y2}$  și deci,  $\Delta F_y \dot{Y} 0$ , situația care corespunde găuririi de precizie. Momentul de găurire  $M_B$  este mai mare cu 60% decât momentul de aşchiere  $M_A$ , însă el rămâne mai mic decât momentul de găurire cu burghiul spiral, reprezentând din acesta numai 0,8.

Comparând expresia momentului de găurire din relația (15) cu cea din relația (19), rezultă că valoarea momentului de găurire  $M_B$  trebuie calculată ținând seama de valoarea reală a forței  $\Delta F_y$ , care la rândul ei se stabilește în funcție de calitatea prelucrării ce se dorește a se obține, respectiv găurire obișnuită sau găurire de precizie.

Dacă relația (4) se introduce în relația (19) se obține:

$$M_B = 0,8 C_{Fz} d_n S \left( \frac{1}{\sin \lambda_1} + \frac{1}{\sin \lambda_2} \right) K_{Fz} [daN] \quad (20)$$

și dacă se notează:

$$r_n \ddot{Y} dn/2,$$

momentul de găurire ia forma:

$$M_B = 0,4C_{Fz} \cdot d_n^2 S \left( \frac{1}{\sin \lambda_1} + \frac{1}{\sin \lambda_2} \right) K_{Fz} [daN] \quad (21)$$

Relația (21) arată că şi valoarea momentului de găurire se reduce odată cu creşterea unghiurilor de atac, curba de variație fiind similară cu cea din Fig. 2.

### 3. CALCULUL PUTERII DE AŞCHIERE.

La găurirea adâncă expresia puterii de aşchiere este dată de relația:

$$P_{aș} = \dot{V} P_{1aș} + P_{2aș} \quad (22)$$

în care:

$P_{1aș}$  - este puterea de aşchiere consumată în procesul de aşchiere propriu-zis:

$P_{2aș}$  - puterea consumată datorită forțelor şi momentelor de frecare.

Dacă  $P_{2aș}$  se exprimă în funcție de  $P_{1aș}$  şi se ia în considerare coeficientul de frecare  $\mu$  se poate scrie:

$$P_{2aș} = \mu P_{1aș} \quad (23)$$

Dacă relația (22) se introduce în relația (23) se obține:

$$P_{aș} = \dot{V} P_{1aș} (1 + \mu) \quad (24)$$

Puterea  $P_{1aș}$ , consumată în procesul de aşchiere propriu-zis se obține din relația:

$$P_{1aș} = \frac{F_z \cdot V_p}{6000} [kW] \quad (25)$$

în care:  $F_z$  se calculează cu relația (4), iar

$$V_p = \frac{\pi \cdot d_n}{1000} \dot{V} [m/min], \text{ în final obținându-se:}$$

$$P_{as} = \frac{F_z V_p}{6000} (1 + \mu) \dot{V} [kW] \quad (26)$$

### 4. CALCULUL PUTERII DE AVANS.

Similar cu calculul puterii de aşchiere, puterea de avans este de forma:

$$P_{av} = \dot{V} P_{1aș} (1 + \mu) \quad (27)$$

în care:  $P_{1aș} = \frac{F_{Ax} \cdot V_a}{6000} [kW]$  şi relația (27) devine:

$$P_{av} = \frac{F_{Ax} V_a}{6000} (1 + \mu) \dot{V} [kW] \quad (28)$$

în care:  $F_{Ax}$  se calculează cu relația (5), iar viteza de avans cu:

$$V_a = \frac{S \cdot n}{1000} [m/min],$$

şi în final se obține:

$$P_{av} = \frac{F_{Ax}}{6000} \cdot \frac{S \cdot n}{1000} (1 + \mu) \dot{V} [kW] \quad (29)$$

### 5. CONCLUZII.

Relațiile generale pentru calculul forțelor de aşchiere, prezentate în literatura tehnică de specialitate, au fost adaptate la specificul găurilor adânci, prin luarea în considerare, în mod explicit, a influenței unghiurilor de atac  $\lambda_1$  şi  $\lambda_2$ , rezultând relațiile (4), (5) şi (6).

Relațiile generale pentru calculul momentelor de găurire, a puterii de aşchiere şi a puterii de avans, prin luarea în considerare a influenței forțelor şi momentelor rezistente, exprimate prin coeficientul de frecare  $\mu$ , precum şi prin luarea în considerare a semnului forței  $F_y$ , au fost de asemenea adaptate la specificul sculelor şi maşinilor-unelte pentru prelucrarea găurilor adânci, rezultând relațiile (13), (15), (18), (21), (26) şi (29).

Forțele de aşchiere, momentele de găurire, puterea de aşchiere şi de avans la găurirea cu burghiul pentru găuri adânci, cu toată influența negativă a forțelor şi momentelor de frecare, sunt mai mici decât la găurirea cu burghiul elicoidal, aceasta datorându-se influenței favorabile a tăişului transversal, care are geometrie pozitivă şi este situat în exteriorul axei de rotație.

### Bibliografie

1. Elekes, C. Scule pentru găurirea alezajelor lungi // Editura Srisul Românesc, Craiova, 1985.
2. Sauer, L., Ionescu, C.
3. Yakamavich, T. Deep Hole Drilling, now it's faster easier // Automation, Jan., 1991

*O formă a relațiilor pentru calculul forțelor, momentelor, puterii de așchiere și a puterii de ...*

---