

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:

$$F_{z1} = C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz},$$

$$F_{z2} = C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz},$$

$$F_{x1} = \frac{1}{4} F_{z1} = \frac{1}{4} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz}, \quad (1)$$

$$F_{x2} = \frac{1}{4} F_{z2} = \frac{1}{4} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz},$$

$$F_{y1} = \frac{2}{5} F_{z1} = \frac{2}{5} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_1} K_{Fz},$$

$$F_{y2} = \frac{2}{5} F_{z2} = \frac{2}{5} C_{Fz} \cdot D_n^{q_{Fz}} \cdot S^{x_{Fz}} \cdot \frac{1}{\sin \chi_2} K_{Fz},$$

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

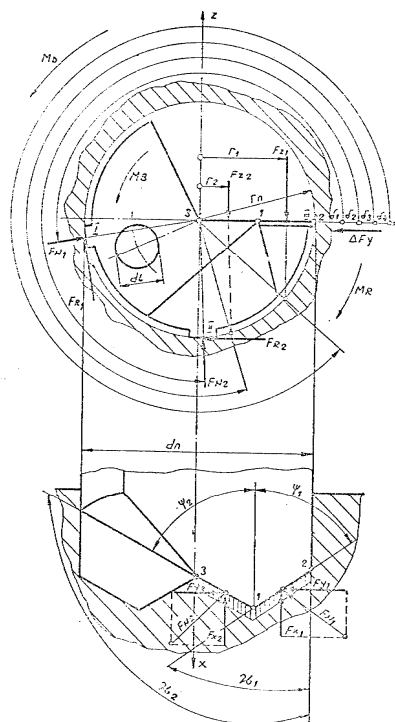


Figura 1. Burghiu pentru prelucrarea găurilor adânci cu evacuarea așchiilor prin exterior. d_n – diametrul nominal; 1-2 – muchia așchietoare exterioară; 1-3 – muchia așchietoare interioară; χ_1 și χ_2 – unghiurile de atac; I,II – elemente de sprijin și de ghidare; d_L – orificiul pentru lichidul de așchiere; F_{x1} , F_{y1} , F_{z1} – forțe de așchiere; F_{N1} , F_{R1} – 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 cărui 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:

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

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 :

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

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

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 aşchiere 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 aşchiere.

Unghiurile de atac χ_1 și χ_2 au valoarea optimă cuprinsă în domeniul $64^\circ \dots 74^\circ$, față de circa 60° 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 χ_1 se stabilește în funcție de calitatea materialului ce se prelucrează, iar valoarea optimă efectivă a unghiului de atac χ_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 aşchiere în funcție de unghiurile de atac χ_1 și χ_2 din care rezultă că, odată cu creșterea unghiurilor de atac, valoarea componentelor forțelor de aşchiere se reduce. Ridicarea diagramei s-a făcut considerând toți factorii din structura relației forței de aşchiere înglobați într-o constantă C, cu excepția sinusurilor unghiurilor de atac,

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

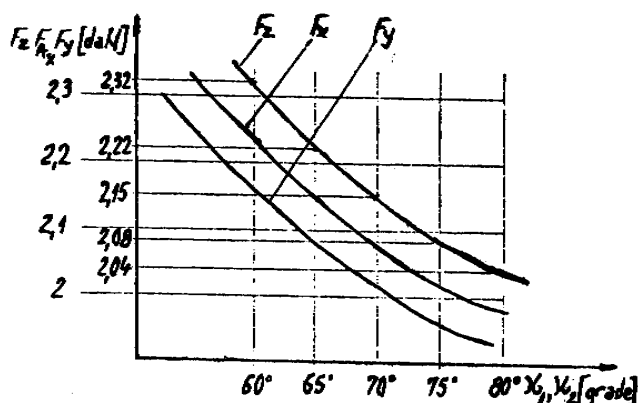


Figura 2. Variația componentelor forței de aşchiere în funcție de unghiurile de atac χ_1 și χ_2 .

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

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

$$M_B \dot{Y} M_{as} \cdot M_R, \quad (8)$$

unde:

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

M_{as} – momentul de aşchiere, în daNmm;

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

Folosindu-se Fig. 1. se poate nota:

$$a) \quad M_{as} \dot{Y} F_{z1} r_{1j} F_{z2} r_{2}, \quad (9)$$

unde:

$$\begin{aligned} r_1 &\dot{Y} \frac{3}{4} r_n; \\ r_2 &\dot{Y} \frac{1}{4} r_n \end{aligned}$$

dacă se admite că:

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

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 aceeași 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.

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

Din relațiile forțelor de frecare sunt:

$$F_{R1} = \frac{\mu \Delta Fy + \mu^2 (Fz_1 + Fz_2)}{1 + \mu^2}, \quad (12)$$

$$F_{R2} = \frac{\mu (Fz_1 + Fz_2) - \mu^2 \Delta Fy}{1 + \mu^2}$$

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

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

Relația (13) arată că momentul de frecare (rezistent) depinde de coeficientul de frecare μ și de forțele Fz și ΔFy .

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

Forța ΔFy evidențiază starea de echilibru a sculelor pe timpul procesului de aşchiere, valoarea ei depinzând de relația în care se află unghiului de atac χ_1 și χ_2 .

Se va studia variația momentului M_R pentru două valori limită a forței ΔFy .

c₁) Când $\chi_1 \ddot{Y} \chi_2$, forțele de respingere sunt egale $Fy_1 \ddot{Y} Fy_2$ și deci $\Delta Fy \ddot{Y} 0$. Situația este utilizabilă la găurirea adâncă obișnuită. În această situație, expresia momentului de frecare din relația (13) devine:

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

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

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

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

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

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 .

c₂) Când $\chi_1 \dot{Y} \chi_2$, forțele de respingere sunt neegale $Fy_1 \dot{Y} Fy_2$ și deci, $\Delta Fy \dot{Y} 0$ și are semnul "plus". Situația este utilizabilă la găurirea adâncă de precizie.

Pentru calcule, valoarea optimă a forței ΔFy reprezintă cca. 0,7% din valoarea forței Fz , putându-se nota:

$$\Delta Fy \ddot{Y} 0,7 Fz. \quad (17)$$

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

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

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

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

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 $Fy_1 \dot{Y} Fy_2$ și deci, $\Delta Fy \dot{Y} 0$, 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 ΔFy , 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 și valoarea momentului de găurire se reduce odată cu creșterea unghiurilor de atac, curba de variație fiind similară cu cea din Fig. 2.

3. CALCULUL PUTERII DE AȘCHIERE.

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

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

în care:

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

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

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

$$P_{2aș} = \dot{Y} \mu P_{1aș} \quad (23)$$

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

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

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

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

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

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

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

4. CALCULUL PUTERII DE AVANS.

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

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

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

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

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

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

și în final se obține:

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

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 λ_1 și λ_2 , rezultând relațiile (4), (5) și (6).

Relațiile generale pentru calculul momentelor de găurire, a puterii de aşchiere și a puterii de avans, prin luarea în considerare a influenței forțelor și momentelor rezistente, exprimate prin coeficientul de frecare μ , precum și prin luarea în considerare a semnului forței Y_{fy} , au fost de asemenea adaptate la specificul sculelor și mașinilor-unelte pentru prelucrarea găurilor adânci, rezultând relațiile (13), (15), (18), (21), (26) și (29).

Forțele de aşchiere, momentele de găurire, puterea de aşchiere și de avans la găurirea cu burghiul pentru găuri adânci, cu toată influența negativă a forțelor și momentelor de frecare, sunt mai mici decât la găurirea cu burghiul elicoidal, aceasta datorându-se influenței favorabile a tăişului transversal, care are geometrie pozitivă și 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. Yakamovich, T. Deep Hole Drilling, now it's faster easier // Automation, Jan., 1991