1. Calculul fortei si presiunii specifice de deformare la refulare

Pentru calculul presiunii medii de deformare şi respectiv a forţei de refulare, literatura de specialitate dă mai multe relaţii în funcţie de forma transversală a corpului, de dimensiunile corpului şi de modul de variaţie a tensiunii de frecare şi a presiunii pe suprafaţa de contact dintre corp şi scule.

a. Semifabricat cu sectiune transversala dreptunghiulara si lungime infinita

Se considera un semifabricat de lungime infinita a carui sectiune transversala are inaltimea h si latimea b. Se considera un element din semifabricat de lungime unitara pentru care deformatia in lungul axei longitudinale se poate considera nula(ε_1=0). Starea de tensiuni in elementul considerat este prezentata in fig.7.9 si poate fi asimilata cu o stare plana de tensiuni, deoarece in orice sectiune transversala eforturile sunt aceleasi.
Pentru determinarea fortei de deformare se pleaca de la ecuatia de echilibru a tensiunilor pe axa x:

$$\frac{\partial \boldsymbol{\sigma}_x}{\partial \boldsymbol{x}} + \frac{\partial \boldsymbol{\tau}_{xy}}{\partial \boldsymbol{y}} + \frac{\partial \boldsymbol{\tau}_{xz}}{\partial \boldsymbol{z}} = 0 \qquad (7.5)$$

Deoarece $\varepsilon_1=\varepsilon_y=0$, rezulta ca $\tau_{xy}=0$.
Termenii din ecuatia pot fi explicitati astfel: derivata partiala a efortului σ_x in raport cu variabila x este egala cu diferentiala totala in raport cu aceeasi variabila(deoarece variatia lui σ_x nu depinde decat de variabila x); $\frac{\partial \boldsymbol{\tau}_{xz}}{\partial \boldsymbol{z}}$ se exprima din asemanarea triunghiurilor dreptunghice de inaltime h/2 si cateta τ, respectiv de inaltime z si cateta τ_{xz}.

$$\frac{\partial \boldsymbol{\sigma}_x}{\partial \boldsymbol{x}} = \frac{\boldsymbol{d\sigma}_x}{\boldsymbol{dx}};\ \frac{\partial \boldsymbol{\tau}_{xy}}{\partial \boldsymbol{y}} = 0;\ \frac{\partial \boldsymbol{\tau}_{xz}}{\partial \boldsymbol{z}} = \frac{2\boldsymbol{\tau}}{\boldsymbol{h}} \qquad (7.6)$$

Inlocuind relatiile (7.6) in ecuatia (7.5) rezulta:

$$\frac{\boldsymbol{d\sigma}_x}{\boldsymbol{dx}} + \frac{2\boldsymbol{\tau}}{\boldsymbol{h}} = 0 \qquad (7.7)$$

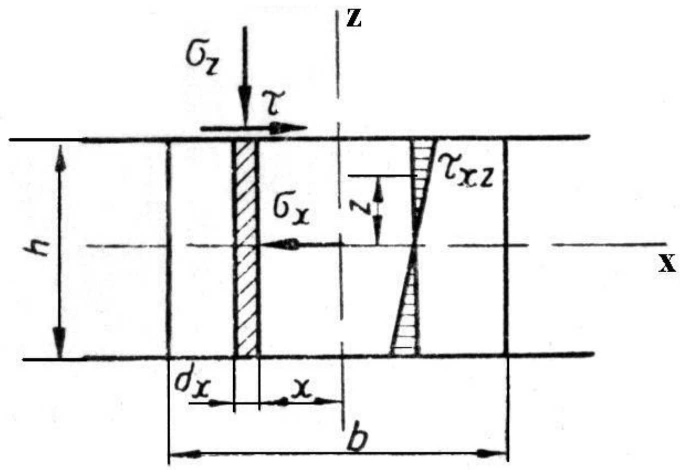


Fig. 7.9

Pentru calculul fortei de deformare trebuie determinata valoarea lui σ_z. Pentru aceasta se foloseste ecuatia plasticitatii, considerand σ_x si σ_z eforturi principale sub forma:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{\partial\sigma_z}{dx}$$

Deci relatia (7.5) devine:

$$\frac{d\sigma_z}{dx} + \frac{2\tau}{h} = 0$$

sau:

$$d\sigma_z = -\frac{2\tau}{h}dx \tag{7.8}$$

Rezolvarea in continuare a ecuatiei (7.8) se va face in functie de variatia care se adopta pentru tensiunea τ(in functie de raportul h/b si coeficientul de frecare μ) astfel:

$$\tau = \mu \cdot \sigma_z;\ \ \tau = \mu \cdot 2 \cdot k;\ \ \tau = k;\ \ \tau = \frac{2x}{b} \cdot k \tag{7.9}$$

Calculele analitice au demonstrat ca cea mai acoperitoare relatie este $\tau = \mu \cdot 2 \cdot k$.

In continuare se va determina relatia de calcul a fortei de deformare considerand pentru τ primele doua relatii:

a. daca $\tau = \mu \cdot \sigma_z$ relatia (7.8) devine:

$$d\sigma_z = -\frac{2 \cdot \mu \cdot \sigma_z}{h}dx$$

$$\frac{d\sigma_z}{\sigma_z} = -\frac{2 \cdot \mu}{h} \cdot dx \tag{7.10}$$

Integrand ecuatia (7.10) rezulta:

$$\ln\sigma_z = -\frac{2\cdot\mu}{h}\cdot x + \ln C \text{ sau}$$

$$\sigma_z = C\cdot e^{-\frac{2\mu}{h}x} \tag{7.11}$$

Pentru determinarea constantei C se folosesc conditiile initiale:

La $x = \frac{b}{2}$; $\sigma_z = 2k$, deci:

$2k = C\cdot e^{-\frac{2\mu}{h}\frac{b}{2}}$ de unde:

$$C = 2ke^{2\mu\frac{b}{2h}}$$

Inlocuind pe C in relatia (7.11) se obtine:

$$\sigma_z = 2k\cdot e^{\frac{2\mu}{h}(\frac{b}{2}-x)} \tag{7.12}$$

Cunoscand tensiunea normala σ_z, forta totala de deformare F se determina cu relatia:

$$F = 2\int_0^{b/2}\sigma_z dx = 4k\int_0^{b/2} e^{\frac{2\mu}{h}(\frac{b}{2}-x)}dx$$

Prin integrarea ecuatiei de mai sus se obtine:

$$F = 2k\cdot\frac{h}{\mu}(e^{\frac{\mu b}{h}}-1) \tag{7.13}$$

Cunoscand forta F necesara pentru deformarea unui element de latime b si lungime unitara, presiunea de defomare se obtine din relatia:

$$p = \frac{F}{b} = 2k\frac{h}{\mu b}(e^{\frac{\mu b}{h}}-1) \tag{7.14}$$

b. daca $\tau = \mu\cdot 2k$ rezulta:

$$d\sigma_z = -4\mu k\frac{dx}{h}$$

Prin integrare rezulta:

$$\sigma_z = -\frac{4\mu k}{h}x + C \tag{7.15}$$

Constanta C se determina similar cu cazul anterior, din conditii initiale:

La $x = \frac{b}{2}$ $2k = -\frac{4\mu}{h}k\frac{b}{2} + C$ de unde $C = 2k + 4\mu k\frac{b}{2h}$

Inlocuind in relatia (7.15) se obtine:

$$\sigma_z = 2k + 4\mu k\frac{b}{2h} - 4\mu k\frac{x}{h}$$

$$\boldsymbol{\sigma}_z = 2\boldsymbol{k}[1+\frac{2\mu}{\boldsymbol{h}}(\frac{\boldsymbol{b}}{2}-\boldsymbol{x})] \qquad (7.16)$$

Forta de deformare F se determina din relatia:

$$\boldsymbol{F} = 2\int_0^{b/2}\boldsymbol{\sigma}_z \boldsymbol{dx} = 4\boldsymbol{k}\int_0^{b/2}[1+\frac{2\mu}{\boldsymbol{h}}(\frac{\boldsymbol{b}}{2}-\boldsymbol{x})]\boldsymbol{dx} \quad \text{sau}$$

$$\boldsymbol{F} = 2\boldsymbol{k}(1+\frac{\mu \boldsymbol{b}}{2\boldsymbol{h}})\boldsymbol{b} \qquad (7.17)$$

Forta specifica va fi:

$$\boldsymbol{F} = 2\boldsymbol{k}(1+\frac{1}{2}\mu\frac{\boldsymbol{b}}{\boldsymbol{h}}) \qquad (7.18)$$

Forta totala necesara pentru deformarea unei bare de lungime l va fi:

$$\boldsymbol{F} = 2\boldsymbol{k}(1+\frac{1}{2}\mu\frac{\boldsymbol{b}}{\boldsymbol{h}})\boldsymbol{bl} \qquad (7.19)$$

c. Procedand analog pentru $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{k}$ si $\boldsymbol{\tau} = \frac{2\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{b}}\boldsymbol{k}$ rezulta:

$$\boldsymbol{\sigma}_z = 2\boldsymbol{k}[1+\frac{1}{\boldsymbol{h}}(\frac{\boldsymbol{b}}{2}-\boldsymbol{x})] \qquad (7.20)$$

$$\boldsymbol{\sigma}_z = 2\boldsymbol{k}[1+\frac{1}{\boldsymbol{bh}}(\frac{\boldsymbol{b}^2}{4}-\boldsymbol{x}^2)] \qquad (7.21)$$

b. Semifabricat cu sectiune transversala patrata

Se considera un semifabricat de sectiune transverala patrata cu inaltimea h si latura patratului a. In acest caz schema starii de tensiuni este prezentata in fig. 7.10.

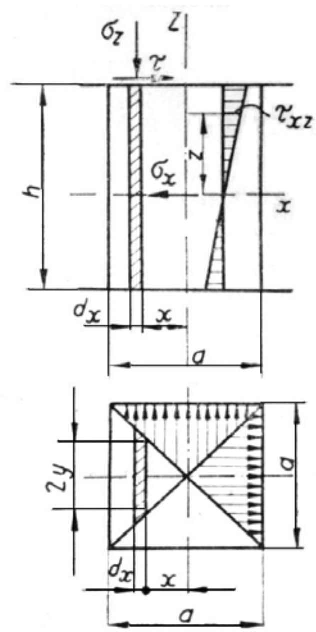


Fig. 7.10 Schema starii de tensiuni la refularea unui semifabricat de sectiune transversala patrata intre scule plan-paralele.

Pentru calculul fortei de deformare si in acest caz se pleaca de la ecuatia diferentiala de echilibru pe axa X:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}=0 \tag{7.22}$$

Pe baza celor prezentate anterior si in acest caz se pot face urmatoarele explicitari:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}=\frac{d\sigma_x}{dx};\quad \frac{d\sigma_x}{dx}=\frac{d\sigma_z}{dx};\quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}=0,\ \text{deoarece}\ \varepsilon_y=0$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}=\frac{2\tau}{h}$$

Inlocuind in relatia (7.22) rezulta:

$$\frac{d\sigma_z}{dx}+\frac{2\tau}{h}=0 \tag{7.23}$$

de unde:

$$\frac{d\sigma_z}{dx}=-\frac{2\tau}{h}$$

$$d\sigma_z=-\frac{2\tau}{h}dx \tag{7.24}$$

In relatia (7.24) adoptam pentru τ legea de variatie $\tau=\mu 2k$:

$$d\sigma_z=-\frac{4\mu k}{h}dx \tag{7.25}$$

Integrand relatia (7.25) rezulta:

$$\boldsymbol{\sigma_z} = -\frac{4\mu \boldsymbol{k}}{\boldsymbol{h}}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{C} \tag{7.26}$$

Determinarea constantei C se face din conditiile initiale.

La $\boldsymbol{x} = \frac{\boldsymbol{a}}{2} \qquad \boldsymbol{\sigma_z} = 2\boldsymbol{k}$

$2\boldsymbol{k} = -\frac{4\mu \boldsymbol{k}}{\boldsymbol{h}}\frac{\boldsymbol{a}}{2} + \boldsymbol{C}$ de unde $\boldsymbol{C} = 2\boldsymbol{k} + \frac{4\mu \boldsymbol{k}}{\boldsymbol{h}}\frac{\boldsymbol{a}}{2}$

Inlocuind constanta C in relatia (7.26) se va obtine:

$$\boldsymbol{\sigma_z} = 2\boldsymbol{k}\left[1 + \frac{2\boldsymbol{\mu}}{\boldsymbol{h}}\left(\frac{\boldsymbol{a}}{2} - \boldsymbol{x}\right)\right] \tag{7.27}$$

Forta totala de deformare va fi data de :

$$\boldsymbol{F} = 4\int_0^{\boldsymbol{a}/2} \boldsymbol{\sigma_z}\, 2\boldsymbol{y}\,\boldsymbol{dx} = 2\boldsymbol{k}\left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}}\right)\boldsymbol{a}^2 \tag{7.28}$$

Presiunea specifica de deformare va fi:

$$\boldsymbol{p} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{a}^2} = 2\boldsymbol{k}\left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}}\right) \tag{7.29}$$

c. Semifabricat cu sectiune transversala dreptunghiulara

In acest caz schema starii de tensiuni este prezentata in fig. 7.11 .

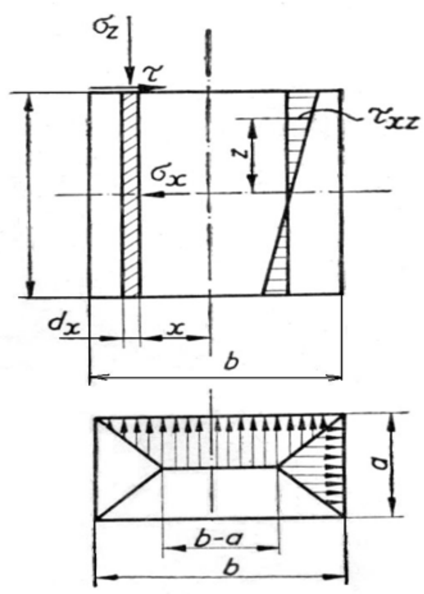


Fig.7.11 Schema starii de tensiuni la refularea unui semifabricat cu sectiune transversala dreptunghiulara intre scule plan-paralele

Din figura 7.11 se poate observa ca sectiunea dreptunghiulara a x b poate fi impartita in doua jumatati de patrat de latura a si un dreptunghi de dimensiune a x (b-a). In aceste conditii calculul fortei totale de deformare se poate face insumand componenta caracteristica sectiunii patrate cu cea a dreptunghiului.

$$\boldsymbol{F} = 2\boldsymbol{k}(1+\frac{1}{3}\boldsymbol{\mu}\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}})\boldsymbol{a}^2 + 2\boldsymbol{k}(1+\frac{1}{2}\boldsymbol{\mu}\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}})\boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}-\boldsymbol{a})$$

Dupa ordonare rezulta:

$$\boldsymbol{F} = 2\boldsymbol{k}(1+\boldsymbol{\mu}\frac{3\boldsymbol{b}-\boldsymbol{a}}{6\boldsymbol{b}}\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}})\boldsymbol{ab} \tag{7.30}$$

Relatia (7.30) este valabila pentru cazul in care b>a.
Presiune specifica de deformare va fi:

$$\boldsymbol{p} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{A}} = \frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}} = 2\boldsymbol{k}(1+\boldsymbol{\mu}\frac{3\boldsymbol{b}-\boldsymbol{a}}{6\boldsymbol{b}}\frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{h}}) \tag{7.31}$$

d. Semifabricat cu sectiune transversala circulara

Schema starii de tensiuni pentru ecest caz este prezentata in figura 7.12, presupunand ca in orice sectiune axiala starea de tensiuni este identica.

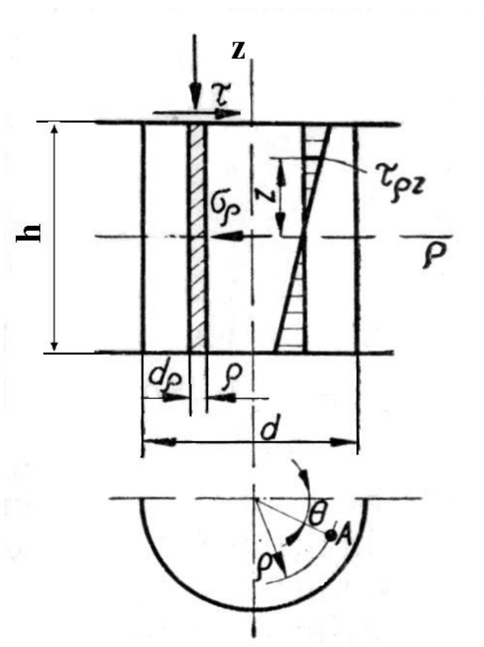


Fig. 7.12 Schema starii de tensiuni la refularea unui semifabricat cu sectiune transversala circulara intre suprafete plan-paralele

Pentru calculul fortei de deformare se pleaca de la ecuatia de echilibru in coordonate cilindrice pe axa ρ:

$$\frac{\partial\boldsymbol{\sigma}_\rho}{\partial\boldsymbol{\rho}} + \frac{1}{\boldsymbol{\rho}}\frac{\partial\boldsymbol{\tau}_{\rho\theta}}{\partial\boldsymbol{\theta}} + \frac{\partial\boldsymbol{\tau}_{\rho z}}{\partial\boldsymbol{z}} + \frac{1}{\boldsymbol{\rho}}(\boldsymbol{\sigma}_\rho - \boldsymbol{\sigma}_\theta) = 0 \tag{7.32}$$

Termenii ecuatiei (7.32) vor fi explicitati astfel:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} = \frac{d\sigma_\rho}{d\rho}$$

Pe baza primei ipoteze a plasticitatii , putem scrie:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} = \frac{d\sigma_z}{d\rho}$$

Datorita simetriei axiale :

$$\frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} = 0 \quad \text{deoarece } \varepsilon_\theta = 0$$

Presupunand ca efortul tangential variaza liniar pe inaltimea semifabricatului, din asemanarea triunghiurilor dreptunghice formate avem:

$$\frac{\partial \tau_{\rho z}}{\partial z} = \frac{2\tau}{h}$$

La deformatii mici se poate admite ca $\sigma_\theta = \sigma_\rho$ deci $\sigma_\rho - \sigma_\theta = 0$

Dupa inlocuirea celor de mai sus in relatia (7.32) rezulta:

$$\frac{d\sigma_z}{d\rho} + \frac{2\tau}{h} = 0 \quad \text{de unde}$$

$$d\sigma_z = -\frac{2\tau}{h} d\rho \tag{7.33}$$

Daca se adopta legea de variatie a lui τ sub forma: $\tau = \mu 2k$, dupa integrarea ecuatiei (7.33) rezulta:

$$\sigma_z = -\frac{4\mu k}{h}\rho + C \tag{7.34}$$

Determinarea constantei de integrare C se face din conditii initiale:

La $\rho = \frac{d}{2}$ $\sigma_z = 2k$, iar $C = 2k + \frac{4\mu k}{h}\frac{d}{2}$

Inlocuind constanta C in relatia (7.34) se obtine:

$$\sigma_z = 2k\left[1 + \frac{2\mu}{h}\left(\frac{d}{2} - \rho\right)\right] \tag{7.35}$$

Forta totala de deformare se determina din expresia:

$$F = \int_0^{d/2} \sigma_z 2\pi\rho d\rho \tag{7.36}$$

Prin rezolvarea integralei de mai sus rezulta:

$$F = 2k\left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right)\frac{\pi d^2}{4} \tag{7.37}$$

Presiunea specifica de deformare va fi in acest caz:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi d^2/4} = 2k\left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right) \tag{7.38}$$

2. Găurirea

Găurirea este o operație de forjare libera des întalnită la execuția inelelor. Ea poate fi deschisă sau închisă(fig.7.21).

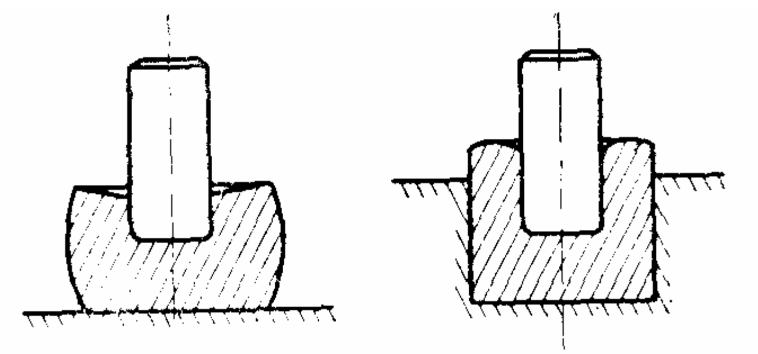


Fig. 7.21

La găurirea deschisă partea laterală a semifabricatului este liberă, materialul dislocat de poanson deplasandu-se mai ales lateral. In urma găuririi, înălțimea semifabricatului de obicei se micşorează. Gradul de micşorare a înălțimii depinde de raportul D/d(D fiind diametrul exterior al semifabricatului şi d-diametrul dornului de găurire).

Cu cat este mai mic raportul D/d cu atat mai mare va fi reducerea în înălțime a semifabricatului în timpul găuririi.

Găurirea deschisă se aplică în cazul pieselor mijlocii şi mari realizate în serie mică. Găurirea deschisă se poate realiza cu dorn plin sau cu dorn inelar. Dornurile pline se folosesc pentru găurirea semifabricatelor cu D< 500mm, iar cele tubulare pentru semifabricate cu D>500mm.

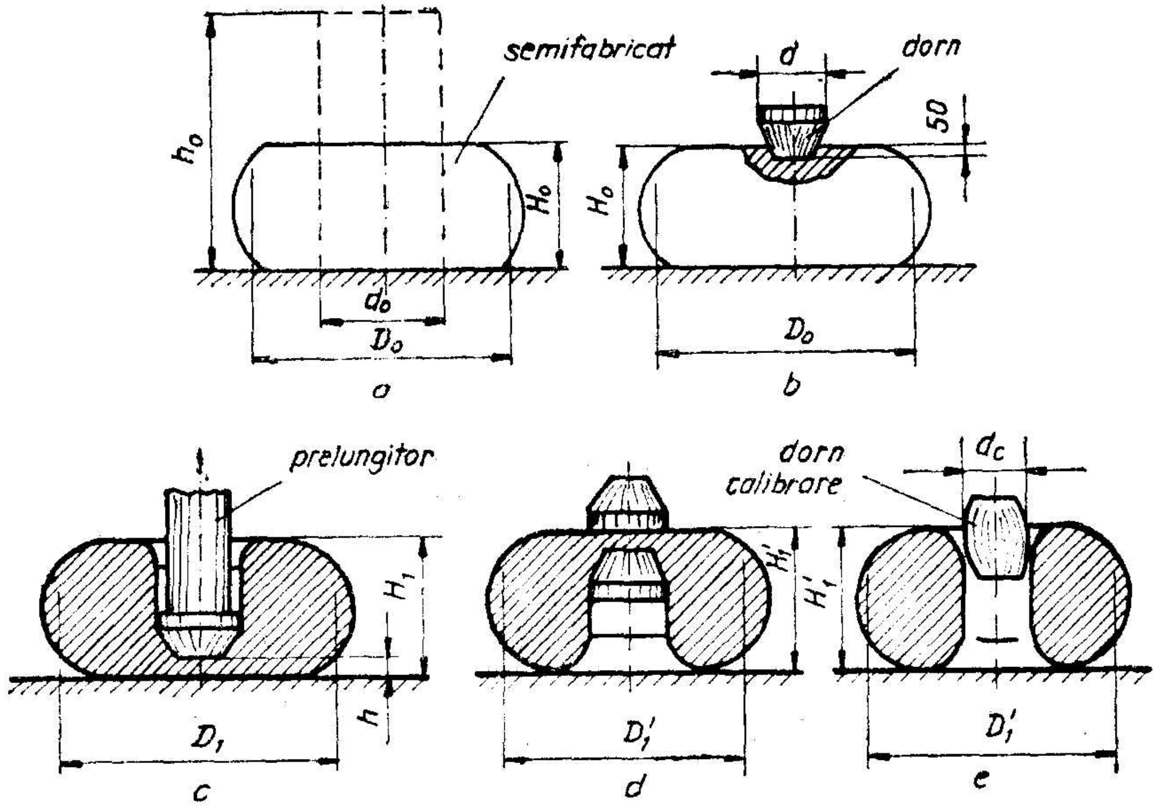
La găurirea închisă curgerea materialului în timpul găuririi este limitată de o matriță(inel). Materialul dislocat de către dorn se deplasează pe langă dorn, mărind înălțimea semifabricatului. Cu cat raportul D/d este mai mic, cu atat creşterea în înălțime a semifabricatului va fi mai mare. Găurirea închisă este aplicată pieselor mijlocii şi mici realizate în serie mare.

a. Găurirea deschisă

Tehnologia găuririi deschise cu dorn plin este prezentată în figura 7.22.

Etapele de găurire sunt:

1. semifabricatul este refulat la D_1=(3…5)d
2. se centrează dornul şi se pătrunde în material pe o înălțime de aprox 50mm
3. se îndepărtează dornul şi se introduce lubrifiant ,care are rolul să micşoreze frecarea dintre dorn şi material
4. se execută apoi găurirea pană la înălțimea h=(0,25…0,5)H_0
5. se roteşte materialul cu 180^0 şi se elimină puntița de material
6. se execută calibrarea găurii cu un dorn care are diametrul maxim mai mare cu 5% față de dornul de străpungere.



a — *refularea ;* b — *realizarea cavității pentru lubrifiant ;*
c — *găurirea ;* d — *perforarea ;* e — *calibrarea.*

Fig. 7.22

Pentru calculul forței de deformare la găurirea deschisă se consideră găurirea unui semifabricat cilindric de diametru D şi înălțime H cu un dorn cilindric de diametru d cu suprafața frontală plată(fig.7.23).

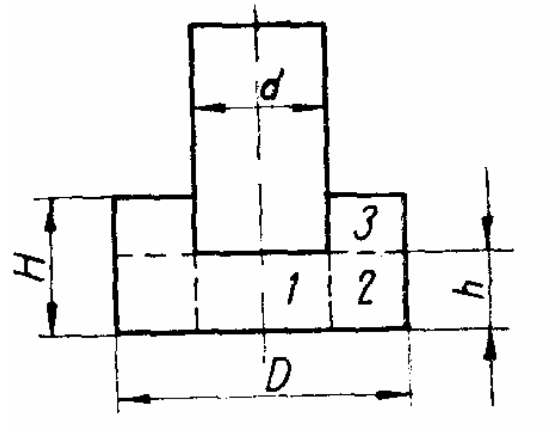


Fig. 7.23

Analizandu-se găurirea la un moment dat, semifabricatul se poate împărţi în trei părţi distincte:
-partea cilindrică centrală 1 de diametru d şi înălţime h, care în timpul deformării este supusă la refulare.
-partea inelară 2 de înălţime h care franează deformarea porţiunii 1 şi exercită asupra parţii ei laterale ei o presiune interioară.
-partea inelară(găurită) 3 care în timpul găuririi nu mai necesită forţă de deformare ci poate crea o forţă de frecare asupra dornului.

Calculul fortei si al presiunii de deformare la gaurirea deschisa

Pentru calculul fortei de deformare la gaurirea deschisa se pleaca de la zona 1, pentru care se considera starea de tensiuni de la refularea semifabricatelor cilindrice intre scule plan-paralele. Pentru aceasta se scrie ecuatia de echilibru a tensiunilor in coordonate cilindrice pe axa ρ de forma:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\rho z}}{\partial z} + \frac{1}{\rho}(\sigma_\rho - \sigma_\theta) = 0 \qquad (7.88)$$

Deformarea fiind uniforma in orice sectiune axiala se poate scrie:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} = \frac{\mathbf{d}\sigma_\rho}{\mathbf{d}\rho};\frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} = 0;\frac{\partial \tau_{\rho z}}{\partial \mathbf{z}} = \frac{2\tau_{max}}{\mathbf{h}} = \frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}};\sigma_\rho = \sigma_\theta \qquad (7.89)$$

De asemenea σ_z si σ_ρ se pot considera tensiuni principale si pe baza ipotezelor plasticitatii si a ecuatiei diferentiale a plasticitatii se poate scrie:

$$\frac{\mathbf{d}\sigma_\rho}{\mathbf{d}\rho} = \frac{\mathbf{d}\sigma_z}{\mathbf{d}\rho}$$

Inlocuind cele de mai sus in relatia (7.88) se ajunge la:

$$\frac{\mathbf{d}\sigma_z}{\mathbf{d}\rho} + \frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}} = 0 \qquad (7.90)$$

Prin integrarea relatiei (7.90) se obtine:

$$\mathbf{d}\sigma_z = -\frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}}\mathbf{d}\rho$$

$$\sigma_z = -\frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}}\rho + \mathbf{C} \tag{7.91}$$

Determinarea constantei C se face din conditiile initiale :

la $\rho = \frac{\mathbf{d}}{2}$, $\sigma_z = \sigma'_z$, σ'_z fiind tensiunea la nivelul zonei de interdependenta dintre zonele 1 si 2.

Pe baza conditiilor initiale de mai sus, constanta C devine:

$$\mathbf{C} = \sigma'_z + \frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}}(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho) \tag{7.92}$$

Pentru determinarea tensiunii σ'_z se face urmatorul rationament:

- la nivelul coordonatelor $\rho = \frac{\mathbf{d}}{2}$ si $\mathbf{z} = \frac{\mathbf{h}}{2}$, tensiunile σ'_z si σ'_ρ pot fi considerate principale si pe baza ecuatiei de plasticitate avem:

$$\sigma'_z - \sigma'_\rho = 2\mathbf{k}$$

$$\sigma'_z = \sigma'_\rho + 2\mathbf{k} \tag{7.93}$$

- pentru determinarea tensiunii radiale σ'_ρ, pe baza metodei liniilor de alunecare la interfata dintre zonele 1 si 2 apare o solicitare identica cu actiunea unei presiuni interioare asupra unui inel, deci poate fi calculata cu relatia:

$$\sigma'_\rho = 2\mathbf{k}\ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}} \tag{7.94}$$

unde: k este tensiunea tangentiala maxima,
D- diametrul exterior al semifabricatului supus gauririi,
d- diametrul dornului.

Inlocuind cele de mai sus in relatia (7.93) obtinem:

$$\sigma'_z = 2\mathbf{k}(1 + \ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}})$$

$$\sigma_z = 2\mathbf{k}\left[1 + \ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}} + \frac{1}{\mathbf{h}}(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho)\right] \tag{7.95}$$

Cunoscandu-se tensiunea σ_Z, forta totala de gaurire se poate determina din integrala:

$$\mathbf{F} = \int_0^{\frac{\mathbf{d}}{2}} \sigma_z 2\pi\rho\mathbf{d}\rho = 4\pi\mathbf{k}\int_0^{\frac{\mathbf{d}}{2}}\left[1 + \ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}} + \frac{1}{\mathbf{h}}(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho)\right]\rho\mathbf{d}\rho \tag{7.96}$$

$$\mathbf{F} = 2\mathbf{k}\left(1 + \ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}} + \frac{1}{6}\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{h}}\right)\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4} \tag{7.97}$$

Presiunea specifica de deformare va fi:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{F}}{\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4}} = 2\mathbf{k}\left(1 + \ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}} + \frac{1}{6}\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{h}}\right) \tag{7.98}$$

In relatiile de mai sus daca se tine cont si de frecarea poanson-material pentru zona 3, cazul cand poansonul este putin conic sau urmare a racirii apare contractia pe dorn, componenta suplimentara a fortei totale va fi:

$$\mathbf{F_f} = \pi\mathbf{d}(\mathbf{H}-\mathbf{h})\tau = \pi\mathbf{d}(\mathbf{H}-\mathbf{h})\mu 2\mathbf{k}$$

Rezulta astfel forta totala de deformare:

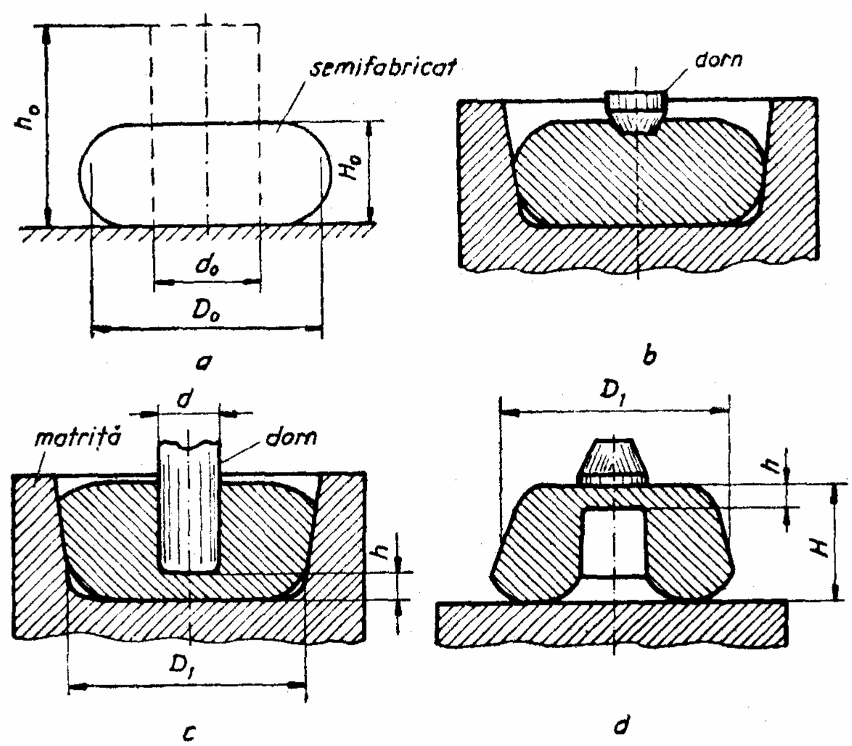
$$\mathbf{F} = 2\mathbf{k}\left(1+\ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}}+\frac{1}{6}\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{h}}+4\mu\frac{\mathbf{H}-\mathbf{h}}{\mathbf{d}}\right)\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4} \quad (7.99)$$

Presiunea specifica de deformare va avea expresia:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{F}}{\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4}} = 2\mathbf{k}\left(1+\ln\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{d}}+\frac{1}{6}\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{h}}+4\mu\frac{\mathbf{H}-\mathbf{h}}{\mathbf{d}}\right) \quad (7.100)$$

b. Găurirea închisă

Tehnologia găuririi închise este prezentată în figura 7.24. Spre deosebire de găurirea deschisă descrisă mai sus, cea închisă se execută cu semifabricatul introdus într-o matriță. Această metodă se foloseşte în cazul găuririi materialelor care au plasticitate mai scăzută.



a — *refularea ;* b — *obținerea cavității pentru lubrifiere ;* c — *găurirea în matriță ;* d — *perforarea.*

Fig. 7.24

Pentru calculul forței de deformare la găurirea închisă se consideră găurirea unui semifabricat într-o matriță de diametru D cu un dorn cilindric plin de diametru d (Fig.7.25).
Analizand găurirea închisă aceasta constă din refularea porțiunii cilindrice 1 de sub poanson(de diametru d şi înălțime h) şi împingerea materialului dislocat de poanson prin spațiul dintre matriță şi poanson.
Abordarea calculului fortei se face plecand tot de la zona cilindrica 1, supua refularii, care este identica cu cea de la gaurirea deschisa, astfel relatia de calcul pentru σ_z este:

$$\sigma_z = \sigma_z' + \frac{2\mathbf{k}}{\mathbf{h}}\left(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho\right) \qquad (7.101)$$

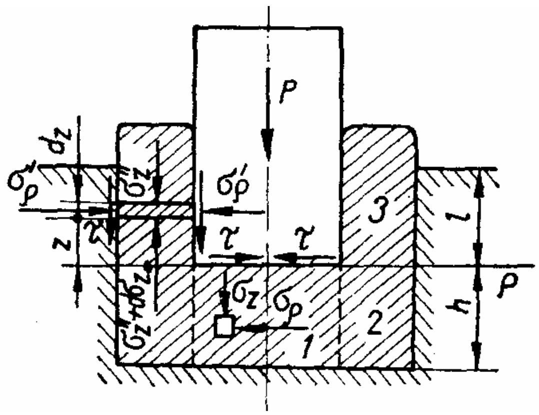


Fig. 7.25 Schema tensiunilor la gaurirea inchisa

σ_z' si σ_ρ' fiind tensiuni principale, pe baza ecuatiei simplificate a plasticitatii avem:

$$\sigma_z' = \sigma_\rho' + 2\mathbf{k} \qquad (7.102)$$

Aplicand din nou ecuatia plasticitatii pentru punctul z=0, $\rho = \frac{\mathbf{d}}{2}$, unde σ_ρ' si σ_z'' sunt tensiuni principale avem:

$$\sigma_\rho' - \sigma_z'' = 2\mathbf{k}$$

$$\sigma_\rho' = 2\mathbf{k} + \sigma_z'' \qquad (7.103)$$

Pentru determinarea lui σ_z'' se va scrie ecuatia de echilibru pe axa z a tensiunilor care actioneaza asupra elementului de grosime dz din zona 3:

$$(\sigma_z'' + \mathbf{d}\sigma_z'')\frac{\pi}{4}(\mathbf{D}^2 - \mathbf{d}^2) - \sigma_z''\frac{\pi}{4}(\mathbf{D}^2 - \mathbf{d}^2) - \pi(\mathbf{D} + \mathbf{d})\tau\mathbf{dz} = 0$$

sau

$$\mathbf{d}\sigma_z'' = \frac{4\tau}{\mathbf{D} - \mathbf{d}}\mathbf{dz} \qquad (7.104)$$

Daca se considera $\tau = \mu 2\mathbf{k}$ rezulta:

$$\mathbf{d}\sigma_z'' = 8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{dz}}{\mathbf{D} - \mathbf{d}} \qquad (7.105)$$

Prin integrare rezulta:

$$\sigma_z'' = 8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{z}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} + \mathbf{C} \tag{7.106}$$

Determinarea costantei de integrare C se face punand conditiile initiale cand la z=l, $\sigma_z'' = 0$ deci:

$$\mathbf{C} = -8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}}$$

iar

$$\sigma_z'' = -8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{l}-\mathbf{z}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} \tag{7.107}$$

Se determina σ_z'' la z=0 deci:

$$\sigma_z'' = -8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}}$$

Se inlocuieste σ_z'' in relatia (   ) rezultand:

$$\sigma_\rho' = 2\mathbf{k} + 8\mu\mathbf{k}\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} = 2\mathbf{k}(1 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}}) \tag{7.108}$$

Se inlocuieste σ_ρ' in relatia (7.102) si se obtine:

$$\sigma_z' = 2\mathbf{k}(2 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}}) \tag{7.109}$$

Pe baza celor de mai sus din relatia (7.101) rezulta:

$$\sigma_z = 2\mathbf{k}\left[2 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} + \frac{1}{\mathbf{h}}(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho)\right] \tag{7.110}$$

Forta de deformare se determina din integrala:

$$\mathbf{F} = \int_0^{\frac{\mathbf{d}}{2}} \sigma_z 2\pi\rho \mathbf{d}\rho = 4\pi\mathbf{k}\int_0^{\frac{\mathbf{d}}{2}}\left[2 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} + \frac{1}{\mathbf{h}}(\frac{\mathbf{d}}{2} - \rho)\right]\rho \mathbf{d}\rho \tag{7.111}$$

$$\mathbf{F} = 2\mathbf{k}(2 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} + \frac{\mathbf{d}}{6\mathbf{h}})\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4} \tag{7.112}$$

Presiunea de deformare devine:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{F}}{\frac{\pi\mathbf{d}^2}{4}} = 2\mathbf{k}(2 + 4\mu\frac{\mathbf{l}}{\mathbf{D}-\mathbf{d}} + \frac{\mathbf{d}}{6\mathbf{h}}) \tag{7.113}$$

Comparand relatiile (7.100) si (7.113) se observa ca presiunea de deformare, odata cu cresterea diametrului D al semifabricatului, creste la gaurirea deschisa si scade la gaurirea inchisa.