

7. FORFECAREA

7.1 Forfecarea în piesele cu secțiunea îngustă

Acțiunea simultană a două forțe egale și de sens contrar, perpendiculare pe axa barei, asemenea lamelor unei foarfece (fig.7.1,a), soliciță bara la **forfecare** sau **tăiere**.

Asemenea solicitări au loc în nituri, capse, știfturi, suduri de colț, precum și în cazurile de tăiere, ștanțare etc.

Starea de tensiune generată de acțiunea forțelor ca în figura (7.1,a) este destul de complicată, întrucât **solicitarea de forfecare este însoțită de întindere, compresiune și încovoiere**. Calculul exact, în acest caz, este destul de laborios și nu este analizat în cursul de Rezistența materialelor. De aceea, în practica inginerescă, pentru piesele de cu secțiune îngustă (h mic), când distanța e , dintre liniile de acțiune a celor două forțe, ce produc forfecarea, este mică, celălalte solicitări se neglijează. În

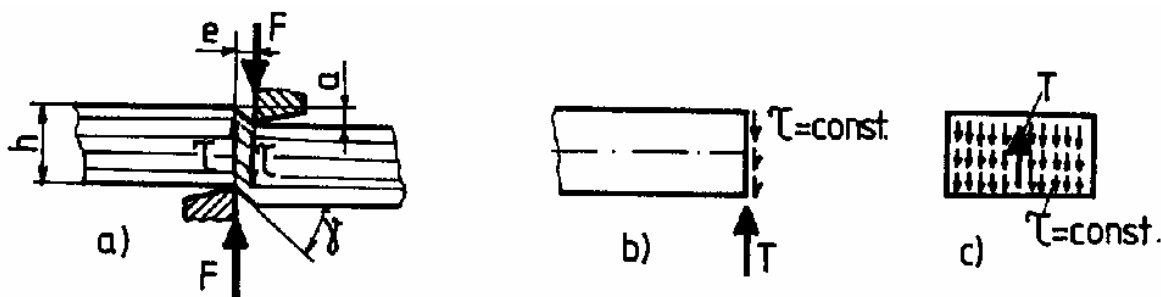


Fig. 7.1

acest caz asupra secțiunii se consideră că acționează numai efectul forței tăietoare $T = F$, conținută în planul secțiunii.

Sub acțiunea forței tăietoare se produc tensiuni tangențiale τ și deformații unghiulare γ (lunecări). **În cazul pieselor de secțiune mică se admite ipoteza de repartiție uniformă a tensiunilor tangențiale pe secțiunea transversală.** În baza acestei ipoteze, din ecuația de echilibru pentru forța din stânga a barei (fig. 7.1,b și c), se deduce:

$$T = \int_A \tau \cdot dA = \tau \cdot \int_A dA = \tau \cdot A,$$

din care rezultă relația:

$$\tau = \frac{T}{A}, \quad (7.1)$$

ce se utilizează, în condiția $\tau \leq \tau_a$, în calculul de rezistență al secțiunilor înguste.

Când secțiunea nu mai poate fi considerată îngustă, tensiunea tangențială nu poate fi considerată constantă și deci relația (7.1) nu poate fi utilizată. Cazul va fi studiat ulterior la încovoierea simplă (vezi § 9.5).

Rezistența admisibilă la forfecare pentru nituri, știfturi, pene, buloane, etc. se ia:

$$\tau_a = (0,5 \dots 0,8) \cdot \sigma_a, \quad (7.2,a)$$

iar pentru sudurile de colț:

$$\tau_{as} = 0,65 \cdot \sigma_a. \quad (7.2,b)$$

În anexa 1 se dau valorile pentru rezistențele admisibile la forfecare la materialele cele mai utilizate.

În cazul ștanțării se consideră:

$$\tau_r = 0,85 \cdot \sigma_r. \quad (7.2,c)$$

Aplicația 7.1. Să se calculeze forța necesară pentru ștanțarea unei găuri circulare, $d = 45$ mm, într-o piesă din tablă având grosimea $t = 4$ mm, din oțel cu $\sigma_r = 450$ MPa.

$$\tau_r = 0,85 \cdot \sigma_{r \max} = 0,85 \cdot 450 = 382,5 \text{ MPa},$$

$$A = t \cdot d \cdot \pi = 4 \cdot 45 \cdot \pi = 565,5 \text{ mm}^2,$$

$$T = \tau_r \cdot A = 382,5 \cdot 565,5 = 2163 \cdot 10^2 \text{ N}.$$

Se adoptă: $P = 220$ kN.

În cazul solicitării la forfecare deformațiile și deplasările produse de solicitare nu prezintă interes practic. Dacă tensiunea maximă nu depășește limita de proporționalitate și deformațiile sunt mici ($\gamma \cong \text{tg}\gamma$), deplasarea a (fig. 7.1,b) rezultă:

$$a = e \cdot \gamma = e \cdot \frac{\tau}{G} = \frac{T \cdot e}{G \cdot A}, \quad (7.3)$$

unde G este modulul de elasticitate transversal, iar produsul $G \cdot A$ este **rigiditatea la forfecare**.

7.2. Noțiuni generale despre îmbinări

Îmbinarea este asamblarea demontabilă sau nedemontabilă ce asigură legătura între două sau mai multe părți ale unei construcții inginerești sau ale unei mașini. Exemple de îmbinări demontabile sunt cele executate cu: pene, șuruburi, caneluri, etc. și nedemontabile executate prin: nituire, sudare, lipire, etc.

Elementele de rezistență ale îmbinărilor sunt solicitate la întindere, compresiune, forfecare, etc. constituind astfel, un larg câmp de aplicație a cunoștințelor dobândite în calculul de rezistență.

În calculul de rezistență al îmbinărilor se examinează fiecare element de rezistență, determinând: forțele exterioare ce acționează asupra ER, eforturile, solicitările, secțiunile de rupere pentru fiecare solicitare și în final - **secțiunea periculoasă**.

O îmbinare se consideră judicios realizată când toate elementele sale prezintă același grad de siguranță la rupere. Ținând seama de acest principiu, când se impune un ER al îmbinării, celelalte (ER) se dimensionează la capacitatea de rezistență a ER dat inițial.

Întrucât îmbinările au fost și sunt frecvent utilizate în tehnica inginerească și deci există o experiență inginerească - privitoare la condițiile de rezistență, economice și tehnologice de realizare - **majoritatea elementelor constructive ale îmbinărilor sunt normalizate prin standarde și norme interne.** De aceste norme, ce consacră anumite forme constructive și reguli de execuție, trebuie să se țină seama și deci respectate. Necunoașterea și nerespectarea acestor norme poate duce, în cel mai bun caz, la irosire de timp la calcularea unor parametri ce sunt deja stabiliți și în cel mai rău caz la forme constructive ce s-au dovedit necorespunzătoare.

7.3. Îmbinări cu pene transversale

Îmbinările cu pene transversale sunt îmbinări demontabile ce se utilizează pentru a asambla două bare coaxiale. Pana transversală trece prin cele două bare (fig. 7.2).

Distrușgerea îmbinării poate să se producă din următoarele cauze:

I - tensiunii normale din bara cu diametrul d :

$$\sigma' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \leq \sigma_a, \quad (7.4)$$

II - tensiunii normale din capătul barei, slăbită cu pană:

$$\sigma'' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2 - 4d_1 \cdot b} \leq \sigma_a, \quad (7.5)$$

III - tensiunii normale din manșonul slăbit:

$$\sigma''' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d_1^2) - 4 \cdot (D - d_1) \cdot b} \leq \sigma_a, \quad (7.6)$$

IV - tensiunii tangențiale ce se dezvoltă în secțiunile AB și CD din pană:

$$\tau' = \frac{P}{2 \cdot b \cdot h} \leq \tau_a, \quad (7.7)$$

V - tensiunii tangențiale din secțiunile EF și GH din capătul barei:

$$\tau'' = \frac{P}{2 \cdot d_1 \cdot h_1} \leq \tau_a \quad (7.8)$$

VI - tensiunii tangențiale din secțiunile IJ și KL din manșon:

$$\tau''' = \frac{P}{2 \cdot h_2 \cdot (D - d_1)} \leq \tau_a, \quad (7.9)$$

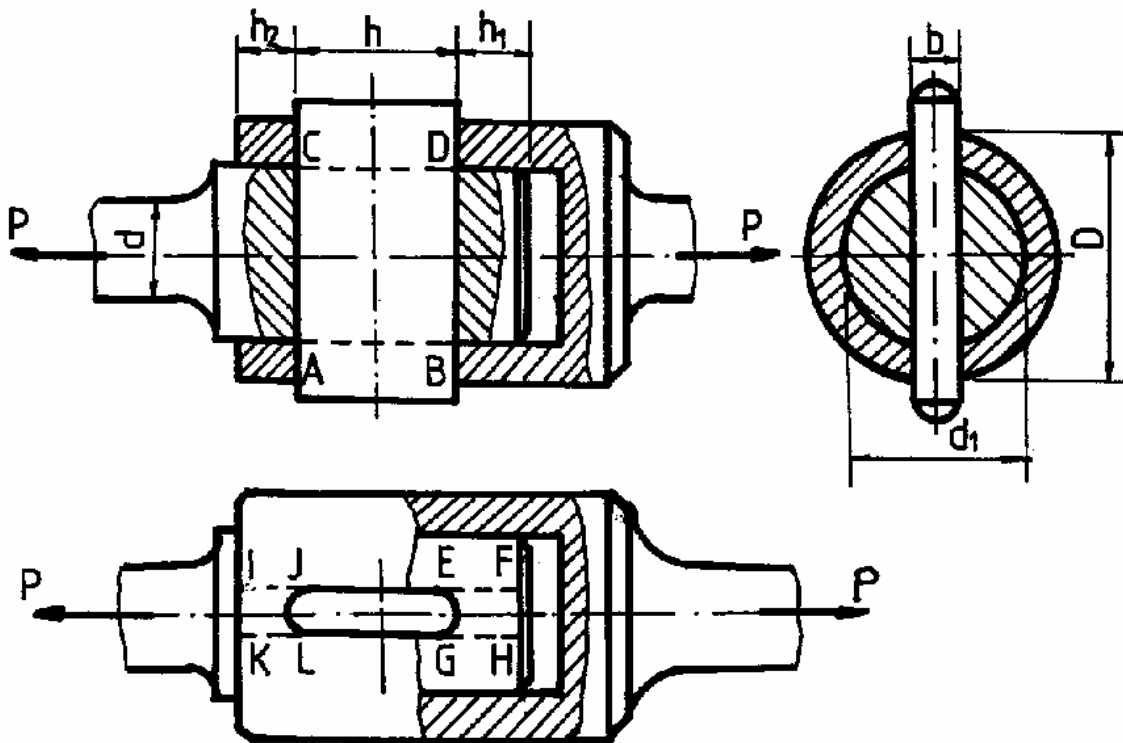


Fig. 7.2

VII - presiunii de contact (strivirii) între pană și capătul barei din stânga:

$$p' = \frac{P}{b \cdot d_1} \leq p_a, \quad (7.10)$$

VIII - presiunii de contact dintre pană și manșon:

$$p'' = \frac{P}{b \cdot (D - d_1)} \leq p_a. \quad (7.11)$$

Pe lângă aceste cauze mai trebuie reținut că penele transversale sunt solicitate la încovoiere și mai pot fi solicitate și la răsucire. De aceea se recomandă execuția penelor din oțeluri cu rezistența ridicată: OL 50, OL 60, OL70 sau OLC 45, etc.

Dacă îmbinarea este realizată astfel încât fiecare din valorile tensiunilor enumerate mai sus să fie egale cu tensiunea admisibilă, îmbinarea a devenit de egală rezistență pentru toate tipurile de solicitare. Ținând seama de această condiție, în

cursul de organe de mașini și în norme se prevăd prescripții referitoare la rapoartele între dimensiunile elementelor.

Aplicația 7.2. Pentru îmbinarea din figura 7.2, realizată din oțel se cunosc: $d = 50$ mm, $b = 15$ mm, $\sigma_a = 140$ MPa, $\tau_a = 110$ MPa pentru pană, $\sigma_a = 70$ MPa pentru tijă și manșon și $p_a = 280$ MPa. Se cere să se determine celelalte dimensiuni în condiția de egală rezistență a tuturor elementelor îmbinării.

Rezolvare:

a) Sarcina capabilă din relația (7.4):

$$P = A \cdot \sigma_a = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} \cdot 0,14 = 274,9 \text{ kN}; \text{ se adoptă } P = 275 \text{ kN}.$$

b) Lățimea penei din (7.7):

$$h = \frac{P}{2 \cdot b \cdot \tau_a} = \frac{275}{2 \cdot 15 \cdot 0,11} = 83,33 \text{ mm}, \text{ se adoptă } h = 85 \text{ mm};$$

c) Diametrul capătului barei din (7.10):

$$d_1 = \frac{P}{b \cdot p_a} = \frac{275}{15 \cdot 0,28} = 65,48 \text{ mm}, \text{ se adoptă } d_1 = 65 \text{ mm};$$

d) Diametrul manșonului din (7.11)

$$D = d_1 + \frac{P}{b \cdot p_a} = 65 + \frac{275}{15 \cdot 0,28} = 130,48 \text{ mm}, \text{ se adoptă } D = 130 \text{ mm}.$$

Verificare:

Deoarece s-a ales o dimensiune inferioară celei calculate se verifică dimensiunea adoptată astfel încât să nu depășească cu mai mult de 5% presiunea admisibilă:

$$p_{\max} = \frac{P}{b \cdot (D - d)} = \frac{275 \cdot 10^3}{15 \cdot (130 - 65)} = 282,1 \text{ MPa} < 1,05 \cdot p_a = 294 \text{ MPa}.$$

e) Lungimea capătului barei din (7.8):

$$h_1 = \frac{P}{2d_1 \cdot \tau_a} = \frac{275}{2 \cdot 65 \cdot 0,07} = 30,22 \text{ mm}, \text{ se adoptă } h_1 = 30 \text{ mm}.$$

Observație: Și în acest caz dacă se verifică se constată că nu se depășește τ_a cu mai mult de 5% ($\tau_{\max} = 70,51$ MPa).

f) Lungimea capătului de manșon din (7.9):

$$h_2 = \frac{P}{2 \cdot (D - d_1) \cdot \tau_a} = \frac{275}{2 \cdot (130 - 65) \cdot 0,07} = 30,22 \text{ mm}, \text{ se adoptă } h_2 = 30 \text{ mm}.$$

Aceași observație de la e) este valabilă și în acest caz ($\tau_{\max} = 70,51$ MPa).

g) Verificarea tensiunilor normale din capătul de bară cu relația (7.5):

$$\sigma_{ef}'' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2 - 4 \cdot d_1 \cdot b} = \frac{4 \cdot 275 \cdot 10^3}{65^2 \cdot \pi - 4 \cdot 65 \cdot 15} = 117,4 \text{ MPa} < \sigma_a.$$

h) Verificarea tensiunilor normale din manșon cu (7.6):

$$\sigma_{ef}''' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d_1^2) - 4 \cdot (D - d_1) \cdot b} = \frac{4 \cdot 275 \cdot 10^3}{\pi \cdot (130^2 - 65^2) - 4 \cdot (130 - 65) \cdot 15} = 30,62 \text{ MPa} < \sigma_a$$

7.4. Îmbinările cu nituri

Îmbinările cu nituri sunt îmbinări nedemontabile. Elementele geometrice ale diferitelor forme de nituri și îmbinări cu nituri pot fi luate din standardele: 796-68, 797-67, 801-67, 802-67, 3165-67, 187-73, etc. Prin acestea se normează: diametru găurii de nit și al nitului, pasul nitului, distanța de marginea ER până la axa nitului etc. La cursul de organe de mașini aceste elemente vor fi analizate detaliat.

Îmbinările cu nituri diferă după forma constructivă. În manualele de organe de mașini se găsesc clasificări ale îmbinărilor nituite după:

- numărul secțiunilor de forfecare ale nitului (una sau mai multe):
- felul așezării tablelor (prin suprapunere sau cu eclise):
- numărul rândurilor de nituri (unul sau mai multe):
- rolul funcțional (îmbinare de rezistență sau etanșeitate).

În figura 7.3. s-a desenat o îmbinare a două platbande, prin suprapunere cu un nit ce are o singură secțiune de forfecare, iar în figura 7.4 o îmbinare cu două eclise, cu două secțiuni de forfecare și trei rânduri decalate de nituri.

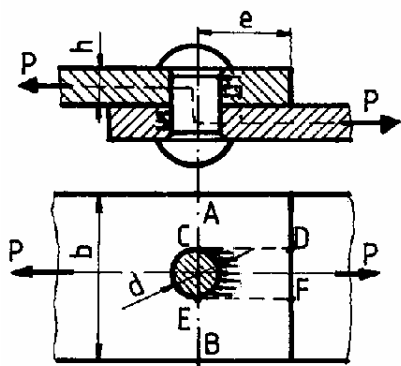


Fig. 7.3

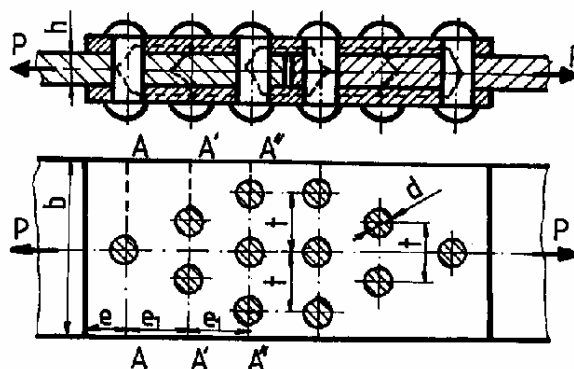


Fig. 7.4

Gaura pentru nit se execută cu diametrul mai mare decât cel al nitului. Nitul, de obicei încălzit la cca. 800°C se introduce în gaură. Apoi, prin ciocănire își modifică diametrul până ce umple gaura și apoi se formează capul de închidere. Prin contractarea, la răcire, cele două plăci sunt strânse una de alta rezultând și o forță de frecare suficient de mare pentru a prelua întreaga sarcină. Dar în calculele de rezistență nu se ține seama de forțele de frecare: întrucât atât valoarea coeficientului de frecare cât și valoarea forței de strângere a nitului nu pot fi riguros determinate.

În calculul de rezistență a îmbinării cu nituri, în cazul în care acestea sunt dispuse simetric, sarcina P se consideră că **se distribuie în mod egal la toate niturile**. În baza acestei ipoteze sunt patru moduri de cedare a îmbinării (fig. 7.3):

a) rupere la tracțiune a platbandei în secțiunea AB:

$$\sigma = \frac{P}{h \cdot (b - d)} \leq \sigma_a, \quad (7.12)$$

b) forfecarea nitului în secțiunea dintre platbande:

$$\tau' = \frac{4P}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_a, \quad (7.13)$$

c) forfecarea platbandei în secțiunile CD și EF:

$$\tau'' = \frac{P}{2 \cdot h \cdot e} \leq \tau_a, \quad (7.14)$$

d) strivirea găurii sau a tijeii nitului

$$p = \frac{P}{d \cdot h} \leq p_a. \quad (7.15)$$

Din condiția de realizare eficientă a îmbinării cu nituri (la aceeași sarcină valorile tensiunilor maxime trebuie să fie egale cu rezistența admisibilă) sunt prescrise, prin norme, valorile diametrelor găurilor de nit funcție de grosimile tablelor:

Tabelul 7.1

$h_{\min} = \dots 5$	6...9	7...11	10...14	13...19	20...	[mm]
$d = 10,5$	14	20	23	26	29	[mm]

De asemenea, se prevede: $e = (1,5 \dots 2) \cdot d$, $e_1 = (2 \dots 2,5) \cdot d$, $t = (2,5 \dots 3) \cdot d$.

Prezența găurilor pentru nituri produce slăbirea secțiunii tablei. Raportul dintre secțiunea micșorată prin găuri și secțiunea inițială (întreagă), pe pas, se numește **coeficient de utilizare**. Pentru nituirea cu un singur rând, sau pentru primul rând de nituri în cazul nituirii mai multor rânduri de nituri, se obține:

$$\varphi = \frac{h \cdot (b - d)}{b \cdot h} = \frac{b - d}{b}. \quad (7.16)$$

În cazul respectării valorilor prescrise pentru d , e , e_1 și t date mai sus, coeficientul de utilizare este: $\varphi = 0,67 \dots 0,97$.

Întrucât nituirea implică operații tehnologice care necesită o cantitate mare de muncă și un coeficient de utilizare redus a materialului, nituirea se utilizează foarte rar, în special pentru acele locuri unde nu se poate folosi sudura.

Observație: Calculul de rezistență pentru îmbinările demontabile cu șuruburi (buloane) se execută în mod similar ca și cel pentru îmbinarea cu nituri.

Aplicația 7.3. Să se dimensioneze îmbinarea cu două eclise dintre două platbenzi de oțel, de secțiune $200 \times 12 \text{ mm}^2$ și să se calculeze coeficientul de utilizare.

Rezolvare:

Din anexa 1.a, pentru OL 37, se găsește:

$$\sigma_a = 150 \text{ MPa}, \tau_a = 120 \text{ MPa}, p_a = 250 \text{ MPa}.$$

Se aleg dimensiunile ecliselor $200 \times 8 \text{ mm}^2$, diametrul găurii de nit $d = 20 \text{ mm}$, precum și $e = 30 \text{ mm}$, $e_1 = t = 40 \text{ mm}$.

Adopt distribuția niturilor din figura 7.4. În acest caz sarcina capabilă este

$$P = \sigma_a \cdot A_{\text{net}} = \sigma_a \cdot h \cdot (b - d) = 0,15 \cdot 12 \cdot (200 - 20) = 324 \text{ kN}.$$

Adopt: $P = 325 \text{ kN}$

Verificarea la întindere în secțiunile AA, A~A~ și A`A`:

$$\sigma_{\text{ef}}' = \frac{P}{A_{\text{net}}} = \frac{325 \cdot 10^3}{12 \cdot (200 - 20)} = 150,5 \text{ MPa} < 1,05 \cdot \sigma_a,$$

$$\sigma_{\text{ef}}'' = \frac{5}{6} \cdot \frac{P}{A'_{\text{net}}} = \frac{5 \cdot 325 \cdot 10^3}{6 \cdot 12 \cdot (200 - 2 \cdot 20)} = 141 \text{ MPa} < \sigma_a,$$

$$\sigma_{\text{ef}}''' = \frac{3}{6} \cdot \frac{P}{A''_{\text{net}}} = \frac{3 \cdot 325 \cdot 10^3}{6 \cdot 12 \cdot (200 - 3 \cdot 20)} = 96,73 \text{ MPa} < \sigma_a.$$

Verificarea niturilor la forfecare (două secțiuni):

$$\tau_{\text{ef}} = \frac{P}{2A_{\text{nit}}} = \frac{4 \cdot 325 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 20^2} = 86,2 \text{ MPa} < \tau_a.$$

Verificarea la presiunea de contact

$$p_{\text{ef}} = \frac{P}{d \cdot h} = \frac{325 \cdot 10^3}{6 \cdot 20 \cdot 12} = 225,7 \text{ MPa} < p_a.$$

Deci, **îmbinarea rezistă.**

Coeficientul de utilizare a secțiunii se calculează pentru secțiunea periculoasă

(AA):

$$\varphi = 100 \cdot \frac{b - d}{b} = 100 \cdot \frac{200 - 20}{200} = 90 \text{ \%}.$$

7.5. Îmbinări prin sudură

Realizarea îmbinărilor prin sudură prezintă, față de cele nituite sau de îmbinările cu șuruburi, avantaje economice constând în reducerea consumului de material și manoperă. Dar, îmbinările sudate realizate în condiții tehnice necorespunzătoare și necontrolate riguros pot fi inferioare îmbinărilor nituite.

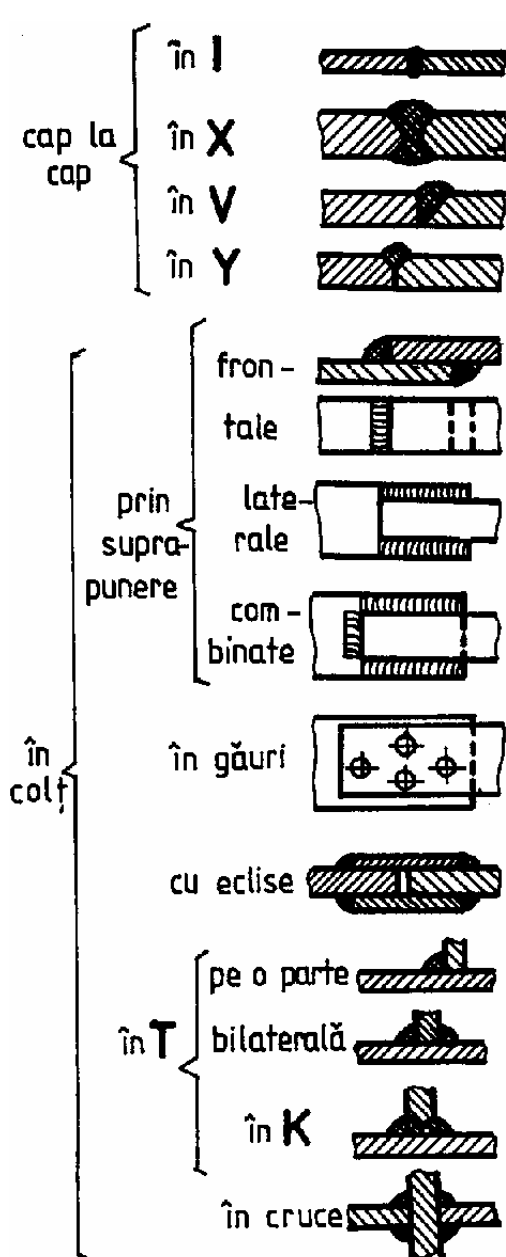


Fig. 7.5

În figura 7.5 se prezintă o clasificare din punct de vedere constructiv a principalelor îmbinări sudate. Dintre acestea, îmbinările cap la cap sunt solicitate, în general, la întindere iar cele de colț la forfecare.

Principalele elemente geometrice ale îmbinărilor sudate sunt: **lungimea sudurii L_s** și **grosimea sudurii a** .

Lungimea sudurii de calcul se ia mai mică decât lungimea reală cu dublul grosimii sudurii:

$$L_s = L - 2a. \quad (7.17)$$

Grosimea sudurii (de calcul) se consideră,

- la sudurile cap la cap, egală cu grosimea tablei:

$$a = h \quad (7.18)$$

iar la sudura în colț, egală cu înălțimea triunghiului isoscel din secțiune și se aproximează astfel:

$$a = 0,7 \cdot h_{\min}, \quad (7.19)$$

în care h_{\min} este grosimea tablei celei mai subțiri ce se îmbină.

Rezistențele admisibile ale sudurilor sunt date în tabelele din anexa 1.a. În general se ia:

$$\sigma_{as} = (0,8...1) \cdot \sigma_a, \tau_{as} = (0,5...0,65) \cdot \tau_a. \quad (7.20)$$

Valorile mai mici se iau pentru îmbinările sudate utilizate în construcția de mașini, iar cele mai mari în construcții metalice, respectiv la care se aplică un control 100% cu raze X sau γ .

Calculul de rezistență, la întindere și forfecare, se face utilizând formulele:

- sudură cap la cap:

$$\sigma_s = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{L_s \cdot a} \leq \sigma_{as} \quad (7.21)$$

- sudură de colț:

$$\tau_s = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{L_s \cdot a} \leq \tau_{as} \quad (7.22)$$

Aplicația 7.4. Să se dimensioneze îmbinarea prin sudură a cornierului de oțel L 50×50×5 ($A = 4,8 \text{ cm}^2$, $e = 1,4 \text{ cm}$) cu un guseu (fig. 7.6).

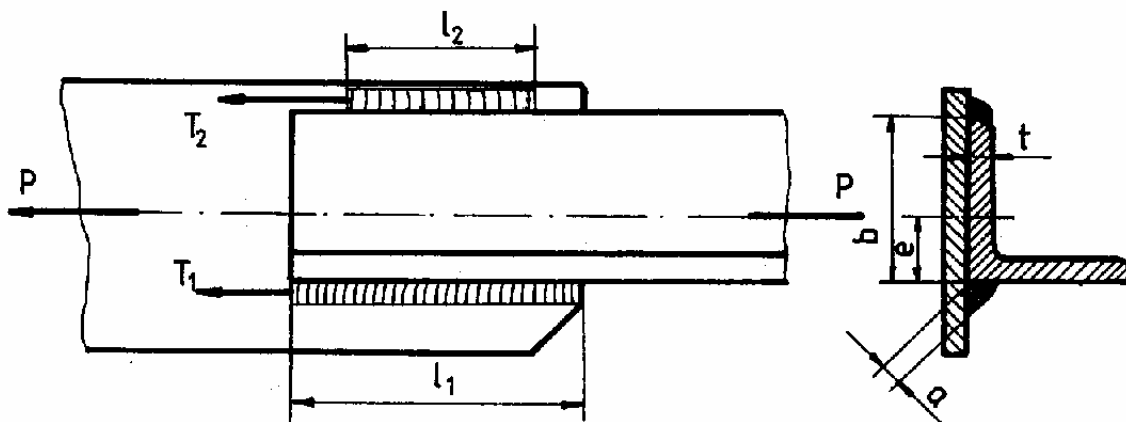


Fig. 7.6

Rezolvare: Se aleg dimensiunile guseului $6 \times 80 \text{ mm}^2$, astfel ca să aibă aria egală cu aria cornierului.

Sarcina capabilă este:

$$P = A \cdot \sigma_a = 4,8 \cdot 15 = 72 \text{ kN}.$$

Forțele T_1 și T_2 preluate de cele două cordoane de sudură rezultă:

$$T_1 = P \cdot (1-3) / b = 72 \cdot (50-14) / 50 = 51,8 \text{ kN}$$

$$T_2 = P \cdot e / b = 72 \cdot 14 / 50 = 20,2 \text{ kN}$$

Grosimea sudurii va fi:

$$a = 0,7 \cdot h_{\min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm.}$$

Pentru $\tau_a = 100 \text{ MPa}$ (v. anexa 1.a) lungimile celor două cordoane de sudură rezultă:

$$L_1 = 2a + \frac{T_1}{a \cdot \tau_a} = 2 \cdot 3,5 + \frac{51800}{3,5 \cdot 100} = 155 \text{ mm}$$

$$L_2 = 2a + \frac{T_2}{a \cdot \tau_a} = 2 \cdot 3,5 + \frac{20200}{3,5 \cdot 100} = 64,7 \text{ mm}$$

Deci sudura va avea parametri:

$$a = 3,5 \text{ mm}, \quad L_1 = 155 \text{ mm}, \quad L_2 = 65 \text{ mm.}$$