



Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică
Departamentul de Mecanică și Rezistența Materialelor

Mecanica Construcția și Proiectarea Structurilor

Cernescu Anghel Vasile

Bibliografie

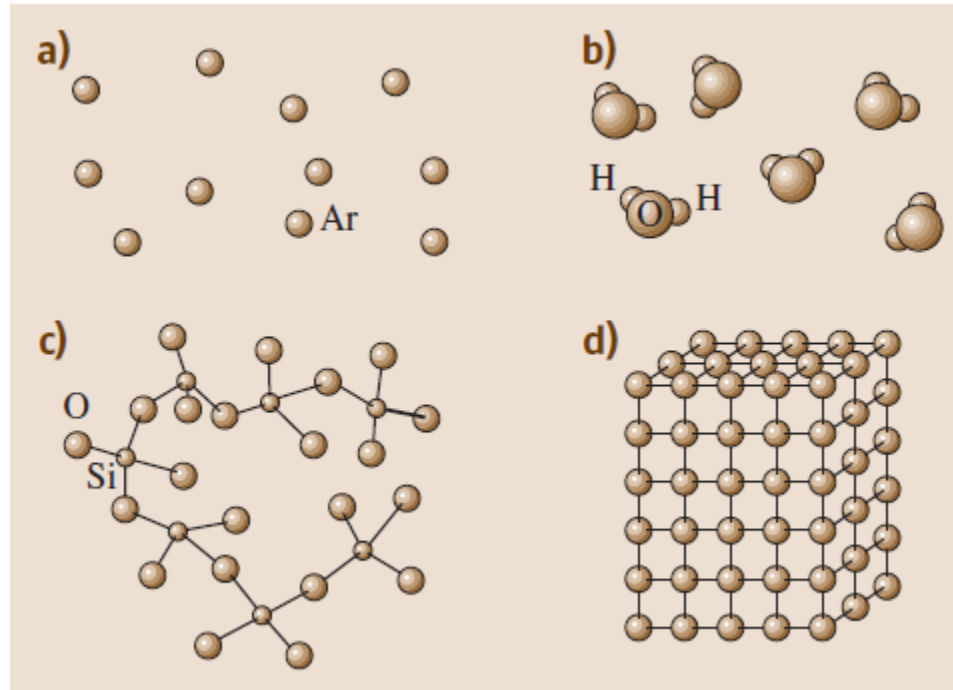
- D. Mateescu, L. Gădeanu, Gh. Mercea – *Construcții metalice*, Editura Didactică și Pedagogică București, 1975;
- P. Siminea, L. Negrei – *Construcții Metalice – Calcul prin metoda stărilor limită*, Editura Didactică și Pedagogică București;
- Eurocode 3: 1.1 (EN 1993-1-1) – Elemente generale
1.3 (EN 1993-1-3) – Elemente din oțel cu pereți subțiri formate la rece
1.8 (EN 1993-1-8) – îmbinări
- D. Dubină, J. Rondal, I. Vayas - *Calculul structurilor metalice – Eurocode 3 : Exemple de calcul*, 1997
- Cunoștințe suplimentare:** Rezistența Materialelor, Tehnologia Materialelor, Desen Tehnic, Asamblări demontabile și Nedemontabile





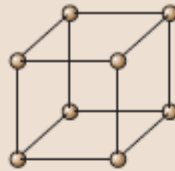
Oțeluri și Produse din Oțel folosite în Construcția Structurilor Mecanice

Categorii de aranjamente atomice

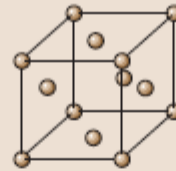


- a) Dispuneri dezordonate ale atomilor – specifice gazelor inerte;
- b) Aranjări parțiale – molecule de apă;
- c) Aranjări parțiale - polimeri;
- d) Aranjări cristalografice – specifice materialelor metalice.

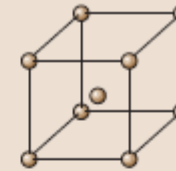
Sisteme cristalografice (rețele Bravais)



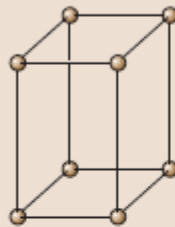
Simple cubic



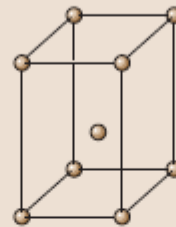
Face-centered cubic



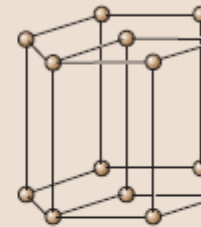
Body-centered cubic



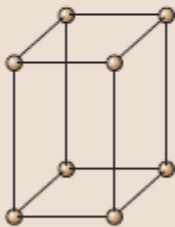
Simple tetragonal



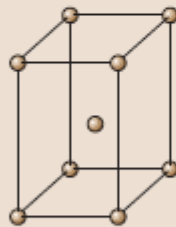
Body-centered tetragonal



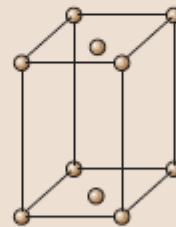
Hexagonal



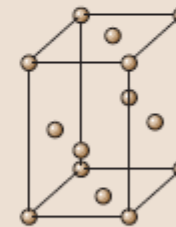
Simple orthorhombic



Body-centered orthorhombic



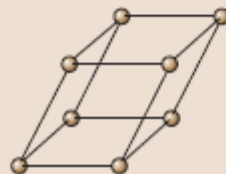
Base-centered orthorhombic



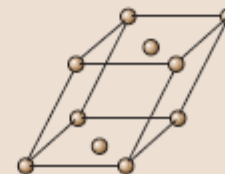
Face-centered orthorhombic



Rhombohedral



Simple monoclinic



Base-centered monoclinic



Triclinic



- Oțelul este un material eficient în scopuri structurale datorită unui raport bun între rezistență și greutate.

- **Oțelul trebuie să aibă rezistența necesară, ductilitate și durată de utilizare mare în condițiile de mediu necesare.**

- Oțelul poate fi elaborat într-o gamă variată de rezistențe mecanice și în general se comportă ca un material elastic până la limita de curgere. De asemenea, prezintă o mare capacitate de a prelua deformații plastice după limita de curgere făcându-l astfel potrivit pentru procedee de prelucrare prin deformare sau tragere.

- Proprietățile mecanice ale unui oțel derivă dintr-o combinație între:
 - compoziția chimică;
 - tratament termic;
 - procedeul de elaborare și prelucrare.

I. Compoziția chimică

Proprietățile mecanice ale oțelurilor depind de:

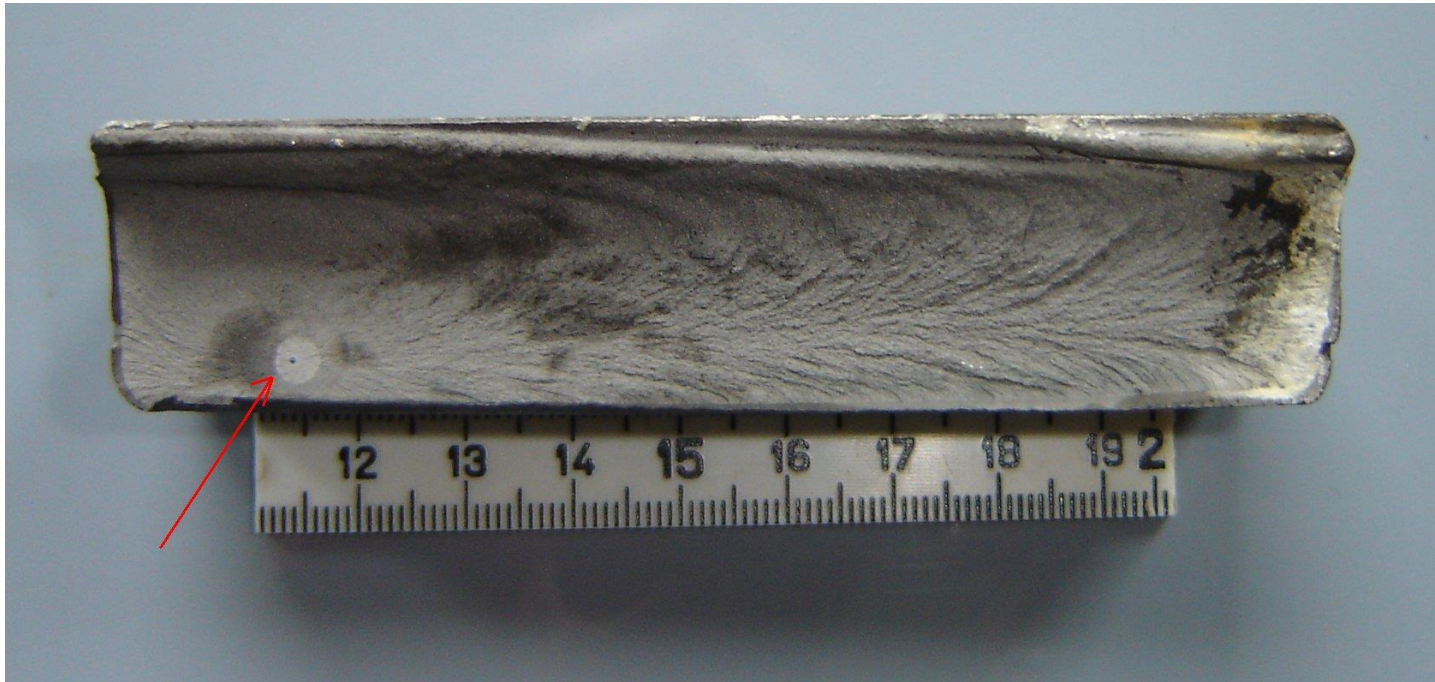
- microstructura;
- mărimea grăunților;
- incluziunile nemetalice;
- precipitări în interiorul grăunților și la limita acestora;
- prezența gazelor absorbite sau dizolvate.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{K_y}{\sqrt{d_{grain}}}$$

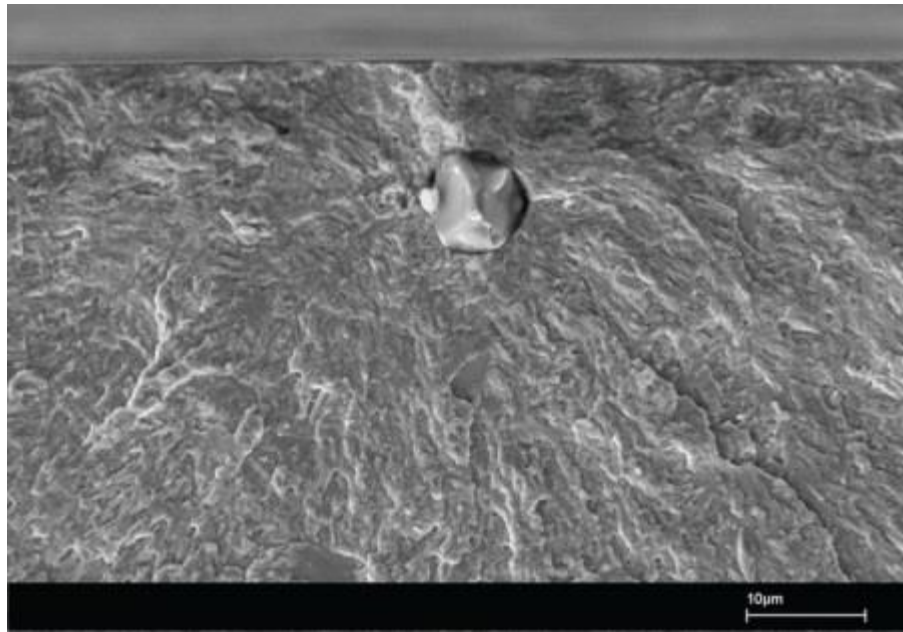
- Oțelul este în principal Fe cu o mică cantitate de C până la 1,67% și alte elemente de aliere care au efect asupra proprietăților mecanice.
- La un conținut de C de peste 1,67% materialul se comportă ca o fontă.
- Creșterea conținutului de C duce la creșterea rezistenței mecanice dar scăderea ductilității, ceea ce face ca oțelul să fie mult mai sensibil la tratamente termice.
- Elemente ca Mn, Cr, Mo, Ni și Cu ajută la obținerea rezistenței cerute a unui oțel pentru un tratament termic și condiții de elaborare date, prin păstrarea unui conținut de C scăzut.

- Cr este un element care crește rezistența la coroziune prin formarea unui strat de oxid de Cr la suprafața oțelului.
- Oțelurile inoxidabile pot fi obținute cu un conținut de Cr în intervalul 12 – 25% și Ni de până la 20%.
- Incluziunile nemetalice provin din minereul de fier și nivelul acestora trebuie atent verificat și menținut în limite specificate.
- Incluziunile nemetalice cel mai des întâlnite în structurile oțelurilor sunt *sulfuri și fosfați*.
- Pentru oțeluri sudabile nivelul incluziunilor de sulfuri și fosfați trebuie menținut sub 0,05%.

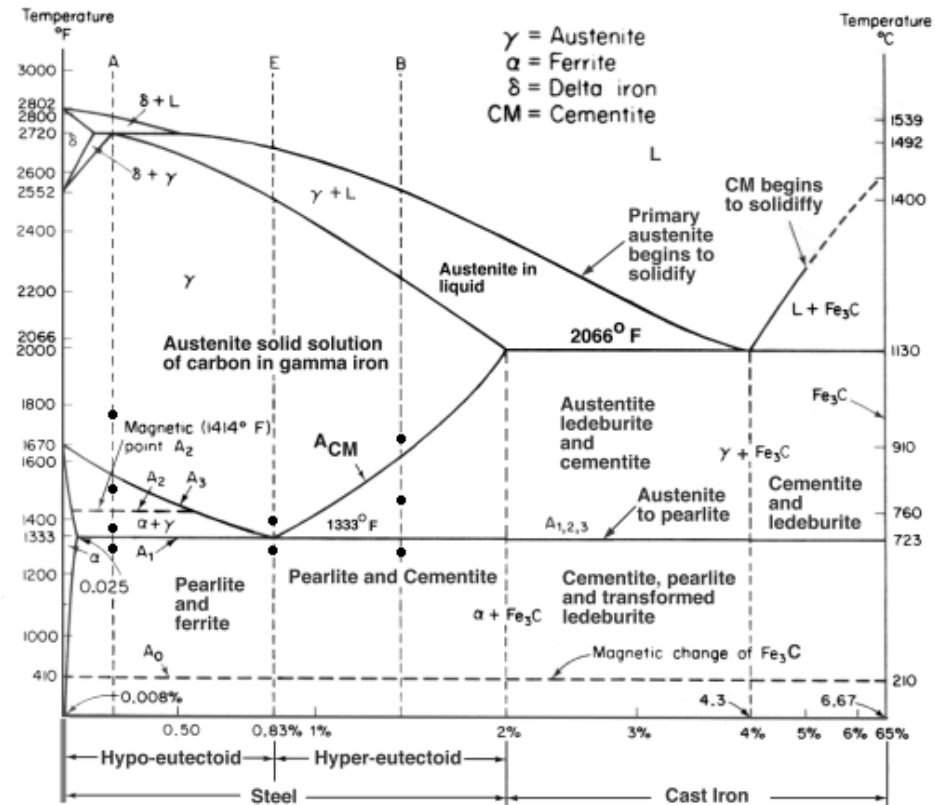
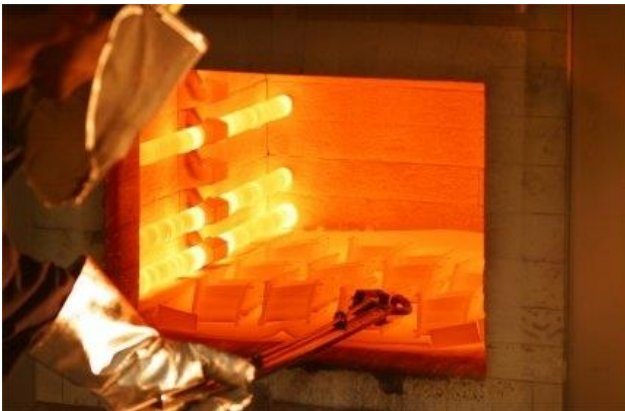
Incluziune de carburare



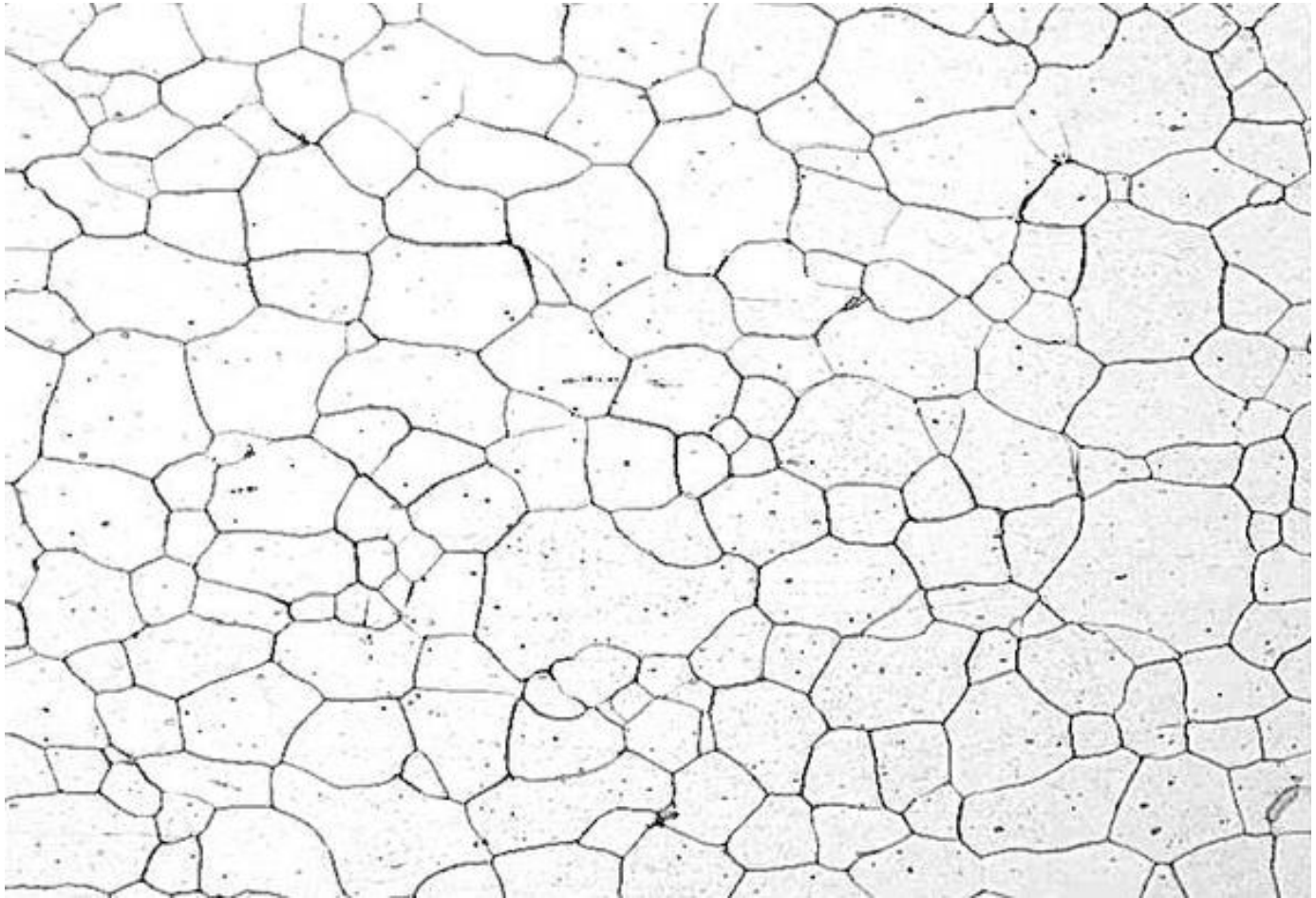
Incluziune de oxid

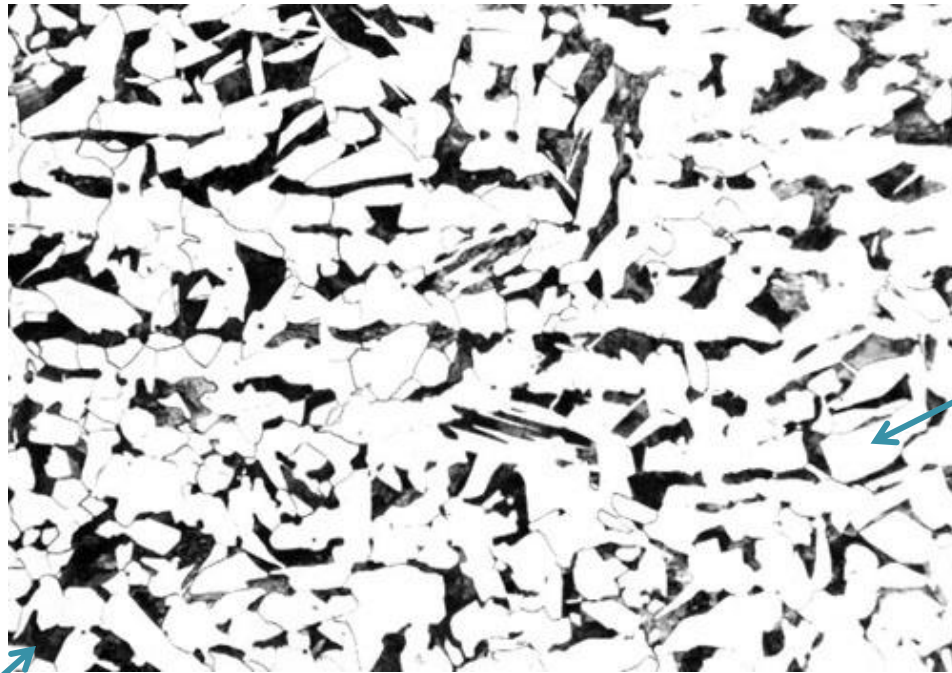


2. Tratamentul termic



Microstructură complet feritică

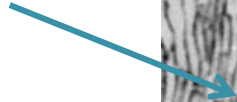
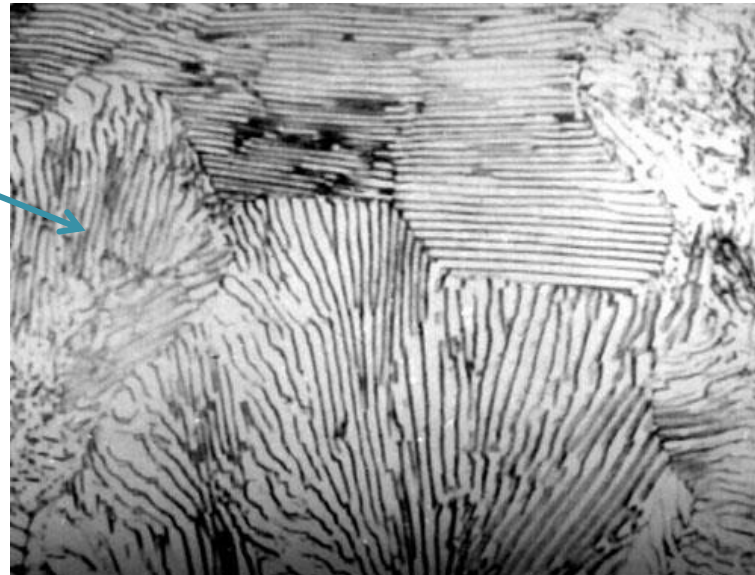




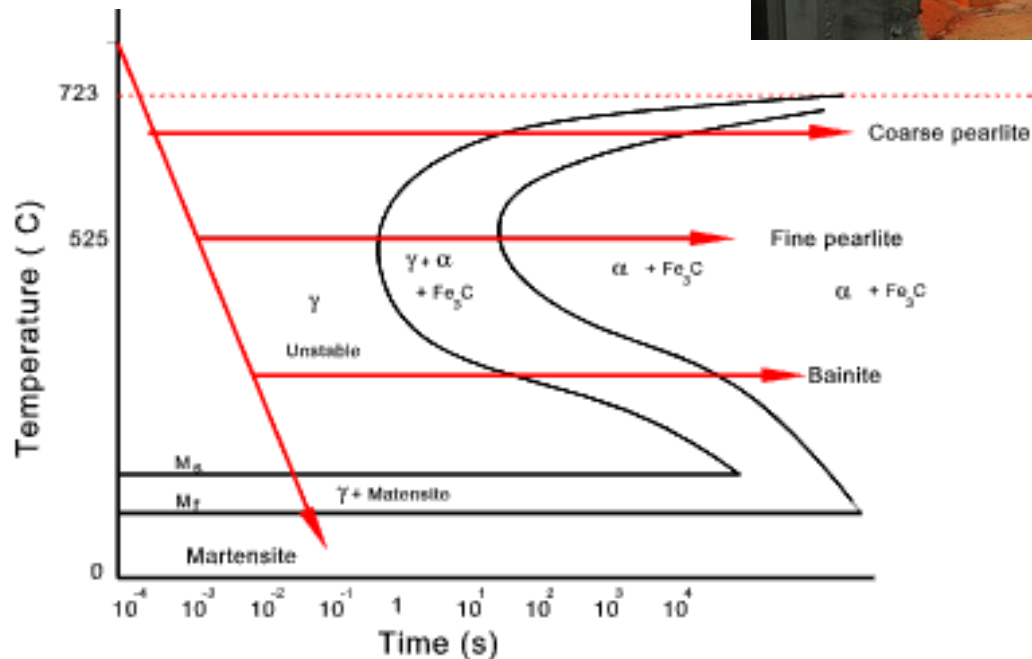
Grăunte de ferită



Grăunte de perlită
Ferită + Cementită



- Diagrama transformării izotermice



Dacă transformarea se realizează la temperatură ridicată structura rezultată va fi formată din perlită cu grăunți mari .

Dacă materialul este răcit rapid la o temperatură între 220 °C și 525 °C structura rezultată este bainită (perlită + martensită).

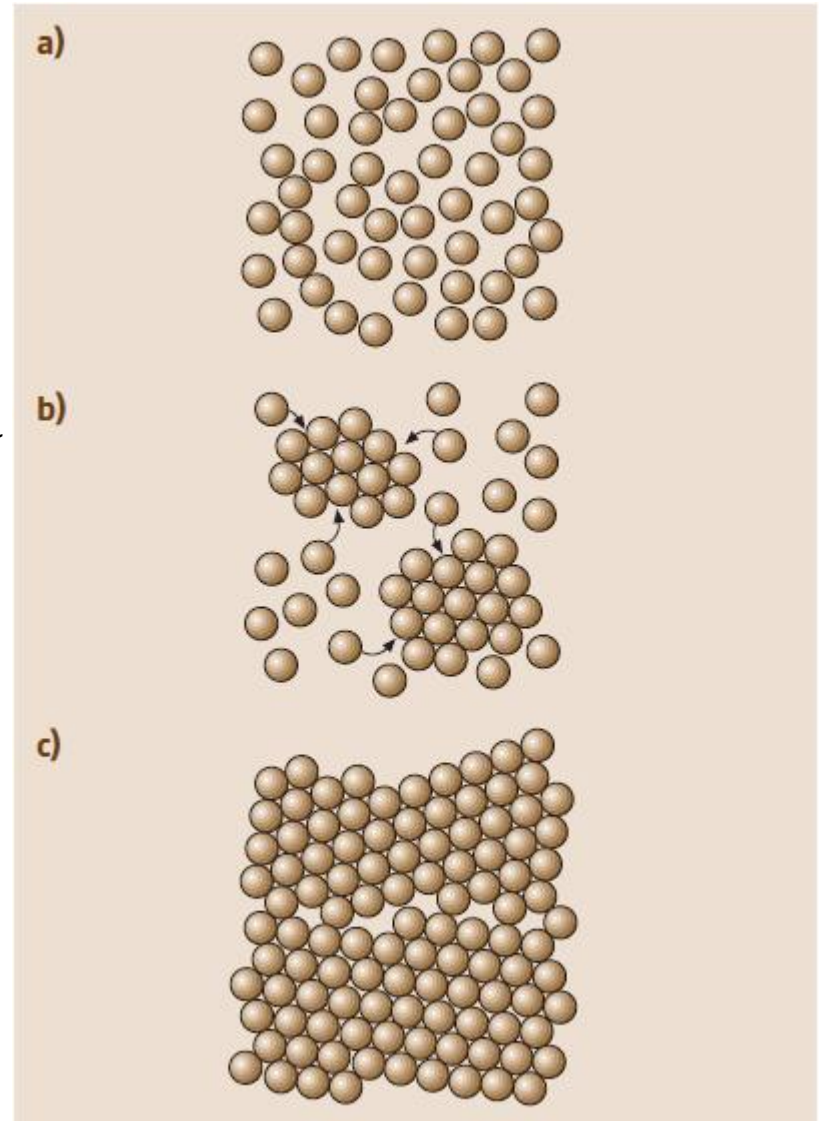


3. Procedeele de elaborare și prelucrare

- Prima etapă în elaborarea oțelului constă în amestecarea minereului de fier cu cocs și încălzit până la obținerea produsului de sinterizare. În acest amestec este adăugat calcarul.
- Amestecul obținut reprezintă materia primă care este topită în furnal.
- Metalul topit în furnal este în proporție de 90 – 95% Fe, restul impurități.
- În cazul pieselor **turnate**, oțelul lichid este introdus într-o matriță cu geometria cerută.

Formarea grăunților și a limitelor acestora

- a) Lichid amorf;
- b) Două cristale încep să nucleeze în metalul topit;
- c) O limită de grăunte a fost formată între două cristalite cu orientare cristalografică diferită.





- **Forjarea** este un procedeu de elaborare prin care un cupon de oțel este încălzit până la temperatura de austenitizare și deformat prin lovituri pe diferite direcții până se obține geometria cerută.



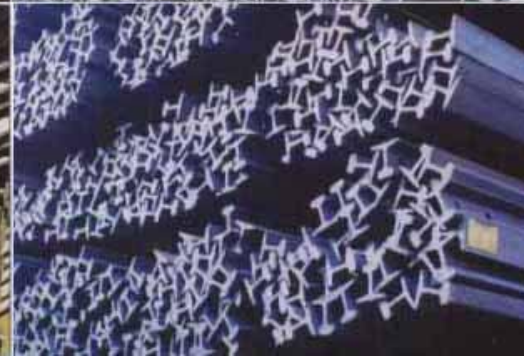


- Cele mai multe produse de oțel se obțin prin **laminare**.





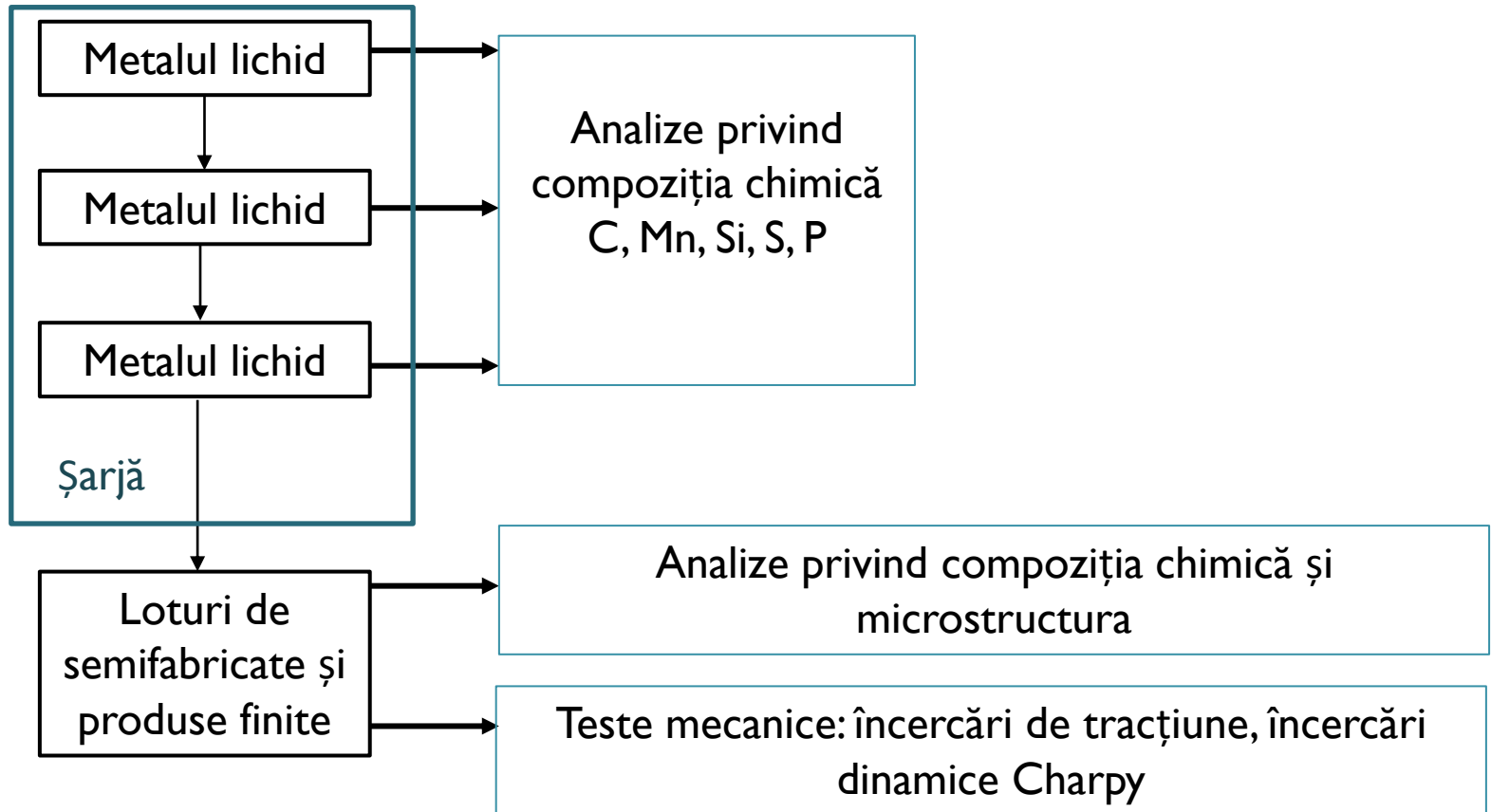
Produse laminate din oțel:



- În orice procedeu de elaborare a oțelului și respectiv produselor de oțel există o anumită proporție de imperfecțiuni.
- În componentele turnate pot să apară o serie de imperfecțiuni în funcție de geometria componentei: *fisuri* determinate de tensiunile remanente de la răcire, *incluziuni solide* de tipul nisipului folosit la forma de turnare, *incluziuni gazoase*, *pori*.
- În cazul produselor laminate sau trase pot să apară imperfecțiuni de suprafață: *exfolieri*, *fisuri de suprafață*.
- Majoritatea procedeelor de elaborare a oțelului și produselor din oțel implică răcirii de la temperaturi ridicate. Tensiunile termice mari în timpul răcirii pot determina tensiuni remanente în produsul finit.

4. Proprietăți și încercări mecanice ale oțelurilor

- Fiecare șarjă de oțel și respectiv fiecare lot de produse finite din șarja respectivă sunt supuse unor analize și teste mecanice:

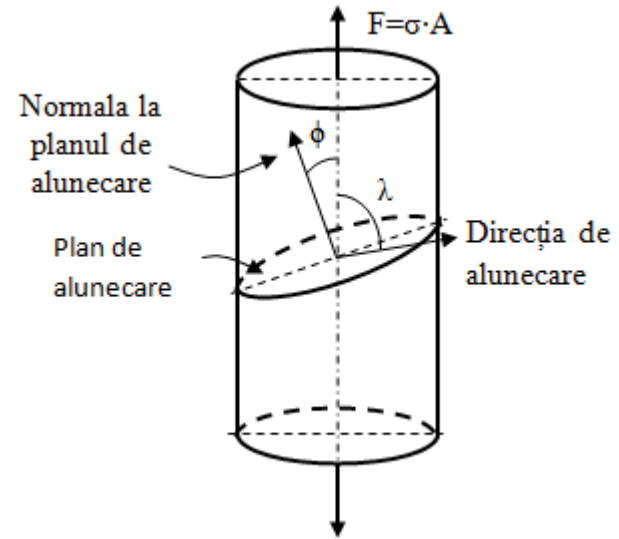


Comportarea mecanică a materialelor la nivel mezosopic

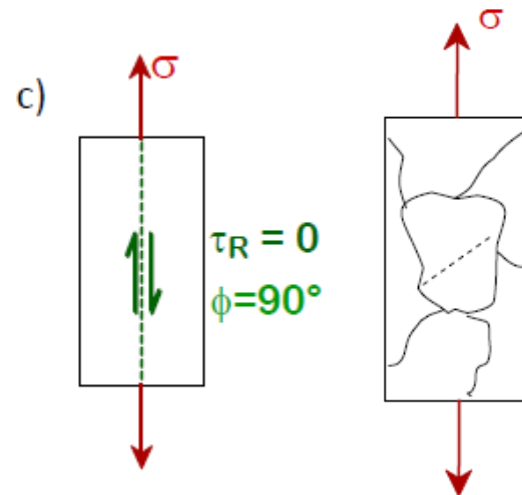
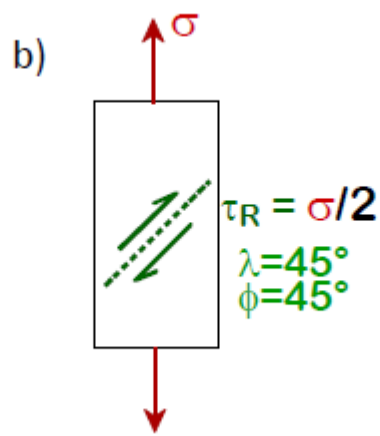
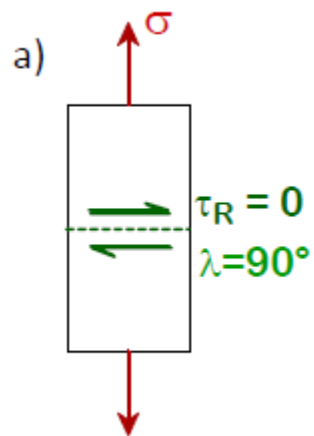
Legea lui Schmid

$$\tau_C = \sigma_y \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda$$

$M = \cos \phi \cdot \cos \lambda$ - factorul Schmid



Condiția de apariție a dislocațiilor și implicit a ruperii $\tau_R \geq \tau_C$



Center grain

$$\tau_R = \sigma/2$$

$$\lambda = 45^\circ$$

$$\phi = 45^\circ$$

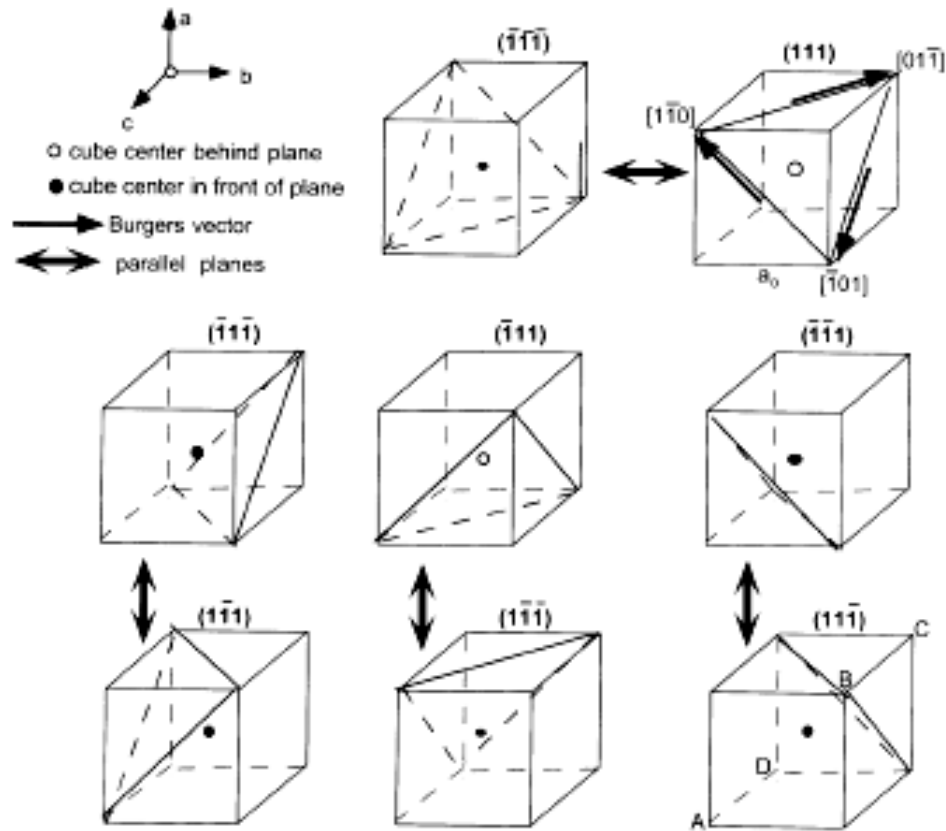


Fig. 6.8 Slip systems in the fcc structure

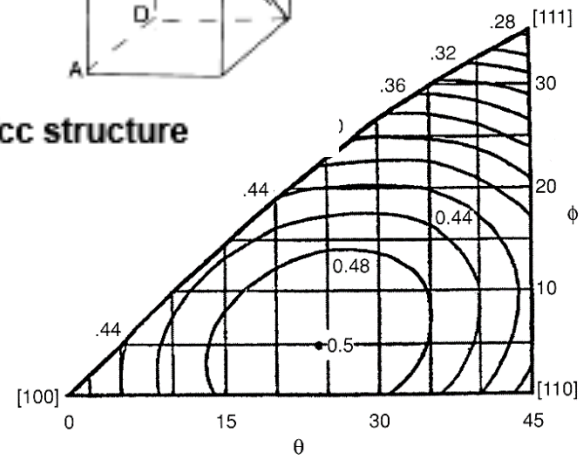
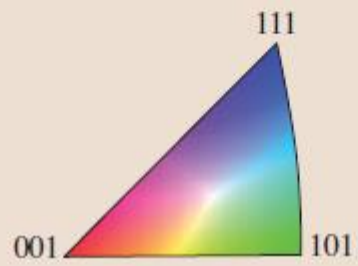
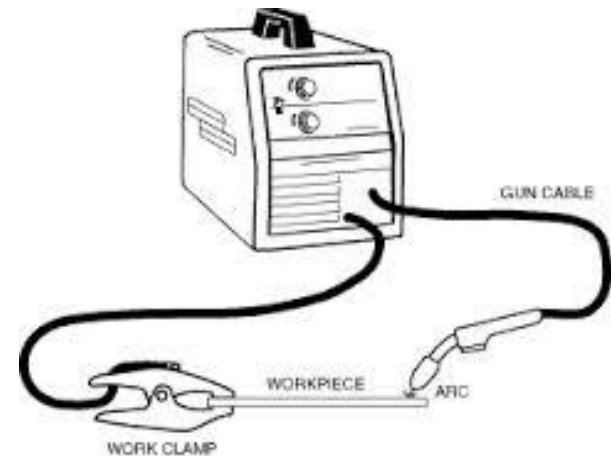


Figure 8.8. Full representation of contours of constant Schmid factor for fcc crystals. From W. F. Hosford, *ibid.*

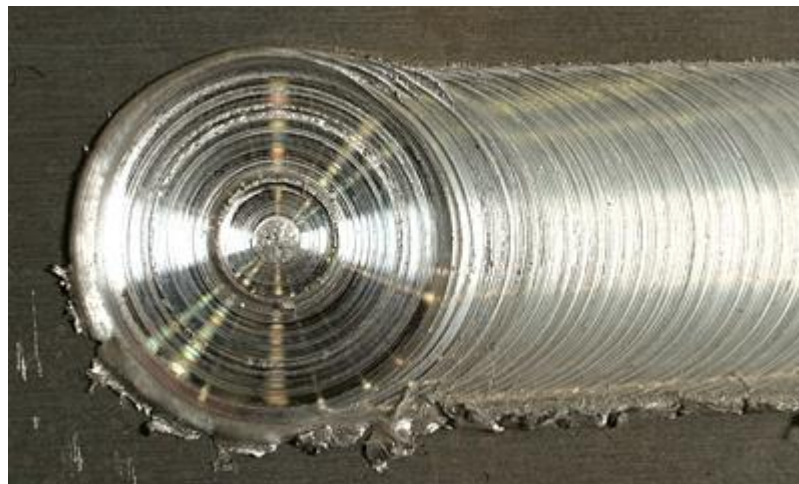
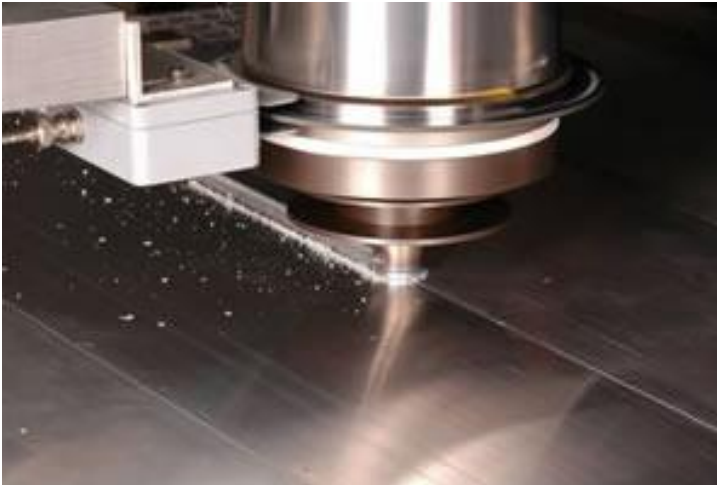


5. Sudabilitatea

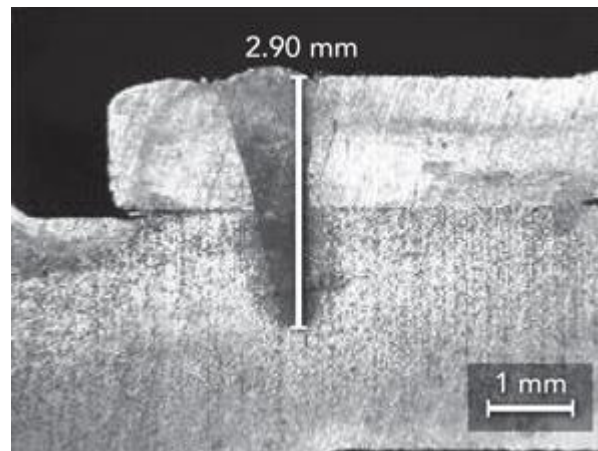
- Sudura este unul din cele mai importante procese de fabricație pe bază de oțel.
- Cele mai multe procese de sudare implică fuzionarea materialelor de îmbinat prin creșterea temperaturii până în jurul punctului de topire al materialului, cu sau fără material de adaos.
- Procedeele de sudare prin arc electric sunt cele mai utilizate în special la aplicații generale.



- Procedeu de sudare prin frecare:



- Procedeu de sudare cu laser:



- Toate procedeele de sudare implică încălziri rapide ale materialului până în jurul punctului de topire urmate de răcirii locale bruște .
- Ca urmare a încălzirii și răcirii rapide a materialului se produc tensiuni reziduale care, în acest caz, sunt mai mari decât cele rezultate în procedeele de elaborare a oțelului.
- Tensiunile reziduale reprezintă un factor important asupra performanței structurilor din oțel datorită posibilelor efecte asupra ruperii fragile, fenomenului de oboseală și respectiv a distorsiunilor..

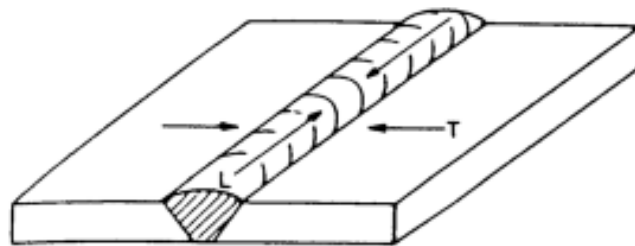


Figure 6-48. Longitudinal (L) and transverse (T) shrinkage stresses in a butt weld.

- Distorsiuni datorate tensiunilor reziduale:

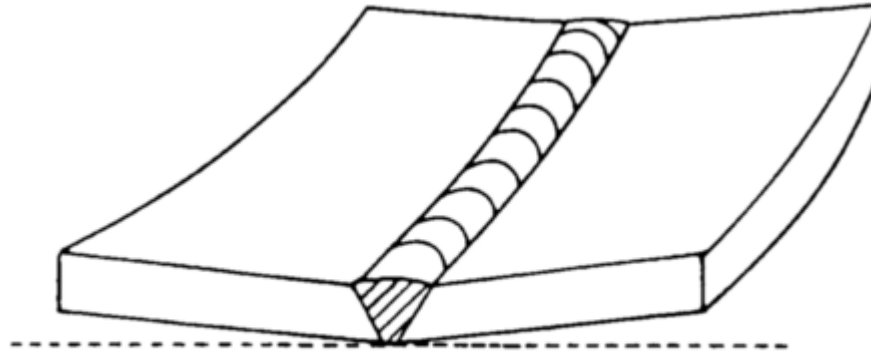


Figure 6-50. Distortion in a butt weld.

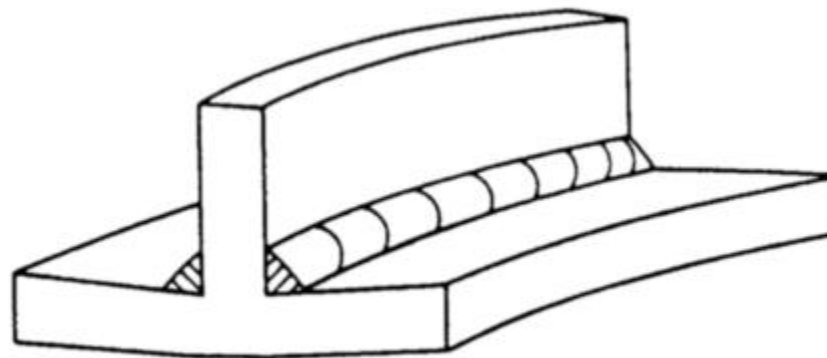
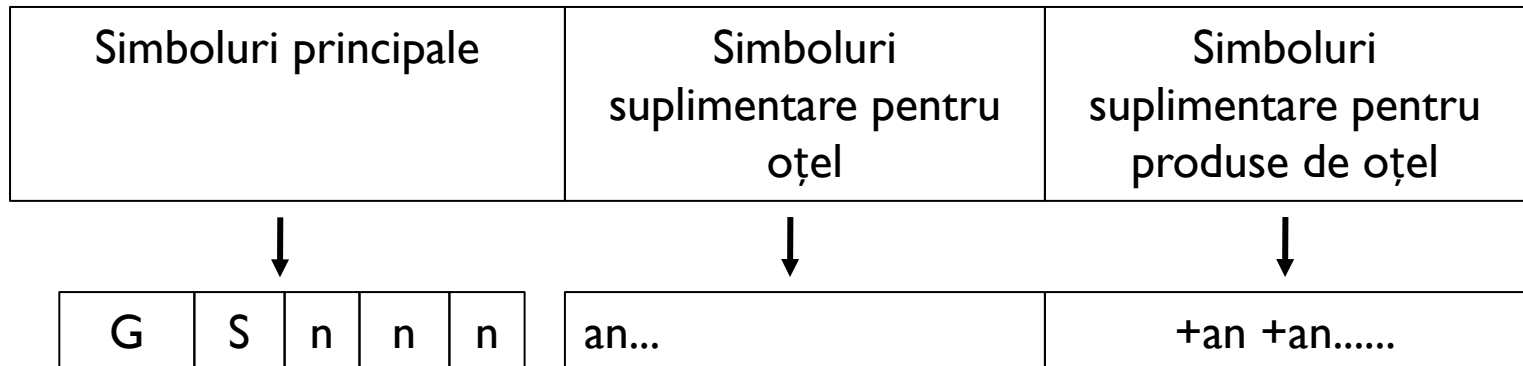


Figure 6-51. Distortion in a fillet weld.

Conform SR EN 10027-1: 2005



G – piese turnate de oțel

S – oțel de construcții

nnn – limita de curgere specificată în MPa

Simboluri suplimentare pentru oțel:

Grupa 1: 27J la 20°C – JR;

27J la 0°C – JO;

27 J la -20°C – J2;

27J la -30°C – J3

Grupa 2: C – formare la rece; F – piese forjate; Q – călire și revenire; S – construcții navale; T - țevi.

Exemplu de simbolizare: S355 JR

SR EN 10025-1 – Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții – Partea 1:
Condiții tehnice generale de livrare;

SR EN 10025-1 – Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții – Partea 5:
Condiții de livrare pentru oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziune
atmosferică;

SR EN 10025-6 – Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții – Partea 6:
Condiții tehnice de livrare pentru produse plate din oțel cu limită de curgere ridicată
în stare călită și revenită;

SR EN 10028-2 – Produse plate din oțel pentru recipiente sub presiune – Partea 2:
Oțeluri nealiat și aliat cu caracteristici specificate la temperatură ridicată;

SR EN 10028-2 – Produse plate din oțel pentru recipiente sub presiune – Partea 3:
Oțeluri sudabile cu granulație fină, normalizate;

SR EN 10207 – Oțeluri pentru recipiente sub presiune simple – Condiții tehnice de
livrare pentru table, benzi și bare.



Metode de calcul a construcțiilor metalice

Cuprins:

1. Acțiuni care solicită structurile metalice
2. Calculul construcțiilor metalice în stadiul elastic
3. Calculul construcțiilor metalice în stadiul plastic
4. Metode de dimensionare a construcțiilor metalice:
 - metoda rezistențelor admisibile
 - metoda de dimensionare în stadiul limită

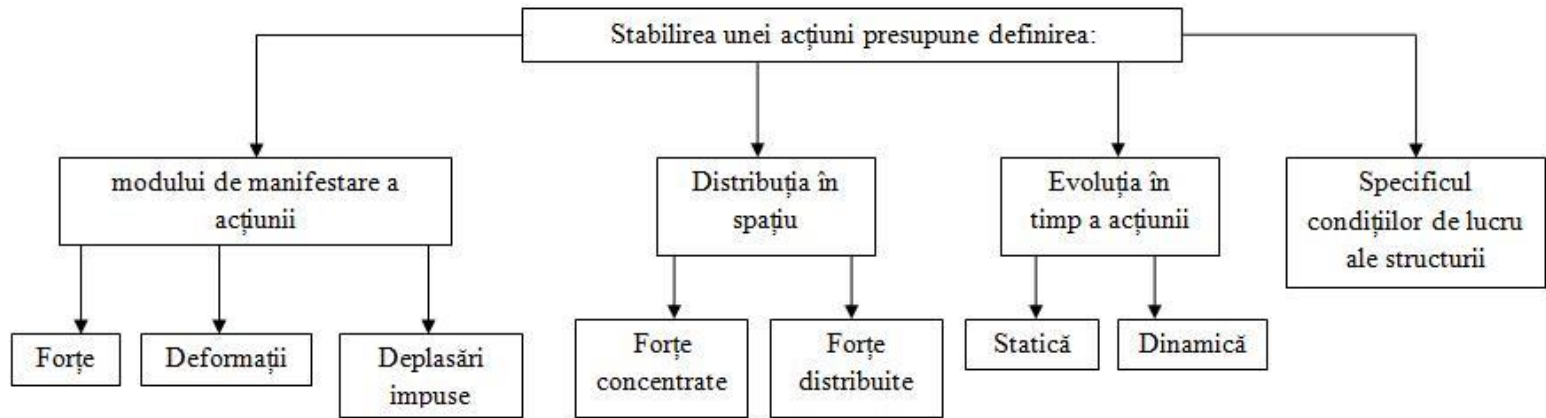
1. Acțiuni care solicită structurile metalice

- În calculul structurilor, prin *acțiuni* se înțeleg cauzele care pot să producă solicitări sau deformații neimpuse elementelor din componența structurilor sau structurilor în ansamblu.

- Acțiunile sau încărcările cel mai des întâlnite în calculul structurilor provin din greutatea elementelor și utilajelor direct sau indirect susținute, greutatea proprie, greutatea oamenilor etc.



Caracteristicile acțiunilor (încărcărilor)



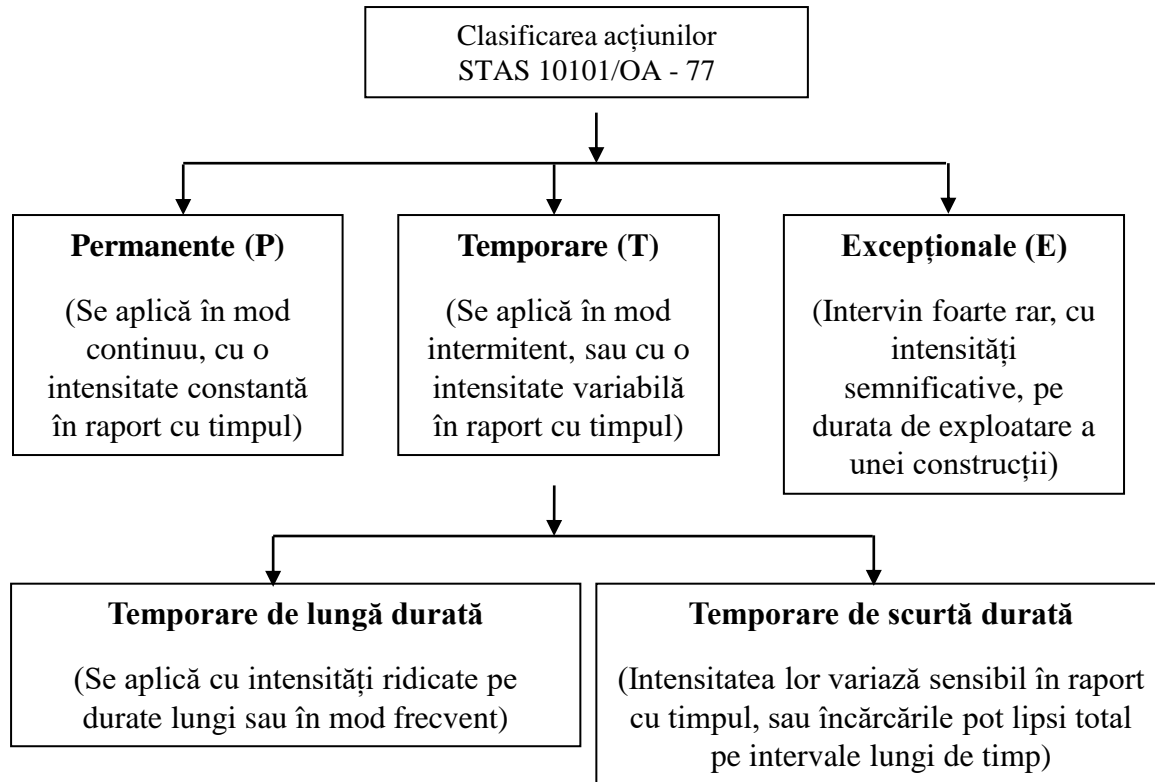
- Orice încărcare ce acționează asupra unei structuri are următoarele caracteristici:

-*Intensitatea normată de bază*: greutatea tehnică, presiunea dinamică de bază datorită vântului, greutatea de referință a stratului de zăpadă, etc.;

-*Încărcări normate*, obținute prin multiplicarea intensității normate de bază cu diferiți coeficienți – metoda rezistențelor admisibile;

-*Încărcări de calcul*, obținute prin multiplicarea încărcării normate cu coeficienții acțiunii – metoda stărilor limită.

Clasificarea acțiunilor



Acțiuni (încărcări) permanente

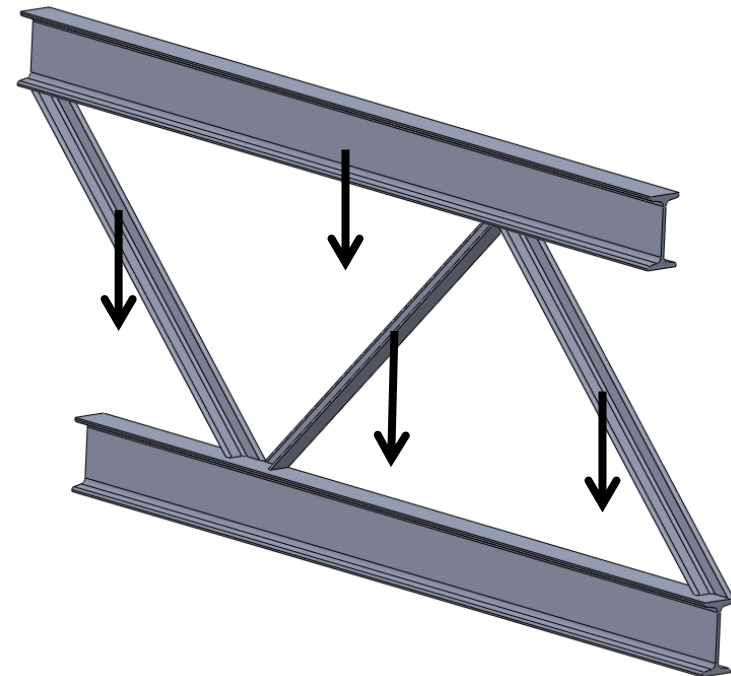
- Acțiuni care se exercită cu valori constante, pe toată durata existenței construcției respective.

Acțiuni permanente:

- încărcările provenite din greutatea proprie a elementului care se dimensionează;
- încărcările provenite din greutatea elementelor susținute de elementele care se dimensionează;
- acțiunea efectului pretensionării.

- Valorile normate ale acțiunilor permanente sunt precizate de STAS 504-70 și STAS 10101/1-78.

- Coeficienții n pentru aceste încărcări variază între 1,1 și 1,3 în cazul în care încărcarea are efect defavorabil pentru comportarea în secțiunea analizată, la starea limită.



Acțiuni temporare

- Încărcări care apar în mod intermitent sau cu o intensitate variabilă în raport cu timpul.

Acțiunile temporare se împart în:

- *Acțiuni temporare de lungă durată*, care se aplică cu intensități ridicate pe durate lungi sau în mod frecvent;

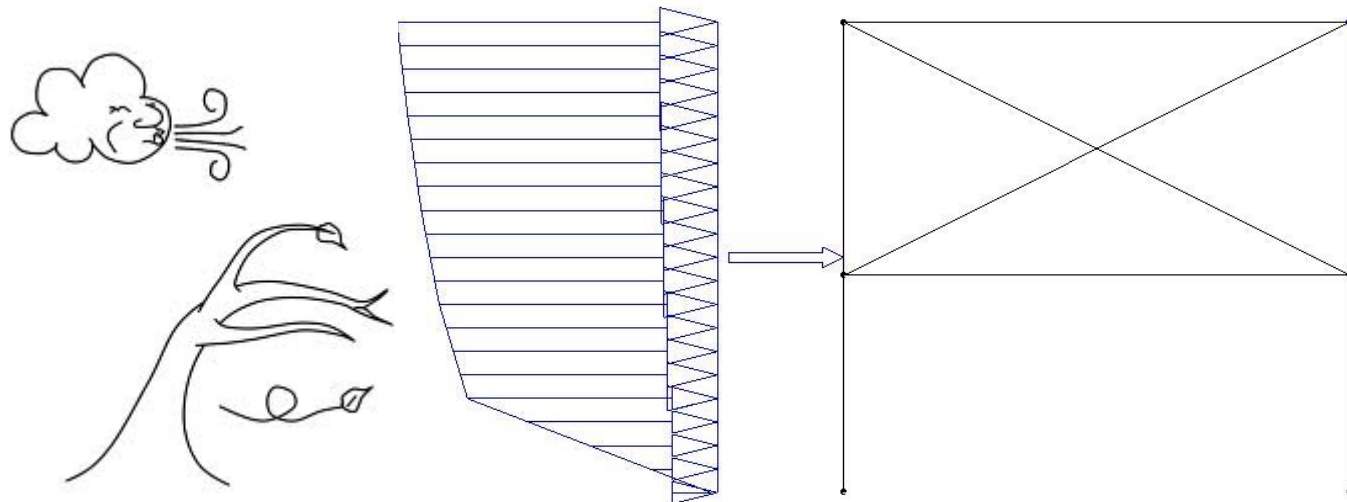
Sunt date în standardele: STAS 10101/1-78, STAS 10101/2A1-78, STAS 10101/23-75, etc. Coeficienții acestor încărcări variază între 1,1 și 1,4 (1,0 pentru lichide în conducte).

- *Acțiuni temporare de scurtă durată*, a căror intensitate variază sensibil în raport cu timpul sau pot lipsi pe intervale lungi de timp;

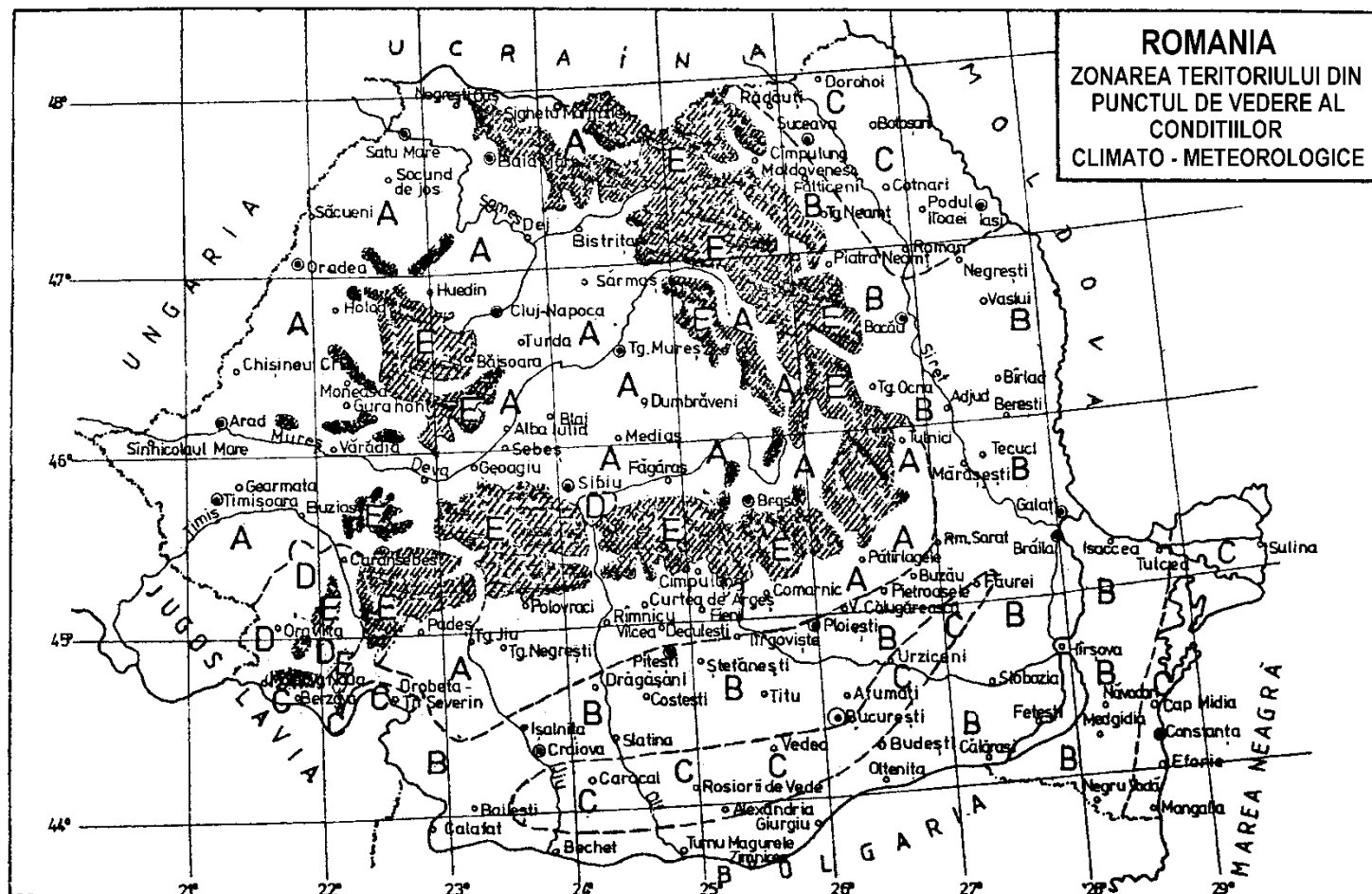
• *Acțiunile temporare de scurtă durată* sunt cele date de vânt, zăpadă, utilaje de ridicat și transportat (poduri rulante).

• Intensitățile normate de bază, diferiți coeficienți și scheme de calcul pentru acțiunile temporare de scurtă durată sunt date în STAS 10101/20-78, STAS 10101/21-78, STAS 10101/23A-78.

• Coeficienții de încărcare pentru aceste acțiuni variază între 1,2 și 1,6.



Tara	Zapada caracteristica S_k [kN*/mp] – la sol si altitudini sub 500m
Austria	intre 1.2 – 2.35
Danemarca	1
Finlanda	intre 2 – 3
Romania	intre 1.5 -2.5
Suedia	intre 1 – 4
Elvetia	intre 0.4 si 1.2



Zonarea teritoriului României din punct de vedere al condițiilor climato-meteorologice

Zona meteorologică	Altitudinea [m]	Presiunea vântului, p_v [N/m ²]		Grosimea stratului de chiciură, [mm]	
		Vânt maxim nesimultan cu chiciură	Vânt simultan cu chiciură	$U_n \leq 110$ kV	$U_n = (200 - 400)$ kV
Zona A	≤ 800	300	120	16	20
Zona B		420	168		
Zona C		550	200	22	24
Zona D					
Zona E	1000	400	160	Grosimea stratului de chiciură se va stabili pe baza datelor furnizate de ANM	
	1200	450	180		
	1400	650	260		
	1600	900	360		
	1800	1100	440		
	2000	1300	520		
	2200	1500	600		
	2400	1700	880		

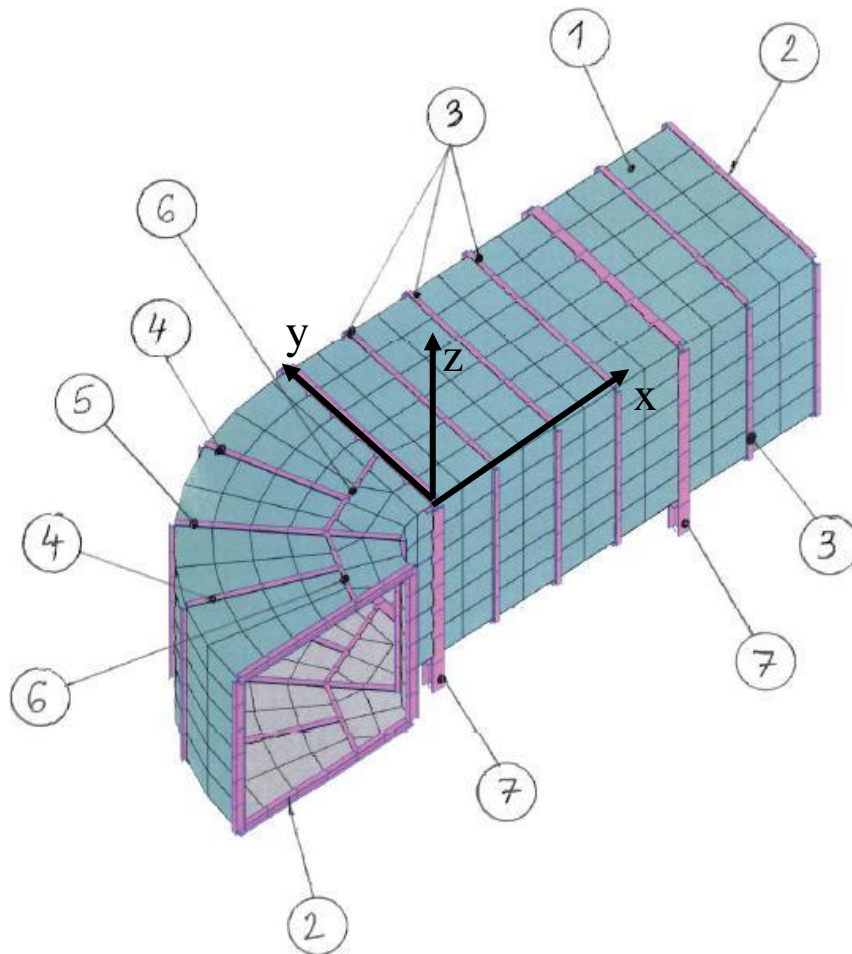
Acțiuni excepționale

- Intervin foarte rar, cu intensități semnificative pe durata de exploatare a unei structuri.
- Sunt considerate acțiuni excepționale următoarele:
 - încărcări seismice;
 - încărcările din acțiunea vântului în regim de rezonanță;
 - încărcări date de zăpadă când coeficientul de formă $c_z > 2$;
 - încărcări provenite din explozii, întreruperi bruște ale unor utilaje sau defectarea acestora;
 - încărcări provenite din șocuri (izbirea podurilor rulante în opritori), izbirea autovehiculelor de elementele de construcții, etc.;
- Coeficienții acestor încărcări sunt unitari. În combinațiile de încărcări se consideră o singură încărcare excepțională.

Grupări de acțiuni

- În practică există posibilitatea apariției simultane a mai multor acțiuni asupra elementelor unei structuri.
- Pentru a putea stabili diferite situații defavorabile de solicitare, normele stabilesc *grupări de acțiuni (încărcări)*, cu ajutorul cărora se face calculul și dimensionarea elementelor respective.
- Conform STAS 10101/OA-77, se alcătuiesc trei grupări de acțiuni:
 - Gruparea fundamentală*, alcătuită din încărcări permanente, temporare de lungă durată și temporare de scurtă durată;
 - Gruparea excepțională (suplimentară)*, alcătuită din încărcări permanente, temporare de lungă durată, temporare de scurtă durată și excepționale;
 - Gruparea specială (extraordinară)*, care se obține din gruparea suplimentară, la care se adaugă una din acțiunile temporare accidentale (acțiunea mișcărilor seismice, acțiunea inundațiilor catastrofale sau a incendiilor, încărcări ce apar datorită unor erori grave de execuție etc.).

Exemplu



Încărcări permanente: $p_z = -0,3 \text{ kN/m}^2$

Încărcări temporare:

- Vânt: $p_y = 0,856 \text{ kN/m}^2$
- Vânt: $p_y = -0,856 \text{ kN/m}^2$
- Presiune: $p_z = 2 \text{ kN/m}^2$
- Presiune: $p_z = -2 \text{ kN/m}^2$

Încărcări excepționale:

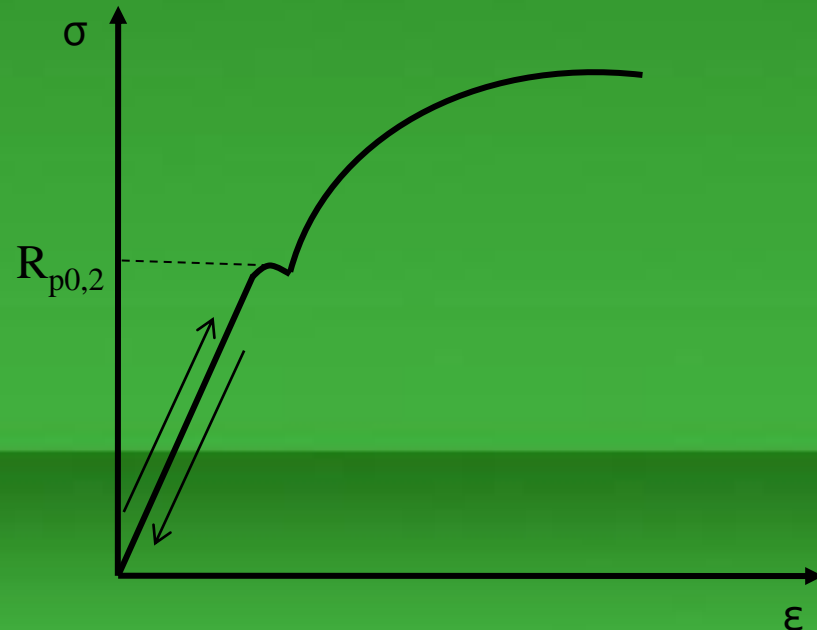
- Cutremur: $p_x = 0,115 \text{ kN/m}^2$
- Cutremur: $p_x = -0,115 \text{ kN/m}^2$
- Cutremur: $p_y = 0,115 \text{ kN/m}^2$
- Cutremur: $p_y = -0,115 \text{ kN/m}^2$

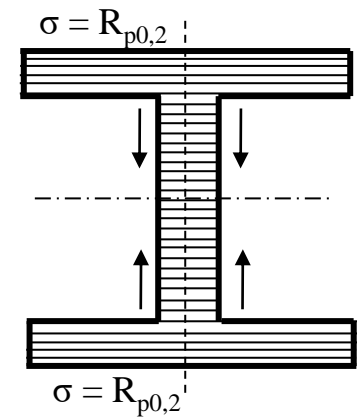
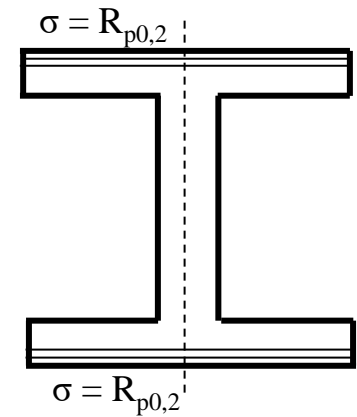
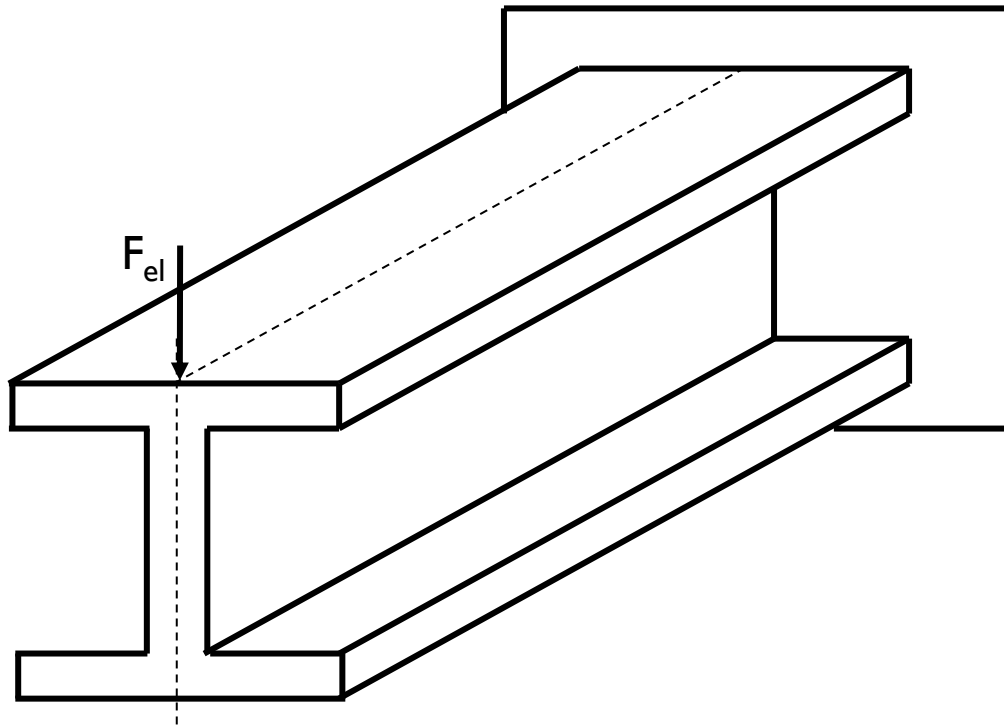
2. Calculul structurilor metalice în stadiul elastic

- Calculul în domeniul elastic admite, ca stadiu limită, starea de solicitare care provoacă apariția limitei de curgere în fibra extremă din secțiunea cea mai solicitată.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

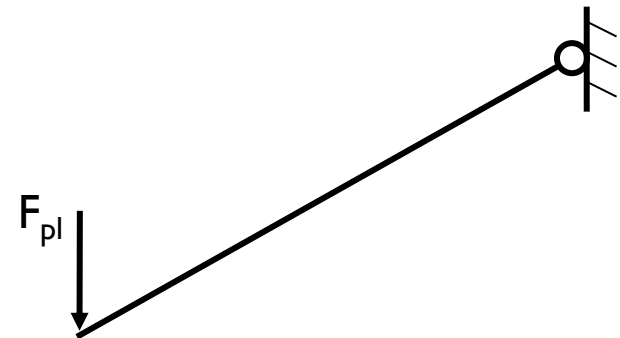
- Simplificările admise de calculul în stadiul elastic conduc în anumite cazuri la rezultate acoperitoare față de cele obținute prin încercări și măsurători efectuate pe modele sau pe construcții la scară naturală.





Articulația plastică

- La structurile static determinate apariția articulației plastice coincide cu pierderea reală a capacității portante



3. Calculul structurilor metalice în stadiul plastic

- Calculul în stadiul plastic urmărește stabilirea valorii minime a acțiunilor (încărcărilor) care transformă o structură în mecanism, prin apariția articulațiilor plastice.



- Calculul în stadiul plastic nu are rolul de a înlocui calculul în stadiul elastic, doar de al completa.

- La structuri alcătuite din materiale cu palier de curgere, cum este cazul oțelurilor de construcții, calculul în stadiul plastic conduce la o apreciere mai exactă a comportării reale a structurilor.

4. Metode de dimensionare a structurilor metalice

Metoda rezistențelor admisibile

- Metoda rezistențelor admisibile compară valoarea efortului unitar maxim, σ_{\max} , din fibra cea mai solicitată, cu o valoare prescrisă de norme, numită *rezistență admisibilă*, σ_a .

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_a$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_c}{c}$$

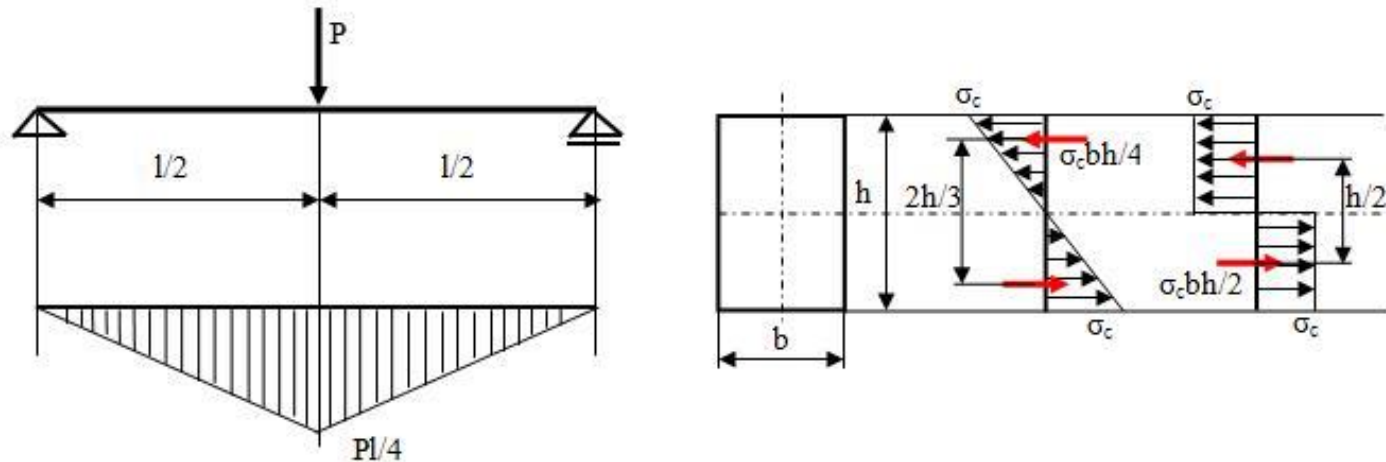
•În conformitate cu STAS 763-71, coeficientul de siguranță c are următoarele valori:

- pentru gruparea fundamentală: $c = 1,6$;
- pentru gruparea suplimentară: $c = 1,4$;
- pentru gruparea extraordinară: $c = 1,23$



Metoda de dimensionare în stadiul limită

Metoda de calcul în stadiul plastic



$$M_{el} = \frac{\sigma_c b h}{4} \cdot \frac{2h}{3} = \sigma_c \cdot \frac{bh^2}{6} = \sigma_c \cdot W$$

$$M_{pl} = \frac{\sigma_c b h}{2} \cdot \frac{h}{2} = \sigma_c \cdot \frac{bh^2}{4} = \sigma_c \cdot W_{pl}$$

$W_{pl} = \frac{bh^2}{4}$ - reprezintă dublul momentului static al secțiunii de deasupra axei neutre, neavând legătură cu modulul de rezistență elastic.

$f = \frac{M_{pl}}{M_{el}} = \frac{W_{pl}}{W_{el}}$ - coeficient de formă.

Pentru secțiune dreptunghiulară, $f = 1,5$, rezultă: $M_{pl} = 1,5M_{el}$

Metoda stărilor limită în calculul de proiectare a structurilor metalice

- Verificarea condițiilor de capacitate portantă elementelor structurilor metalice prin metoda stărilor limită se face pe baza relației:

$$S \leq \Phi$$

unde **S** este valoarea maximă a solicitării ca urmare a efectelor încărcărilor (corespunzătoare celei mai defavorabile dar posibilă grupare de încărcări ce ar putea solicita structura), iar **Φ** este capacitatea portantă minimă de rezistență sau deformabilitate (corespunzătoare stării limită considerată).

$$S = \sum n_i \cdot P_i^n \cdot \alpha_i \cdot n_{gi}$$

în care :

n_i - coeficienții încărcării;

P_i^n - valoarea normată a încărcării;

α_i - coeficient de influență, care stabilește corelația între încărcarea exterioară și solicitarea (efortul) de o anumită natură în secțiunea considerată;

n_{gi} - coeficient de grupare subunitar care afectează încărcările variabile.

• Expresia funcției Φ , care definește capacitatea portantă a secțiunii, se poate scrie sub forma:

$$\Phi = \frac{1}{\gamma_m} \cdot R^n \cdot m \cdot A$$

în care:

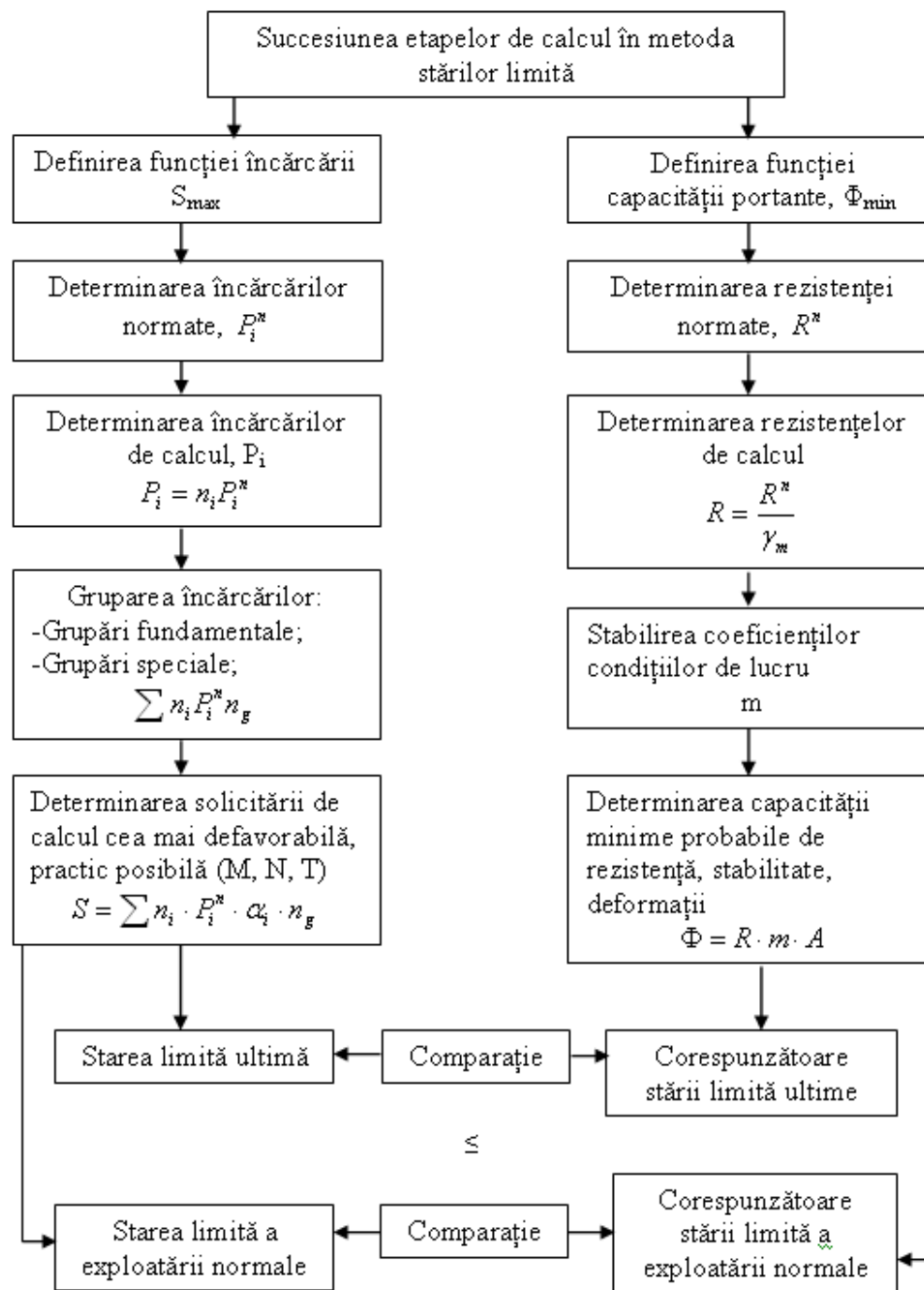
γ_m - este coeficient de siguranță al materialului, care, pentru laminate, are valori cuprinse între 1,1...1,2 și ține seama de: variabilitatea calității materialului, a caracteristicilor geometrice ale secțiunii elementelor, etc.;

R^n - rezistența normată a oțelului, determinată pe cale statistică; pentru oțel obișnuit de construcții este valoarea limitei de curgere, $R_{p0,2}$.

$R = R^n / \gamma_m$ se numește rezistența de calcul a oțelului;

m – coeficient al condițiilor de lucru;

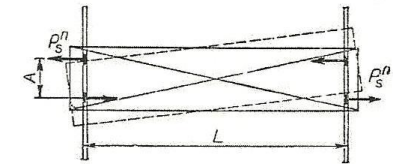
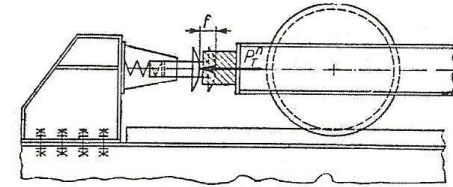
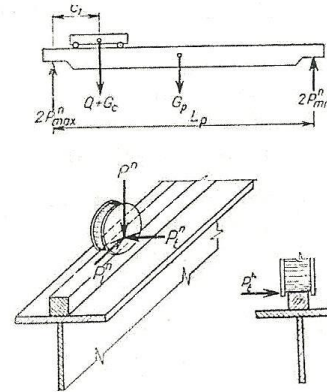
A – caracteristica geometrică de calcul (arie, modul de rezistență, etc.).



Aplicație

Să se stabilească încărcările date de un pod rulant cunoscând:

- Capacitatea podului rulant: 500/125 kN,
- Podul are grupa a III-a de funcționare;
- Deschiderea podului, $L_p = 22$ m;
- Suspensia sarcinii este elastică.



- *Se definește modul de manifestare a încărcării asupra căii de rulare*

Podul rulant acționează asupra căii de rulare prin forțe concentrate care se aplică la contactul dintre roți și șinele căii de rulare și în opritori.

- *Se definește schematic modul de acționare al fiecărei forțe în parte*

P^n – apăsarea roții pe șină – maximă sau minimă.

P_l^n - frânarea sau demararea podului rulant (numai la roțile care frânează);

P_t^n - frânarea sau demararea căruciorului (transversal, pe fiecare roată de pe un fir al căii);

P_T^n - izbirea podului în opritoare ;

P_s^n - din deplasarea oblică a podului (tendința de înștepenire a podului)

• *Se stabilesc intensitățile normate de bază ale forțelor*

Din STAS 8407-69 sau folosind schema de distribuție a forțelor, se stabilesc presiunile pe roți:

$$P_{\max} = 420 \text{ kN}; P_{\min} = 150 \text{ kN}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2; c_1 = 2 \text{ m};$$

Din STAS 8407-69, se stabilesc:

• Forța de frânare longitudinală:

$$P_l^n = \frac{1}{10} \sum_1^{n_{fr}} P_{fr} = \frac{420}{10} = 42 \text{ kN}$$

• Forța de frânare orizontală transversală:

$$P_t^n = \frac{1}{20n_r} (Q + G_c) = \frac{1}{20 \cdot 2} (500 + 123) = 15,57 \text{ kN}$$

• *Se stabilește forța de izbire a podului în opritori, P_T^n , folosită exclusiv la verificarea tampoanelor și prinderea acestora de structura de rezistentă.*

Forța de izbire a podului în opritori este dată de relația:

$$P_T^n = m_f \cdot v_p^2 / f_T$$

$$m_f = \frac{1}{g} \left[\frac{G_p}{2} + G_c \frac{L_p - c_1}{L_p} \right]$$

$$v_p = 50 \text{ m/min} = 0,83 \text{ m/s (STAS 800-68)}$$

$$m_f = \frac{1}{10} \left[\frac{423}{2} + 123 \frac{22-2}{22} \right] = 32,15$$

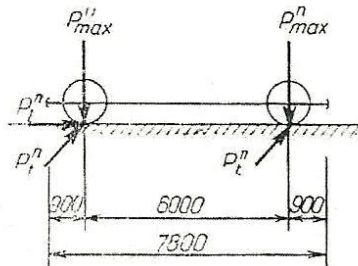
$$f_T = 0,2 \text{ m};$$

$$P_T^n = 32,15 \cdot (0,7 \cdot 0,83)^2 / 0,2 = 54,26 \text{ kN}$$

$$P_s^n = \frac{1}{5} P_{\max} = 84 \text{ kN}$$

• *Se stabilește convoiul de forțe mobile pe aceeași șină a căii de rulare, folosit în calculul solicitărilor în grinda de rulare*

Pe baza distanțelor între roți din STAS 800-68, se stabilește convoiul din figura următoare:



• *Forțele fiind mobile, regimul de lucru al podului fiind greu (III), se stabilesc coeficienții dinamici care multiplică încărcările normate de bază*

Din STAS 8407-69, rezultă:

• Pentru forțe verticale, $\psi = 1,3$;

• Pentru forțe orizontale, $\alpha = 1,4$;

Pentru calculul prinderilor grinzii căii de rulare de stâlp, $2\alpha = 2,8$.

- *Se stabilesc încărcările normate folosite în metoda rezistențelor admisibile*

$$P_{\max}^n = 1,3 \cdot 420 = 546 \text{ kN}$$

$$P_{\min}^n = 1,3 \cdot 150 = 195 \text{ kN}$$

$$P_t^n = 1,4 \cdot 15,57 = 21,8 \text{ kN}$$

$$P_l^n = 1,4 \cdot 42 = 58,8 \text{ kN}$$

$$P_s^n = 1,4 \cdot 84 = 117,6 \text{ kN}$$

- *Se stabilește coeficientul acțiunilor pentru determinarea încărcărilor de calcul*

Din STAS 8407-69, rezultă:

- Pentru forțe verticale, $n_i = 1,2$;
- Pentru forțe orizontale, $n_i = 1,3$.

- *Se stabilesc încărcările de calcul, multiplicând valorile normate ale încărcărilor cu coeficienții acțiunilor*

$$P_{\max} = 1,2 \cdot 546 = 655,2 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = 1,2 \cdot 195 = 234 \text{ kN}$$

$$P_t = 21,8 \cdot 1,3 = 28,34 \text{ kN}$$

$$P_l = 58,8 \cdot 1,3 = 76,44 \text{ kN}$$

$$P_s = 117,6 \cdot 1,3 = 152,88 \text{ kN}$$

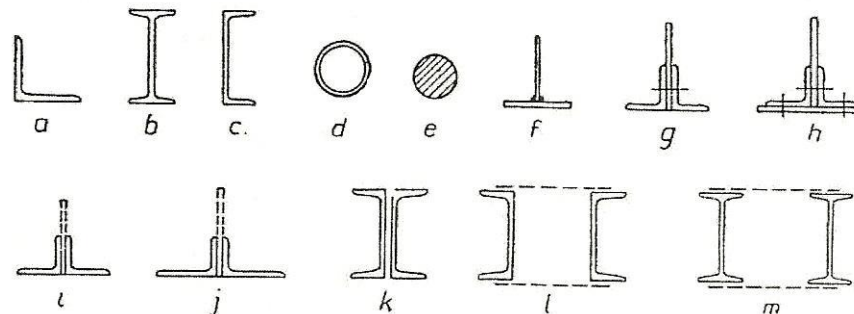
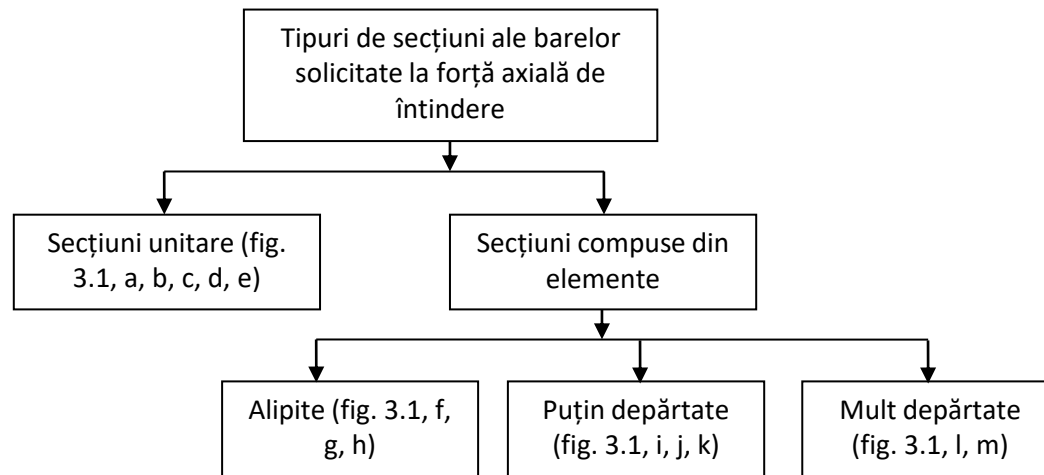


Bare solicitate la întindere

•În construcția structurilor mecanice se întâlnesc frecvent elemente solicate la forță axială de întindere: unele diagonale ale grinzilor cu zăbrele, tălpile inferioare ale grinzilor cu zăbrele simplu rezemate, tiranți, cabluri, etc.

Tipuri de secțiuni

•Secțiunile barelor solicate la întindere au diferite forme, în funcție de valoarea solicitării și tipul elementului de construcție din care fac parte. În figurile de mai jos sunt clasificate și exemplificate secțiuni ale barelor întinse.



Verificare

Barele cu efort axial de întindere trebuie să satisfacă următoarele verificări:

- Bare cu secțiune neslăbită (fig. 3.2, a):

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R$$

$$\lambda \leq \lambda_a$$

- Bare cu secțiune slăbită (fig. 3.2, b):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R$$

$$\lambda \leq \lambda_a$$

- Bare cu secțiune slăbită datorită prinderilor cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate (fig. 3.2, c):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R$$

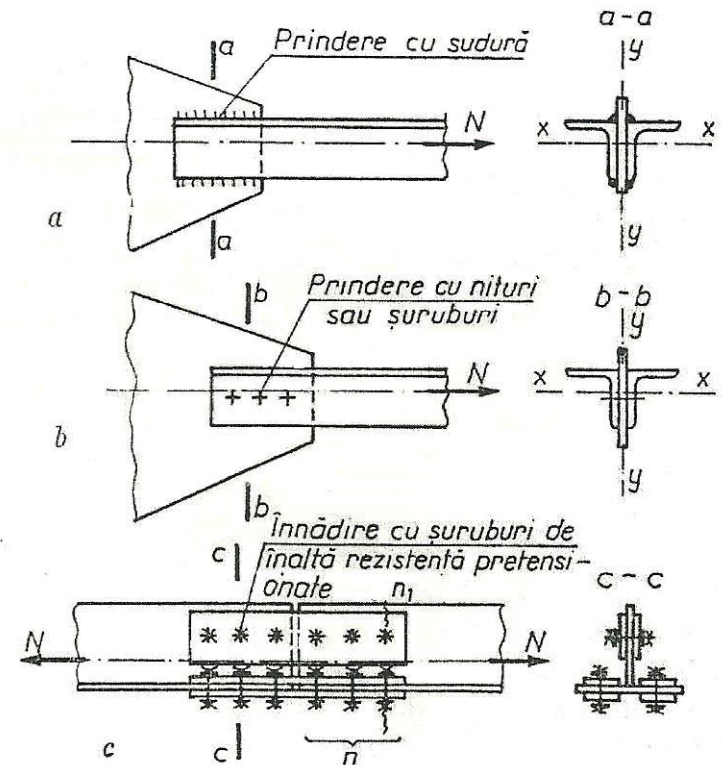
$$\sigma = \frac{N'}{A_n} \leq R$$

$$\lambda \leq \lambda_a$$

în care:

σ este tensiunea în secțiunea care se verifică;

N – efortul axial de calcul în secțiunea care se verifică;



A – aria brută a secțiunii care se verifică;

R – rezistența de calcul a oțelului;

λ – coeficientul de zveltețe maxim al barei;

λ_a – coeficientul de zveltețe admis pentru bare întinse;

A_n – aria netă a secțiunii (normală pe axa barei sau sinuoasă) ce se verifică;

$N' = N(1 - 0,4 \cdot n_1/n)$;

n – numărul șuruburilor de pe o jumătate a îmbinării;

n_1 – numărul șuruburilor din secțiunea care se verifică.

1. Elemente cunoscute:
-Efortul axial de calcul, N
-Marca oțelului folosit, R
-Secțiunea barei
-Slăbirile secțiunii

2. Calculează aria netă A_n a secțiunii barei

3. Verifică tensiunea normală:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R$$

4. Calculează razele de inerție ale secțiunii brute, față de axele principale centrale: i_x, i_y

5. Calculează lungimile de flambaj ale barei: l_{fx}, l_{fy}

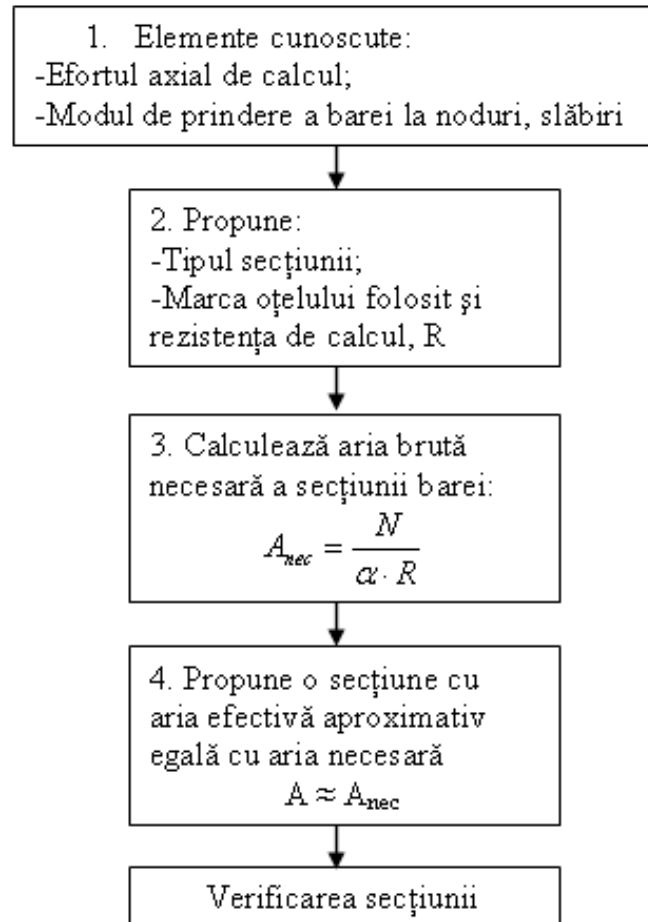
6. Verifică zveltețea barei:

$$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x} \leq \lambda_a$$
$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \leq \lambda_a$$

Dimensionare

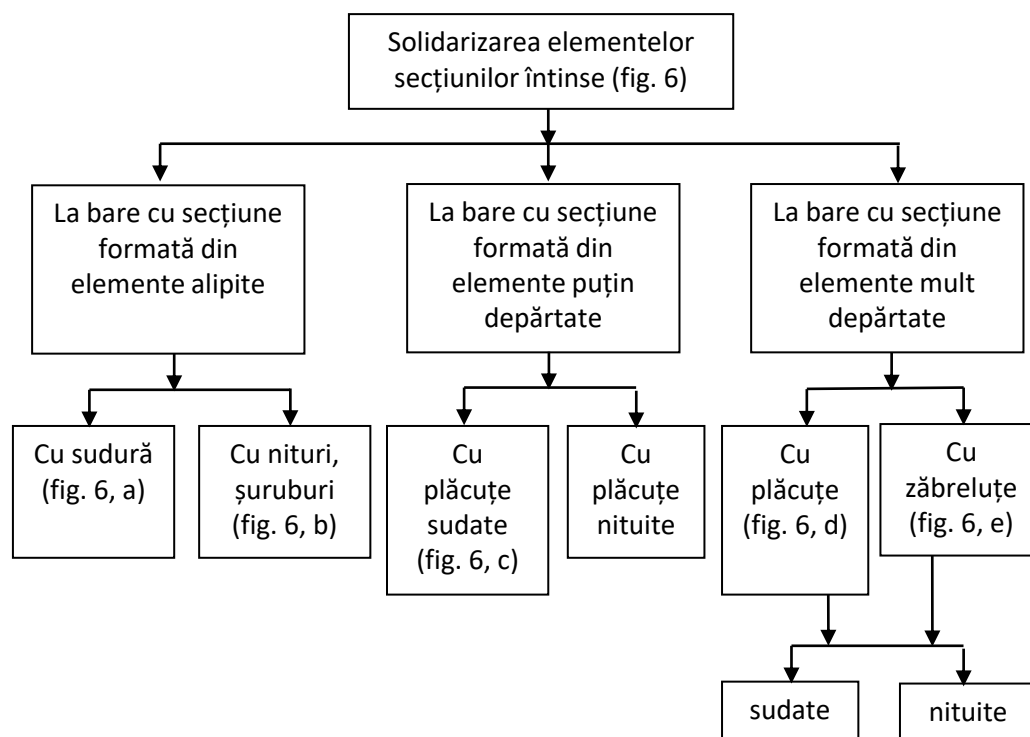
Dimensionarea unei bare cu efort axial de întindere are, în general, un caracter iterativ și necesită parcurgerea a două etape:

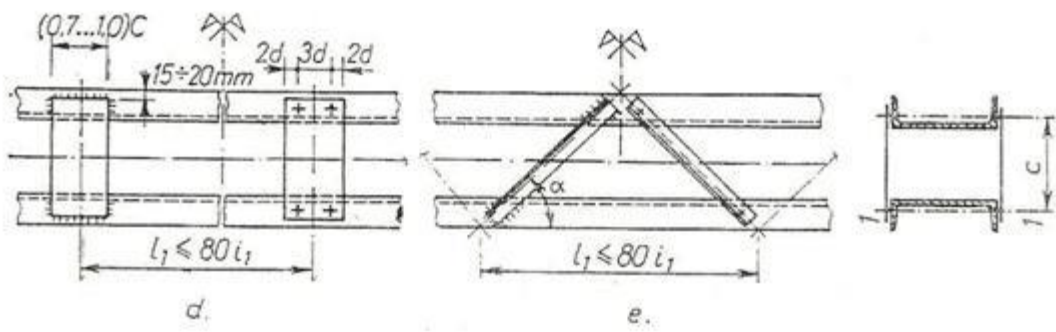
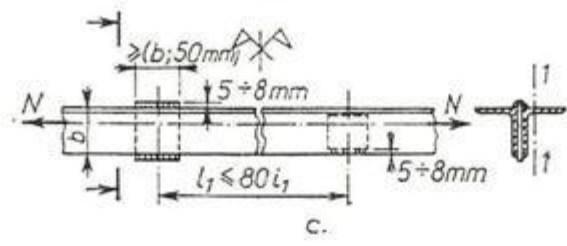
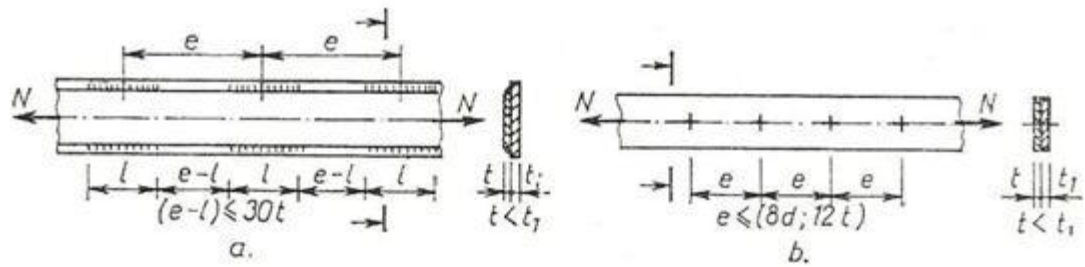
- Alegerea secțiunii;
- Verificarea secțiunii alese;



Condiții constructive

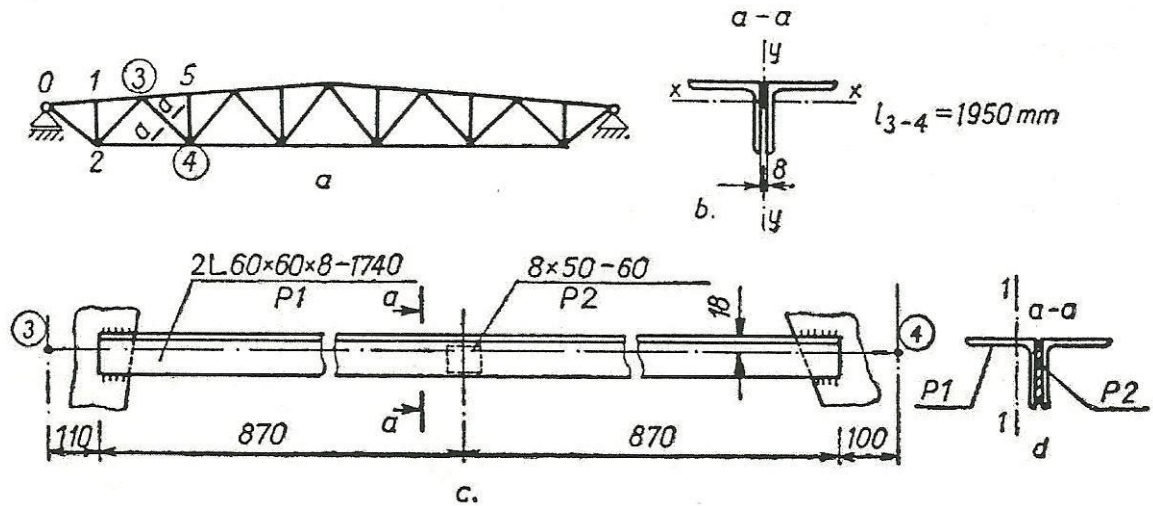
- Pentru a lucra unitar, elementele secțiunilor compuse se solidarizează între ele. În figurile de mai jos sunt indicate posibilitățile de solidarizare a elementelor secțiunilor compuse.
- Distanța între punctele de solidarizare l_1 este de maximum $80 \cdot i_1$, în care i_1 este raza de inerție minimă a unui element al secțiunii. În cazul unor bare alcătuite din profile laminate ca în fig. 6, c, d, e, - i_1 este raza de inerție a unui singur element în raport cu axa proprie (1 – 1) paralelă cu axa care nu taie materialul secțiunii.





Aplicație:

Să se alcătuiască diagonala întinsă 3 – 4 a grinzii cu zăbrele din figura de mai jos, cunoscând: efortul axial de calcul $N = 395 \text{ kN}$; secțiunea barei nu are slăbiri, prinderea barei în noduri realizându-se cu sudură.



Rezolvare

Elemente cunoscute:

- Efortul axial de calcul: $N = 395 \text{ kN}$;
- Modul prindere a barei la noduri: secțiunea barei nu are slăbiri, prinderea în noduri realizându-se cu sudură.

Alegerea secțiunii

Propune:

- Tipul secțiunii: se propune o secțiune formată din două corniere puțin depărtate,
- Marca oțelului folosit și rezistența de calcul, R : se propune oțel OL 37 cu rezistența de calcul, $R = 220$ MPa;
- Coeficientul de slăbire a secțiunii: $\alpha = 1$, deoarece secțiunea barei nu are slăbiri;

- Se calculează aria necesară a secțiunii:

$$A_{nec} = \frac{N}{R} = \frac{395 \cdot 10^3}{220} = 1795 \text{ mm}^2$$

- Propune o secțiune cu $A \geq A_{nec}$:

se propune o secțiune formată din două corniere, 2L 60x60x8 ca în fig. 7, d, cu următoarele caracteristici: $A = 1806 \text{ mm}^2$; $i_x = 18 \text{ mm}$; $i_y = 28,2 \text{ mm}$; $i_1 = 18 \text{ mm}$.

Verificarea secțiunii

- Se verifică tensiunea normală:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{395 \cdot 10^3}{1806} = 218,7$$

- Se calculează lungimile de flambaj ale barei: l_{fx} , l_{fy} :

$$l_{fx} = 0,8 \cdot l = 0,8 \cdot 1950 = 1560 \text{ mm};$$

$$l_{fy} = l = 1950 \text{ mm};$$

- Se verifică zveltețea barei:

$$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x} = \frac{1560}{18} = 86,7$$


$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{1950}{28,2} = 69,1 < \lambda_a;$$

Condiții constructive

- Elementele secțiunii se solidarizează cu plăcuțe 8x50 – 60;
- Distanța maximă între plăcuțe, $l_1 = 80 \cdot i_1 = 1440 \text{ mm}$;
- Pe lungimea barei este necesară o singură plăcuță de solidarizare, fig. 7, c.



Bare solicitate la compresiune



•În construcția structurilor metalice se întâlnesc frecvent bare solificate la compresiune:

- diagonale ale grinzilor cu zăbrele;
- tălpile superioare ale grinzilor cu zăbrele simplu rezemate;
- stâlpi;
- barele contravântuirilor.

•Secțiunile barelor cu efort axial de compresiune au diferite alcătuiți în funcție de valoarea solicitării și tipul elementului de construcție din care fac parte.

Tipuri de secțiuni ale barelor solicitate la compresiune

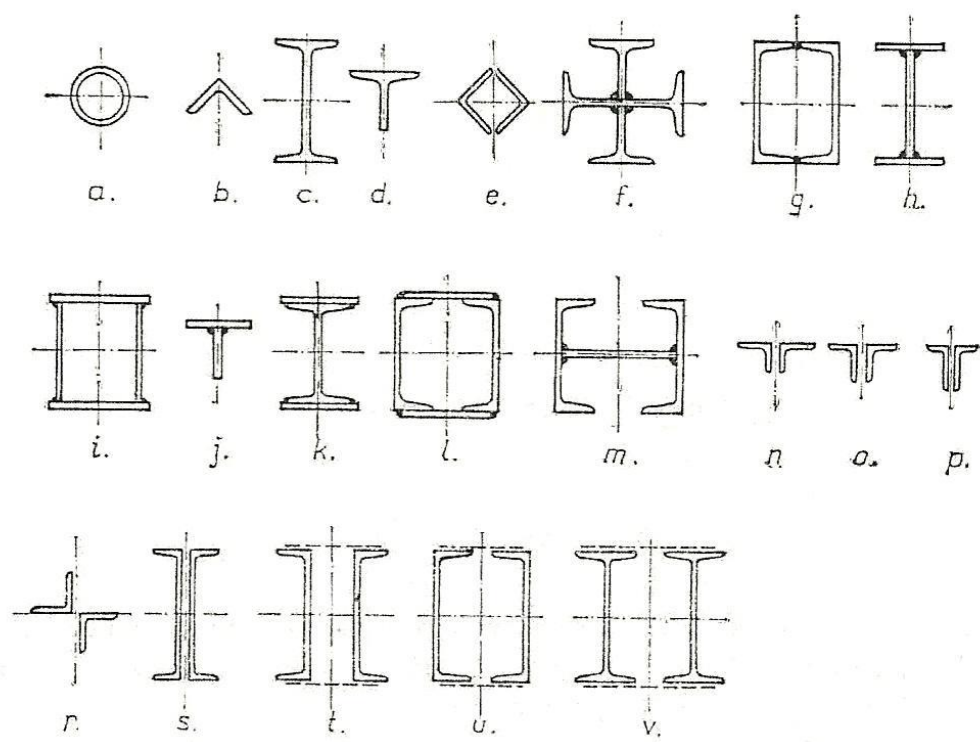
Secțiuni unitare (fig. 2.2, a, b, c, d)

Secțiuni compuse din elemente

Alipite (fig. 2.2, e, f, g, h, i, j, k, l, m)

Puțin depărtate (fig. 2.2, n, o, p, r, s)

Mult depărtate (fig. 2.2, t, u, v)



Fenomenul de pierdere a stabilității

- Studiul stabilității barei comprimate – fenomen foarte complex – a evoluat în decursul timpului în sensul cuprinderii în calcule a unui număr cât mai mare de parametrii de care depinde în mod real capacitatea portantă a barei.
- Astfel, printre altele, sunt luate în considerare formele prin care își pierde stabilitatea o bară solicitată la compresiune axială: *flambaj prin încovoiere, încovoiere – răsucire și răsucire*.
- Un alt element nou, introdus în calcule, se referă la valorile coeficienților ϕ pentru barele comprimate axial.
- Odată stabilită valoarea rezistenței critice σ_{cr} pentru diverse valori ale coeficientului de zveltețe, se poate stabili rezistența admisibilă la flambaj σ_{af} împărțind valoarea lui σ_{cr} la un coeficient de siguranță c_f :

$$\sigma_{af} = \frac{\sigma_{cr}}{c_f}$$

•Dimensionarea barelor:

$$A_b = \frac{N}{\sigma_{af}}$$

•Verificarea barelor:

$$\sigma_{ef} = \frac{N}{A_b} \leq \sigma_{af}$$

N este efortul de compresiune din bară;

A_b – secțiunea brută a barei

•Pentru simplificarea calculelor, în practică comparația se face tot cu rezistența admisibilă la întindere σ_a .

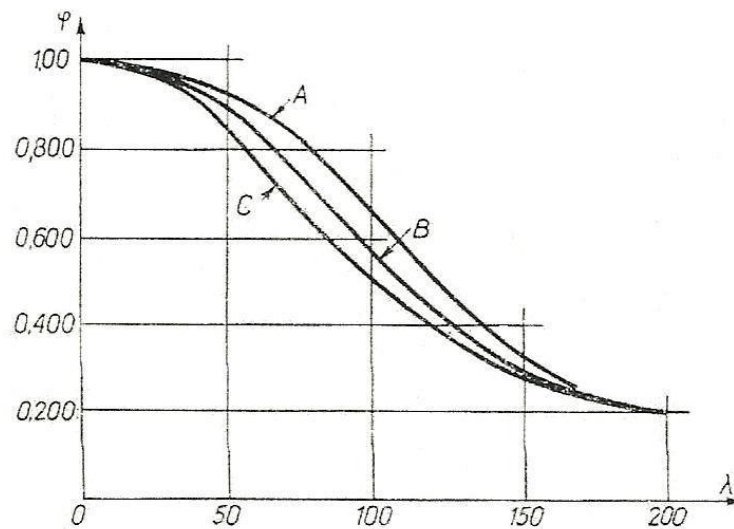
$$\frac{N}{A_b} \leq \frac{\sigma_{af}}{\sigma_a} \cdot \sigma_a = \varphi \cdot \sigma_a$$

$$\varphi = \frac{\sigma_{af}}{\sigma_a} \text{ - coeficient de flambaj}$$

$$\varphi = \frac{1}{\left(a + b\bar{\lambda}^2\right) + \sqrt{\left(a + b\bar{\lambda}^2\right)^2 - c \cdot \bar{\lambda}^2}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E} \quad \lambda = \frac{l_f}{i} \quad \lambda_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{R_c}}$$

	A	B	C
a	0,5	0,5	0,5
b	0,514	0,554	0,532
c	0,795	0,738	0,377

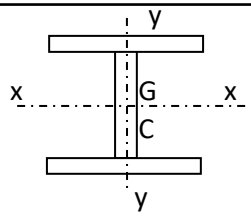
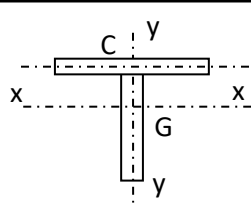


Verificarea barelor comprimate

•Teoretic, barele comprimate își pot pierde stabilitatea, în funcție de tipul secțiunii, în următoarele moduri:

-Prin încovoiere, în cazul secțiunilor al căror centru de greutate G coincide cu centrul de răsucire C ;

-Prin încovoiere-răsucire, în cazul secțiunilor al căror centru de greutate nu coincide cu centrul de răsucire (secțiuni T, U, I nesimetric).

Tipul secțiunii	Modul de pierdere a stabilității	
	x - x	y - y
 <p>The diagram shows a symmetric I-section. A vertical dashed line represents the y-axis, and a horizontal dashed line represents the x-axis. The center of gravity is labeled 'G' and the center of twist is labeled 'C'. Both points are located at the same position in the center of the web, indicating they coincide.</p>	încovoiere	Încovoiere
 <p>The diagram shows an asymmetric I-section. A vertical dashed line represents the y-axis, and a horizontal dashed line represents the x-axis. The center of gravity is labeled 'G' and the center of twist is labeled 'C'. The center of twist 'C' is located on the top flange, while the center of gravity 'G' is located in the web, showing they do not coincide.</p>	încovoiere-răsucire	încovoiere

Verificarea barelor cu secțiuni plină sau compusă din elemente puțin depărtate care își pierd stabilitatea prin încovoiere

- Verificarea se face cu relația:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R$$

în care:

N este efortul axial de calcul;

φ – coeficientul minim de flambaj al barei;

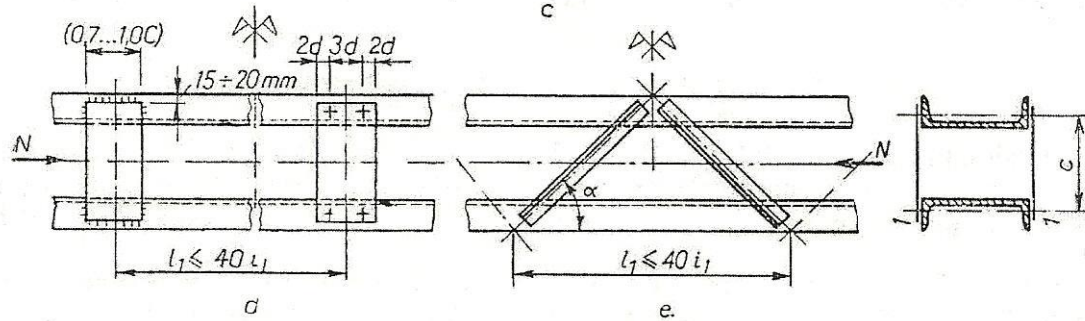
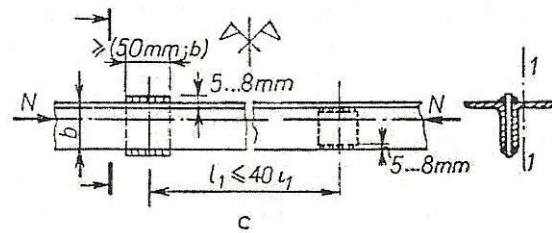
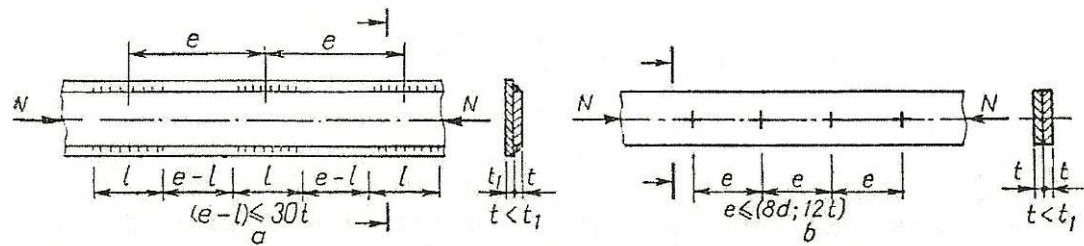
A – aria secțiunii brute a barei;

R – rezistența de calcul a oțelului.

- Verificarea barelor cu secțiune compusă din elemente puțin depărtate solidarizate cu plăcuțe se face cu aceeași relație dacă sunt îndeplinite condițiile:

-elementele secțiunii se solidarizează cu plăcuțe la distanța $l_1 \leq 40 \cdot i_1$; i_1 este raza de inerție a unui singur element în raport cu axa proprie 1 – 1 paralelă cu planul plăcuței;

- pe lungimea barei sunt cel puțin două plăcuțe de solidarizare.



Verificarea barelor cu secțiune plină sau compusă din elemente puțin depărtate care își pierd stabilitatea prin încovoiere

1. Elemente cunoscute:

- efortul axial de calcul N
- marca oțelului folosit R
- secțiunea barei;
- lungimea barei;
- legăturile barei la capete.

2. Calculează aria secțiunii brute a barei A .

3. Calculează razele de inerție i_x, i_y , față de axele principale centrale ale secțiunii

4. Calculează lungimile de flambaj ale barei l_x, l_y

5. Se calculează coeficienții de zveltețe:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} \leq \lambda_o; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \leq \lambda_o$$

6. Stabilește coeficienții de flambaj în funcție de curba de încadrare a secțiunii, coeficientul de zveltețe și marca oțelului:

$$\begin{array}{l} \lambda_x \xrightarrow{\text{Curba...}} \varphi_x \\ \quad \quad \quad \text{Oțel...} \\ \lambda_y \xrightarrow{\text{Curba...}} \varphi_y \\ \quad \quad \quad \text{Oțel...} \end{array}$$

7. Stabilește coeficientul minim de flambaj:

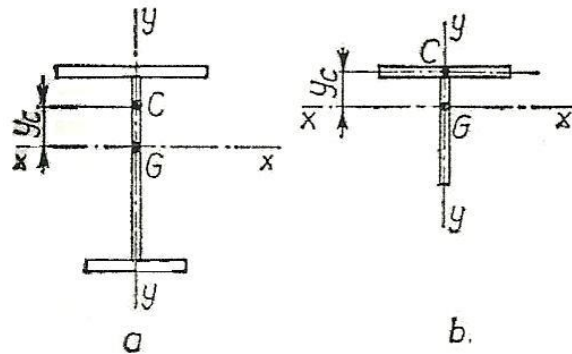
$$\varphi = \min(\varphi_x, \varphi_y)$$

8. Verifică îndeplinirea condiției de stabilitate:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R$$

Verificarea barelor cu secțiune plină care își pierd stabilitatea prin încovoiere-răsucire

- Verificarea se face cu aceeași relație ca la barele care își pierd stabilitatea prin încovoiere ($N/\varphi A \leq R$) cu următoarele particularități față de schema anterioară:
 - *operația 5*: se calculează în afară de λ_x și λ_y și o valoare corectată λ_{ytr} a coeficientului de zveltețe pentru pierderea stabilității prin încovoiere-răsucire în planul perpendicular pe planul de simetrie;
 - *operația 6*: se stabilește, în afară de φ_x , φ_y și un coeficient φ_{ytr} în funcție de λ_{ytr} pe curba de flambaj B;
 - *operația 7*: $\varphi = \min(\varphi_x; \varphi_y; \varphi_{ytr})$



y_c reprezintă poziția centrului de răsucire în raport cu centrul de greutate;

I_x, I_y – momentele de inerție ale secțiunii în raport cu axa $x-x$, respectiv $y-y$;

I_r – moment de inerție la răsucire;

I_ω – moment de inerție sectorial;

l_0 – distanța între punctele în care este împiedicată constructiv răsucirea barei în jurul axei longitudinale;

μ – coeficient care multiplică lungimea barei în funcție de gradul de încastrare la capete;

μ_0 – coeficient care ține seama de gradul de împiedicare a deplanării secțiunii barei.

Verificarea barelor cu secțiune plină care își pierd stabilitatea prin încovoiere-răsucire

1. Elemente cunoscute:

- efortul axial de calcul N ;
- marca oțelului folosit R ;
- secțiunea barei;
- lungimea barei l ;
- legăturile barei la capete și cele intermediare

2. Calculează caracteristicile secțiunii A , poziția centrului de greutate y_c , poziția centrului de răsucire y_p , I_x , I_y , I_p , I_x , I_y

3. Calculează razele de inerție:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_p = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

$$i_c = \sqrt{i_p^2 + y_c^2}$$

4. Calculează coeficientul:

$$c^2 = \frac{I_w (\mu l)^2 / (\mu_0 l_0)^2 + 0,039 (\mu l)^2 I_y}{I_y}$$

5. Calculează coeficienții de zveltețe:

$$\lambda_x = \frac{l_{fk}}{i_x} = \frac{\mu_x l}{i_x} \leq \lambda_0$$

$$\lambda_y = \frac{l_{fk}}{i_y} = \frac{\mu_y l}{i_y} \leq \lambda_0$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{c^2 + i_c^2}{2c^2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4c^2 [i_p^2 + 0,093(\mu^2 / \mu_0^2 - 1) y_c^2]}{(c^2 + i_c^2)^2}} \right]}$$

$$\lambda_{ov} = \gamma_2 \cdot \lambda_y$$

6. Stabilește coeficienții de flambaj în funcție de curba de încadrare a secțiunii, coeficientul de zveltețe și marca oțelului:

$$\lambda_x \begin{array}{l} \text{Curba...} \\ \text{Oțel...} \end{array} \rightarrow \varphi_x$$

$$\lambda_y \begin{array}{l} \text{Curba...} \\ \text{Oțel...} \end{array} \rightarrow \varphi_y$$

$$\lambda_{ov} \begin{array}{l} \text{Curba...} \\ \text{Oțel...} \end{array} \rightarrow \varphi_{ov}$$

7. Stabilește coeficientul minim de flambaj:

$$\psi = \min(\varphi_x; \varphi_y; \varphi_{ov})$$

8. Verifică îndeplinirea condiției de stabilitate:

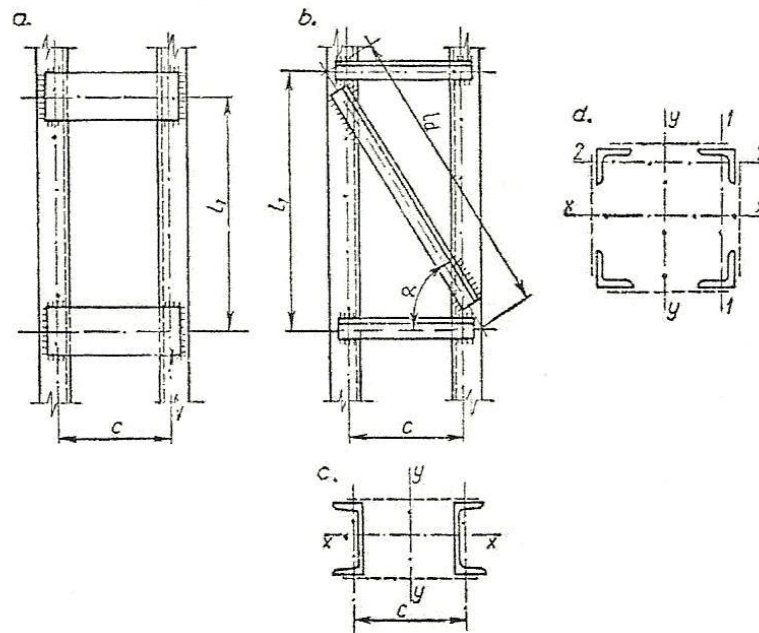
$$\frac{N}{\varphi A} \leq R$$

Verificarea barelor cu secțiune compusă din elemente mult depărtate solidarizate cu plăcuțe sau zăbreluțe

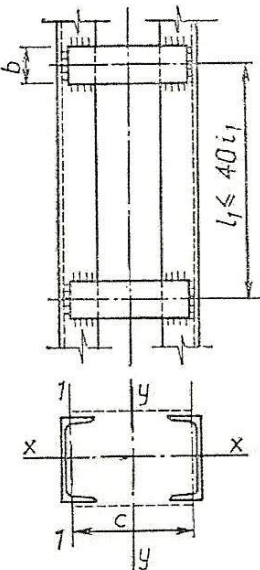
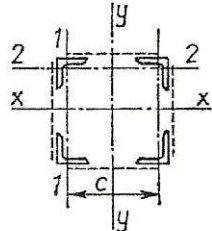
• Verificarea se face cu aceeași relație ca la barele cu secțiune plină care își pierd stabilitatea prin încovoiere ($N/\varphi A \leq R$) cu următoarele particularități față de schema anterioară:

- *operația 5*: se calculează valori corectate ale coeficienților de zveltețe în raport cu axele care nu taie materialul secțiunii (figura de mai jos); expresiile acestor coeficienți sunt date în tabelul 2.5 pentru elemente solidarizate cu plăcuțe și în tabelul 2.6 pentru elemente solidarizate cu zăbreluțe;

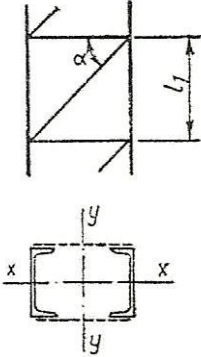
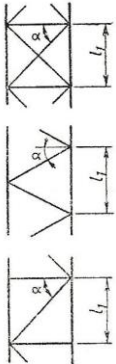
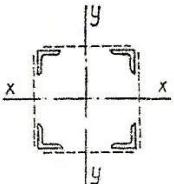
- pentru ca ramurile să nu flambeze (pe distanța între două noduri) înaintea barei în ansamblu, coeficientul de flambaj al ramurii φ_1 trebuie să fie mai mare decât coeficientul de flambaj al barei φ :



Tabelul 2.5

Secțiunea	Expresiile coeficienților de zveltețe
1	2
Secțiuni compuse din două elemente (fig. 2.10, a, c) solidarizate cu plăcuțe	
	$\lambda_x = \frac{l_{\text{eff}}}{i_x}$ $\lambda_{\text{yer}} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2 \frac{\pi^2}{12} \left(1 + \frac{cI_1}{l_1 I_y}\right)}$; când $\frac{l_y \cdot l_1}{I_1 \cdot c} \geq 5$ se poate lua: $\lambda_{\text{yer}} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$ unde: $\lambda_y = \frac{l_{\text{eff}}}{i_y}; \quad \lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}$ <p>I_1 reprezintă momentul de inerție al unei ramuri în raport cu axa proprie 1 - 1; i_1 - raza de inerție a unei ramuri în raport cu axa proprie 1 - 1; I_y - momentul de inerție al secțiunii unei plăcuțe:</p> $I_y = \frac{tb^3}{12}$ <p>c, l_1 - ca în figură</p>
Secțiuni compuse din patru elemente (fig. 2.10, a, d) solidarizate cu plăcuțe	
	$\lambda_{\text{yer}} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}$ unde: $\lambda = \max(\lambda_x; \lambda_y)$ $\lambda_x = \frac{l_{\text{eff}}}{i_x}; \quad \lambda_y = \frac{l_{\text{eff}}}{i_y}$ $\lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}; \quad \lambda_2 = \frac{l_2}{i_2}$

Tabelul 2.6

Sistemul de solidarizare	Expresiile coeficienților de zveltețe
<p data-bbox="546 87 1222 108">Secțiuni compuse din două elemente (fig. 2.10, b, c) solidarizate cu zăbrele</p> 	$\lambda_x = \frac{l_{jk}}{i_x}$ $\lambda_{yw} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 A \left(\frac{1}{A_d \sin \alpha \cos^3 \alpha} + \frac{\cos \alpha}{A_m \sin \alpha} \right)}$ <p data-bbox="909 301 1508 365">când $A_m = A_d \cos \alpha$ și notând $n = \pi^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^3 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)$, rezultă:</p> $\lambda_{yw} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 \frac{A}{A_d} \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^3 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)} = \sqrt{\lambda_y^2 + n \frac{A}{A_d}}$ <p data-bbox="909 486 1070 551">unde: $\lambda_y = \frac{l_{jk}}{i_y}$;</p> <p data-bbox="909 562 1392 634">A reprezintă aria secțiunii barei; A_d - aria secțiunii normale a diagonalelor din panou; A_m - aria secțiunii montanților dintr-un plan orizontal</p>
	$\lambda_x = \frac{l_{jk}}{i_x}$ $\lambda_{yw} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 \frac{A}{A_d} \frac{1}{\sin \alpha \cos^3 \alpha}} = \sqrt{\lambda_y^2 + n \frac{A}{A_d}}$ <p data-bbox="909 825 967 846">unde:</p> $\lambda_y = \frac{l_{jk}}{i_y}$ <p data-bbox="909 932 1387 982">A reprezintă aria secțiunii barei; A_d - aria secțiunii normale a diagonalelor din panou;</p> $n = \frac{\pi^2}{\sin \alpha \cos^3 \alpha}$
<p data-bbox="546 1058 1222 1079">Secțiuni compuse din patru elemente (fig. 2.10, b, d) solidarizate cu zăbrele</p>	
<p data-bbox="546 1115 861 1158">Solidarizare ca în cele patru cazuri anterioare</p> 	$\lambda_w = \sqrt{\lambda^2 + n_1 \frac{A}{A_{d1}} + n_2 \frac{A}{A_{d2}}}$ <p data-bbox="909 1215 1344 1265">unde: $\lambda = \max(\lambda_1; \lambda_2)$; n_1, n_2 corespund planurilor 1-1, respectiv 2-2</p>

Verificarea barelor cu secțiune compusă din elemente mult depărtate solidarizate cu plăcuțe (fig. 5.5, a, c)

1. Elemente cunoscute:
- efortul axial de calcul N
- marca oțelului folosit R
- secțiunea barei
- lungimea barei l
- legăturile barei la capete

2. Calculează caracteristicile secțiunii:
 $A; I_x; I_y; I_z$

3. Calculează razele de inerție:
 $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
 $i_l = \sqrt{\frac{I_l}{A}}$

4. Calculează coeficienții de zveltețe:
 $\lambda_x = \frac{l_{\text{pe}}}{i_x} \leq \lambda_a$
 $\lambda_{y_{\text{pe}}} = \dots \leq \lambda_a$ (tab. 2.5, 2.6)
 $\lambda_l = \frac{l_l}{i_l} \leq 40$

5. Stabilește coeficienții de flambaj în funcție de curba de încadrare a secțiunii, coeficientul de zveltețe și marca oțelului:

λ_x — Curba... —> φ_x
Oțel...

$\lambda_{y_{\text{pe}}}$ — Curba... —> $\varphi_{y_{\text{pe}}}$
Oțel...

λ_l — Curba... —> φ_l
Oțel...

6. Stabilește coeficientul minim de flambaj:
 $\varphi = \min(\varphi_x; \varphi_{y_{\text{pe}}})$

7. Verifică îndeplinirea condiției:
 $\varphi_l \geq \varphi$

8. Verifică condiția de stabilitate:
 $\frac{N}{\varphi A} \leq R$

9. Verifică stabilitatea locală (v. paragraful următor)

10. Verifică elementele de solidarizare

Dimensionarea barelor solicitate la compresiune

- Dimensionarea secțiunilor barelor comprimate centric se face în funcție de solicitarea maximă N , de rezistența admisibilă a materialului folosit σ_a , de lungimile de flambaj ale barelor după direcțiile principale I_{fx} și I_{fy} .
- Alegerea secțiunii se face și în funcție de destinația barei, de forma secțiunii și de zveltețea maximă admisă de norme λ_a .
- Determinarea ariei brute se face cu formula:

$$A_{b,nec} = \frac{N}{\varphi \cdot \sigma_a}.$$

- Secțiunea definitivă se stabilește prin încercări succesive sau se poate impune un coeficient de zveltețe λ cuprins în limitele coeficientului de zveltețe admisibil λ_a

- În practică se folosesc unele metode aproximative de dimensionare.
- Una dintre aceste metode, cel mai des folosită, este metoda coeficientului de profil K . S-a constatat că pentru o anumită secțiune raportul:

$$\frac{A}{i^2} = \frac{A^2}{I} = K$$

este aproximativ constant, indiferent de mărimea profilelor care alcătuiesc secțiunea respectivă, iar K poartă denumirea de coeficient de profil.

- Pentru dimensionarea secțiunii se pleacă de la formula de verificare:

$$\frac{N}{\varphi A_b} = \sigma_a,$$

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a}{N};$$

înmulțind această relație cu λ^2 rezultă:

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a \cdot \lambda^2}{N};$$

înlocuind în membrul doi pe $\lambda^2 = \frac{l_f^2}{i^2}$

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a \cdot l_f^2}{i^2 \cdot N}.$$

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{K \cdot \sigma_a \cdot l_f^2}{N};$$

scoțând radical din ambii membri relația poate fi scrisă:

$$\frac{\lambda}{\sqrt{\varphi}} = l_f \sqrt{\frac{K \cdot \sigma_a}{N}} = \xi.$$

Metoda coeficientului de profil, K ,

$$K = \frac{A^2}{I}$$

1. Elementele cunoscute:

- efortul axial de calcul N
- lungimea barei l
- legăturile barei

2. Propune:

- tipul secțiunii
- marca oțelului R

3. Calculează lungimile de flambaj ale barei: l_{fx} ; l_{fy}

4. Extrage din tabele coeficienții de profil K_x , K_y

5. Calculează coeficienții:

$$\xi_x = \sqrt{\frac{K_x \cdot l_{fx}^2 \cdot R}{N}}$$
$$\xi_y = \sqrt{\frac{K_y \cdot l_{fy}^2 \cdot R}{N}}$$

6. Stabilește din tabele, coeficientul minim de flambaj în funcție de ξ_x , ξ_y

7. Calculează aria necesară:

$$A_{nec} = \frac{N}{\varphi \cdot R}$$

8. Propune o secțiune cu:

$$A_{ef} \approx A_{nec}$$

Metoda mixtă

1. Elemente cunoscute:
- efortul axial de calcul N
- lungimea barei l
- legăturile barei

2. Propune:
- tipul secțiunii
- marca oțelului R

3. Calculează lungimile de flambaj ale barei: l_{fx} , l_{fy}

4. Extrage din tabele coeficienții de profil K_x , K_y și coeficienții razelor de girație α_x , α_y

5. Calculează coeficienții:

$$\xi_x = \sqrt{\frac{K_x \cdot l_{fx}^2 \cdot R}{N}}$$
$$\xi_y = \sqrt{\frac{K_y \cdot l_{fy}^2 \cdot R}{N}}$$

6. Stabilește coeficientul de flambaj φ și coeficientul de zveltețe λ , în funcție de $\max(\xi_x, \xi_y)$

7. Calculează elementele necesare alegerii secțiunii:

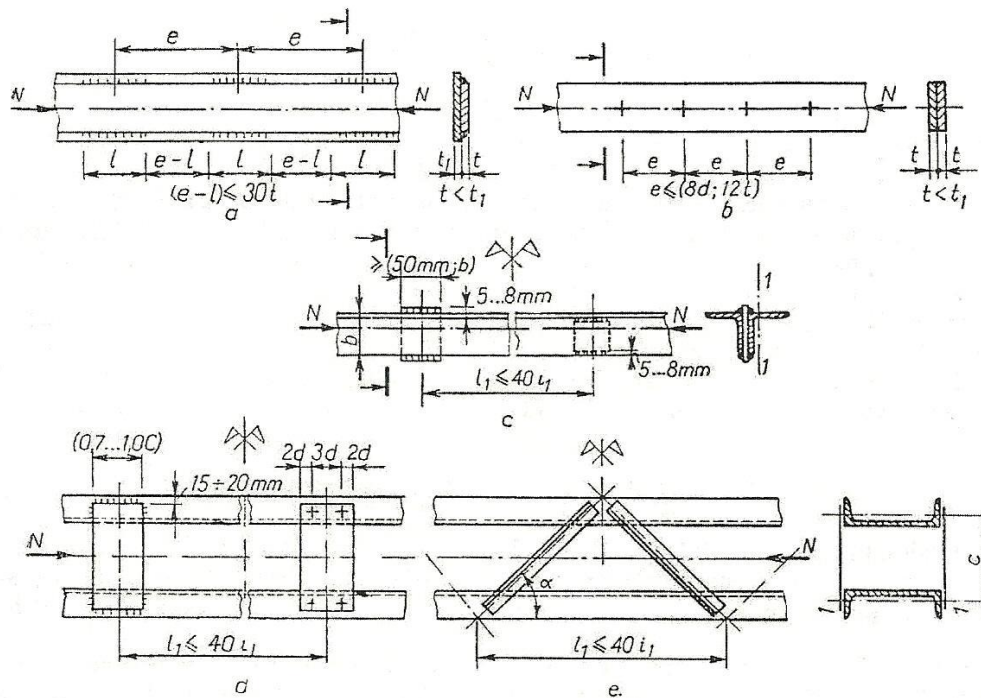
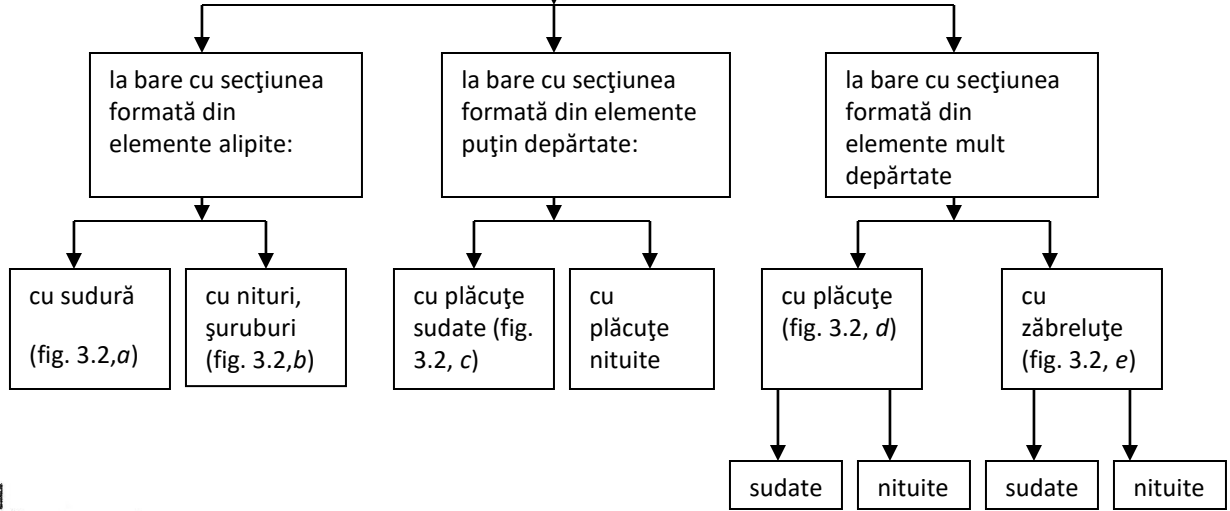
$$A_{nec} = \frac{N}{\varphi \cdot R}$$
$$h_{nec} = \frac{l_{fx}}{\alpha_x \cdot \lambda}$$
$$b_{nec} = \frac{l_{fy}}{\alpha_y \cdot \lambda}$$

8. Propune o secțiune astfel încât:

$$A_{ef} \approx A_{nec}$$
$$h_{ef} \approx h_{nec}$$
$$b_{ef} \approx b_{nec}$$

Condiții constructive

Solidarizarea elementelor secțiunilor comprimate (fig. 3.2)



• Pentru a lucra unitar, elementele secțiunilor compuse se solidarizează între ele; în figurile 3.1 și 3.2 sunt indicate posibilități de solidarizare a elementelor secțiunilor compuse.

Criterii de alcătuire economică

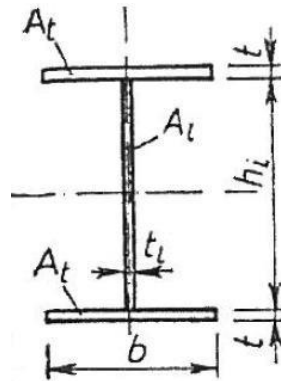
Alcătuirea economică a secțiunii unei bare comprimate presupune analiza mai multor aspecte:

- tipul secțiunii folosite;
- geometria secțiunii;
- marca oțelului.

Tipul secțiunii. Așa cum s-a arătat, secțiunile barelor folosite în structuri metalice pot fi încadrate, în funcție de tipul lor, în trei curbe de flambaj A, B, C, cărora le corespund valori diferite ale coeficienților de flambaj; în consecință este indicat să fie alese acele tipuri de secțiuni pentru care se obțin coeficienții de flambaj φ mai mari (de preferat sunt secțiunile care se încadrează în curba de flambaj A).

Geometria secțiunii. Distribuția materialului în secțiune, în cazul secțiunilor compuse din tablă, are o mare influență asupra coeficientului de zveltețe λ și în consecință și asupra ariei necesare a secțiunii

Marca oțelului. Alegerea judicioasă a mărcii de oțel în funcție de coeficientul de zveltețe al barei are, de asemenea, o influență semnificativă asupra consumului de oțel. De exemplu, pentru secțiunea din figura 3.3, $\lambda = 60$, dacă în loc de oțel OL 52 se folosește oțel OL 37 (S235), rezultă un spor al ariei secțiunii, de circa 17%.



Aplicație:

Să se alcătuiască bara comprimată 6 – 8 a tălpii superioare a unei grinzi cu zăbrele (fig. 5.8) cunoscând:

- efortul axial de compresiune, $N_{6-8} = 650 \text{ kN}$;
- se vor lua în considerare trei tipuri de secțiuni:
 - A – țeavă laminată la cald (fig. 5.8, b);
 - B – secțiune din două corniere (fig. 5.8, c);
 - C – profil T, compus din tablă sudată (fig. 5.8, d);
- oțelul folosit este OL 52.

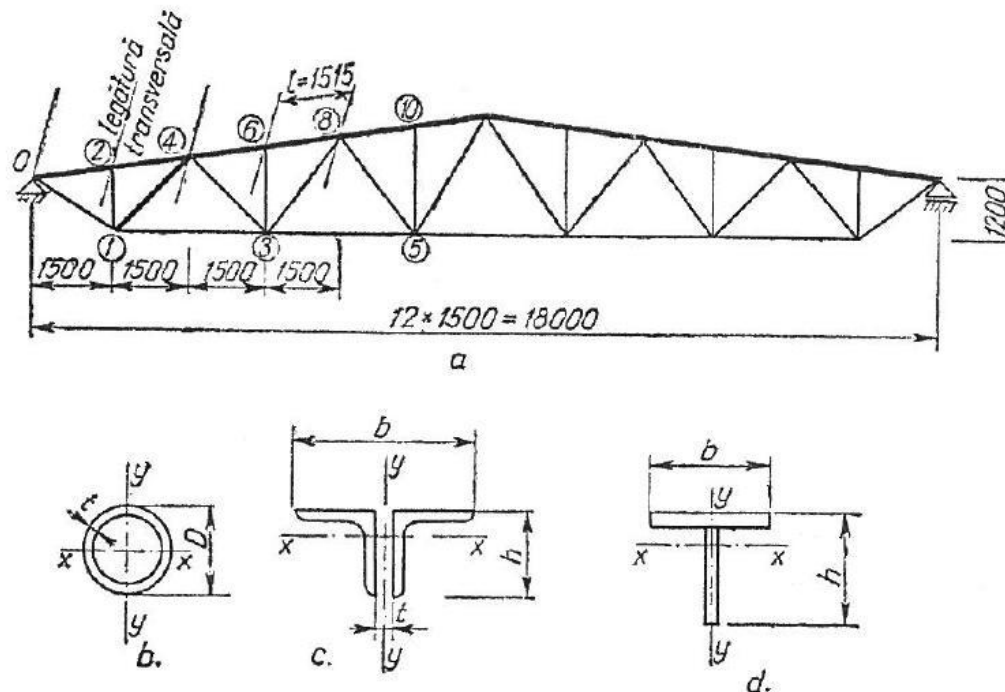


Fig. 5.8

Partea I – Calcul de dimensionare cu metoda mixtă

Partea II – Calcul de verificare a secțiunii

A. Secțiune formată din țevă laminată la cald

1. Elemente cunoscute:

- efortul axial de calcul N ;
 - lungimea barei l ;
 - legăturile barei.
-
- $N = 650$ kN;
 - $l = 1515$ mm;
 - bara are legături ca în figura 5.8, *a*.

2. Propune:

- tipul secțiunii;
 - marca oțelului R .
-
- se propune o secțiune ca în figura 5.8, *b*;
 - se propune oțel OL 52,
 $R = 315$ N/mm²

3. Calculează lungimile de flambaj: l_{fx} ; l_{fy}

Lungimile de flambaj sunt egale pe ambele direcții

$$l_{fx} = l_{fy} = l = 1515 \text{ mm.}$$

4. Extrage din tabele coeficientul de profil K și coeficientul razei de girație, α .

$$K = 28 \frac{t}{D} \approx 28 \cdot 0,1 = 2,8;$$

$$\alpha = 0,350.$$

5. Calculează coeficientul:

$$\xi = \sqrt{\frac{K \cdot l_f^2 \cdot R}{N}}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{2,8 \cdot 1515^2 \cdot 315}{650 \cdot 10^3}} = 55,81$$

6. Se determină coeficienții φ , λ , din tabele sau analitic.

Pentru oțel OL 52, curba A, rezultă: $\varphi = 0,861$; $\lambda = 52$

7. Calculează elementele necesare alegerii secțiunii:

$$A_{nec} = \frac{N}{\varphi R}$$

$$D_{nec} = \frac{l_f}{\alpha \cdot \lambda}$$

$$A_{nec} = \frac{650 \cdot 10^3}{0,861 \cdot 315} = 2397 \text{ mm}^2 = 23,97 \text{ cm}^2;$$

$$D_{nec} = \frac{1515}{0,350 \cdot 52} = 83,24 \text{ mm.}$$

8. Propune o secțiune astfel încât:

$$A_{ef} \approx A_{nec}$$

$$D_{ef} \approx D_{nec}$$

Se propune o țevă 102X8 cu:

$$A = 23,6 \text{ cm}^2;$$

$$D = 102 \text{ mm}; i = 3,34 \text{ cm}$$

Partea II - Verificarea secțiunii

Elemente solicitate la încovoiere

- Elementele solicitate la încovoiere se realizează sub forma unor grinzi cu inimă plină, alcătuite din profile laminate I sau U, în cazul deschiderilor și încărcărilor mici și sub forma unor secțiuni compuse sudate sau nituite, în cazul deschiderilor și încărcărilor mai mari.
- Pentru dimensionarea grinzilor cu inimă plină este necesar să se stabilească în prealabil:
 - schema statică și deschiderile de calcul;
 - acțiunile care solicită grinda și modul lor de aplicare.

Verificarea secțiunilor elementelor solicitate la încovoiere

Verificări de rezistență

- Verificarea eforturilor unitare normale maxime:*

$$\sigma_{ef \max} = \frac{M_{\max}}{I_x} y_{\max} \leq \sigma_a,$$

în care:

M_{\max} este momentul de încovoiere maxim;

I_x - momentul de inerție net al secțiunii;

y_{\max} - distanța de la axa neutră până la fibra extremă a secțiunii.

- Verificarea eforturilor unitare tangențiale maxime:

$$\tau_{ef \max} = \frac{T_{\max} S_b}{t_i I_b} \leq \tau_a,$$

În care:

T_{\max} este forța tăietoare maximă;

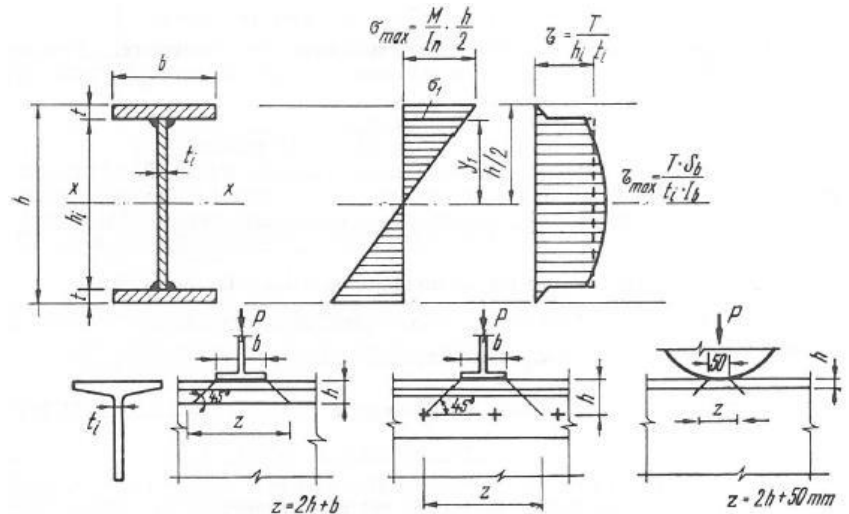
S_b - momentul static brut al jumătății de secțiune în raport cu axa neutră;

t_i - grosimea inimii;

I_b - momentul de inerție brut al întregii secțiuni în raport cu axa neutră.

- Verificarea eforturilor unitare date de o forță concentrată aplicată pe talpa superioară și care acționează între rigidizările transversale se face cu relația:

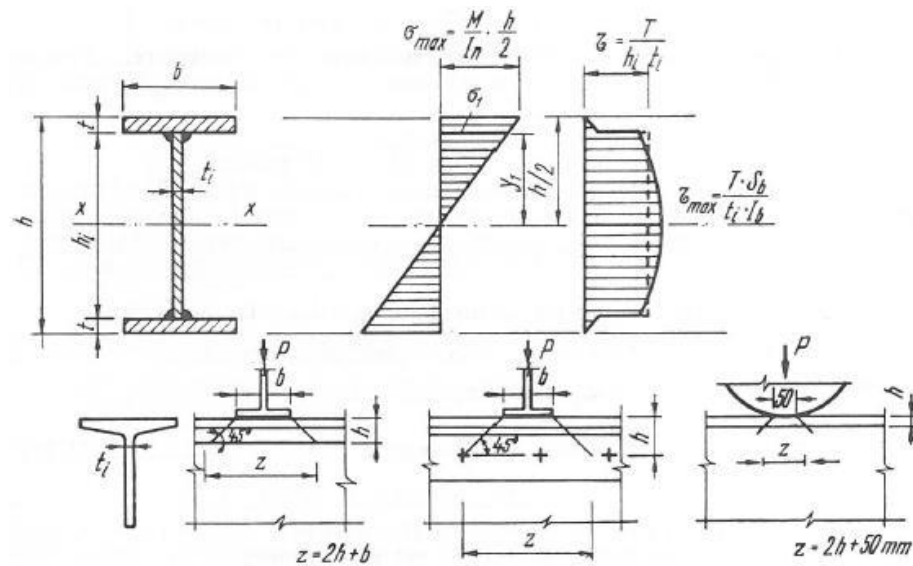
$$\sigma_l = \frac{P_{\max}}{z \cdot t_i} \leq \sigma_a$$



În care:

P_{\max} este forța concentrată;

z - lungimea de repartiție, măsurată la profilele laminate la începutul racordului inimii cu talpa, la secțiunile compuse nituite în dreptul niturilor de gât, iar la secțiunile compuse sudate la marginea superioară a inimii.



Verificarea eforturilor unitare echivalente în inimile grinzilor se face obișnuit la nivelul îmbinării dintre inimă și talpă (cordon de sudură) cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \leq 1,1\sigma_a$$

sau când există forțe concentrate cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_l^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_l + 3\tau^2} \leq 1,2\sigma_a$$

În care:

σ_1 este efortul unitar normal la nivelul legăturii dintre inimă și talpă, calculat cu relația:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I_x} y_1$$

τ - efortul unitar tangențial calculat cu relația 4.3;

σ_l - efortul unitar local, dat de încărcarea concentrată.

Eforturile unitare normale σ_1 și σ_l se introduc cu semnele lor.

Verificări de stabilitate.

Aceste verificări cuprind:

- *Verificarea stabilității generale* care se consideră asigurată când este satisfăcută relația:

$$i_y \geq \frac{l_c}{40}$$

în care:

l_c - este distanța între punctele fixe ale tălpii comprimate;

i_y - raza de girație a tălpii comprimate în raport cu axa $y - y$ din planul inimii grinzii, considerând:

- secțiunea tălpii, la grinzi laminate;
- platbandele tălpii și aripile orizontale ale cornierelor la grinzi nituite;
- platbandele tălpii, la grinzi sudate.

•*Verificarea condițiilor constructive.*

Verificarea condițiilor constructive la elementele solicitate la încovoiere cuprinde verificarea dimensiunilor minime ale pieselor și mijloacelor de îmbinare folosite, verificarea condițiilor tehnologice de execuție, de gabarit etc.

Elemente solicitate la răsucire

- Solicitarea de răsucire poate apare la elementele de construcții metalice atunci când forțele exterioare nu trec prin centrul de răsucire sau când elementului i se aplică direct momente de răsucire concentrate sau distribuite.
- Centrul de răsucire reprezintă punctul prin care trece rezultanta eforturilor unitare tangențiale din secțiunea transversală. Dacă forțele exterioare trec prin centrul de răsucire, secțiunea considerată nu se rotește.
- Poziția centrului de răsucire, în raport cu centrul de greutate al secțiunii, se determină cu relațiile:

$$x_c = \frac{\int \omega_0 \cdot y \cdot dA}{I_x}$$

$$y_c = \frac{\int \omega_0 \cdot x \cdot dA}{I_y}$$

unde ω_0 este suprafața sectorială determinată față de polul G (centrul de greutate).

•În cazul secțiunilor dublu simetrice poziția centrului de răsucire corespunde cu poziția centrului de greutate (fig. 4.2, a-c)

•La secțiunile cu o singură axă de simetrie, centrul de răsucire se află pe axa respectivă (fig. 4.2, d), poziția sa fiind determinată față de centrul de greutate cu relațiile prezentate anterior.

•La secțiunile de tipul cornierelor, profilelor T sau în formă de cruce, poziția centrului de răsucire corespunde aproximativ cu punctul de intersecție al medianelor secțiunii transversale (fig. 4.2, e-h).

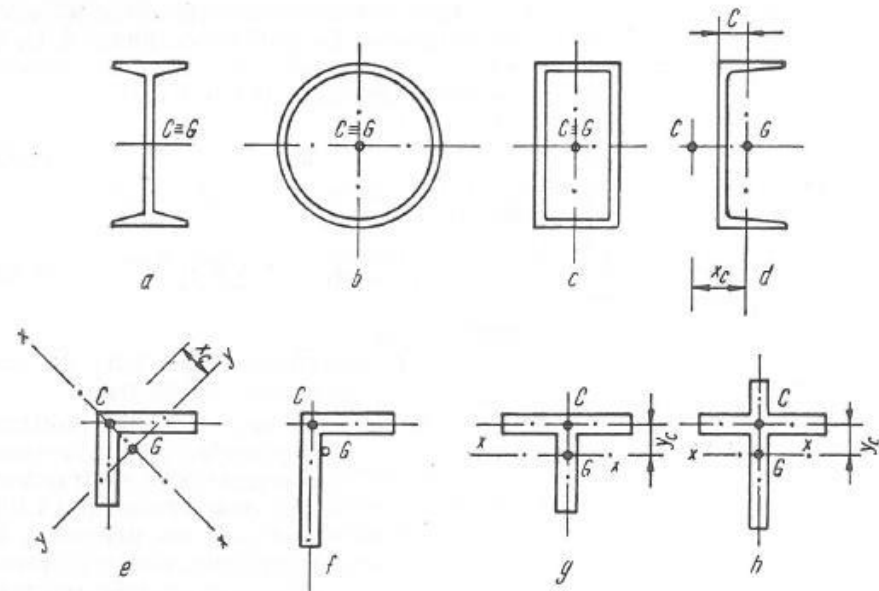


Fig. 4.2

•Datorită momentelor de răsucire secțiunea transversală a barei se deplanează. Când deplanarea secțiunilor transversale nu este împiedicată, iar rotirea specifică este constantă, răsucirea se numește *răsucire liberă*, iar când deplanarea secțiunilor transversale nu este liberă și deci rotirea specifică nu mai este constantă se numește *răsucire împiedicată*.

Alcătuirea secțiunilor.

•Secțiunile transversale ale elementelor solicitate la răsucire se recomandă să fie astfel alese încât momentele de răsucire să rezulte minime, adică încărcările să treacă pe cât posibil prin centrul de răsucire C .

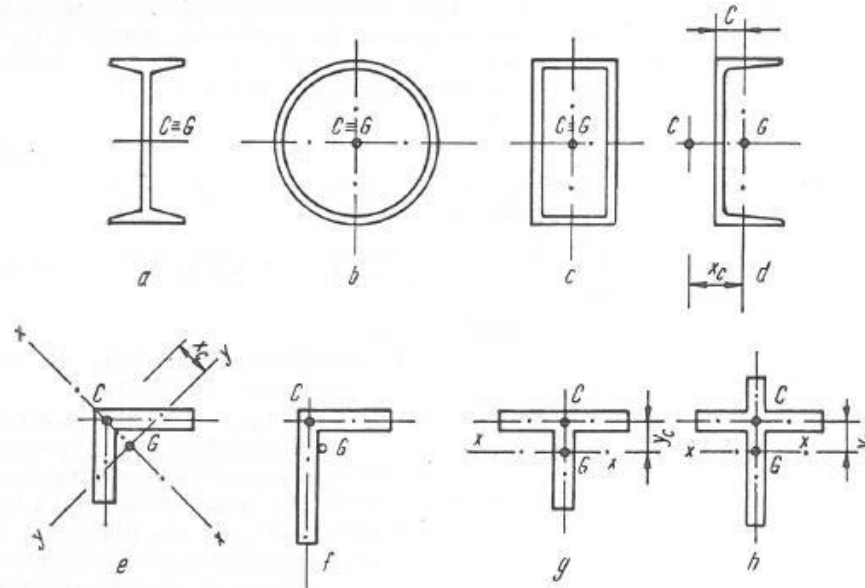


Fig. 4.2

Verificarea secțiunilor

Verificarea secțiunilor pline. La secțiunile pline, efortul unitar tangențial maxim din răsucire se verifică cu relația:

$$\tau_{r \max} = \frac{M_r}{W_r} \leq \tau_a$$

unde W_r este modulul de rezistență la răsucire, care depinde de forma secțiunii transversale. Pentru secțiuni circulare:

$$W_r = \frac{\pi}{2} r^3$$

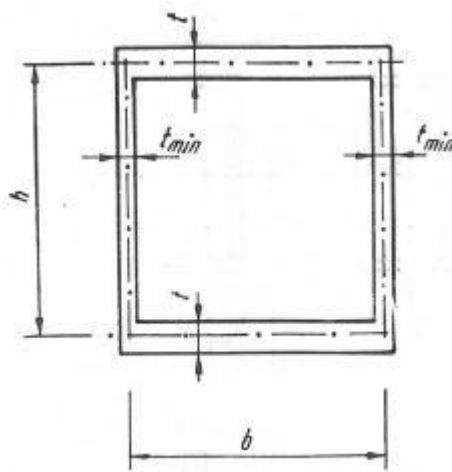
• *Verificarea secțiunilor închise cu pereți subțiri.* În cazul acestor secțiuni efortul tangențial maxim de răsucire se verifică cu formula lui Bredt:

$$\tau_{r \max} = \frac{M_r}{W_r} = \frac{M_r}{2A_m \cdot t_{\min}} \leq \tau_a$$

În care:

A_m este suprafața închisă de linia mediană a peretelui secțiunii;

t_{\min} - grosimea minimă a peretelui secțiunii.



Elemente supuse la solicitări compuse

• **Elemente solificate la încovoiere oblică.** Există unele elemente de construcții la care planul de acțiune al forțelor nu coincide cu nici unul din planele de inerție ale secțiunii transversale. Acest lucru se poate întâlni la elementele supuse la încărcări verticale, a căror secțiune este înclinată, ceea ce face ca axele de inerție principale să nu fie verticale, sau la elemente la care direcția rezultantei încărcărilor este înclinată față de axele de inerție ale secțiunii.

• Verificarea de rezistență a acestor elemente se face pe baza prevederilor STAS 763/1-71 și cuprinde pe de o parte verificarea în raport cu fiecare axa și pe de altă parte verificarea la efectul momentelor după cele două axe cu relația:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} \leq 1,1\sigma_a$$

în care:

M_x și M_y sunt momentele încovoietoare în raport cu cele două axe de inerție principale;
 W_{nx} și W_{ny} – modulele de rezistență nete față de cele două axe de inerție egale cu:

$$W_{nx} = \frac{I_{nx}}{y_{\max}} \quad W_{ny} = \frac{I_{ny}}{x_{\max}}$$

I_{nx} și I_{ny} – momentele de inerție nete față de axele respective;

y_{\max} și x_{\max} – distanțele de la axa x și y la fibrele extreme ale secțiunii.

Elemente solicate la întindere axială cu încovoiere

•În cazul unor elemente de construcții cum sunt barele întinse ale grinzilor cu zăbrele care sunt încărcate și între noduri, pot să apară solicitări combinate de întindere axială și încovoiere. În acest caz pot exista două situații:

-bare supuse la eforturi axiale de întindere și la încovoiere pe o singură direcție, la care verificarea eforturilor unitare normale se face cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq \sigma_a$$

-bare solicate la eforturi axiale de întindere și la încovoiere pe două direcții, care se verifică cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} \leq 1,1\sigma_a$$

în care:

N, M_x, M_y sunt forța axială și momentele încovoietoare pe cele două direcții;

A_n, W_{nx}, W_{ny} – aria, respectiv modulele de rezistență nete față de cele două axe ale secțiunii barei.

Elemente solicate la compresiune axială cu încovoiere

•Barele solicate la compresiune axială și la încovoiere sunt întâlnite la foarte multe elemente de construcții metalice, cum sunt barele comprimate ale grinzilor cu zăbrele încărcate și între noduri (tălpile superioare), precum și la stâlpii și riglele cadrelor la care apar atât forțe axiale de compresiune cât și momente încovoietoare.

•Și în cazul barelor solicate la compresiune axială și la încovoiere pot să apară două situații și anume:

-bare solicate la eforturi axiale de compresiune și la încovoiere pe o direcție care se verifică cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} + \frac{M}{W} \leq \sigma_a$$

-bare solicate la eforturi axiale de compresiune și la încovoiere pe două direcții la care verificarea se face cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1\sigma_a$$

în care:

φ_{\min} este coeficientul de flambaj minim corespunzător zvelteții maxime;

A , W_x și W_y – aria și respectiv modulele de rezistență brute ale secțiunii transversale.

Elemente sollicitate la încovoiere cu răsucire

• Dacă se consideră un element supus la încovoiere cu răsucire liberă, solicitările care iau naștere într-o secțiune sunt: momentul încovoiator M , forța tăietoare T și momentul de răsucire M_r

Verificarea efortului unitar normal din încovoiere cu relația:

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_{\max} \leq \sigma_a$$

unde:

I_n este momentul de inerție net al secțiunii;

y_{\max} – distanța la fibra extremă.

Verificarea efortului unitar tangențial produs de forța tăietoare la mijlocul înălțimii inimii cu relația:

$$\tau = \frac{T \cdot S_x}{t_i \cdot I} \leq \tau_a$$

în care:

S_x este momentul static al jumătății de secțiune față de axa $x - x$ a barei;

t_i – grosimea inimii;

I – momentul de inerție brut al secțiunii

Verificarea efortului unitar tangențial maxim de răsucire, pentru punctele cele mai solicitate se face cu relația:

$$\tau_r = \frac{M_r}{I_r} t \leq \tau_a$$

în care:

I_r - este momentul de inerție la răsucire;

t – grosimea peretelui în punctul unde se face verificarea.

Verificarea efortului unitar tangențial total în punctele unde τ și τ_r au valori mari și aceeași direcție și sens se face cu relația:

$$\tau_{total} = \tau + \tau_r = \frac{T \cdot S_x}{t_i \cdot I} + \frac{M_r}{I_r} t \leq \tau_a$$

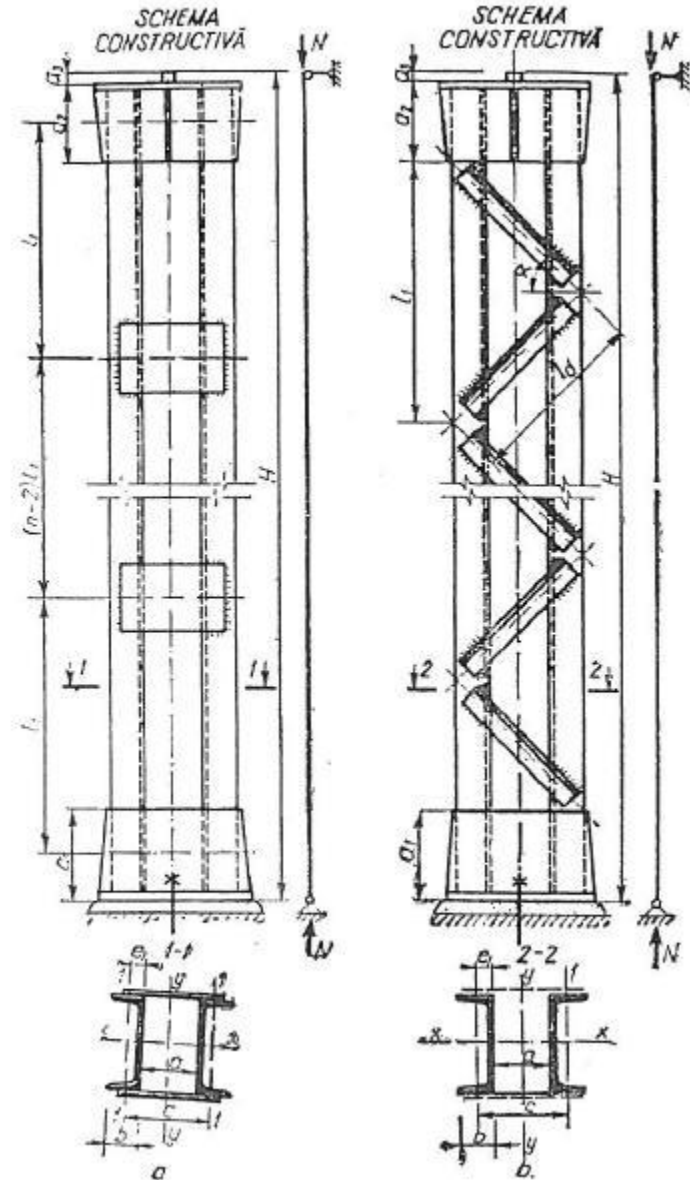
Verificarea efortului unitar echivalent calculat în punctele în care σ are valori mari, iar τ și τ_r sunt calculate în aceeași ipoteză de încărcare, se face cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau + \tau_r)^2} \leq \sigma_a$$

Aplicație:

Să se proiecteze un stâlp cu secțiune compusă din elemente mult depărtate, cunoscând:

- Efortul axial de compresiune $N = 1290 \text{ kN}$;
- Solidarizarea elementelor secțiunii se va face cu plăcuțe;
- Marca oțelului folosit OL 37;
- Stâlpul are legături articulate.

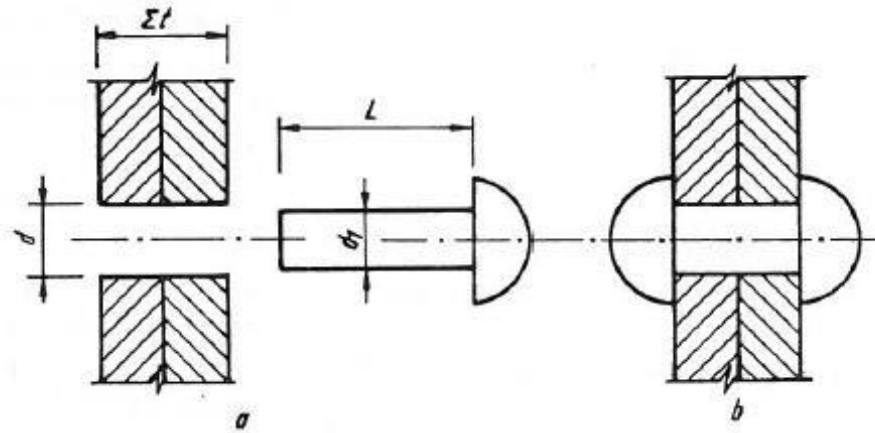




Elemente de prindere și îmbinare a construcțiilor metalice

Nituri

- Nitul în stare brută este format dintr-o tijă cilindrică și un cap fabricat.
- Lungimea tijei trebuie să fie atât de mare încât la nituire materialul nitului, prin refulare, să umple complet gaura de nit și să rămână încă suficient material pentru confecționarea celui de al doilea cap, a capului de închidere.



- Diametrul nitului brut d_1 se ia cu un milimetru mai mic decât diametrul găurii d .

- În funcție de modul de executare a nituirii, pentru niturile cu cap semirotund lungimea L a tijei nitului brut se ia:

-nituri bătute manual cu revolverul de nituit:

$$L = 1,1 \sum t + 1,7 \cdot d$$

-nituri bătute cu presa de nituit:

$$L = 1,12 \sum t + 1,4 \cdot d$$

- Lungimea obținută se rotunjește în plus la un multiplu de 5 mm.
- În mod obișnuit sunt folosite niturile cu cap semirotund și cu diametru între 13 și 25 mm, baterea acestor nituri executându-se la cald. Întrebuințarea niturilor cu cap semirotund este limitată până la o grosime de strâns $\sum t$ egală cu $5d$. Când grosimea de strâns depășește $5d$ pot fi folosite niturile cu cap semiînecat, până la o grosime de strâns egală cu $7d$, sau niturile strunjite cu tija tronconică

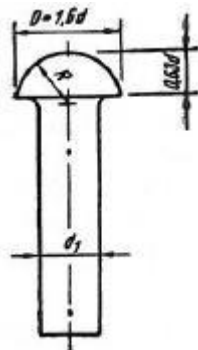


Fig. 5.2. Nit cu cap semirotund

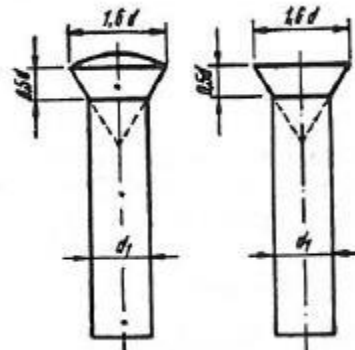


Fig. 5.3. Nit cu cap semiînecat și înecat

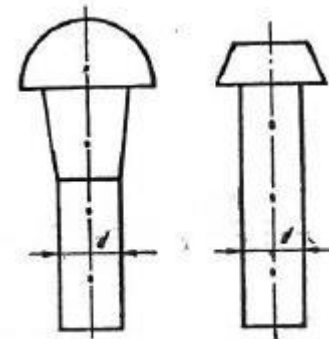


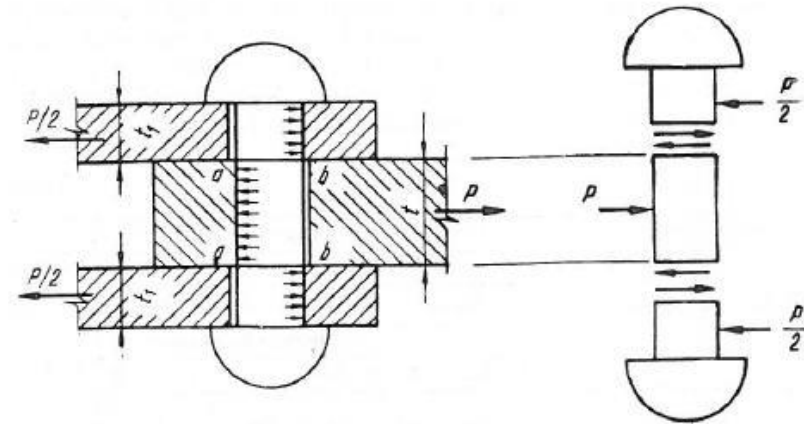
Fig. 5.4. Nituri speciale

Modul de lucru al nitului ca piesă de îmbinare. Calculul îmbinărilor nituite.

- Modul de lucru al nitului ca piesă de îmbinare se poate imagina în două feluri:
 - Prin presiunea capetelor nitului asupra suprafețelor pieselor îmbinate, datorită contracției împiedicate la rădăcina nitului, se naște între acestea o forță de frecare, ceea ce permite transmiterea unui efort de la o piesă la alta cu condiția ca forța de frecare să fie mai mare ca acest efort.

$$N \leq \mu \cdot S$$

N este forța din îmbinare transmisă prin nit;
 S – forța de strângere a nitului;
 μ – coeficientul de frecare dintre piesele îmbinate.



- Admițând că se produce o mică deplasare a pieselor asamblate, una față de alta, efortul de la o piesă la alta se transmite prin suprafața de contact dintre tija nitului și peretele găurii.

Considerând această presiune uniform repartizată pe grosimea piesei și diametrul găurii condiția de dimensionare este:

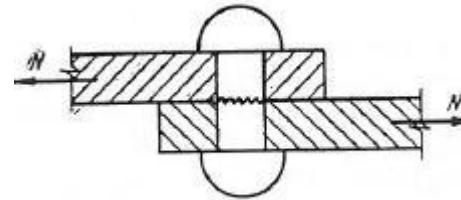
$$\sigma_g = \frac{N}{d \cdot t} \leq \sigma_{ag}$$

$$N_{ag} = d \cdot t \cdot \sigma_{ag}$$

- Verificarea la forfecare depinde de modul de rezolvare constructivă a îmbinării.
- Când piesele sunt executate fiecare dintr-un singur element și îmbinarea este executată prin suprapunere, nitul lucrează cu o singură secțiune de forfecare.

$$\tau = \frac{N}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq \tau_a$$

$$N_{asf} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \tau_a$$

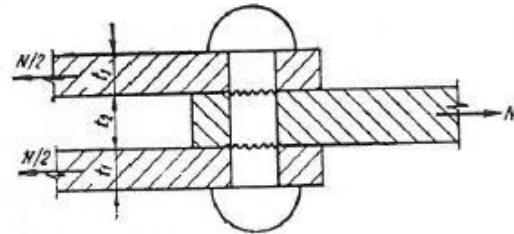


- Când nitul lucrează cu două secțiuni de forfecare rezultă:
 - efortul admisibil la presiune pe gaură pentru $t_2 \leq 2t_1$:

$$N_{ag} = d \cdot t_2 \cdot \sigma_{ag}$$

- efortul admisibil la dublă forfecare:

$$N_{a,df} = 2 \frac{\pi d^2}{4} \cdot \tau_a$$



Determinarea numărului de nituri

- Determinarea numărului de nituri necesar unei prinderi sau unei îmbinări se face în funcție de efortul efectiv sau de efortul capabil al barei.
- Numărul de nituri necesar transmiterii unei forțe F de la o piesă la alta se determină admitând o repartizare uniformă a forței asupra tuturor niturilor.

$$n = \frac{F}{N_a}$$

N_a este funcție de tipul îmbinării și reprezintă valoarea cea mai mică care poate fi transmisă printr-un nit, având în vedere presiunea pe gaură sau forfecarea;
 F – forța efectivă sau forța capabilă a barei.

- Dacă bara este solicitată la întindere forța capabilă a barei este:

$$F = A_{net} \cdot \sigma_a$$

- Dacă bara este solicitată la compresiune forța capabilă a barei este:

$$F = A \cdot \varphi \cdot \sigma_a$$

- Cu cât numărul niturilor dintr-un șir este mai mare, cu atât repartizarea forței F pe șirul de nituri este mai neuniformă, niturile extreme fiind mult mai încărcate ca cele de mijloc. Din acest motiv, la prinderi, nu se admit mai mult de șase nituri așezate într-un șir.

Diimetrul niturilor și distanța între nituri

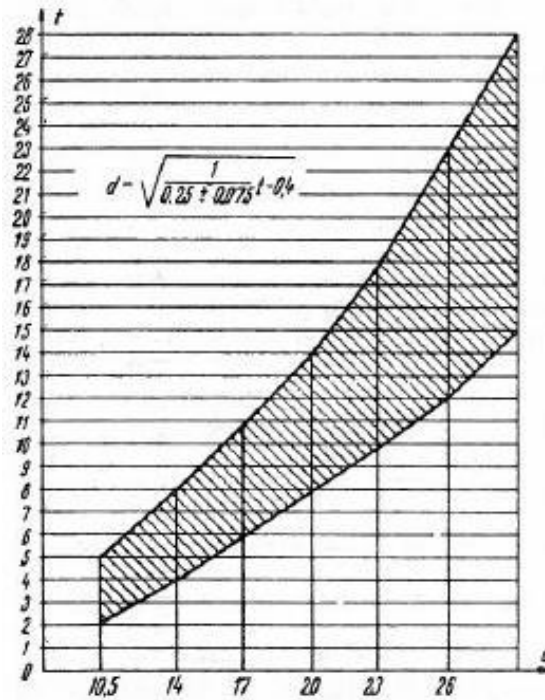
În funcție de rolul pe care-l au, se deosebesc următoarele tipuri de nituri:

- *nituri de rezistență*, care transmit forțe; de exemplu, niturile de prindere a barelor în noduri sau niturile de îmbinare;
- *nituri de solidarizare*, care assemblează elementele secțiunii unei bare. Acestea au rolul de a uniformiza eforturile în secțiunea unui element compus, să împiedice lunecarea dintre piesele secțiunii și să strângă piesele componente astfel încât să nu apară spații între ele care ar favoriza corodarea materialului;
- *nituri de etanșare*, care asigură o îmbinare etanșă a două elemente;
- *nituri de rezistență-etanșare*, care în afară de rolul de a realiza o îmbinare etanșă au și pe acela de a transmite forțe.
- La profilele laminate (corniere, bare I, U etc.), diametrul maxim al niturilor care pot fi utilizate este indicat în tabelele de profile.

- La table, platbande, diametrul niturilor poate fi stabilit din relația:

$$d = \sqrt{\frac{t}{0,25 \pm 0,075}} - 0,4$$

unde d și t sunt în cm. Semnele \pm dau intervalul în care se poate alege d .

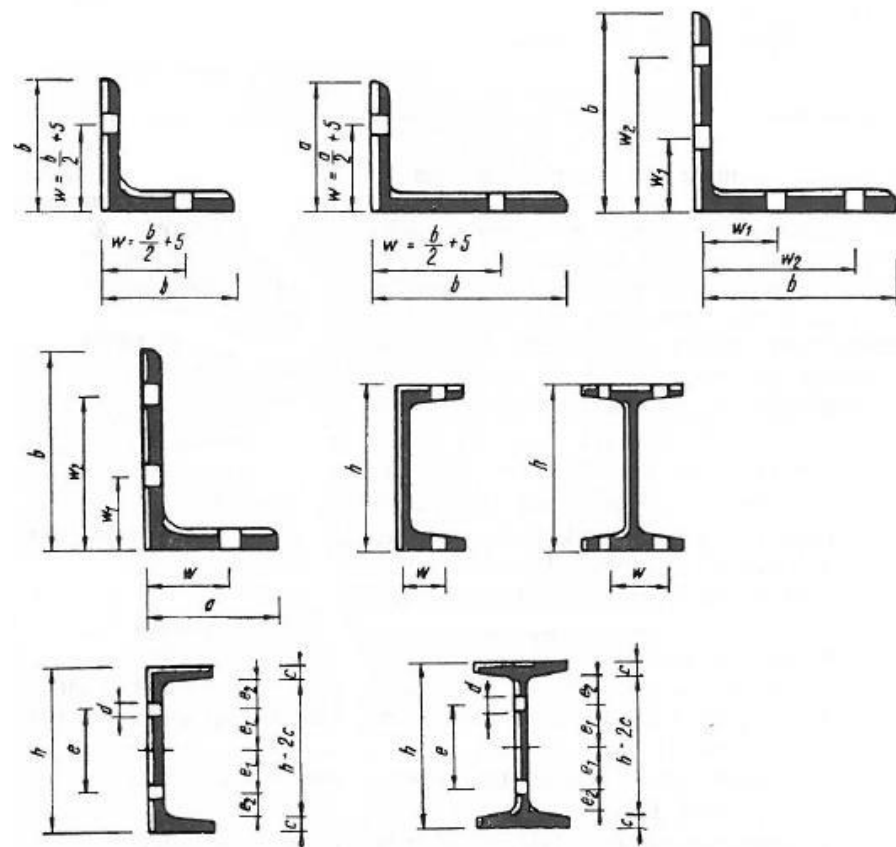


- Pentru o anumită grosime t pot fi folosite două sau trei diametre de nit diferite.

Distanțele între nituri trebuie stabilite pe următoarele considerente:

- distanțele de la margine la primul nit de rezistență și între niturile de rezistență trebuie să fie minime pentru ca lungimile prinderilor sau îmbinările să fie minime;
- distanțele între niturile de solidarizare trebuie să fie cât mai mari, fără a depăși însă distanța la care asamblarea elementelor nu mai este asigurată;
- distanțele între nituri și așezarea niturilor trebuie să conducă la o slăbire cât mai mică a secțiunii transversale a elementului. Acest considerent este mai ales important pentru barele care lucrează la întindere sau la încovoiere;

•pozițiile niturilor pe aripile cornierelor și pe tăpile profilelor I sau U sunt fixate prin liniile de nituri. Poziția acestor linii este dată în tabelele de profile prin distanța W .



Șuruburi

- Un șurub este format dintr-o tijă cilindrică, prevăzută la un capăt cu un cap de secțiune transversală hexagonală, iar la celălalt capăt cu o porțiune filetată pe care se înșurubează o piuliță cu ajutorul căreia se realizează strângerea pieselor.

Îmbinările cu șuruburi se folosesc pentru:

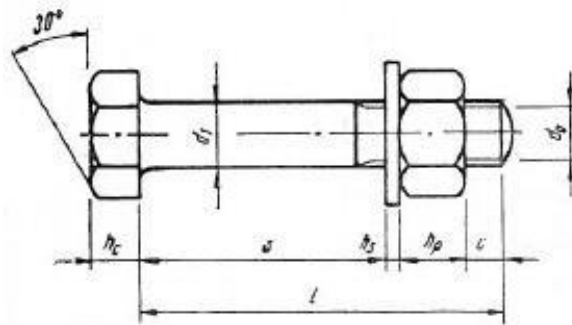
- îmbinări de montaj;
- îmbinări unde apar întinderi mari care nu pot fi preluate de nituri;
- îmbinări ale pachetelor cu grosime mare (peste $5d$);
- îmbinări în locuri unde nu se pot bate nituri din condiția de gabarit;
- îmbinări la construcțiile demontabile.

- În construcția structurilor mecanice se folosesc șuruburi brute, păsuite, de înaltă rezistență pretensionate și speciale.

- Șuruburile brute și păsuite se confecționează obișnuit din OL37, iar cele de înaltă rezistență pretensionate se confecționează din oțeluri speciale de înaltă rezistență (41 MoC 11).

La tija unui șurub se disting următoarele diametre:

- d_1 , diametrul părții nefiletate;
- d_0 , diametrul părții filetate, măsurat la interiorul filetului;
- d , diametrul găurii în care se va introduce șurubul.



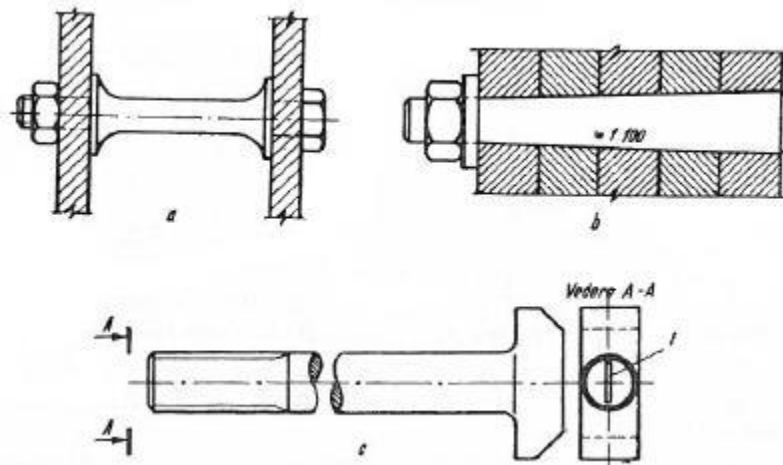
- Lungimea tije l se compune din: lungimea de strângere s , înălțimea piuliței h_p , la care se adaugă grosimea șaibei h_s - dacă există - și porțiunea tije ieșită în afară cu 3...7 mm, c :

$$l = s + h_p + h_s + c$$

- Capul șurubului este hexagonal, diametrul cercului înscris S fiind aproximativ $1,6d_1$, iar înălțimea capului h_c aproximativ $0,7d_1$. Înălțimea piuliței h_p este aproximativ $0,85 d_1$.

După modul de prelucrare a tije se disting:

- *șuruburi nepăsuite* (brute) care au tija neprelucrată, folosite în mod obișnuit pentru construcții. Diametrul găurii d , în care se montează, se execută cu 1...2 mm mai mare decât diametrul tije d_1 . Din acest motiv ele lucrează dezavantajos la forfecare și se folosesc doar acolo unde sunt solicitate în special la întindere în tijă;
- *șuruburi păsuite*, care au tija prelucrată obișnuit prin strunjire. Jocul șuruburilor păsuite este de maximum 0,3 mm, ele introducându-se în găuri prin batere. Datorită umplerii găurii de către tija șurubului, acesta lucrează asemănător niturilor la forfecare și presiune pe gaură.
- Există o mare varietate de șuruburi speciale. Dintre acestea fac parte: șuruburile de distanțare, șuruburile cu tija tronconică (pentru strângerea pachetelor groase) și șuruburile de ancoraj.



Modul de lucru al șurubului ca piesă de îmbinare

- Șuruburile nu umplu complet găurile. Chiar și la cele păsuite există un mic joc, ceea ce duce la deplasări mai mari ale pieselor îmbinate cu șuruburi față de cele îmbinate cu nituri.
- Șuruburile lucrează la forfecare, presiune pe gaură și întindere în tijă, eforturile care pot fi transmise printr-un șurub fiind:

- pentru forfecare:

$$N_f = n_f \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \tau_a$$

- pentru presiune pe gaură:

$$N_g = \Sigma t_{\min} \cdot d_1 \cdot \sigma_{ag}$$

- întindere în tijă:

$$N_t = \frac{\pi d_0^2}{4} \sigma_{ai}$$

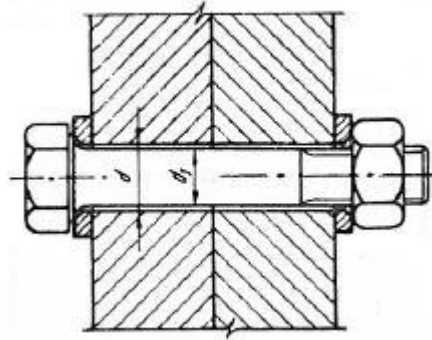
unde n_f este numărul secțiunilor de forfecare

- Diametrul șuruburilor se alege după aceleași criterii ca cele ale niturilor. De asemenea, așezarea lor este analog cu cea a niturilor.
- La șuruburi intervine condiția de strângere a piulițelor, ceea ce duce la mărirea distanței minime dintre șuruburi față de nituri de la $3d$ la $3,5d$.
- Măsurile care se iau pentru împiedicarea desfacerii piulițelor sunt: introducerea inelelor de siguranță între piese și piulițe, folosirea contrapiulițelor de înălțime redusă, folosirea filetelor speciale cu autoblocare, prinderea cu puncte de sudură a piulițelor și crestarea filetului. Ultimele două măsuri nu mai permit demontarea îmbinării.

Șuruburi de înaltă rezistență strânse excesiv

- Șuruburile de înaltă rezistență pretensionate se confecționează din oțeluri slab aliate de înaltă rezistență (41 MoC 11).
- Printr-o strângere puternică, cu ajutorul unor chei dinamometrice, se introduce un efort de preîntindere în tija șuruburilor, a cărei valoare este de circa 75% din limita de curgere a materialului din care se confecționează șuruburile.

- Diametrele găurilor se fac cu circa 1 mm mai mari decât diametrul șurubului.



Calculul șuruburilor de înaltă rezistență

- Dacă se notează cu n_s numărul suprafețelor de frecare (alunecare), atunci capacitatea portantă a unui șurub de înaltă rezistență N va fi:

$$N = n_s N_s$$

unde:

N_s este efortul maxim pe care îl poate transmite un șurub de înaltă rezistență, printr-o suprafață de alunecare, care este egal cu:

$$N_s = \frac{\mu \cdot N_t}{c}$$

μ este coeficientul de frecare, care în cazul unei prelucrări corespunzătoare a pieselor se va lua: $\mu = 0,45$ pentru OL37 și $\mu = 0,60$ pentru OL52;

N_t – efortul de preîntindere care se introduce în tija șurubului și care este egal cu:

$$N_t = 0,75 \cdot A_0 \cdot \sigma_c$$



T 51811
T2

T 51811







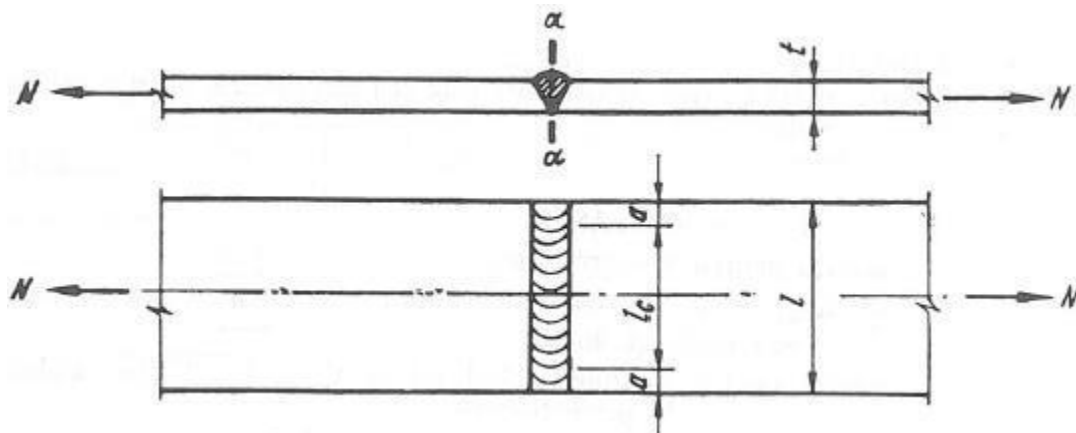




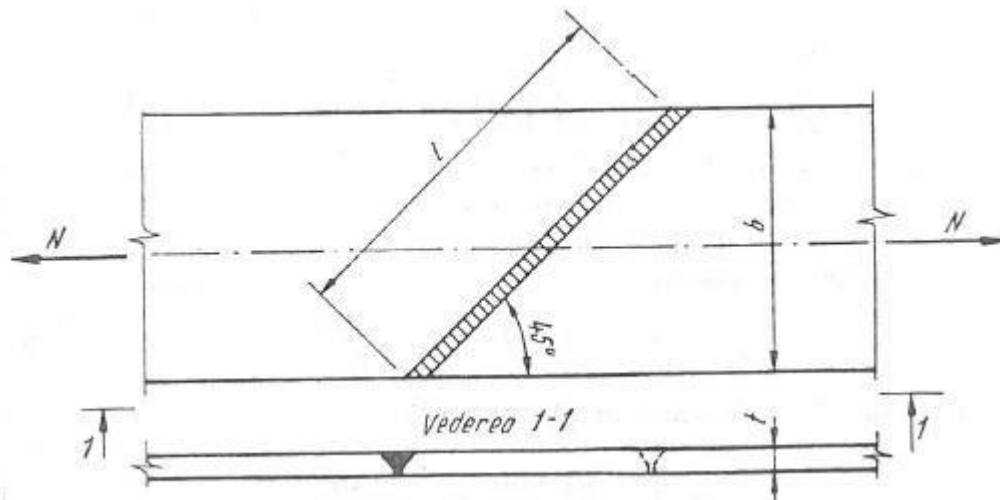
Calculul îmbinărilor sudate

- Pentru calculul îmbinărilor sudate se determină efortul maxim din secțiunea probabilă de rupere și se compară cu rezistențele admisibile ale cordoanelor de sudură .
- Rezistențele admisibile la întindere pentru cordoanele de sudură în adâncime se iau egale cu rezistența admisibilă din materialul de bază, când controlul calității sudurilor se face cu mijloace perfecționate (raze roentgen sau gama) și se constată o calitate ireproșabilă a acestora.
- În cazul când acest control nu se aplică, rezistențele admisibile ale îmbinărilor sudate se iau egale cu 80% din rezistența admisibilă a materialului de bază.
- Calculul îmbinărilor se face diferit în funcție de tipul îmbinării sudate și de solicitările la care sunt supuse.

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap supuse la forțe axiale



Îmbinare cu sudură cap la cap solicitată la forțe axiale



Sudură cap la cap înclinată

- Verificarea îmbinărilor sudate cap la cap se face calculând efortul unitar normal σ , prin împărțirea forței axiale N la secțiunea de calcul a sudurii și comparând acest efort cu rezistența admisibilă în sudură σ_{as} :

$$\sigma = \frac{N}{A_s} \leq \sigma_{as}$$

N este forța axială din bară

A_s – secțiunea de calcul a sudurii

- Aria secțiunii de calcul a sudurii este egală cu aria dreptunghiului de sudură din secțiunea $\alpha - \alpha$:

$$A_s = a \cdot l_c$$

a este grosimea sudurii

l_c – lungimea de calcul a sudurii

- Grosimea cordonului de sudură se ia egală cu grosimea pieselor când acestea au aceeași grosime sau cu grosimea piesei celei mai subțiri când au grosimi diferite.
- Lungimea de calcul este egală cu lungimea geometrică din care se scad craterile finale:

$$l_c = l - 2a = l - 2t$$

$$\sigma = \frac{N}{t(l-2t)} \leq \sigma_{as}$$

- Dacă se elimină craterele finale formula de verificare devine:

$$\sigma = \frac{N}{t \cdot l} \leq \sigma_{as}$$

- Această relație se confundă cu relația de verificare a barei, cu deosebirea că rezistența admisibilă cu care se compară este cea din sudură, a cărei valoare se determină cu relația:

$$\sigma_{as} = \alpha \cdot \sigma_a$$

$\alpha = 1,0$ pentru compresiune

$\alpha = 1,0$ pentru întindere când sudura se verifică cu raze roentgen sau gama și se constată o calitate bună.

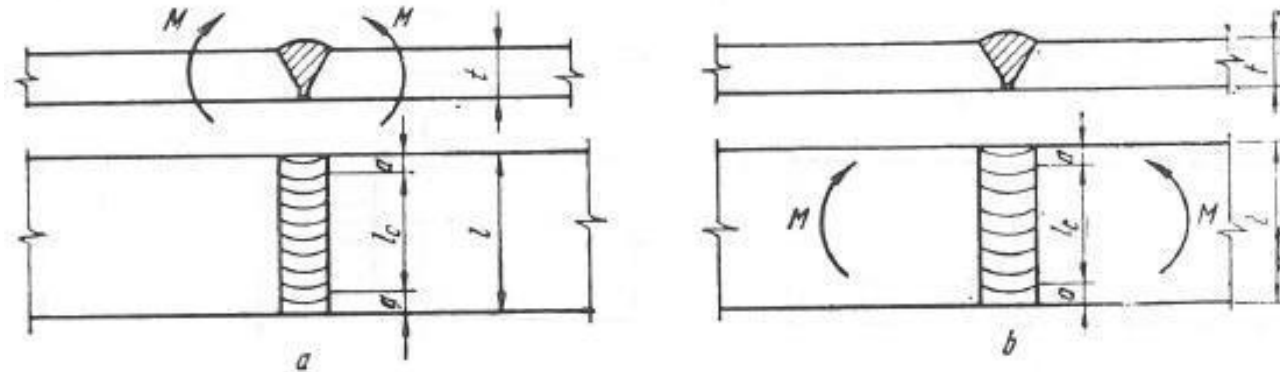
$\alpha = 0,8$ pentru întindere când nu se verifică calitatea sudurii cu metode perfecționate.

$\alpha = 0,65$ pentru forfecare

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap solícitate la încovoiere

În cazul îmbinărilor sudate cap la cap solícitate la încovoiere se disting două cazuri de solícitare în funcție de planul în care acționează momentul încovoiator:

- îmbinări sudate cap la cap solícitate la încovoiere la care momentul acționează în plan perpendicular pe planul pieselor;
- îmbinări sudate cap la cap solícitate la încovoiere la care momentul acționează în planul pieselor.



$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} \leq \sigma_{as}$$

M este momentul încovoiator maxim din sudură;

W_s – modulul de rezistență al sudurii, care diferă pentru cele două cazuri de solícitare;

σ_{as} – rezistența admisibilă în sudură, egală pentru solícitarea de încovoiere cu rezistența admisibilă a oțelului

- Modulul de rezistență în cazul când momentul acționează perpendicular pe planul pieselor are valoarea:

$$W_s = \frac{l_c \cdot a^2}{6} = \frac{(l - 2t)t^2}{6}$$

iar când momentul acționează în planul pieselor are valoarea:

$$W_s = \frac{t(l - 2t)^2}{6}$$

- Dacă se elimină cele două cratere finale, prin procedeul tehnologic arătat formulele de verificare devin:
 - pentru momentul care acționează perpendicular pe planul pieselor:

$$\sigma_s = \frac{6M}{l \cdot t^2} \leq \sigma_{as}$$

-pentru momentul care acționează în planul pieselor:

$$\sigma_s = \frac{6M}{t \cdot l^2} \leq \sigma_{as}$$

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap solicitate la forfecare

- Ca și în cazul solicitării la încovoiere, îmbinările sudate supuse la forfecare pot fi solicitate perpendicular pe planul pieselor sau în planul acestora.
- În ambele cazuri verificarea la forfecare se face cu relația:

$$\tau_s = \frac{T}{A_s} \leq \tau_{as}$$

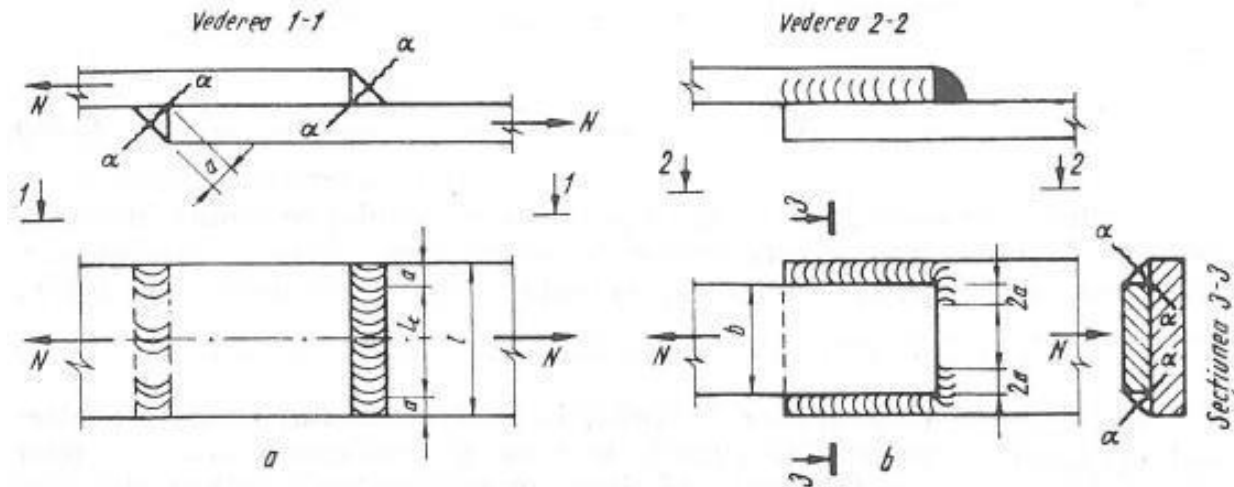
$$A_s = a \cdot l_c = a (l - 2a) = t (l - 2t)$$

- Dacă se elimină craterele finale, formula de verificare se scrie:

$$\tau_s = \frac{T}{A_s} = \frac{T}{a \cdot l} = \frac{T}{t \cdot l} \leq \tau_{as} = 0,65 \cdot \sigma_{as}$$

Calculul îmbinărilor sudate prin suprapunere solicitate la forțe axiale

- Îmbinarea prin suprapunere a pieselor se poate face cu cordoane de sudură frontale, dispuse pe cele două capete ale pieselor, soluție care se utilizează când lățimea pieselor este egală, sau cu cordoane laterale dispuse pe cele două margini paralele cu axa pieselor, când cele două piese au lățimi diferite.
- Forța axială se transmite prin cele două cordoane de sudură și se consideră că este repartizată în mod egal. Pentru calculul îmbinării grosimea a a cordoanelor de sudură se rabate după direcția axei barei.



- Verificarea cordoanelor de sudură se face cu relația:

$$\tau_s = \frac{N}{A_s} \leq \tau_{as}$$

N este forța axială din bară;

A_s – secțiunea celor două cordoane de sudură;

τ_{as} – rezistența admisibilă în sudură

$$A_s = 2al_c = 2a(l - 2a)$$

$$\tau_s = \frac{N}{2a(l - 2a)} \leq \tau_{as}$$



Suport de curs

Metode de calcul a structurilor metalice

Acțiuni care solicită structurile metalice

În calculul structurilor, prin *acțiuni* se înțeleg cauzele care pot să producă solicitări sau deformații neimpuse elementelor componente sau structurilor în ansamblu.

Termenul de acțiune este deci noțiunea cea mai complexă, care reprezintă orice influență, capabilă să producă stări de solicitare sau deformații ale elementelor sau ansamblurilor de elemente de structuri.

Acțiunile cele mai des întâlnite în calculul structurilor sunt așa-numitele *încărcări*, care provin din greutatea elementelor și utilajelor direct sau indirect susținute, greutatea proprie, greutatea oamenilor etc. Uzual, prin încărcări se definesc acțiunile ce se manifestă sub forma unor forțe gravitaționale.

În afara încărcărilor, există și alte tipuri de acțiuni cum ar fi: efectul variațiilor de temperatură, efectul tasării reazemelor, efectul mișcărilor seismice etc.

Acțiunile pot fi clasificate din diferite puncte de vedere. Pentru calculul structurilor prezintă un interes deosebit clasificarea din punctul de vedere al duratei de aplicare. În acest sens se deosebesc: acțiuni permanente și acțiuni temporare.

Acțiuni permanente. În categoria acțiunilor permanente intră acele acțiuni care se exercită cu valori practic constante, pe toată durata existenței structurii respective. Principalele acțiuni permanente sunt:

- încărcările provenite din greutatea proprie a elementului care se dimensionează;
- încărcările provenite din greutatea elementelor susținute de elementele care se dimensionează;
- acțiunea efectului pretensionării.

Valorile normate ale încărcărilor permanente sunt precizate de STAS 504-70 și STAS 10101/1-78.

Coeficienții n pentru aceste încărcări variază între 1,1 și 1,3 în cazul în care încărcarea are efect defavorabil pentru comportarea în secțiunea analizată, la starea limită. Se întâlnesc situații în construcția structurilor metalice când greutatea proprie are efect favorabil asupra comportării secțiunii considerate, de exemplu, la calculul buloanelor de ancoraj, la care greutatea proprie descarcă de regulă aceste elemente. În aceste cazuri, în calcule coeficientul încărcării se ia subunitar (0,8 sau 0,9).

Acțiuni temporare. Se consideră acțiuni temporare acele acțiuni care apar în mod intermitent sau cu o intensitate variabilă în raport cu timpul. Acțiunile temporare se împart în:

- *acțiuni cvasipermanente (C)*, care se aplică cu intensități ridicate pe durate lungi sau în mod frecvent;

- *acțiuni variabile (V)*, a căror intensitate variază sensibil în raport cu timpul sau pot lipsi pe intervale lungi de timp;

Încărcările temporare cvasipermanente sunt date în standardele: STAS 10101/1-78, STAS 10101/2A1-78, STAS 10101/23-75, etc. Coeficienții acestor încărcări variază între 1,1 și 1,4 (1,0 pentru lichide în conducte).

Încărcările temporare variabile sunt cele date de vânt, zăpadă, utilaje de ridicat și transportat (poduri rulante). Intensitățile normale de bază, diferiți coeficienți și scheme de calcul pentru încărcările variabile sunt date în STAS 10101/20-78, STAS 10101/21-78, STAS 10101/23A-78. Coeficienții de încărcare pentru aceste acțiuni variază între 1,2 și 1,6. La acțiunile variabile se definește și o fracțiune de încărcare de lungă durată. Această fracțiune se obține prin multiplicarea încărcării normale cu un coeficient n^d subunitar, cuprins între 0,4 și 0,8.

Acțiuni excepționale. Aceste acțiuni intervin foarte rar, cu intensități semnificative pe durata de exploatare a unei structuri.

Sunt considerate acțiuni excepționale următoarele:

- încărcări seismice;
- încărcările din acțiunea vântului în regim de rezonanță;
- încărcări date de zăpadă când coeficientul de formă $c_z \leq 2$;
- încărcări provenite din explozii, întreruperi bruște ale unor utilaje sau defectarea acestora;
- încărcări provenite din șocuri (izbirea podurilor rulante în opritori), izbirea autovehiculelor de elementele de construcții, etc.;

Coeficienții acestor acțiuni sunt unitari. În combinațiile de încărcări se consideră o singură încărcare excepțională.

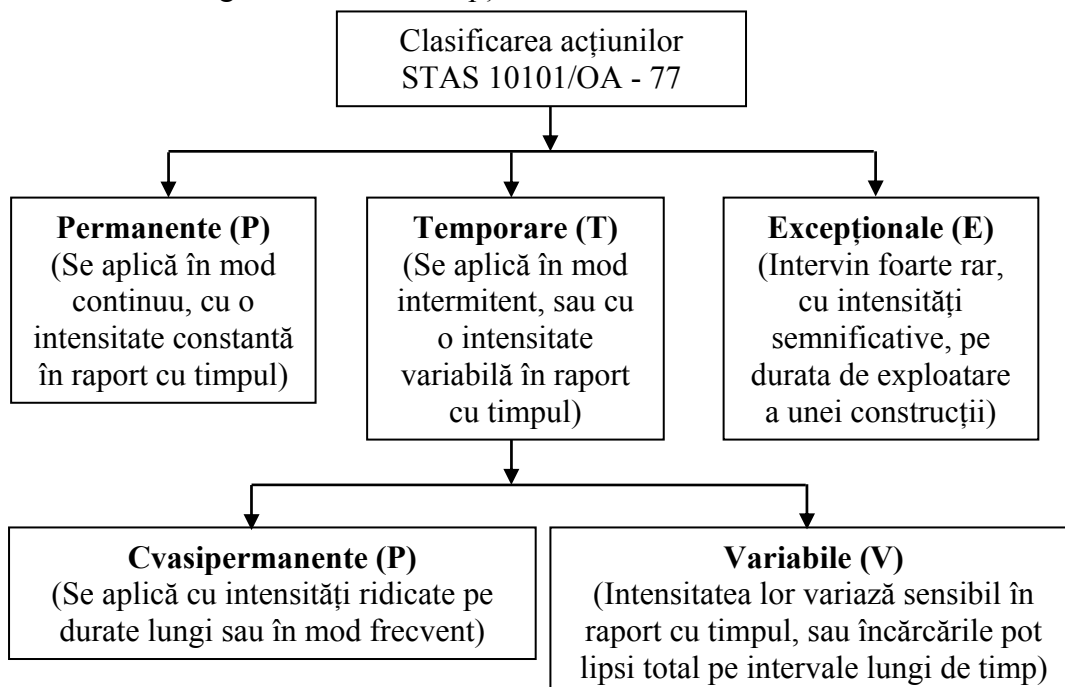


Fig. 1. Clasificarea acțiunilor în calculul structurilor mecanice

Grupări de acțiuni.

În practică există posibilitatea apariției simultane a mai multor acțiuni asupra elementelor de construcții.

Pentru a putea stabili diferite situații defavorabile de solicitare, normele stabilesc *grupări de acțiuni*, cu ajutorul cărora se face calculul și dimensionarea elementelor respective. Gruparea de acțiuni conține o combinație de încărcări din diferite categorii, a căror apariție simultană asupra elementelor din structuri ce urmează a fi dimensionate, este practic posibilă.

Calculul structurilor, respectiv al elementelor componente ale acestora, trebuie făcut pentru cea mai defavorabilă grupare de încărcări.

În funcție de numărul și importanța încărcărilor luate în considerare pentru fiecare grupare de acțiuni, sunt prevăzute valori diferite ale coeficientului de siguranță.

Conform STAS 10101/OA-77, se alcătuiesc trei grupări de încărcări:

1. *Gruparea fundamentală*, alcătuită din încărcări permanente, cvasipermanente și variabile;
2. *Gruparea excepțională (suplimentară)*, alcătuită din încărcări permanente, cvasipermanente, variabile și excepționale;
3. *Gruparea specială (extraordinară)*, care se obține din gruparea suplimentară, la care se adaugă una din acțiunile temporare accidentale (acțiunea mișcărilor seismice, acțiunea inundațiilor catastrofale sau a incendiilor, încărcări ce apar datorită unor erori grave de execuție etc.).

După cum se observă, grupările de acțiuni urmăresc să ia în considerare, sub diferite grade de precizie, starea posibilă de solicitare a elementelor din structuri sau a structurilor, în vederea unei dimensionări sigure și economice.

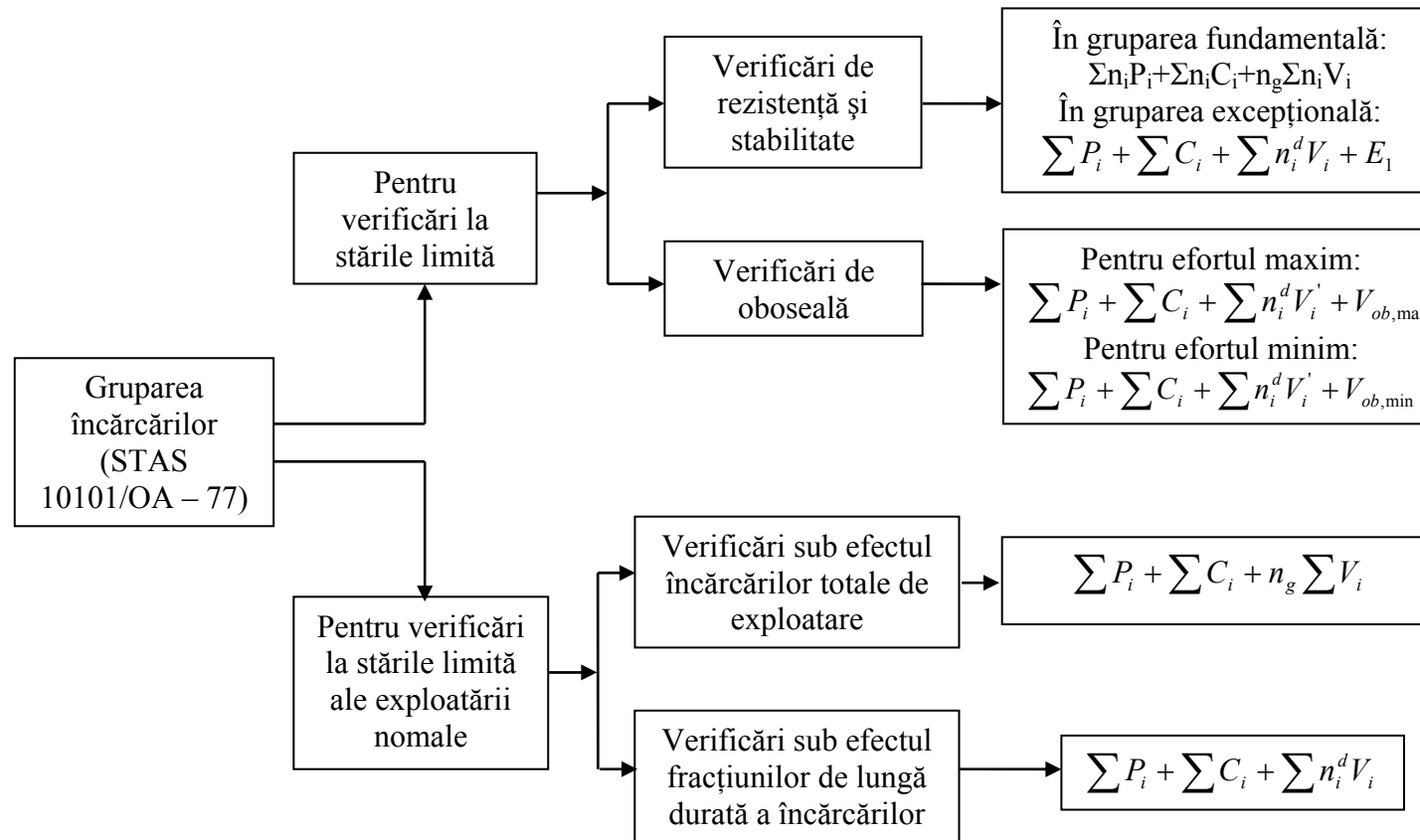


Fig. 2. Gruparea încărcărilor conform STAS 10101/OA-77

În figura 2 este reprezentat modul de grupare a încărcărilor conform STAS, în care termenii indicați în relațiile de calcul au următoarele semnificații:

P_i - încărcare permanentă;

C_i - încărcare cvasipermanentă;

V_i - încărcare variabilă;

V_i' - încărcare variabilă care nu produce oboseală;

$V_{ob,max}$ - încărcare variabilă care produce efort de oboseală maxim;

$V_{ob,min}$ - încărcare variabilă care produce efort de oboseală minim;

E_1 - o singură încărcare excepțională;

n_i - coeficientul încărcării de calcul limită;

n_i^d - coeficientul fracțiunii de încărcare de lungă durată, aplicabil numai încărcărilor variabile;

n_g - coeficient de grupare care are valorile:

1,0 în cazul unei singure încărcări V;

0,9 în cazul a două sau trei încărcări V;

0,8 în cazul a patru sau mai multe încărcări V.

Calculul structurilor metalice în stadiul elastic

Orice element din componența unei structuri supus acțiunii unor forțe exterioare se deformează, iar în secțiunile sale transversale apar eforturi. În cazurile când mărimea forțelor exterioare nu depășește o anumită limită, deformațiile sunt reversibile, adică la descărcare elementul revine la forma inițială. O astfel de comportare se numește *elastică* și ea este specifică materialelor cu structură continuă, omogenă, izotropă și stabilă în timp.

Oțelurile folosite în construcții îndeplinesc aceste condiții, având o comportare aproape perfect elastică până în apropierea limitei de curgere.

Relația dintre eforturile unitare și deformațiile specifice, în domeniul elastic, la oțeluri este de tip liniar și este cunoscută sub denumirea de *legea lui Hooke*:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E. \quad (1.1)$$

În scopul simplificării și schematizării calculelor, în practică se admite comportarea perfect elastică și liniară a materialului până la limita de curgere, după care materialul se consideră că se comportă perfect plastic. Ilustrarea acestui mod de comportare este dată de curba caracteristică propusă de *Prandtl* (fig. 3.1,a).

Datorită faptului că în domeniul elastic elementele structurilor au deformații foarte mici în raport cu dimensiunile lor, calculele statice pot fi conduse pe schema nedeformată a structurii. Scriind ecuațiile de echilibru pe schema nedeformată, înseamnă că se pot folosi ecuațiile *mecanicii teoretice* și

deci se neglijează influența deformațiilor asupra mărimii eforturilor ce apar în elementele solicitate.

Acceptând ipoteza comportării liniare elastice și neglijând deformațiile în raport cu dimensiunile elementelor, este posibilă aplicarea principiului *suprapunerii efectelor*. Ca urmare, elementele pot fi calculate separat la fiecare solicitare după care pot fi însumate efectele diferitelor solicitări, în funcție de posibilitatea apariției lor simultane asupra elementelor respective.

Prin aceste simplificări, calculul în domeniul elastic devine relativ simplu și permite stabilirea unor metode practice pentru determinarea distribuției și valorilor eforturilor unitare în structurile de rezistență.

Calculul în domeniul elastic admite, ca stadiu limită, starea de solicitare care provoacă apariția limitei de curgere în fibra extremă din secțiunea cea mai solicitată.

Limita stadiului de exploatare se stabilește față de stadiul limită prin reducerea acestuia cu un anumit coeficient de siguranță c .

Calculul structurilor metalice în stadiul plastic

Simplificările admise de calculul în stadiul elastic, care în genere reflectă corect starea de solicitare din stadiul de exploatare a construcțiilor, conduc în anumite cazuri la rezultate acoperitoare față de cele obținute prin încercări și măsurători efectuate pe modele sau pe construcții la scară naturală. Această situație se explică datorită unor inconveniente ale acestui mod de calcul.

În primul rând, situația considerată limită nu reprezintă întotdeauna o limită reală, ea având un caracter convențional. La barele întinse centric, apariția limitei de curgere se produce simultan pe toată secțiunea transversală a barelor și corespunde într-adevăr cu pierderea capacității portante, datorită deformațiilor mari care apar. La grinzile încovoiate însă, apariția limitei de curgere în fibra extremă din secțiunea cea mai solicitată (fig. 1.1, *c.1*), nu conduce la pierderea capacității portante. Aceasta survine abia atunci când eforturile unitare ating limita de curgere pe toată înălțimea secțiunii transversale (fig. 1.1, *c.4*). Trecerea de la situația din figura 1.1, *c.1* (limita stadiului elastic), la cea din figura 1.1, *c.4* (stadiul plastic) se face pe măsura creșterii încărcărilor, creștere care provoacă extinderea limitei de curgere de la fibra extremă spre axa neutră a secțiunii (fig. 1.1, *c.2* și 1.1, *c.3*).

Momentul corespunzător secțiunii integral plastificate (fig. 1.1, *c.4*) poartă denumirea de *moment plastic*; la structurile static determinate, apariția lui corespunde cu pierderea reală a capacității portante din cauza deformațiilor mari provocate de curgerea materialului (fig. 1.1, *b.4*). Stadiul corespunzător apariției plastificării pe întreaga secțiune transversală a elementului poartă denumirea de *articulație plastică* și se caracterizează prin posibilitatea producerii unei rotiri relative între cele două porțiuni de grindă.

La structurile static nedeterminate, apariția primei articulații plastice nu coincide cu pierderea capacității portante a structurii. Ea provoacă doar o nouă

repartizare a eforturilor în stuctură, cedarea acesteia intervenind abia odata cu apariția articulației plastice care transformă structura în mecanism.

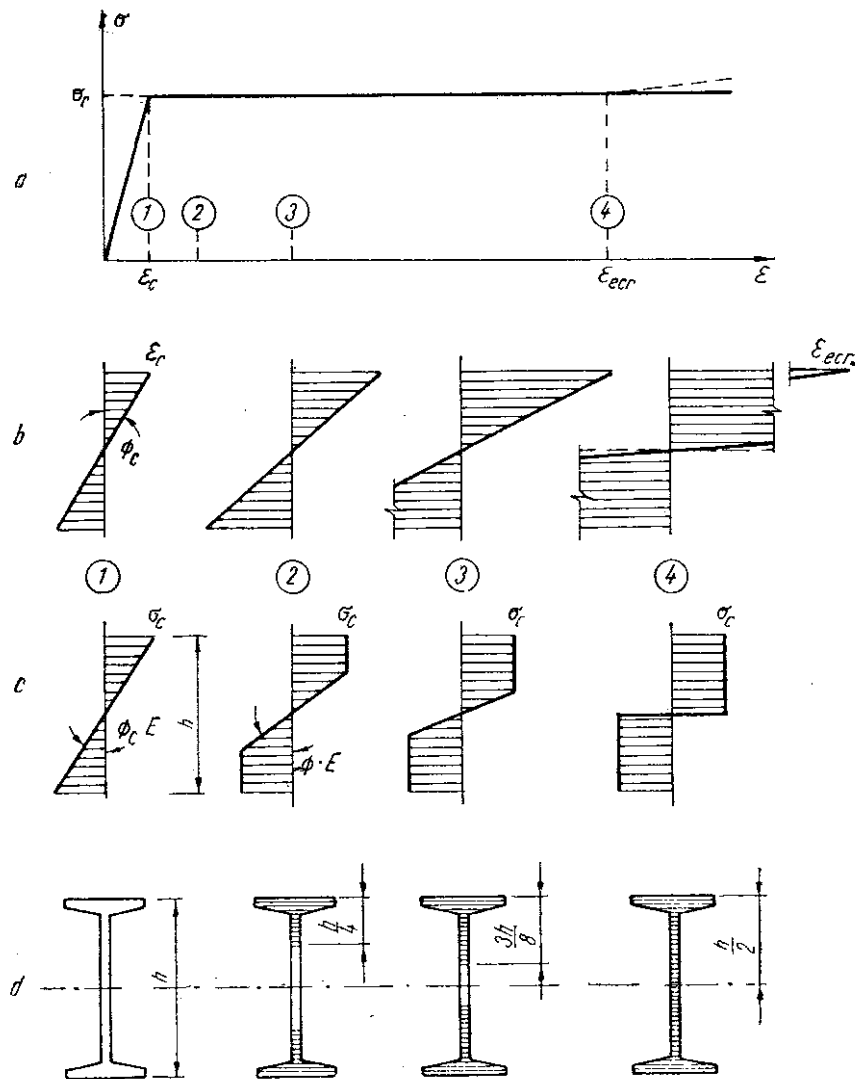


Fig. 1.1. Repartiția eforturilor unitare în diferite stadii de solicitare: a) curba caracteristică; b) deformații; c) eforturi unitare; d) dezvoltarea zonei plastice

În general la un sistem de n ori static nedeterminat, cedarea definitivă se produce la apariția celei de a $n + 1$ articulații plastice, cu condiția ca anterior acestei situații sistemul să nu fi devenit mecanism parțial.

Rezultă deci că structurile static nedeterminate ascund rezerve de rezistență de care calculul în domeniul elastic nu poate ține seama.

- Un al doilea neajuns al calculului elastic constă în faptul că, deși lucrează cu un coeficient de siguranță unic, datorită neaprecierii corecte a capacității reale de rezistență a structurilor, în realitate coeficienții de siguranță ai acestora sunt diferiți.

O confirmare a celor de mai sus o constituie și faptul că anumite imperfecțiuni ce pot apărea în execuție ca: cedările de rezeme, rigiditatea incompletă a nodurilor etc., nu au în general o influență sensibilă asupra capacității portante, în dezacord cu calculul elastic, care conduce la modificări substanțiale în repartizarea eforturilor.

Din cauza acestor inconveniente s-a pus problema abordării capacității portante a structurilor, considerând ca stare limită *momentul cedării lor* sub influența acțiunilor ce le solicită și a stabilirii unui coeficient de siguranță adecvat față de această situație. Acest principiu stă la baza calculului în stadiul plastic, calcul care urmărește stabilirea valorii minime a acțiunilor care transformă o structură în mecanism, prin apariția articulațiilor plastice și acceptă coeficienți de siguranță față de această situație care reprezintă efectiv stadiul limită.

Având în vedere faptul că stadiul limită în calculul plastic este legat de apariția articulațiilor plastice care se produc după depășirea limitei de comportare elastică a materialului, principiul suprapunerii efectelor nu mai poate fi admis în calculul plastic și ca atare structurile trebuie calculate separat la fiecare din grupările de acțiuni ce le pot solicita. Deoarece până la transformarea în mecanism deformațiile nu sunt exagerat de mari, se admite și în cadrul calculului în stadiul plastic ca ecuațiile de echilibru să se scrie pe schema nedeformată a structurilor.

Calculul în stadiul plastic nu are rolul de a înlocui calculul în stadiul elastic, ci doar de a-l completa. La structuri alcătuite din materiale cu palier de curgere, cum este cazul oțelurilor de construcții, el conduce la o apreciere mai exactă a comportării reale a structurilor. Când dimensionarea se face din condiții de rezistență, calculul în stadiul plastic poate conduce la economii însemnate de material în condiții de siguranță corespunzătoare.

Pentru exemplificare, se consideră o grindă încastrată la unul din capete și simplu rezemată la celălalt, încărcată cu o forță concentrată P la mijloc (fig. 1.2, *a*).

Diagrama de momente în stadiul elastic este arătată în figura 1.2.*b* și ea rezultă din suprapunerea diagramei dată de forța P pe grinda simplu rezemată, cu diagrama corespunzătoare momentului din încastrare, M_1 .

Dacă încărcarea P crește peste valoarea care conduce la apariția limitei de curgere în fibra extremă din secțiunea 1 , care este cea mai solicitată, creșterea corespunzătoare a eforturilor unitare se va manifesta asupra fibrelor învecinate, care nu au ajuns încă la limita de curgere și va determina apariția limitei de curgere și în aceste fibre (fig. 1.1, *c.2*). La o anumită valoare a forței, P' , când secțiunea 1 va ajunge integral plastificată (fig. 1.1, *c.4*), apare prima articulație plastică, care transformă structura într-o grindă simplu rezemată (fig. 1.2, *c*).

Capacitatea portantă a structurii nefiind atinsă, încărcarea mai poate crește până la o valoare P'' , care conduce la apariția momentului plastic și în secțiunea 3 (fig. 1.2, *d*) și deci la transformarea structurii într-un mecanism (fig.

1.2, e). Abia în această situație s-a ajuns la stadiul limită real al structurii respective, stadiu care diferă evident de cel admis de calculul elastic.

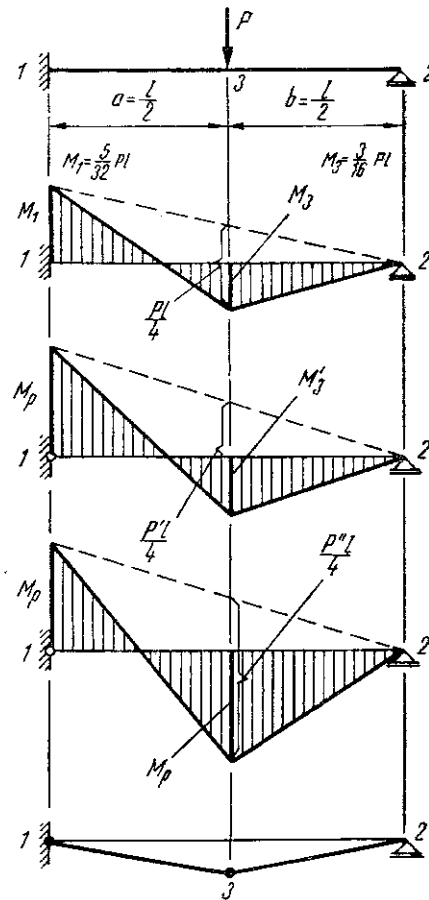


Fig. 1.2. Diagrama M la o grindă, în diferite stadii de solicitare

Stadiul limită corespunzător calculului în domeniul elastic rezultă pentru acea valoare a forței P , care conduce la apariția curgerii în fibra extremă din secțiunea I , în care expresia momentului încovoietor este:

$$M_1 = \frac{3}{16} Pl. \quad (1.2)$$

Valoarea corespunzătoare acestei forțe va fi:

$$P_{el} = \frac{16M_c}{3l} \quad (1.3)$$

unde $M_c = \sigma_c \cdot W$

Valoarea forței P'' , corespunzătoare stadiului limită din domeniul plastic, rezultă din diagrama 1.2, d, conform căreia se poate scrie:

$$\frac{P''l}{4} = M_p + \frac{M_p}{2} = \frac{3M_p}{2} = 1,5M_p, \quad (1.4)$$

de unde rezultă:

$$P'' = \frac{6M_p}{l} = P_{pl} \quad (1.5)$$

Dacă se notează $M_p = f \cdot M_c$, unde f este coeficientul de formă al secțiunii, care are valoarea 1,5 pentru secțiuni dreptunghiulare și 1,15...1,17 pentru secțiuni I, se obține:

$$\frac{P_{pl}}{P_{el}} = \frac{6fM_c}{l} \cdot \frac{3l}{16M_c} = \frac{18}{16}f = 1,125f. \quad (1.6)$$

Deci, în cazul considerat, sporul de capacitate portantă datorită legăturilor suplimentare este de 12,5% peste cel datorat formei secțiunii (coeficientul f). Dacă grinda se execută dintr-un profil I, rezultă:

$$P_{pl} = 1,125 \times 1,15P_{el} \cong 1,30P_{el}. \quad (1.7)$$

Adică, pentru ca grinda să-și piardă capacitatea de rezistență, forța P poate să crească cu 30% față de valoarea considerată limită prin calculul în stadiul elastic.

Metoda stărilor limită în calculul de proiectare a structurilor mecanice

Regula fundamentală pentru asigurarea la proiectare a structurilor mecanice în metoda stărilor limită este comparația, iar teoria matematică este probabilistică.

Verificarea elementelor structurilor mecanice prin comparație se poate sintetiza în relația:

$$S \leq \Phi \quad (1.8)$$

unde S este valoarea maximă a solicitării ca urmare a efectelor încărcărilor (corespunzătoare celei mai defavorabile dar posibilă grupare de încărcări ce ar putea solicita structura), iar Φ este capacitatea portantă minimă de rezistență sau deformabilitate (corespunzătoare stării limită considerată).

Determinarea valorilor S și Φ se face cu ajutorul unor parametri stabiliți pe cale probabilistică.

Expresia funcției încărcării S se poate pune sub forma explicită astfel:

$$S = \sum n_i \cdot P_i^n \cdot \alpha_i \cdot n_{gi} \quad (1.9)$$

în care :

n_i - coeficienții încărcării;

P_i^n - valoarea normată a încărcării;

α_i - coeficient de influență, care stabilește corelația între încărcarea exterioară și solicitarea (efortul) de o anumită natură în secțiunea considerată;

n_{gi} - coeficient de grupare subunitar care afectează încărcările variabile.

Expresia funcției Φ , care definește capacitatea portantă a secțiunii, se poate scrie sub forma:

$$\Phi = \frac{1}{\gamma_m} \cdot R^n \cdot m \cdot A \quad (1.10)$$

în care:

γ_m - este coeficient de siguranță la material, care, pentru materiale laminate, are valori cuprinse între 1,1...1,2 și ține seama de: variabilitatea calității materialului, a caracteristicilor geometrice ale secțiunii elementelor, etc.;

R^n - rezistența normată a oțelului, determinată pe cale statistică; pentru oțel obișnuit de construcții este valoarea limitei de curgere, $R_{p0,2}$. Valoarea $R = R^n / \gamma_m$ se numește rezistența de calcul a oțelului;

m – coeficient al condițiilor de lucru;

A – caracteristica geometrică de calcul (arie, modul de rezistență, etc.).

Comparația dintre cele două expresii devine:

$$\sum n_i \cdot P_i^n \cdot \alpha_i \cdot n_{gi} \leq \frac{1}{\gamma_m} \cdot R^n \cdot m \cdot A \quad (1.10)$$

Dacă se consideră egali coeficienții încărcării n_i , $\alpha_i = 1$ și n_g constant, se poate scrie:

$$n \cdot n_g \cdot \sum P_i^n = \frac{1}{\gamma_m} \cdot R^n \cdot m \cdot A \quad (1.11)$$

$$\sigma_{ef} = \frac{\sum P_i^n}{A} = \frac{1}{\gamma_m} \cdot \frac{\text{sau}}{n \cdot n_g} \cdot m \cdot R^n = \frac{1}{c} \cdot \sigma_c = \sigma_a \quad (1.12)$$

în care:

$$\frac{m}{\gamma_m \cdot n \cdot n_g} = \frac{1}{c}, \text{ deci } c = \frac{\gamma_m \cdot n \cdot n_g}{m} \text{ și } \sigma_a = \frac{\sigma_c}{c} \quad (1.13)$$

Coeficientul c are semnificația coeficientului de siguranță din metoda rezistențelor admisibile.

În figura 1.3 este prezentată succesiunea etapelor de calcul în metoda stărilor limită.

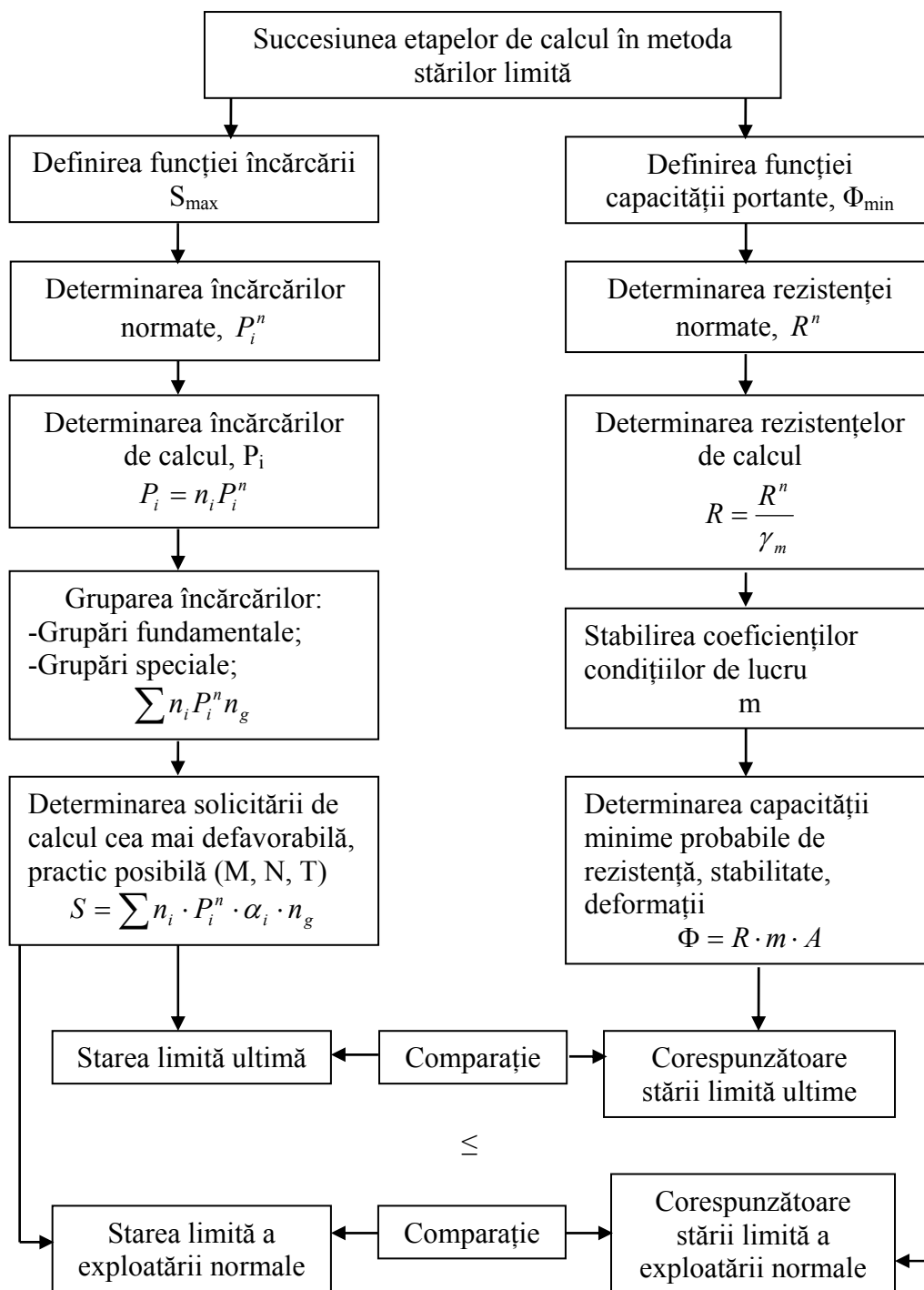


Fig. 1.3. Etape de calcul în metoda stărilor limită

Aplicație

Să se stabilească încărcările date de un pod rulant cunoscând:

- Capacitatea podului rulant: 500/125 kN, STAS 800-68;
- Podul are grupa a III-a de funcționare;
- Deschiderea podului, $L_p = 22$ m;
- Suspensia sarcinii este elastică.

Rezolvare

1. Se definește modul de manifestare a încărcării asupra căii de rulare

Podul rulant acționează asupra căii de rulare prin forțe concentrate care se aplică la contactul dintre roți și șinele căii de rulare și în opritori.

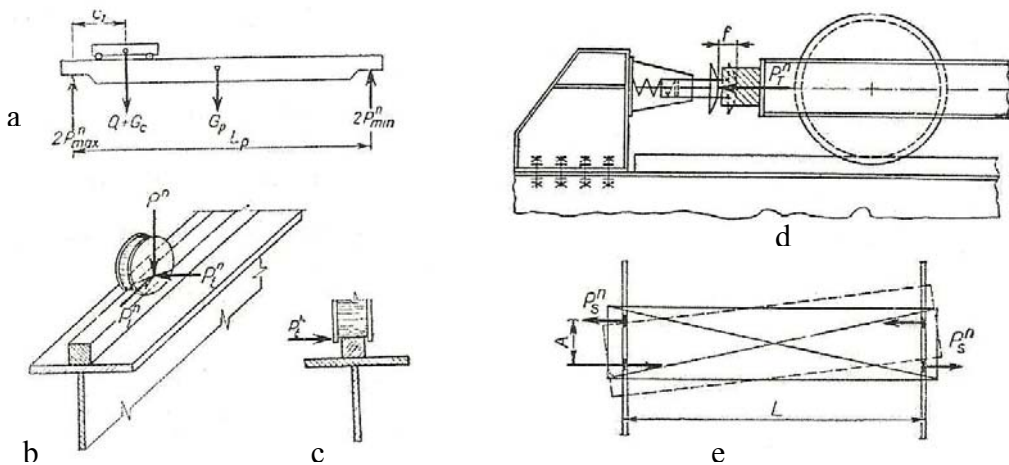


Fig. 1.4. Schemă reprezentând modul de solicitare a unui pod rulant

2. Se definește schematic modul de acționare al fiecărei forțe în parte

În figura 1.4 sunt schematizate forțele provenind din:

P^n – apăsarea roții pe șină – maximă sau minimă, (fig. 1.4 a, b).

P_i^n - frânarea sau demararea podului rulant (numai la roțile care frânează, fig. 1.4 b);

P_i^n - frânarea sau demararea căruciorului (transversale, pe fiecare roată de pe un fir al căii, fig. 1.4, c);

P_T^n - izbirea podului în opritoare (fig. 1.4, d);

P_s^n - din deplasarea oblică a podului (tendința de înțepenire a podului, fig. 1.4, e).

3. Se stabilesc intensitățile normate de bază ale forțelor

Din STAS 8407-69 sau folosind schema din figura 1.4, a, se stabilesc presiunile pe roți:

$$P_{\max} = 420 \text{ kN}; P_{\min} = 150 \text{ kN}$$

Din STAS 8407-69, se stabilesc:

- Forța de frânare longitudinală:

$$P_l^n = \frac{1}{10} \sum_1^{n_{fr}} P_{fr} = \frac{420}{10} = 42kN$$

- Forța de frânare orizontală transversală:

$$P_t^n = \frac{1}{20n_r} (Q + G_c) = \frac{1}{20 \cdot 2} (500 + 123) = 15,57kN$$

4. Se stabilește forța de izbire a podului în opritori, P_T^n , folosită exclusiv la verificarea tamponelor și prinderea acestora, a grinzilor și a prinderii acestora de structura de rezistență

Forța de izbire a podului în opritori este dată de relația:

$$P_T^n = m_f \cdot v_p^2 / f_T$$

$v_p = 50 \text{ m/min} = 0,83 \text{ m/s}$ (STAS 800-68)

$$m_f = \frac{1}{g} \left[\frac{G_p}{2} + G_c \frac{L_p - c_1}{L_p} \right]$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2; c_1 = 2 \text{ m};$$

$$m_f = \frac{1}{10} \left[\frac{423}{2} + 123 \frac{22 - 2}{22} \right] = 32,15$$

$$f_T = 0,2 \text{ m};$$

$$P_T^n = 32,15 \cdot (0,7 \cdot 0,83)^2 / 0,2 = 54,26kN$$

$$P_s^n = \frac{1}{5} P_{\max} = 84kN$$

5. Se stabilește convoiul de forțe mobile pe aceeași șină a căii de rulare, folosit în calculul solicitărilor în grinda de rulare

Pe baza distanțelor între roți din STAS 800-68, se stabilește convoiul din figura 1.5.

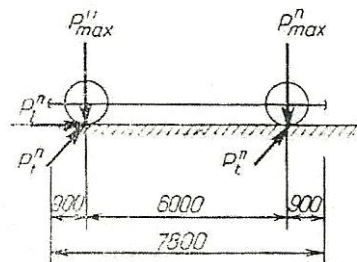


Fig. 1.5. Forțele la contactul roată-șină a căii de rulare

La calculul grinzilor căilor de rulare se admite folosirea în calcul a unui singur pod rulant numai în cazul când nu este posibilă montarea unui al doilea pod.

6. Forțele fiind mobile, regimul de lucru al podului fiind greu (III), se stabilesc coeficienții dinamici care multiplică încărcările normate de bază

Din STAS 8407-69, rezultă:

- Pentru forțe verticale, $\psi = 1,3$;

- Pentru forțe orizontale, $\alpha = 1,4$;
 - Pentru calculul prinderilor grinzii căii de rulare de stâlp, $2\alpha = 2,8$.
7. *Se stabilesc încărcările normate folosite în metoda rezistențelor admisibile*

$$P_{\max}^n = 1,3 \cdot 420 = 546 \text{ kN}$$

$$P_{\min}^n = 1,3 \cdot 150 = 195 \text{ kN}$$

$$P_t^n = 1,4 \cdot 15,57 = 21,8 \text{ kN}$$

$$P_l^n = 1,4 \cdot 42 = 58,8 \text{ kN}$$

$$P_s^n = 1,4 \cdot 84 = 117,6 \text{ kN}$$

8. *Se stabilește coeficientul acțiunilor pentru determinarea încărcărilor de calcul*

Din STAS 8407-69, rezultă:

- Pentru forțe verticale, $n_i = 1,2$;
 - Pentru forțe orizontale, $n_i = 1,3$.
9. *Se stabilesc încărcările de calcul, multiplicând valorile normate ale încărcărilor cu coeficienții acțiunilor*

$$P_{\max} = 1,2 \cdot 546 = 655,2 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = 1,2 \cdot 195 = 234 \text{ kN}$$

$$P_t = 21,8 \cdot 1,3 = 28,34 \text{ kN}$$

$$P_l = 58,8 \cdot 1,3 = 76,44 \text{ kN}$$

$$P_s = 117,6 \cdot 1,3 = 152,88 \text{ kN}$$

Bare solicitate la întindere

În construcția structurilor mecanice se întâlnesc frecvent elemente solicitate la forță axială de întindere: unele diagonale ale grinzilor cu zăbrele, tălpile inferioare ale grinzilor cu zăbrele simpu rezemate, tiranți, cabluri, etc.

Tipuri de secțiuni

Secțiunile barelor solicitate la întindere au diferite forme, în funcție de valoarea solicitării și tipul elementului de construcție din care fac parte. În figura 1.6 și 1.7 sunt clasificate și exemplificate secțiuni ale barelor întinse.

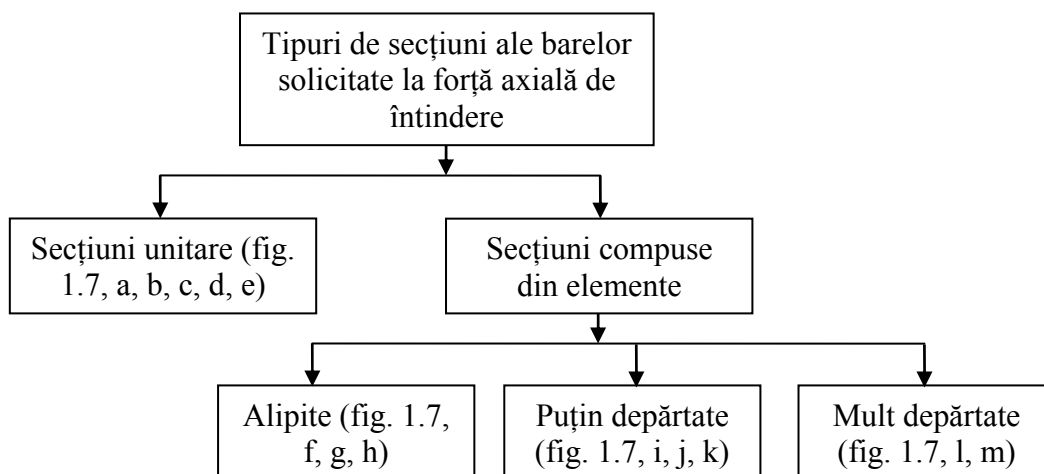


Fig. 1.6. Clasificarea secțiunilor la barele întinse

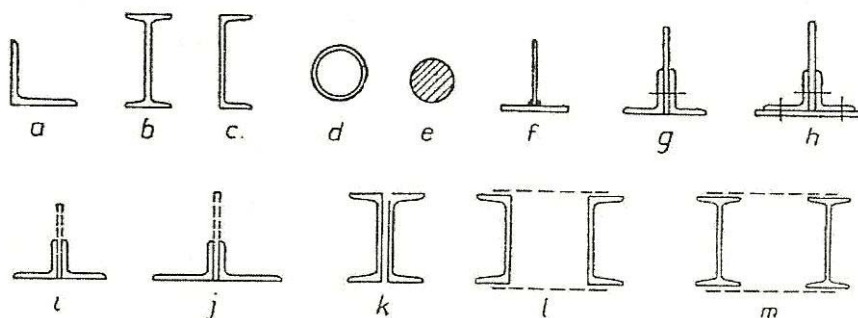


Fig. 1.7. Tipuri de secțiuni ale barelor întinse

Verificare

Barele cu efort axial de întindere trebuie să satisfacă următoarele verificări:

- Bare cu secțiune neslăbită (fig. 1.8, a):

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R, \lambda \leq \lambda_a \quad (1.14)$$

- Bare cu secțiune slăbită (fig. 1.8, b):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R, \lambda \leq \lambda_a \quad (1.15)$$

- Bare cu secțiune slăbită datorită prinderilor cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate (fig. 1.8, c):

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R, \sigma = \frac{N'}{A_n} \leq R, \lambda \leq \lambda_a \quad (1.16)$$

în care:

σ este tensiunea în secțiunea care se verifică;

N – efortul axial de calcul în secțiunea care se verifică;

A – aria brută a secțiunii care se verifică;

R – rezistența de calcul a oțelului;

λ – coeficientul de zveltețe maxim al barei;

λ_a – coeficientul de zveltețe admis pentru bare întinse;

A_n – aria netă a secțiunii (normală pe axa barei sau sinuoasă) ce se verifică;

$N' = N(1-0,4 \cdot n_1/n)$;

n – numărul șuruburilor de pe o jumătate a îmbinării;

n_1 – numărul șuruburilor din secțiunea care se verifică.

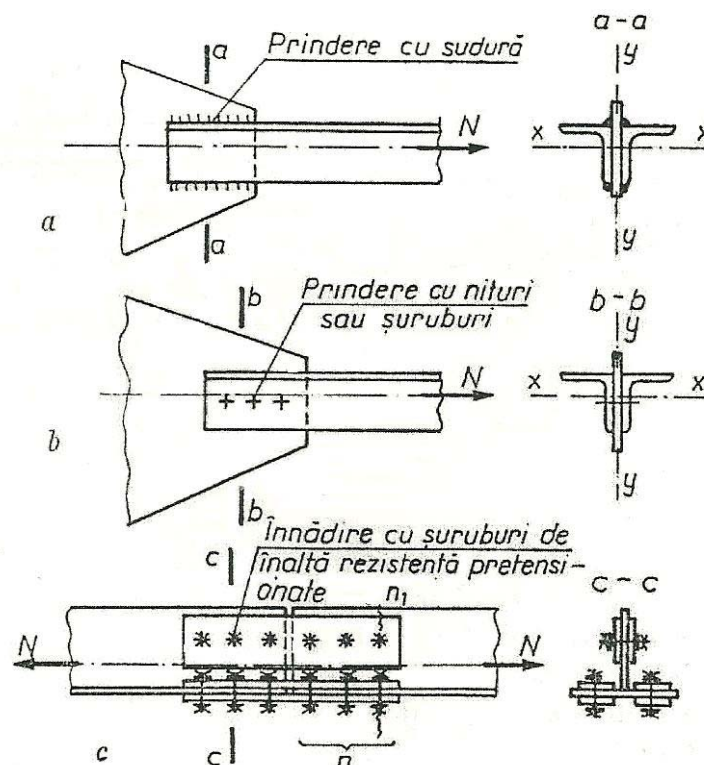


Fig. 1.8. Bară sollicitată la întindere

Sucesiunea operațiilor necesare verificării unei bare cu secțiunea slăbită este indicată în figura 1.9.

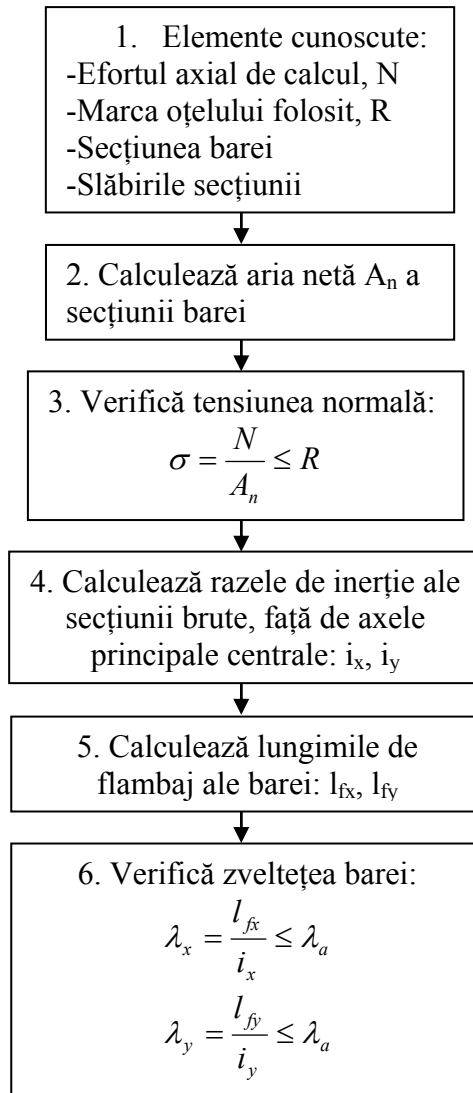


Fig. 1.9. Etapele necesare verificării unei bare cu secțiune slăbită

Schema din figura de mai sus poate fi folosită și pentru barele cu secțiune fără slăbiri sau cu slăbiri datorită prinderilor cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate, cu următoarele particularizări:

Bare cu secțiune fără slăbiri:

- Etapa 2: $A_n = A$;
- Etapa 3: $\sigma = \frac{N}{A} \leq R$

Bare cu secțiune slăbită datorită prinderilor cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate:

- Etapa 2: se calculează A și A_n ;

- Etapa 3: $N' = N(1-0,4 \cdot n_1/n)$, $\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R$, $\sigma = \frac{N'}{A_n} \leq R$.

Dimensionare

Dimensionarea unei bare cu efort axial de întindere are, în general, un caracter iterativ și necesită parcurgerea a două etape:

- Alegerea secțiunii;
- Verificarea secțiunii alese.

Dimensionarea se încheie când sunt satisfăcute toate condițiile cerute de verificare; în figura 1.10 sunt detaliate etapele de dimensionare a unei bare cu secțiune slăbită.

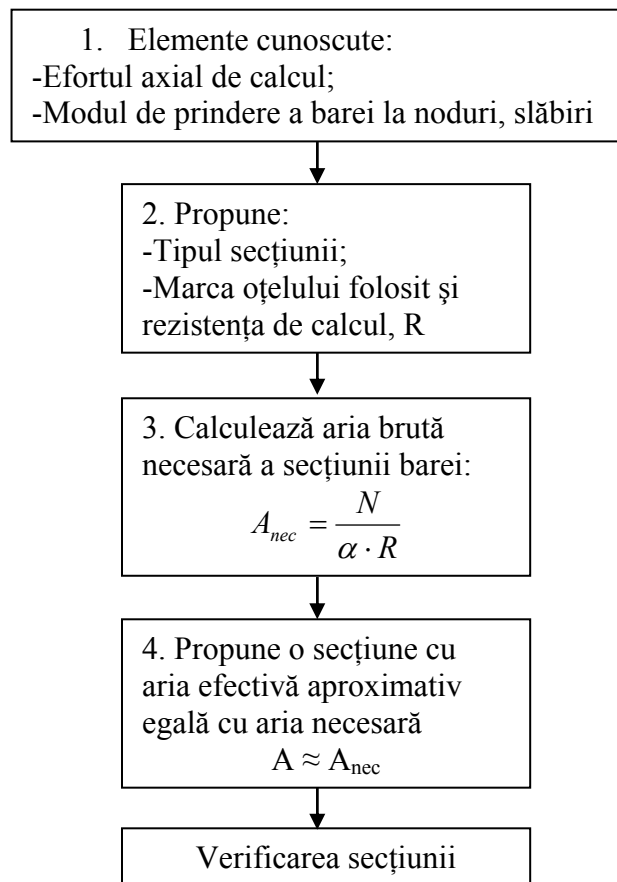


Fig. 1.10. Etape de calcul în dimensionarea unei bare cu slăbiri

Schema din figura de mai sus poate fi folosită și pentru dimensionarea barelor fără slăbiri, cu următoarele particularizări:

- Etapa 2: $\alpha = 1$;
- Etapa 3: $A_{nec} = \frac{N}{R}$
- Etapa 4: $A \geq A_{nec}$.

Condiții constructive

Pentru a lucra unitar, elementele secțiunilor compuse se solidarizează între ele. În figurile 1.11 și 1.12 sunt indicate posibilitățile de solidarizare a elementelor secțiunilor compuse.

Distanța între punctele de solidarizare l_1 este de maximum $80 \cdot i_1$, în care i_1 este raza de inerție minimă a unui element al secțiunii. În cazul unor bare alcătuite din profile laminate ca în fig. 1.12, c, d, e, - i_1 este raza de inerție a unui singur element în raport cu axa proprie (1 - 1) paralelă cu axa care nu taie materialul secțiunii.

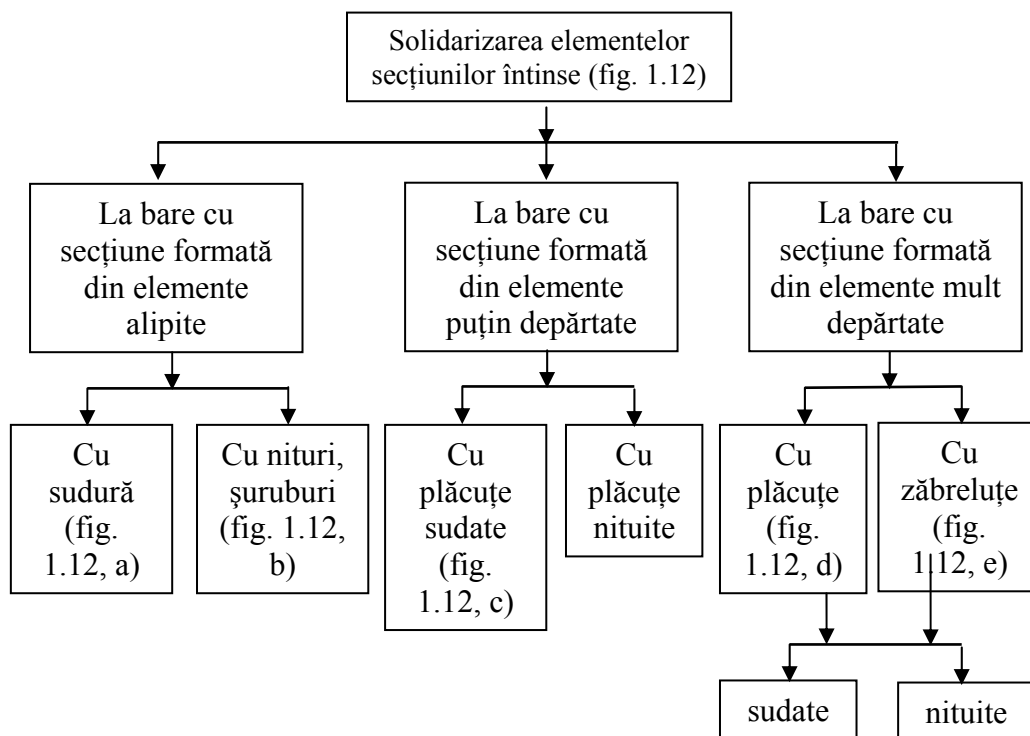


Fig. 1.11. Posibilități de solidarizare a elementelor secțiunilor compuse

Criterii de alcătuire economică

Tabelele și profilele laminate folosite în construcții metalice se execută, în general, din mai multe mărci de oțel cu rezistențe de calcul diferite. În cazul barelor cu efort axial de întindere, în scopul obținerii unui consum de oțel cât mai mic, este rațională folosirea oțelurilor cu rezistențe de calcul sporite, dacă sunt îndeplinite următoarele condiții:

- Dimensionează condiția de rezistență, coeficientul de zveltețe nedepășind valoarea maximă;
- Produsul siderurgic folosit (tablă sau profil laminat) se execută din marca de oțel propusă.

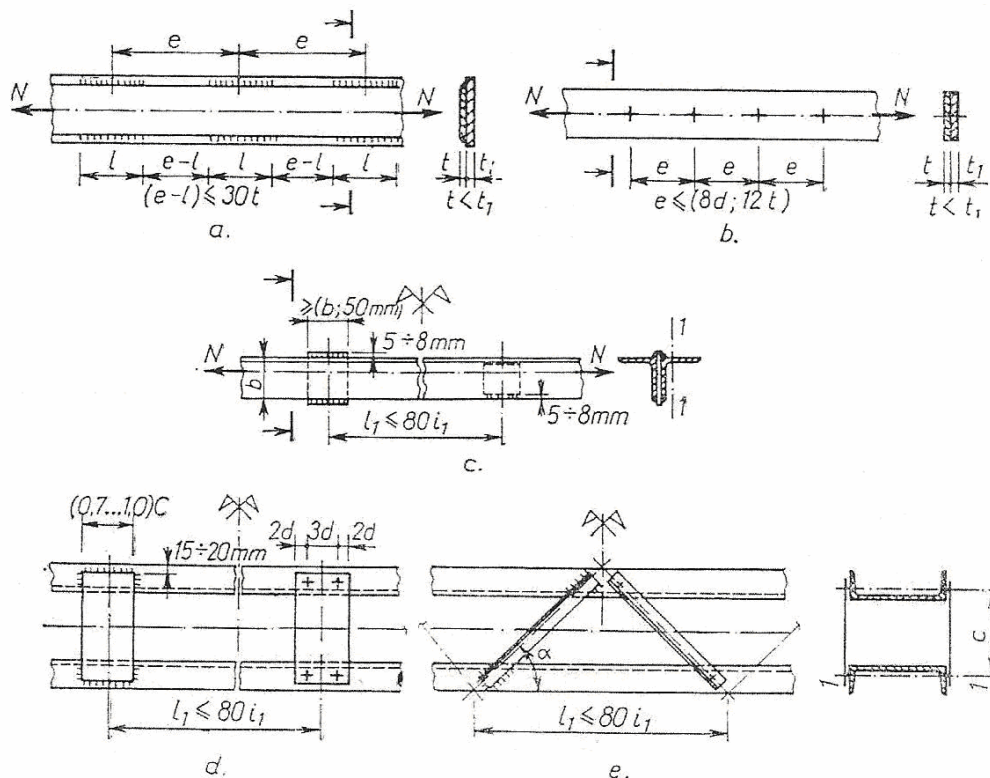


Fig. 1.12. Soluții de solidarizare a barelor întinse

Aplicații

1. Să se alcătuiască diagonala întinsă 3 – 4 a grinzii cu zăbrele din figura 1.13, a, cunoscând: efortul axial de calcul $N = 395 \text{ kN}$; secțiunea barei nu are slăbiri, prinderea barei în noduri realizându-se cu sudură.

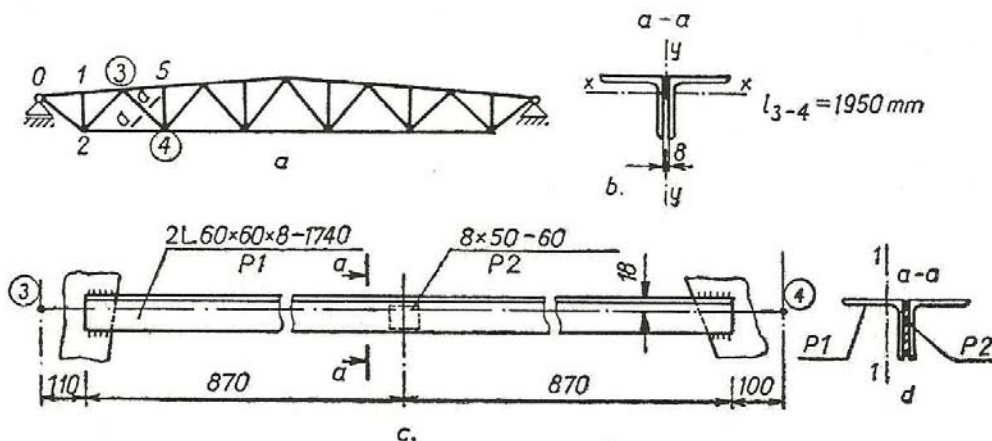


Fig. 1.13. Grindă cu zăbrele

Rezolvare

1. Elemente cunoscute:
 - Efortul axial de calcul: $N = 395 \text{ kN}$;
 - Modul prindere a barei la noduri: secțiunea barei nu are slăbiri, prinderea în noduri realizându-se cu sudură.

Alegerea secțiunii

2. Propune:
 - Tipul secțiunii: se propune o secțiune formată din două corniere puțin depărtate, fig. 1.13, b;
 - Marca oțelului folosit și rezistența de calcul, R : se propune oțel OL 37 cu rezistența de calcul, $R = 220 \text{ MPa}$;
 - Coeficientul de slăbire a secțiunii: $\alpha = 1$, deoarece secțiunea barei nu are slăbiri;
3. Se calculează aria necesară a secțiunii:

$$A_{nec} = \frac{N}{R} = \frac{395 \cdot 10^3}{220} = 1795 \text{ mm}^2$$

4. Propune o secțiune cu $A \geq A_{nec}$: se propune o secțiune formată din două corniere, 2L 60x60x8 ca în fig. 1.13, d, cu următoarele caracteristici: $A = 1806 \text{ mm}^2$; $i_x = 18 \text{ mm}$; $i_y = 28,2 \text{ mm}$; $i_1 = 18 \text{ mm}$.

Verificarea secțiunii

5. Se verifică tensiunea normală:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{395 \cdot 10^3}{1806} = 218,7 \text{ MPa} < R.$$

6. Se calculează lungimile de flambaj ale barei: l_{fx} , l_{fy} :

$$l_{fx} = 0,8 \cdot l = 0,8 \cdot 1950 = 1560 \text{ mm};$$

$$l_{fy} = l = 1950 \text{ mm}.$$

7. Se verifică zveltețea barei:

$$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x} = \frac{1560}{18} = 86,7 < \lambda_a;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{1950}{28,2} = 69,1 < \lambda_a;$$

Condiții constructive

- Elementele secțiunii se solidarizează cu plăcuțe 8x50 – 60;
- Distanța maximă între plăcuțe, $l_1 = 80 \cdot i_1 = 1440 \text{ mm}$;
- Pe lungimea barei este necesară o singură plăcuță de solidarizare, fig. 1.13, c.

Bare solicitate la compresiune

În construcția structurilor metalice se întâlnesc frecvent bare solicitate la compresiune: unele diagonale ale grinzilor cu zăbrele, tălpile superioare ale grinzilor cu zăbrele simplu rezemate, stâlpi, barele contravântuirilor, etc. Valorile ridicate ale caracteristicilor mecanice ale oțelurilor permit realizarea unor bare care prezintă dimensiuni relativ mici ale secțiunii transversale în raport cu lungimea; din această cauză capacitatea portantă a barelor din oțel este determinată de fenomenul de pierdere a stabilității.

Tipuri de secțiuni

Secțiunile barelor cu efort axial de compresiune au diferite alcătuirii în funcție de valoarea solicitării și tipul elementului de construcție din care fac parte. În figura 2.1 și figura 2.2 sunt clasificate și exemplificate secțiuni ale barelor comprimate.

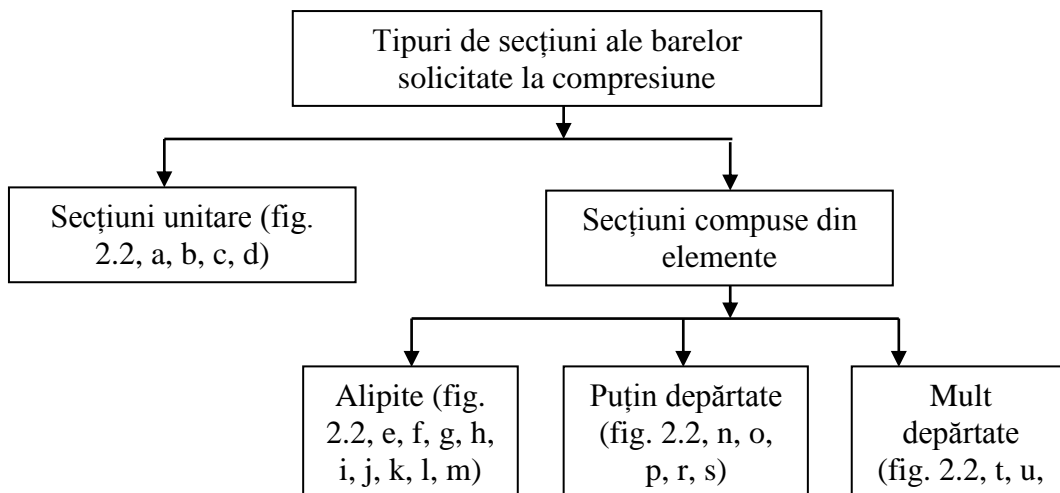


Fig. 2.1. Clasificarea secțiunilor barelor comprimate

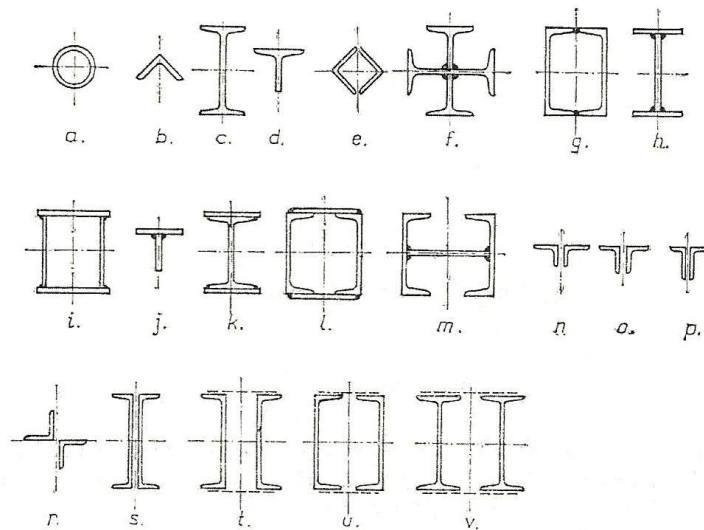


Fig. 2.2. Tipuri de secțiuni ale barelor solicitate la compresiune

Fenomenul de pierdere a stabilității

Studiul stabilității barei comprimate – fenomen foarte complex – a evoluat în decursul timpului în sensul cuprinderii în calcule a unui număr cât mai mare de parametrii de care depinde în mod real capacitatea portantă a barei. Astfel, printre altele, sunt luate în considerare formele prin care își pierde stabilitatea o bară solicitată la compresiune axială: flambaj prin încovoiere, încovoiere – răsucire și răsucire.

Un alt element nou, introdus în calcule, se referă la valorile coeficienților φ pentru barele comprimate axial. Aspectele teoretice ale flambajului barelor comprimate axial, tratate pentru bare ideale, sunt rezolvate de foarte multă vreme. În cazurile întâlnite în practică interesează flambajul barelor reale, așa cum sunt în construcția structurilor, cu imperfecțiuni inevitabile de dimensiuni, de structură, de centrare a forțelor, de liniaritate și altele. În metoda rezistențelor admisibile aceste inconveniente produse de neconcordanța între bara reală și cea teoretică perfectă erau corectate prin folosirea unor coeficienți de siguranță variabili, reflectați în coeficientul φ .

În domeniul elastic de solicitare se poate aplica formula lui Euler, iar dincolo de limita elastică se găsesc curbe construite pentru module de elasticitate reduse (Tetmeyer, Engesser-Karman, Shanley).

Odată stabilită valoarea rezistenței critice σ_{cr} pentru diverse valori ale coeficientului de zveltețe, se poate stabili rezistența admisibilă la flambaj σ_{af} împărțind valoarea lui σ_{cr} la un coeficient de siguranță c_f :

$$\sigma_{af} = \frac{\sigma_{cr}}{c_f} \quad (2.1)$$

Dacă se cunoaște rezistența admisibilă la flambaj σ_{af} , *dimensionarea barelor* se poate face cu formula:

$$A_b = \frac{N}{\sigma_{af}} \quad (2.2)$$

iar verificarea cu formula:

$$\sigma_{ef} = \frac{N}{A_b} \leq \sigma_{af} \quad (2.3)$$

în care:

N este efortul de compresiune din bară;

A_b – secțiunea brută a barei.

Pentru simplificarea calculului, în practică comparația se face tot cu rezistența admisibilă la întindere σ_a . Dacă în relația (2.3) se înmulțește și se împarte cu σ_a se va obține:

$$\frac{N}{A_b} \leq \frac{\sigma_{af}}{\sigma_a} \cdot \sigma_a = \varphi \cdot \sigma_a \quad (2.4)$$

Raportul:

$$\varphi = \frac{\sigma_{af}}{\sigma_a} \quad (2.5)$$

este denumit *coeficient de flambaj*, care pentru un oțel de calitate dată se stabilește în funcție de valoarea coeficientului de zveltețe (STAS 763/1-71) și este dat în tabelul 2.1 pentru oțelul OL37 și în tabelul 2.2 pentru OL52.

Expresia analitică condensată a coeficienților de flambaj, care a fost preluată și de STAS 10108/0-78, obținută prin modelare matematică este următoarea:

$$\varphi = \frac{1}{\left(a + b \bar{\lambda}^2 \right) + \sqrt{\left(a + b \bar{\lambda}^2 \right)^2 - c \cdot \bar{\lambda}^2}} \quad (2.6)$$

unde:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E}; \quad \lambda = \frac{l_f}{i}; \quad \lambda_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{R_c}}$$

l_f – lungimea de flambaj a barei;

i – raza de inerție a secțiunii;

E – modulul de elasticitate al oțelului;

R_c – limita de curgere a oțelului;

a, b, c – au valorile din tabelul 2.3.

Tabelul 2.1. Valori ale coeficientului de flambaj pentru oțel S235

λ	Valorile coeficienților ϕ pentru oțelul S235									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,000	0,996	0,992	0,987	0,983	0,979	0,975	0,971	0,967	0,963
10	0,960	0,956	0,952	0,948	0,944	0,941	0,937	0,933	0,930	0,926
20	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,901	0,897	0,894	0,890
30	0,886	0,883	0,879	0,876	0,872	0,868	0,865	0,861	0,857	0,853
40	0,850	0,847	0,843	0,839	0,836	0,832	0,828	0,825	0,821	0,817
50	0,814	0,810	0,806	0,802	0,799	0,795	0,791	0,788	0,784	0,780
60	0,776	0,772	0,769	0,765	0,761	0,757	0,753	0,749	0,745	0,741
70	0,737	0,734	0,729	0,725	0,721	0,717	0,713	0,709	0,705	0,701
80	0,696	0,692	0,688	0,683	0,679	0,674	0,670	0,665	0,660	0,656
90	0,651	0,646	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,613	0,607	0,600
100	0,593	0,585	0,577	0,567	0,555	0,545	0,535	0,525	0,515	0,506
110	0,496	0,488	0,479	0,470	0,462	0,454	0,446	0,439	0,431	0,424
120	0,417	0,410	0,403	0,397	0,391	0,384	0,378	0,372	0,367	0,361
130	0,355	0,350	0,345	0,340	0,335	0,330	0,325	0,320	0,315	0,311
140	0,306	0,302	0,298	0,294	0,290	0,286	0,282	0,278	0,274	0,271
150	0,267	0,263	0,260	0,257	0,253	0,250	0,247	0,244	0,241	0,238
160	0,235	0,232	0,229	0,226	0,223	0,221	0,218	0,215	0,213	0,210
170	0,208	0,205	0,203	0,201	0,198	0,196	0,194	0,192	0,190	0,187
180	0,185	0,183	0,181	0,179	0,177	0,175	0,174	0,172	0,170	0,168
190	0,166	0,165	0,163	0,161	0,160	0,158	0,156	0,155	0,153	0,152
200	0,150	0,149	0,147	0,146	0,144	0,143	0,142	0,140	0,139	0,137

Tabelul 2.2. Valori ale coeficientului de flambaj pentru oțel S355

λ	Valorile coeficienților ϕ pentru oțelul S355									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,992	0,987	0,982	0,977
10	0,973	0,968	0,963	0,959	0,954	0,949	0,945	0,941	0,936	0,932
20	0,927	0,923	0,919	0,914	0,910	0,905	0,901	0,897	0,892	0,887
30	0,883	0,879	0,875	0,870	0,866	0,861	0,857	0,852	0,848	0,843
40	0,838	0,834	0,829	0,825	0,820	0,815	0,811	0,806	0,801	0,797
50	0,792	0,787	0,782	0,778	0,773	0,768	0,763	0,758	0,753	0,748
60	0,743	0,738	0,733	0,727	0,722	0,717	0,711	0,706	0,700	0,695
70	0,689	0,683	0,677	0,671	0,665	0,658	0,652	0,645	0,638	0,630
80	0,622	0,614	0,605	0,594	0,583	0,567	0,554	0,541	0,529	0,517
90	0,506	0,495	0,484	0,474	0,464	0,454	0,444	0,435	0,426	0,418
100	0,410	0,401	0,394	0,386	0,379	0,371	0,364	0,358	0,351	0,345
110	0,338	0,332	0,326	0,321	0,315	0,310	0,304	0,299	0,294	0,289
120	0,284	0,280	0,275	0,271	0,266	0,262	0,258	0,254	0,250	0,246
130	0,242	0,239	0,235	0,232	0,228	0,225	0,221	0,218	0,215	0,212
140	0,209	0,206	0,203	0,200	0,197	0,195	0,192	0,189	0,187	0,184
150	0,182	0,180	0,177	0,175	0,173	0,170	0,168	0,166	0,164	0,162
160	0,160	0,158	0,156	0,154	0,152	0,150	0,149	0,147	0,145	0,143
170	0,142	0,140	0,138	0,137	0,135	0,134	0,132	0,131	0,129	0,128
180	0,126	0,125	0,124	0,122	0,121	0,120	0,118	0,117	0,116	0,115
190	0,113	0,112	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,105	0,104	0,103
200	0,102	0,101	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,095	0,094

Tabelul 2.3. Valori ale coeficienților a, b și c pentru calculul coeficientului de flambaj

	A	B	C
a	0,5	0,5	0,5
b	0,514	0,554	0,532
c	0,795	0,738	0,377

În tabelul 2.3, literele A, B și C reprezintă curbe de variație între coeficientul de flambaj și coeficientul de zveltețe, fig. 2.3.

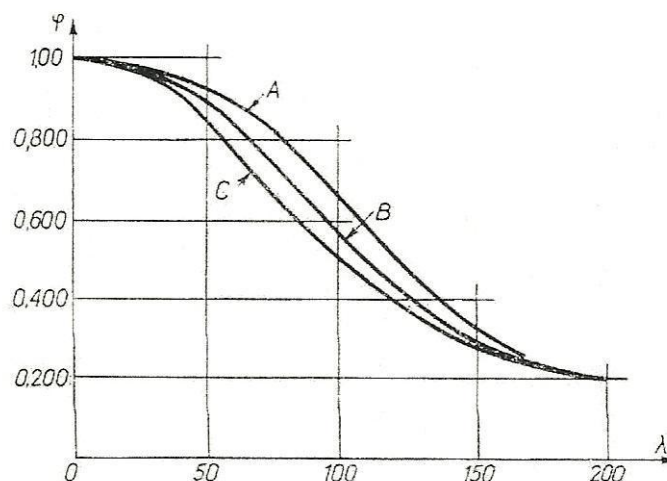


Fig. 2.3. Variația coeficientului de flambaj în funcție de coeficientul de zveltețe

În practică, legăturile la capetele barelor sunt foarte variate (încăstrări, încăstrări elastice, articulații, legături care admit deplasări etc.), iar încărcările de compresiune pot fi aplicate și distribuite de-a lungul barei. De aceea, forța critică de flambaj pentru un caz real trebuie stabilită ținând seama atât de legăturile barei cât și de modul de aplicare a încărcărilor. Pentru calculul coeficientului de flambaj φ , coeficientul de zveltețe λ se stabilește în funcție de lungimea de flambaj care se calculează cu relația:

$$l_f = \mu \cdot l \quad (2.6)$$

în care:

- μ este coeficientul lungimii de flambaj;
- l – lungimea reală a barei.

Verificarea barelor comprimate

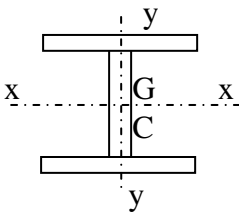
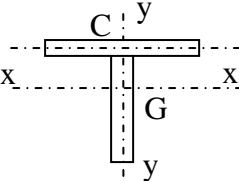
Teoretic, barele comprimate își pot pierde stabilitatea, în funcție de tipul secțiunii, în următoarele moduri:

- Prin încovoiere, în cazul secțiunilor al căror centru de greutate G coincide cu centrul de răsucire C ;

- Prin încovoiere-răsucire, în cazul secțiunilor al căror centru de greutate nu coincide cu centrul de răsucire (secțiuni T, U, I nesimetric).

În tabelul 2.4 sunt exemplificate modurile de pierdere a stabilității în funcție de tipul secțiunii și planul în care este posibilă pierderea stabilității.

Tabelul 2.4.

Tipul secțiunii	Modul de pierdere a stabilității	
	x - x	y - y
	încovoiere	Încovoiere
	încovoiere-răsucire	încovoiere

Verificarea barelor cu secțiune plină sau compusă din elemente puțin depărtate care își pierd stabilitatea prin încovoiere

Verificarea se face cu relația:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R \quad (2.7)$$

în care:

N este efortul axial de calcul;

φ – coeficientul minim de flambaj al barei;

A – aria secțiunii brute a barei;

R – rezistența de calcul a oțelului.

Dacă efortul axial N este variabil în lungul barei, se admite să se folosească aceeași relație dar efortul axial N se ia cu valoarea maximă.

Verificarea barelor cu secțiune compusă din elemente puțin depărtate solidarizate cu plăcuțe se face cu aceeași relație dacă sunt îndeplinite condițiile:

- elementele secțiunii se solidarizează cu plăcuțe la distanța $l_1 \leq 40 \cdot i_1$; i_1 este raza de inerție a unui singur element în raport cu axa proprie 1 – 1 paralelă cu planul plăcuței (fig. 2.4, c);

- pe lungimea barei sunt cel puțin două plăcuțe de solidarizare.

Succesiunea operațiilor necesare verificării unei bare cu secțiune plină, care își pierde stabilitatea prin încovoiere este indicată în schema următoare.

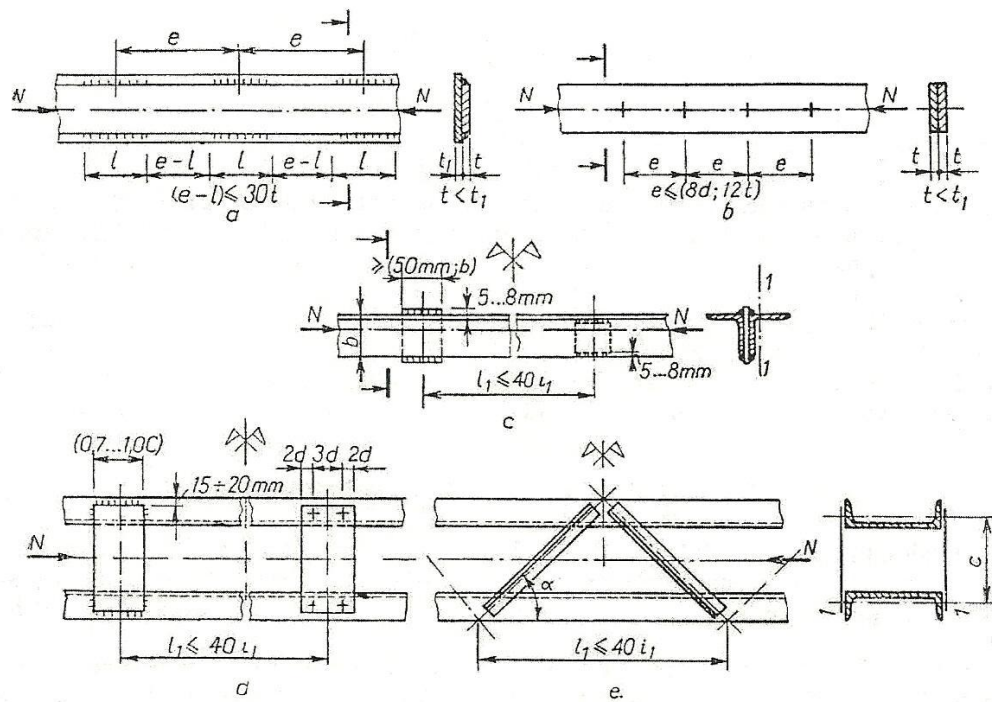
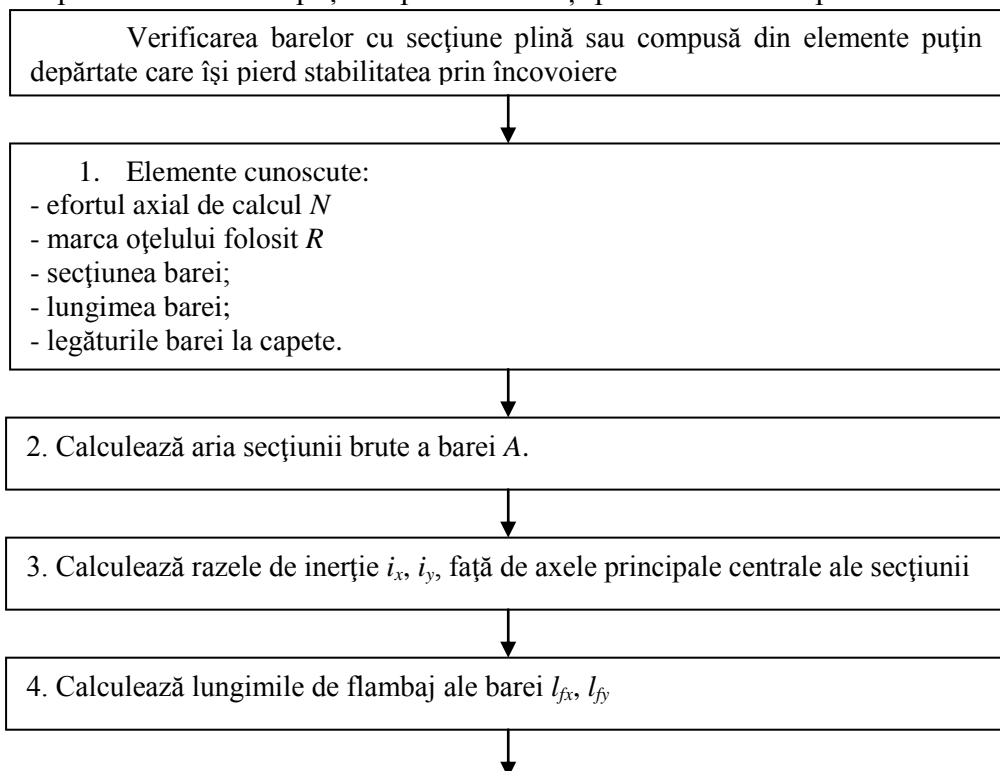


Fig. 2.4. Exemplu de solidarizare a secțiunilor compuse solicitate la compresiune

Schema 2.1. Succesiunea etapelor în calculul de verificare a barelor cu secțiune compusă din elemente puțin depărtate care își pierd stabilitatea prin încovoiere



5. Se calculează coeficienții de zveltețe:

$$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x} \leq \lambda_a; \quad \lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} \leq \lambda_a$$

6. Stabilește coeficienții de flambaj în funcție de curba de încadrare a secțiunii, coeficientul de zveltețe și marca oțelului:

$$\begin{array}{l} \lambda_x \xrightarrow{\text{Curba...}} \varphi_x \\ \quad \quad \quad \text{Oțel....} \\ \lambda_y \xrightarrow{\text{Curba...}} \varphi_y \\ \quad \quad \quad \text{Oțel....} \end{array}$$

7. Stabilește coeficientul minim de flambaj:

$$\varphi = \min(\varphi_x; \varphi_y)$$

8. Verifică îndeplinirea condiției de stabilitate:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R$$

Verificarea barelor cu secțiune plină care își pierd stabilitatea prin încovoiere-răsucire

Verificarea se face cu aceeași relație ca la barele care își pierd stabilitatea prin încovoiere ($N/\varphi A \leq R$) cu următoarele particularități față de schema anterioară:

- *operația 5*: se calculează în afară de λ_x și λ_y și o valoare corectată λ_{ytr} a coeficientului de zveltețe pentru pierderea stabilității prin încovoiere-răsucire în planul perpendicular pe planul de simetrie (vezi *cazul 2* din tabelul 2.4);
- *operația 6*: se stabilește, în afară de φ_x , φ_y și un coeficient φ_{ytr} în funcție de λ_{ytr} pe curba de flambaj B;
- *operația 7*: $\varphi = \min(\varphi_x; \varphi_y; \varphi_{ytr})$.

Sucesiunea operațiilor necesare verificării unei bare cu secțiunea plină care își pierde stabilitatea prin încovoiere-răsucire este indicată în schema 2.2; notațiile sunt cele din figura 2.5.

În schema 2.2:

y_c reprezintă poziția centrului de răsucire în raport cu centrul de greutate;

I_x, I_y – momentele de inerție ale secțiunii în raport cu axa $x - x$, respectiv $y - y$;

I_r – moment de inerție la răsucire;

I_ω – moment de inerție sectorial;

l_0 – distanța între punctele în care este împiedicată constructiv răsucirea barei în jurul axei longitudinale;

μ – coeficient care multiplică lungimea barei în funcție de gradul de încastrare la capete;
 μ_0 – coeficient care ține seama de gradul de împiedicare a deplanării secțiunii barei.

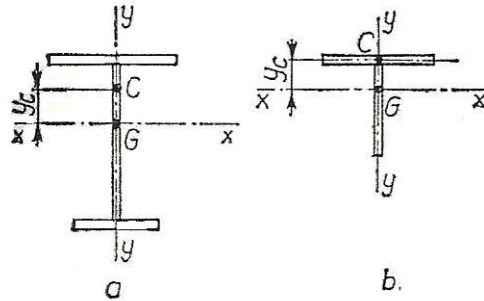


Fig. 2.5. Secțiuni care își pierd stabilitatea prin încovoiere-răsucire

Valorile coeficienților μ și μ_0 (în cazurile curente, în practică $\mu = \mu_0$) se iau:

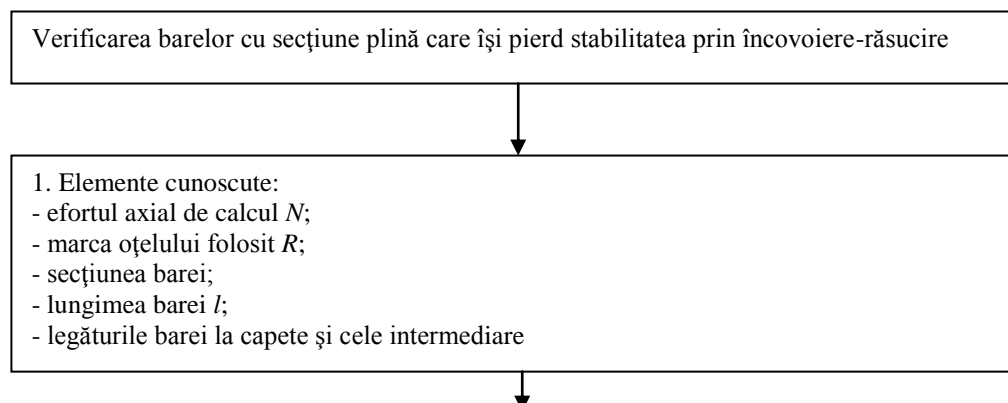
- 1,00 în cazul legăturilor articulate la capete, răsturnarea barei fiind împiedicată, deplanarea secțiunii fiind liberă;
- 0,50 când bara este încastrată la ambele capete pentru încovoiere și deplanarea la răsucire este împiedicată;
- 0,70 când bara este încastrată la un capăt și articulată la altul pentru încovoiere, respectiv deplanarea este împiedicată la un capăt și liberă la altul;
- pentru legături intermediare se pot lua valori pentru μ și μ_0 între 0,50 și 1,0.

Pentru secțiunea din figura 5.4, b neglijând I_ω și considerând $\mu = \mu_0 = 1$, $l_0 = l$, rezultă:

$$c^2 = \frac{0,039l^2 I_r}{I_y};$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{c^2 + i_c^2}{2c^2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4c^2 i_p^2}{(c^2 + i_c^2)^2}} \right]}.$$

Schema 2.2



2. Calculează caracteristicile secțiunii A , poziția centrului de greutate y_g , poziția centrului de răsucire y_c , I_x , I_y , I_r , I_ω

3. Calculează razele de inerție:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$i_p = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

$$i_c = \sqrt{i_p^2 + y_c^2}$$

4. Calculează coeficientul:

$$c^2 = \frac{I_\omega (\mu l)^2 / (\mu_0 l_0)^2 + 0,039 (\mu l)^2 I_r}{I_y}$$

5. Calculează coeficienții de zveltețe:

$$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x} = \frac{\mu_x l}{i_x} \leq \lambda_a$$

$$\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y} = \frac{\mu_y l}{i_y} \leq \lambda_a$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{c^2 + i_c^2}{2c^2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4c^2 [i_p^2 + 0,093(\mu^2 / \mu_0^2 - 1)y_c^2]}{(c^2 + i_c^2)^2}} \right]}$$

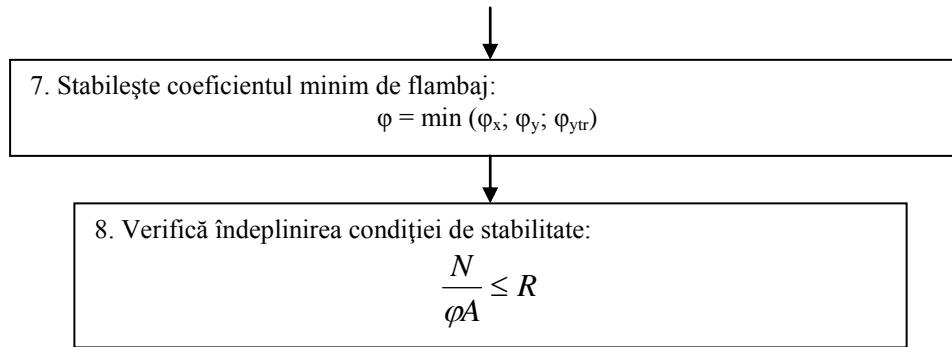
$$\lambda_{ytr} = \gamma_2 \cdot \lambda_y$$

6. Stabilește coeficienții de flambaj în funcție de curba de încadrare a secțiunii, coeficientul de zveltețe și marca oțelului:

$$\lambda_x \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{Curba...}} \\ \xrightarrow{\text{Oțel....}} \end{array} \varphi_x$$

$$\lambda_y \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{Curba...}} \\ \xrightarrow{\text{Oțel....}} \end{array} \varphi_y$$

$$\lambda_{ytr} \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{Curba...}} \\ \xrightarrow{\text{Oțel....}} \end{array} \varphi_{ytr}$$

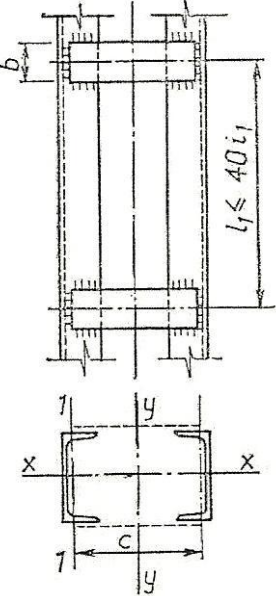
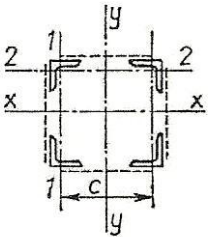


Verificarea barelor cu secțiune compusă din elemente mult depărtate solidarizate cu plăcuțe sau zăbrelețe

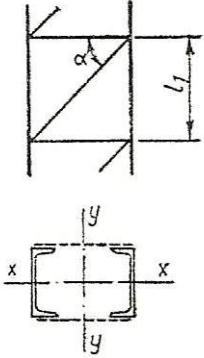
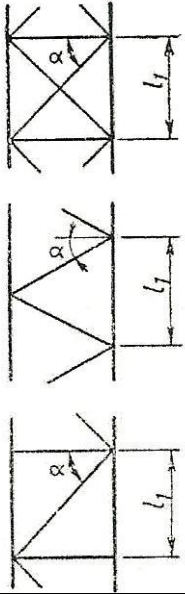
Verificarea se face cu aceeași relație ca la barele cu secțiune plină care își pierd stabilitatea prin încovoiere ($N/\varphi A \leq R$) cu următoarele particularități față de schema 5.2:

- *operația 5*: se calculează valori corectate ale coeficienților de zveltețe în raport cu axele care nu taie materialul secțiunii (fig. 2.6); expresiile acestor coeficienți sunt date în tabelul 2.5 pentru elemente solidarizate cu plăcuțe și în tabelul 2.6 pentru elemente solidarizate cu zăbrelețe;
- pentru ca ramurile să nu flambeze (pe distanța între două noduri) înaintea barei în ansamblu, coeficientul de flambaj al ramurii φ_1 trebuie să fie mai mare decât coeficientul de flambaj al barei φ :

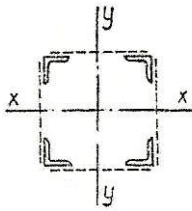
Tabelul 2.5. Bare solidarizate cu plăcuțe

Secțiunea	Expresiile coeficienților de zveltete
1	2
Secțiuni compuse din două elemente (fig. 2.6, a, c) solidarizate cu plăcuțe	
	$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x}$ $\lambda_{ytr} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2 \frac{\pi^2}{12} \left(1 + \frac{cI_1}{l_1 I_p}\right)}$; când $\frac{I_p \cdot l_1}{I_1 \cdot c} \geq 5$ se poate lua: $\lambda_{ytr} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$ unde: $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}; \quad \lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}$ <p>I_1 reprezintă momentul de inerție al unei ramuri în raport cu axa proprie 1 – 1; i_1 – raza de inerție a unei ramuri în raport cu axa proprie 1 – 1; I_p – momentul de inerție al secțiunii unei plăcuțe:</p> $I_p = \frac{tb^3}{12}$ <p>c, l_1 – ca în figură</p>
Secțiuni compuse din patru elemente (fig. 2.6, a, d) solidarizate cu plăcuțe	
	unde: $\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}$ $\lambda = \max(\lambda_x; \lambda_y)$ $\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x}; \quad \lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}$ $\lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}; \quad \lambda_2 = \frac{l_2}{i_2}$

Tabelul 2.6. Bare solidarizate cu zăbrelețe

Sistemul de solidarizare	Expresiile coeficienților de zveltețe
<p data-bbox="197 342 991 371">Secțiuni compuse din două elemente (fig. 2.6, b, c) solidarizate cu zăbrele</p> 	$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x}$ $\lambda_{ytr} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 A \left(\frac{1}{A_d \sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{\cos \alpha}{A_m \sin \alpha} \right)}$ <p data-bbox="635 600 1353 678">când $A_m = A_d \cos \alpha$ și notând $n = \pi^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)$,</p> <p data-bbox="635 689 715 719">rezultă:</p> $\lambda_{ytr} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 \frac{A}{A_d} \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)} = \sqrt{\lambda_y^2 + n \frac{A}{A_d}}$ <p data-bbox="635 831 826 909">unde: $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}$;</p> <p data-bbox="635 920 1209 1010">A reprezintă aria secțiunii barei; A_d – aria secțiunii normale a diagonalelor din panou; A_m – aria secțiunii montanților dintr-un plan orizontal</p>
	$\lambda_x = \frac{l_{fx}}{i_x}$ $\lambda_{ytr} = \sqrt{\lambda_y^2 + \pi^2 \frac{A}{A_d} \frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\lambda_y^2 + n \frac{A}{A_d}}$ <p data-bbox="635 1238 699 1267">unde:</p> $\lambda_y = \frac{l_{fy}}{i_y}$ <p data-bbox="635 1368 1201 1435">A reprezintă aria secțiunii barei; A_d – aria secțiunii normale a diagonalelor din panou;</p> $n = \frac{\pi^2}{\sin \alpha \cos^2 \alpha}$
<p data-bbox="197 1680 995 1709">Secțiuni compuse din patru elemente (fig. 2.6, b, d) solidarizate cu zăbrele</p>	

Solidarizare ca în cele patru cazuri anterioare



$$\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + n_1 \frac{A}{A_{d1}} + n_2 \frac{A}{A_{d2}}}$$

unde: $\lambda = \max(\lambda_x, \lambda_y)$;

n_1, n_2 corespund planurilor 1-1, respectiv 2-2

- este necesară verificarea elementelor de solidarizare la acțiunea forței tăietoare:

$$T = 0,012 A R,$$

unde: A reprezintă aria secțiunii barei, iar R – rezistența de calcul a oțelului.

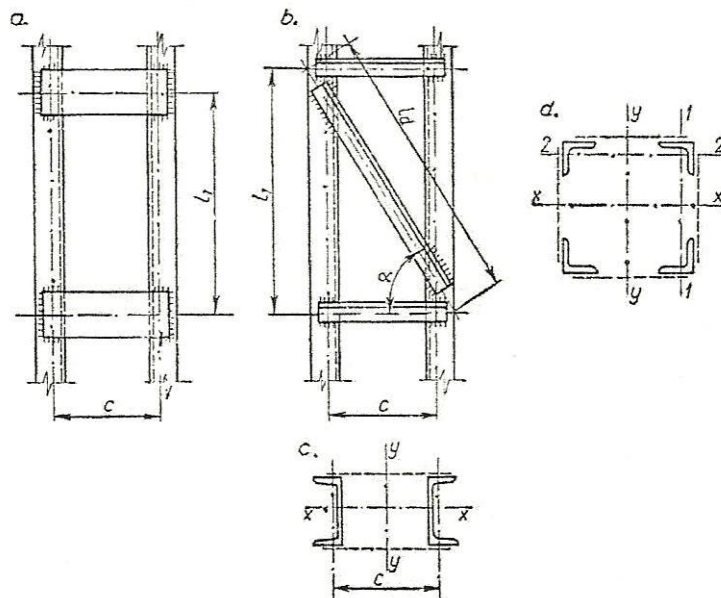
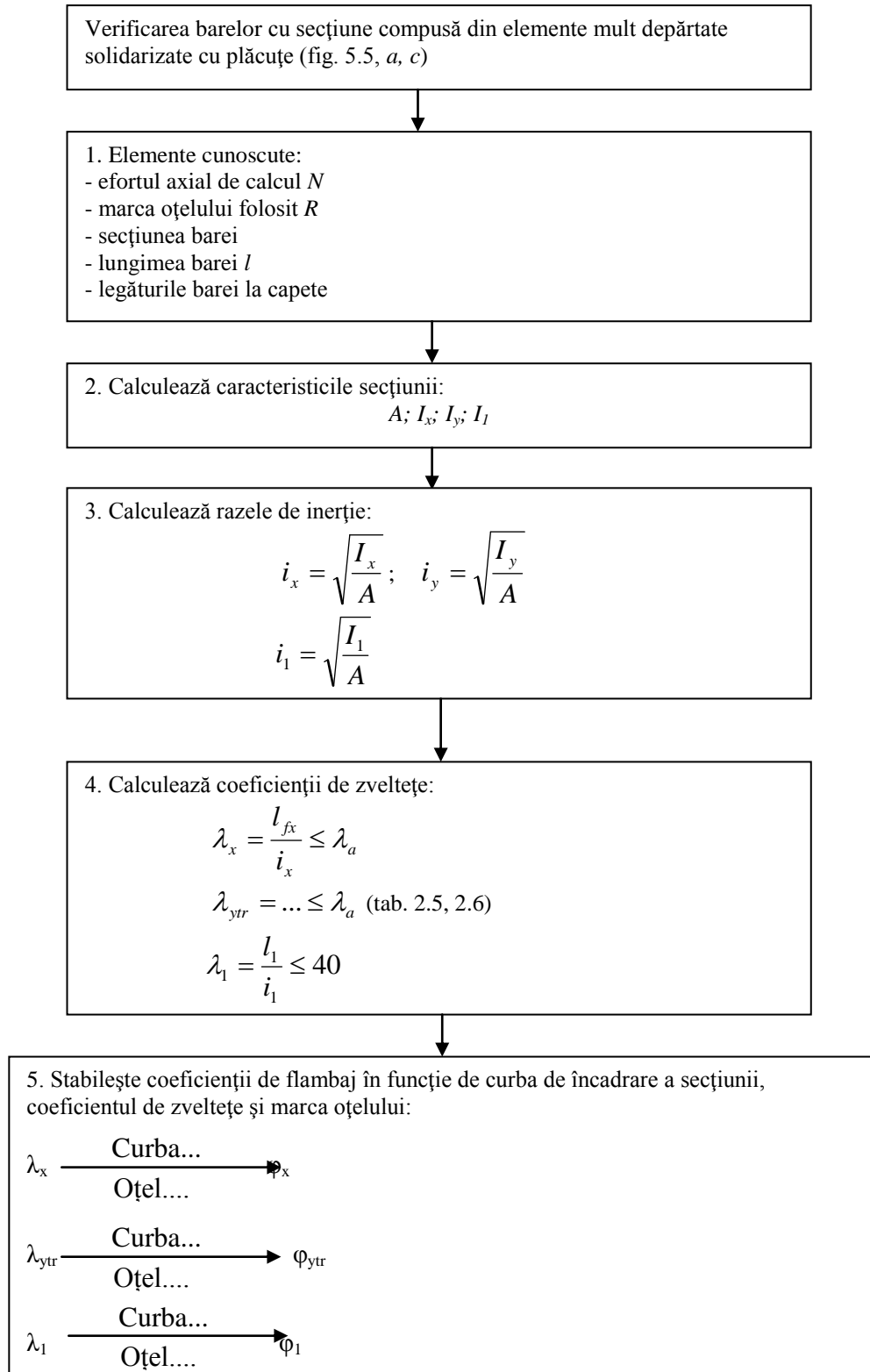


Fig. 2.6. Bare cu secțiune compusă din elemente mult depărtate solidarizate cu plăcuțe sau zăbreleuțe

Sucesiunea operațiilor necesare verificării barelor cu secțiunea compusă din elemente mult depărtate solidarizate cu plăcuțe sau zăbreleuțe este indicată în schema 2.3.

Schema 2.3



6. Stabilește coeficientul minim de flambaj:
$$\varphi = \min(\varphi_x; \varphi_{ytr})$$

7. Verifică îndeplinirea condiției:
$$\varphi_l \geq \varphi$$

8. Verifică condiția de stabilitate:
$$\frac{N}{\varphi A} \leq R$$

9. Verifică stabilitatea locală (v. paragraful următor)

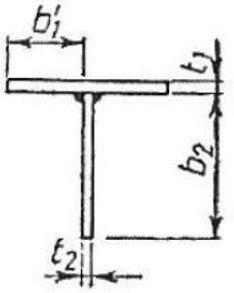
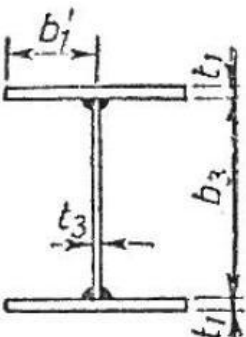
10. Verifică elementele de solidarizare

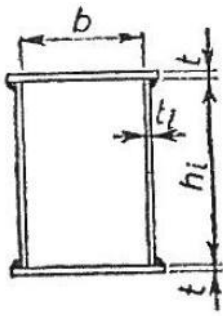
Curs 3

Suplețea maximă a pereților barelor comprimate centric

Pentru asigurarea stabilității locale a pereților barelor comprimate centric, suplețile acestora trebuie să fie mai mici decât suplețile limită indicate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

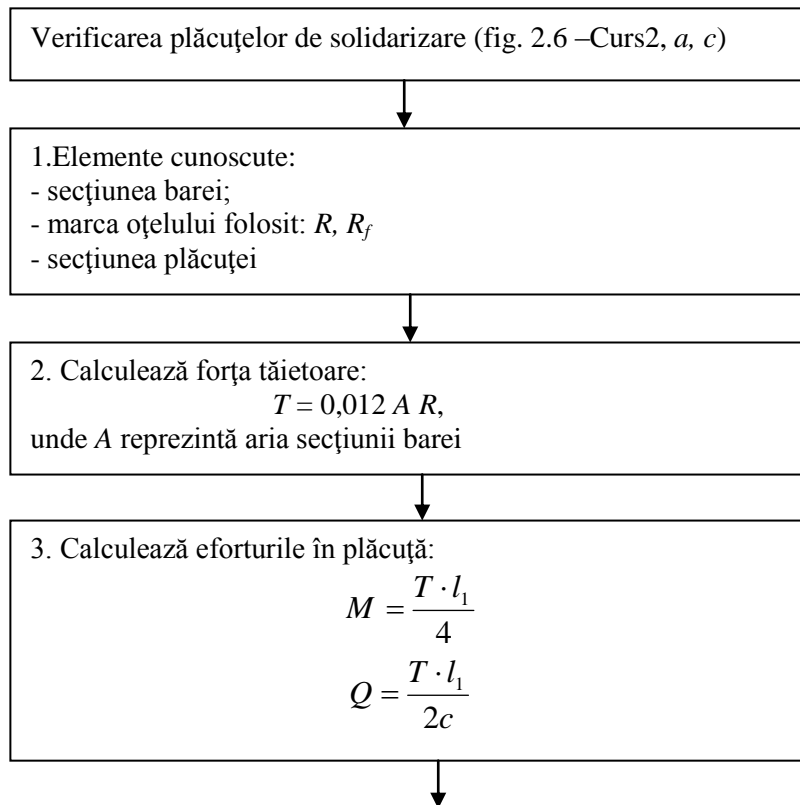
Nr. crt.	Tipul secțiunii	Condițiile de verificare a stabilității locale
1		$\frac{b_1'}{t_1} \leq k_1 \sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}; \quad \frac{b_2}{t_2} \leq k_2 \sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ <p>unde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\sigma = \frac{N}{A}$; - coeficienții k_1, k_2 se extrag din anexa 3, tabelul 3.31; - valoarea termenului $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ se limitează superior la 1,25; - φ reprezintă coeficientul minim de flambaj
2		$\frac{b_1'}{t_1} \leq k_1 \sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}; \quad \frac{b_3}{t_3} \leq 40 \sqrt{\frac{210}{R} + 0,4\lambda}$ <p>unde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\sigma = \frac{N}{A}$; - coeficientul k_1 se extrage din anexa 3, tabelul 3.31; - valoarea termenului $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ se limitează superior la 1,25; - φ reprezintă coeficientul minim de flambaj; - λ reprezintă zveltețea maximă a barei; - când $\sigma = R$, raportul b_3/t_3 nu va depăși valoarea 75; - când $\sigma < R$, suplețea limită se poate majora cu $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$, fără a depăși 90;

3		$\frac{b}{t} \leq 20\sqrt{4+3(1-\beta)} \cdot \sqrt{\frac{210}{R} + 0,2\lambda}$ $\frac{h_i}{t_i} \leq 20\sqrt{4+3(1-\beta)} \cdot \sqrt{\frac{210}{R} + 0,2\lambda}$ <p>unde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\beta = \frac{b \cdot t_i^3}{h_i \cdot t^3}$, pentru inimă; $\beta = \frac{h_i \cdot t^3}{b \cdot t_i^3}$, pentru tălpi; - sunt valabile și în acest caz ultimele patru observații de la secțiunea nr. 2
---	---	---

Verificarea plăcuțelor și zăbrelețelor

Verificarea plăcuțelor cu care se solidarizează elementele mult depărtate ale secțiunilor compuse din elemente mult depărtate este indicată în schema 3.1, iar verificarea zăbrelețelor în schema 3.2.

Schema 3.1



4. Verifică tensiunile în plăcuță:

$$\sigma = \frac{M}{W_{pl}} = \frac{M}{\frac{t \cdot b^2}{6}} \leq R$$

$$\tau = 1,5 \frac{Q}{t \cdot b} \leq R_f$$

unde t și b sunt dimensiunile secțiunii plăcuței

Schema 3.2

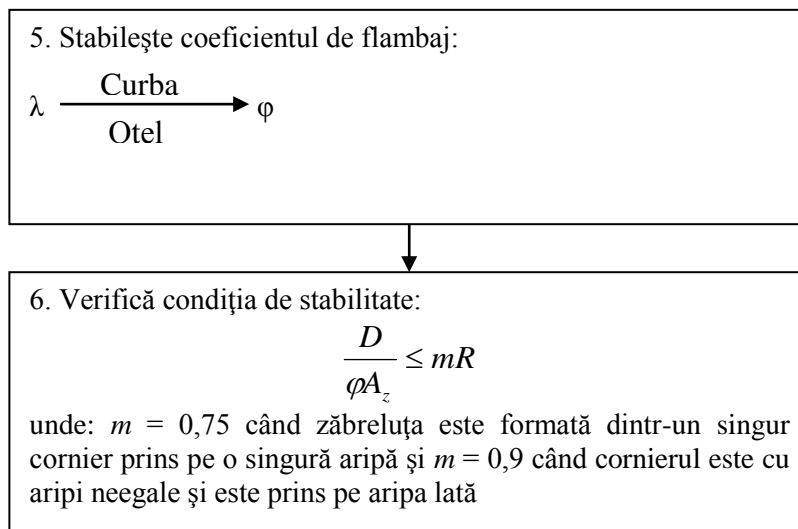
Verificarea zăbreluțelor de solidarizare (fig. 2.6 –Curs2, b, c)

1. Elemente cunoscute:
- secțiunea barei
- marca oțelului folosit R
- secțiunea zăbreluței A_z
- lungimea teoretică a zăbreluței l

2. Calculează forța tăietoare:
 $T = 0,012 A R$,
unde A reprezintă aria secțiunii barei

3. Calculează efortul axial în zăbreluță, ca la o grindă cu zăbrele:
 $D = \frac{T}{2 \cos \alpha}$, pentru sistemul de zăbrele din figura 2.6, b

4. Calculează coeficientul de zveltețe al zăbreluței:
 $\lambda = \frac{l}{i} \leq \lambda_a$
unde i reprezintă, pentru zăbreluțe dintr-un singur cornier, raza de inerție minimă



Dimensionarea barelor solicitate la compresiune

Dimensionarea secțiunilor barelor comprimate centric se face în funcție de solicitarea maximă N , de rezistența admisibilă a materialului folosit σ_a , de lungimile de flambaj ale barelor după direcțiile principale l_{fx} și l_{fy} .

Alegerea secțiunii se face și în funcție de destinația barei, de forma secțiunii și de zveltețea maximă admisă de norme λ_a .

Determinarea ariei brute se face cu formula:

$$A_{b \text{ nec}} = \frac{N}{\varphi \cdot \sigma_a} \quad (3.1)$$

Secțiunea definitivă se stabilește prin încercări succesive sau se poate impune un coeficient de zveltețe λ cuprins în limitele coeficientului de zveltețe admisibil λ_a . Funcție de λ_a se calculează și coeficientul de flambaj φ , care se introduce în relația (3.1).

În practică se folosesc unele metode aproximative de dimensionare.

Una dintre aceste metode, care este cel mai des folosită, este metoda coeficientului de profil K . S-a constatat că pentru o anumită secțiune raportul:

$$\frac{A}{i^2} = \frac{A^2}{I} = K \quad (3.2)$$

este aproximativ constant, indiferent de mărimea profilelor care alcătuiesc secțiunea respectivă, iar K poartă denumirea de coeficient de profil

Pentru dimensionarea secțiunii se pleacă de la formula de verificare:

$$\frac{N}{\varphi A_b} = \sigma_a, \quad (3.3)$$

din care se scoate:

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a}{N}; \quad (3.4)$$

înmulțind această relație cu λ^2 rezultă:

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a \cdot \lambda^2}{N}; \quad (3.5)$$

înlocuind în membrul doi al relației (3.5) pe $\lambda^2 = \frac{l_f^2}{i^2}$ rezultă:

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{A_b \cdot \sigma_a \cdot l_f^2}{i^2 \cdot N}. \quad (3.6)$$

Ținând seama de relația (3.2), raportul $\frac{A_b}{i^2}$ se înlocuiește cu K și rezultă:

$$\frac{\lambda^2}{\varphi} = \frac{K \cdot \sigma_a \cdot l_f^2}{N}; \quad (3.7)$$

scoțând radical din ambii membri relația (3.7) poate fi scrisă:

$$\frac{\lambda}{\sqrt{\varphi}} = l_f \sqrt{\frac{K \cdot \sigma_a}{N}} = \xi. \quad (3.8)$$

Dimensionarea unei bare cu efort axial de compresiune are, în general, un caracter iterativ și necesită parcurgerea a două etape:

- alegerea secțiunii;
- verificarea secțiunii alese.

Dimensionarea se încheie atunci când sunt satisfăcute condițiile cerute de verificarea barei:

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R; \quad \lambda_{\max} \leq \lambda_a \quad (3.9)$$

În schemele 3.3 și 3.4 sunt prezentate două metode care pot fi folosite la dimensionarea unei bare comprimate.

Avantajul metodei din schema 3.3:

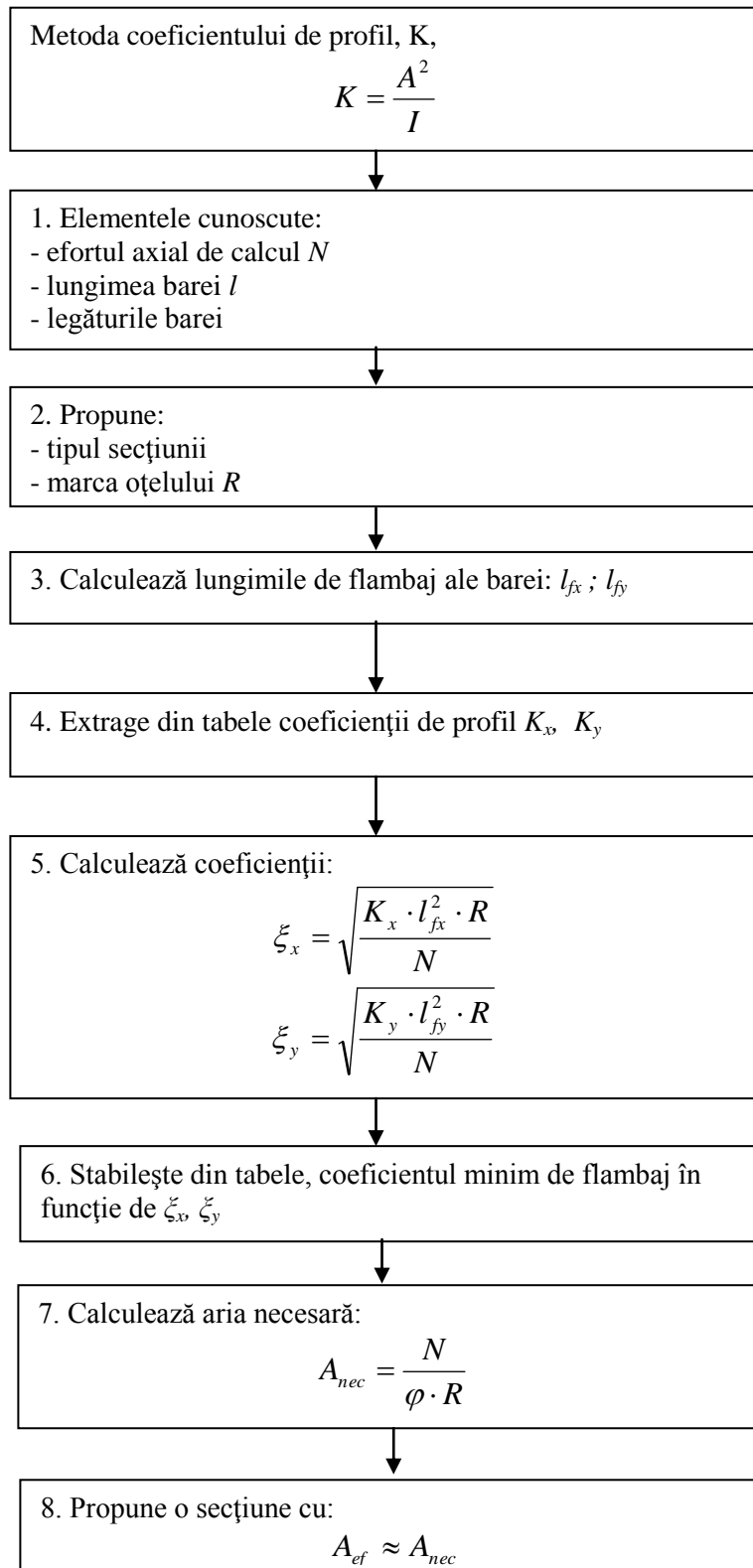
- metoda coeficientului de profil este expeditivă în cazul secțiunilor unitare și compuse simple.

Dezavantajul metodei:

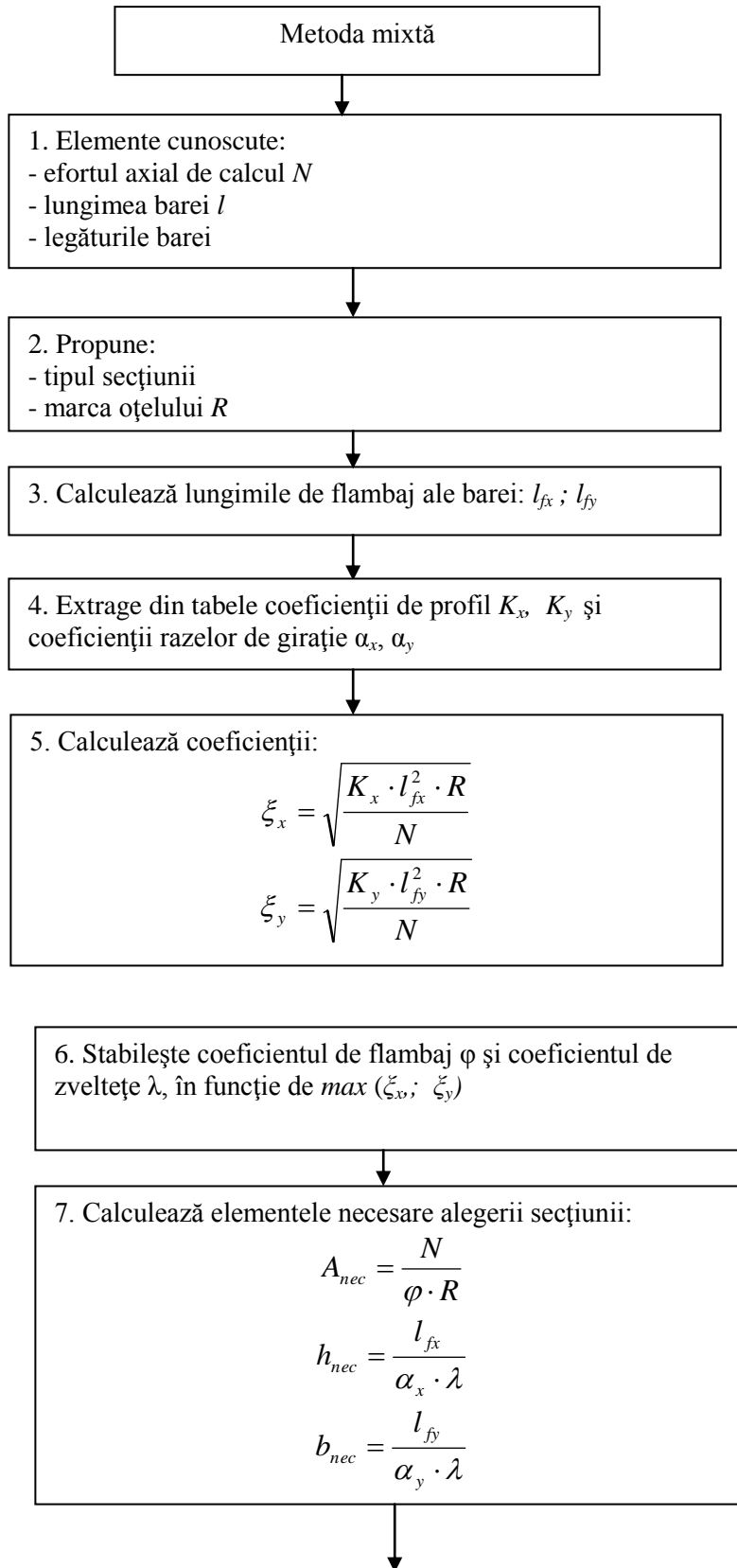
- metoda este greoaie în cazul secțiunilor compuse complicate sau cu lungimi de flambaj mult diferite, deoarece elementele componente se aleg doar în funcție de A_{nec} .

Metoda mixtă (schema 3.4) îmbină avantajele pe care le oferă metoda razelor aproximative de girație și metoda coeficientului de profil, așa încât se poate obține chiar de la prima încercare, secțiunea care să îndeplinească toate condițiile impuse de verificarea ei.

Schema 3.3



Schema 3.4



8. Propune o secțiune astfel încât:

$$A_{ef} \approx A_{nec}$$

$$h_{ef} \approx h_{nec}$$

$$b_{ef} \approx b_{nec}$$

Condiții constructive

Pentru a lucra unitar, elementele secțiunilor compuse se solidarizează între ele; în figurile 3.1 și 3.2 sunt indicate posibilități de solidarizare a elementelor secțiunilor compuse.

Distanța l_I între punctele de solidarizare este de maximum $40 \cdot i_I$, unde i_I este raza de inerție minimă a unui element al secțiunii. În cazul unor bare alcătuite din profile laminate (fig. 3.2, *c*, *d*, *e*), i_I este raza de inerție a unui singur element în raport cu axa proprie (1 – 1) paralelă cu axa care nu taie materialul secțiunii.

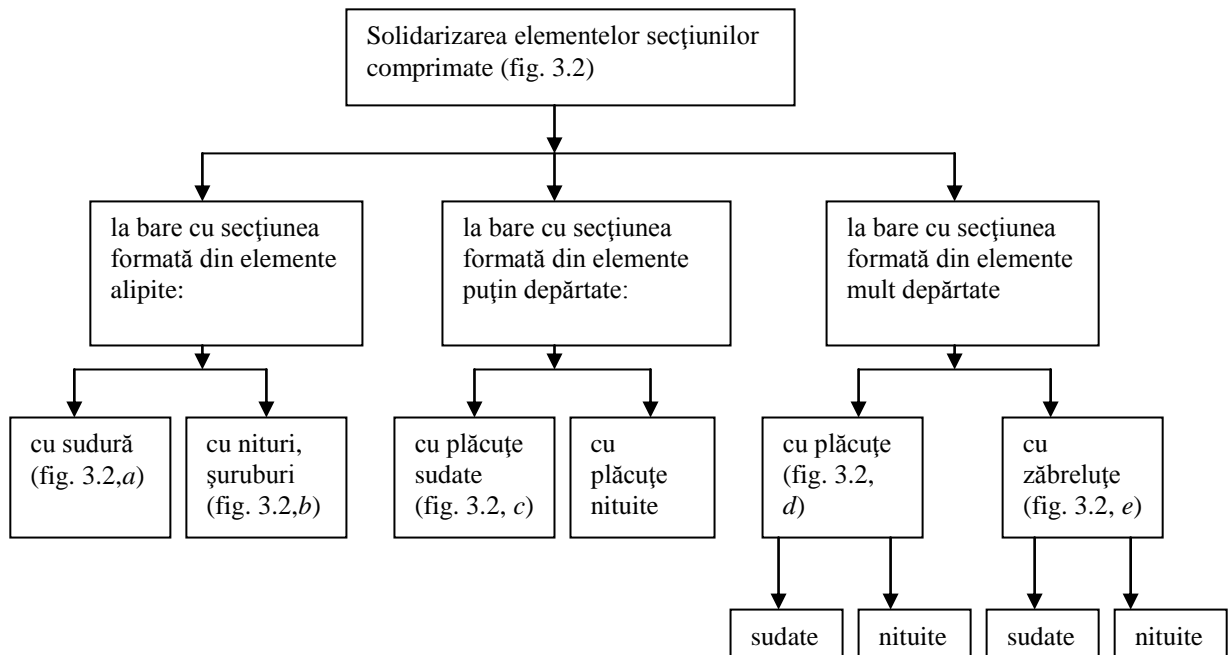


Fig. 3.1. Solidarizarea elementelor secțiunilor comprimate

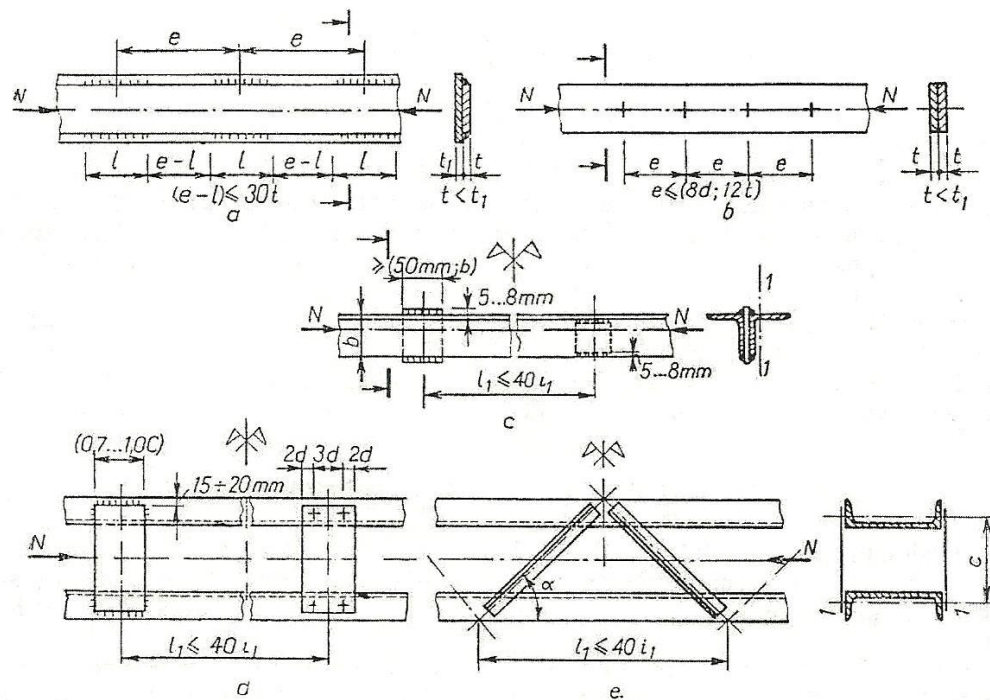


Fig. 3.2. Exemple de elemente solidarizate

Criterii de alcătuire economică

Alcătuirea economică a secțiunii unei bare comprimate presupune analiza mai multor aspecte:

- tipul secțiunii folosite;
- geometria secțiunii;
- marca oțelului.

Tipul secțiunii. Așa cum s-a arătat, secțiunile barelor folosite în structuri metalice pot fi încadrate, în funcție de tipul lor, în trei curbe de flambaj A, B, C, cărora le corespund valori diferite ale coeficienților de flambaj; în consecință este indicat să fie alese acele tipuri de secțiuni pentru care se obțin coeficienții de flambaj φ mai mari (de preferat sunt secțiunile care se încadrează în curba de flambaj A).

Geometria secțiunii. Distribuția materialului în secțiune, în cazul secțiunilor compuse din tablă, are o mare influență asupra coeficientului de zveltețe λ și în consecință și asupra ariei necesare a secțiunii; se exemplifică această influență pe o secțiune I simetrică (fig. 3.3), cu posibilitatea de flambaj numai în planul inimii. Se notează:

$$n = \frac{h_i}{t_i} \quad (\text{suplețea inimii});$$

$$\beta = \frac{2A_i}{2A_i + A_i} \quad (\text{coeficientul de distribuție al materialului}).$$

Se demonstrează că secțiunea rezultă cu aria minimă atunci când:

- suplețea inimii are valoarea maximă admisă din condiția de stabilitate locală, adică:

$$n_{optim} = 40 \sqrt{\frac{210}{R} + 0,4\lambda} ;$$

- coeficientul de distribuție a materialului are valoarea $\beta = 0,4$.

Influența parametrilor n și β este cu atât mai mare cu cât coeficientul de zveltețe λ are o valoare mai mare; se poate observa că influența supleții inimii este dominantă în raport cu coeficientul de distribuție al materialului. Pentru a concretiza influența parametrului n , se dă următorul exemplu: considerând că oțelul folosit este OL 52 (S355), pentru $\lambda = 80$, dacă suplețea inimii nu este maximă, $n = 0,7 n_{optim}$, rezultă o secțiune cu un spor de circa 13% (coeficientul β fiind același).

Marca oțelului. Alegerea judicioasă a mărcii de oțel în funcție de coeficientul de zveltețe al barei are, de asemenea, o influență semnificativă asupra consumului de oțel. De exemplu, pentru secțiunea din figura 3.3, $\lambda = 60$, dacă în loc de oțel OL 52 se folosește oțel OL 37 (S235), rezultă un spor al ariei secțiunii, de circa 17%.

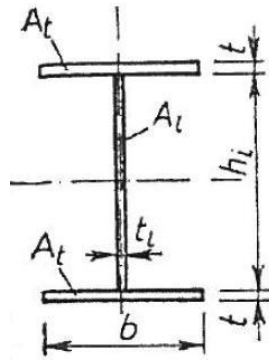


Fig. 3.3. Secțiune I simetrică

Curs 4

Elemente solicitate la încovoiere

Generalități. Elementele solicitate la încovoiere se realizează sub forma unor grinzi cu inimă plină, alcătuite din profile laminate I sau U, în cazul deschiderilor și încărcărilor mici și sub forma unor secțiuni compuse sudate sau nituite, în cazul deschiderilor și încărcărilor mai mari.

Dimensionarea elementelor solicitate la încovoiere. Pentru dimensionarea grinzilor cu inimă plină este necesar să se stabilească în prealabil:

- schema statică și deschiderile de calcul;
- acțiunile care solicită grinda și modul lor de aplicare.

În funcție de aceste elemente se determină variația solicitărilor în lungul grinzii, față de care se face dimensionarea secțiunilor, ținând seama și de următorii factori: destinație, condiții tehnologice de exploatare, metode de îmbinare, calitatea oțelului etc.

Verificarea secțiunilor elementelor solicitate la încovoiere.

Verificări de rezistență. Aceste verificări cuprind:

- *Verificarea eforturilor unitare normale maxime:*

$$\sigma_{ef \max} = \frac{M_{\max}}{I_x} y_{\max} \leq \sigma_a, \quad (4.1)$$

în care:

M_{\max} este momentul de încovoiere maxim;

I_x - momentul de inerție net al secțiunii;

y_{\max} - distanța de la axa neutră până la fibra extremă a secțiunii.

- *Verificarea eforturilor unitare tangențiale maxime:*

$$\tau_{ef \max} = \frac{T_{\max} S_b}{t_i I_b} \leq \tau_a, \quad (4.2)$$

în care:

T_{\max} este forța tăietoare maximă;

S_b - momentul static brut al jumătății de secțiune în raport cu axa neutră;

t_i - grosimea inimii;

I_b - momentul de inerție brut al întregii secțiuni în raport cu axa neutră.

Verificarea la forfecare a inimii grinzilor cu secțiunea dublu T se poate face și cu formula:

$$\tau = \frac{T}{h_i t_i} \leq \tau_a. \quad (4.3)$$

Verificarea eforturilor unitare date de o forță concentrată aplicată pe talpa superioară și care acționează între rigidizările transversale se face cu relația:

$$\sigma_l = \frac{P_{\max}}{z \cdot t_i} \leq \sigma_a, \quad (4.4)$$

în care:

P_{\max} este forța concentrată;

z - lungimea de repartiție, măsurată la profilele laminate la începutul racordului inimii cu talpa, la secțiunile compuse nituite în dreptul niturilor de gât, iar la secțiunile compuse sudate la marginea superioară a inimii (fig. 4.1).

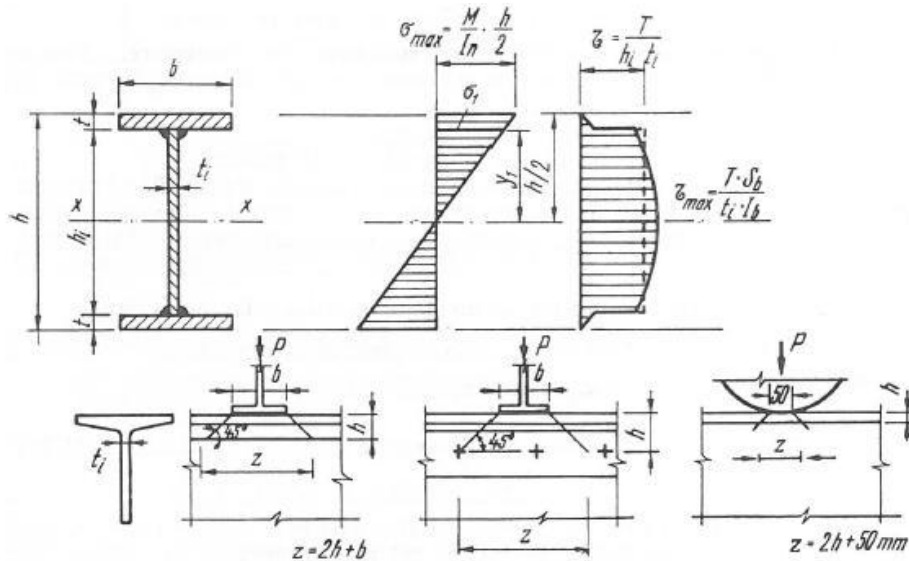


Fig. 4.1. Elemente pentru verificarea condițiilor de rezistență

Verificarea eforturilor unitare echivalente în inimile grinzilor se face obișnuit la nivelul îmbinării dintre inimă și talpă (nit de gât, cordon de sudură) cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \leq 1,1\sigma_a \quad (4.5)$$

sau când există forțe concentrate cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_l^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_l + 3\tau^2} \leq 1,2\sigma_a, \quad (4.6)$$

în care:

σ_1 este efortul unitar normal la nivelul legăturii dintre inimă și talpă, calculat cu relația:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I_x} y_1; \quad (4.7)$$

τ - efortul unitar tangențial calculat cu relația 4.3;

σ_l - efortul unitar local, dat de încărcarea concentrată.

În relația 4.6 eforturile unitare normale σ_1 și σ_l se introduc cu semnele lor.

Verificarea rigidității elementelor încovoiate. Verificarea rigidității se face cu formula:

$$f_{max} \leq f_a \quad (4.8)$$

La calculul săgeții f_{max} nu se ține seama de coeficienții dinamici, calculul efectuându-se la acțiunile din gruparea fundamentală și cu caracteristicile brute ale secțiunii.

Verificări de stabilitate.

Aceste verificări cuprind:

- *Verificarea stabilității generale* care se consideră asigurată când este satisfăcută relația:

$$i_y \geq \frac{l_c}{40}, \quad (4.9)$$

în care:

l_c este distanța între punctele fixe ale tălpii comprimate;

i_y - raza de girație a tălpii comprimate în raport cu axa $y - y$ din planul inimii grinzii, considerând:

- secțiunea tălpii, la grinzi laminate;
- platbandele tălpii și aripile orizontale ale cornierelor la grinzi nituite;

platbandele tălpii, la grinzi sudate.

Când condiția (4.9) nu este îndeplinită verificarea se face cu relația:

$$\frac{M_c}{\varphi_y W_x} \leq \sigma_a, \quad (4.10)$$

în care:

M_c este momentul de calcul ce se stabilește conform STAS 763/1-71;

W_x - modulul de rezistență brut în raport cu axa x ;

φ_y - corespunde coeficientului de zveltețe $\lambda_y = \frac{l_c}{i_y}$

Verificarea stabilității locale a inimii se face după stabilirea prealabilă a dispoziției și modului de alcătuire a rigidizărilor.

- *Verificarea stabilității locale a tălpilor comprimate* este necesară la tălpile late și se face conform celor arătate în capitolul sus-menționat.

Verificarea condițiilor constructive. Verificarea condițiilor constructive la elementele solicitate la încovoiere cuprinde verificarea dimensiunilor minime ale pieselor și mijloacelor de îmbinare folosite, verificarea condițiilor tehnologice de execuție, de gabarit etc.

Elemente solicitate la răsucire

Generalități. Solicitarea de răsucire poate apare la elementele de construcții metalice atunci când forțele exterioare nu trec prin centrul de răsucire sau când elementului i se aplică direct momente de răsucire concentrate sau distribuite.

Centrul de răsucire reprezintă punctul prin care trece rezultanta eforturilor unitare tangențiale din secțiunea transversală. Dacă forțele exterioare trec prin centrul de răsucire, secțiunea considerată nu se rotește.

Poziția centrului de răsucire, în raport cu centrul de greutate al secțiunii, se determină cu relațiile:

$$x_c = \frac{\int \omega_0 \cdot y \cdot dA}{I_x} \quad (4.11)$$

și

$$y_c = \frac{\int \omega_0 \cdot x \cdot dA}{I_y}, \quad (4.12)$$

unde ω_0 este suprafața sectorială determinată față de polul G (centrul de greutate).

În cazul secțiunilor dublu simetrice poziția centrului de răsucire corespunde cu poziția centrului de greutate (fig. 4.2, *a-c*).

La secțiunile cu o singură axă de simetrie, centrul de răsucire se află pe axa respectivă (fig. 4.2, *d*), poziția sa fiind determinată față de centrul de greutate cu relațiile (4.11) și (4.12).

La secțiunile de tipul cornierelor, profilelor T sau în formă de cruce, poziția centrului de răsucire corespunde aproximativ cu punctul de intersecție al medianelor secțiunii transversale (fig. 4.2, *e-h*).

Datorită momentelor de răsucire secțiunea transversală a barei se deplanează. Când deplanarea secțiunilor transversale nu este împiedicată, iar rotirea specifică este constantă, răsucirea se numește *răsucire liberă*, iar când deplanarea secțiunilor transversale nu este liberă și deci rotirea specifică nu mai este constantă se numește *răsucire împiedicată*.

Alcătuirea secțiunilor. Secțiunile transversale ale elementelor solicitate la răsucire se recomandă să fie astfel alese încât momentele de răsucire să rezulte minime, adică încărcările să treacă pe cât posibil prin centrul de răsucire C . Acest lucru este necesar mai ales în cazul secțiunilor deschise simplu conexe, care au o rigiditate redusă la răsucire. Dacă momentele de răsucire nu se pot evita, secțiunile se vor alcătui astfel încât să fie cât mai eficiente la răsucire, adică sub forma unor secțiuni închise.

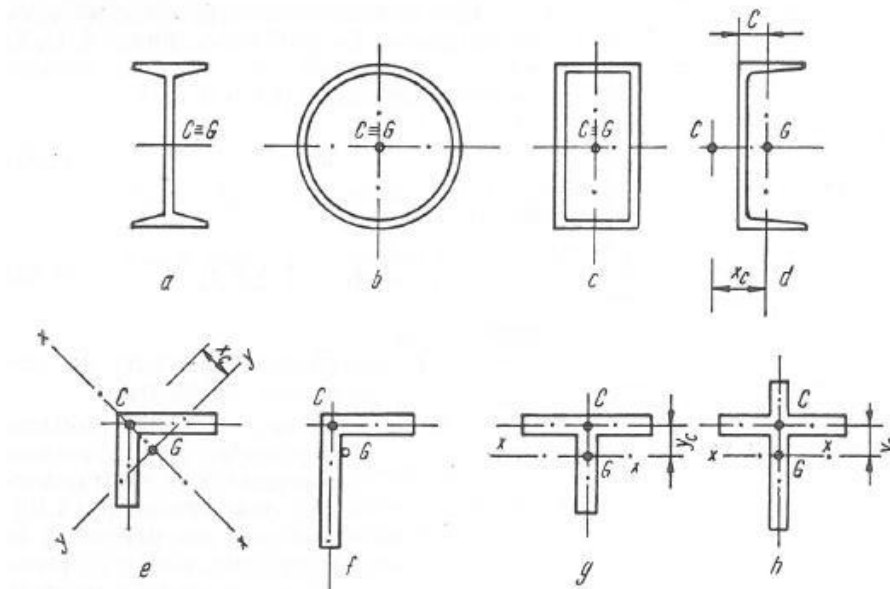


Fig. 4.2. Poziția centrului de răsucire

Verificarea secțiunilor

Verificarea secțiunilor pline. La secțiunile pline, efortul unitar tangențial maxim din răsucire se verifică cu relația:

$$\tau_{r \max} = \frac{M_r}{W_r} \leq \tau_a \quad (4.13)$$

unde W_r este modulul de rezistență la răsucire, care depinde de forma secțiunii transversale. Pentru secțiuni circulare:

$$W_r = \frac{\pi}{2} r^3, \quad (4.14)$$

iar pentru secțiuni dreptunghiulare

$$W_r = \frac{2}{9} b^2 h. \quad (4.15)$$

Verificarea secțiunilor închise cu pereți subțiri. În cazul acestor secțiuni efortul tangențial maxim de răsucire se verifică cu formula lui Bredt:

$$\tau_{r \max} = \frac{M_r}{W_r} = \frac{M_r}{2A_m \cdot t_{\min}} \leq \tau_a, \quad (4.16)$$

în care:

A_m este suprafața închisă de linia mediană a peretelui secțiunii;
 t_{\min} - grosimea minimă a peretelui secțiunii (fig. 4.3).

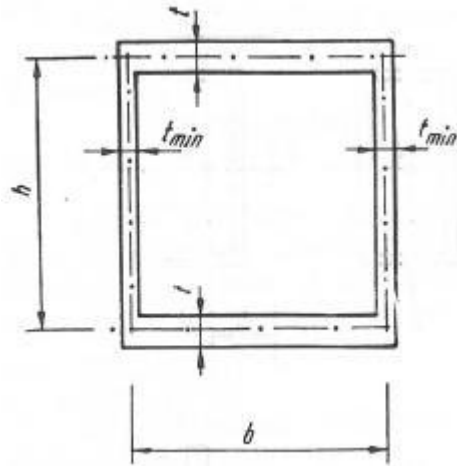


Fig. 4.3. Secțiuni închise cu pereți subțiri

Verificarea secțiunilor deschise cu pereți subțiri. La profilele de forma I, U, T, efortul unitar tangențial maxim din răsucire se verifică cu relația (4.13) în care:

$$W_r = \frac{I_r}{t} \quad (4.17)$$

iar

$$I_r = \frac{\alpha}{3} \sum h_k t_k^3 \quad (4.18)$$

unde:

t este grosimea peretelui în care se face verificarea;

h_k, t_k – lățimea, respectiv grosimea dreptunghiurilor din care este compusă secțiunea transversală ce se verifică (fig. 4.4);

α – coeficient care ține seama de racordările dintre dreptunghiurile elementelor separate care are valorile 1,20 pentru oțel laminat I și 1,12 pentru oțel laminat U.

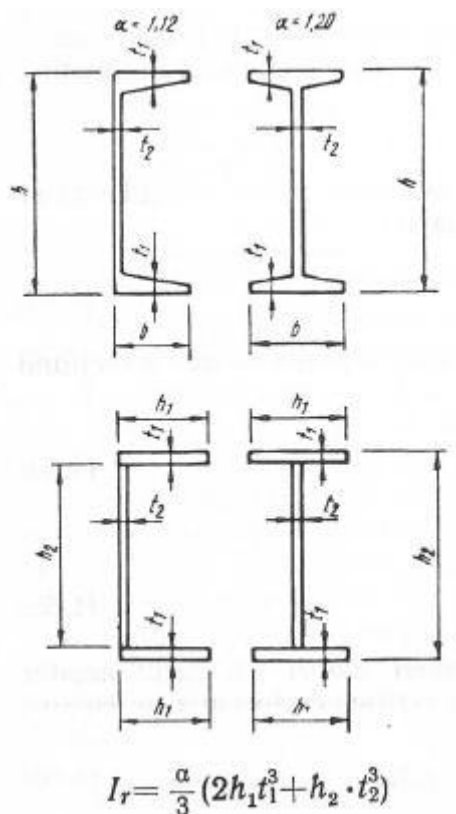


Fig. 4.4. Secțiuni deschise cu pereți subțiri

Elemente supuse la solicitări compuse

Elemente solicate la încovoiere oblică. Există unele elemente de construcții la care planul de acțiune al forțelor nu coincide cu nici unul din planele de inerție ale secțiunii transversale. Acest lucru se poate întâlni la elementele supuse la încărcări gravitaționale, deci verticale, a căror secțiune este înclinată, ceea ce face ca axele de inerție principale să nu fie verticale (cazul panelor de acoperiș), sau la elemente la care direcția rezultantei încărcărilor este înclinată față de axele de inerție ale secțiunii.

În acest caz elementele sunt solicate la încovoiere oblică, când apar momente încovoietoare în raport cu ambele axe ale secțiunii transversale.

Verificarea de rezistență a acestor elemente se face pe baza prevederilor STAS 763/1-71 și cuprinde pe de o parte verificarea în raport cu fiecare axa, cu relațiile (4.1)...(4.7) și pe de altă parte verificarea la efectul momentelor după cele două axe cu relația:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} \leq 1,1\sigma_a, \quad (4.19)$$

în care:

M_x și M_y sunt momentele încovoietoare în raport cu cele două axe de inerție principale;

W_{nx} și W_{ny} – modulele de rezistență nete față de cele două axe de inerție egale cu:

$$W_{nx} = \frac{I_{nx}}{y_{\max}}; \quad (4.20)$$

$$W_{ny} = \frac{I_{ny}}{x_{\max}}; \quad (4.21)$$

I_{nx} și I_{ny} – momentele de inerție nete față de axele respective;

y_{\max} și x_{\max} – distanțele de la axa x și y la fibrele extreme ale secțiunii.

Verificarea săgeții rezultante a grinzilor solicitate la încovoiere oblică se face cu relația:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq f_a, \quad (4.22)$$

unde:

f_x și f_y sunt săgețile față de cele două axe;
 f_a – săgeata admisă.

Elemente solicitate la întindere axială cu încovoiere

În cazul unor elemente de construcții cum sunt barele întinse ale grinzilor cu zăbrele care sunt încărcate și între noduri, pot să apară solicitări combinate de întindere axială și încovoiere. În acest caz pot exista două situații:

- bare supuse la eforturi axiale de întindere și la încovoiere pe o singură direcție, la care verificarea eforturilor unitare normale se face cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq \sigma_a; \quad (4.23)$$

- bare solicitate la eforturi axiale de întindere și la încovoiere pe două direcții, care se verifică cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{W_{nx}} + \frac{M_y}{W_{ny}} \leq 1,1\sigma_a, \quad (4.24)$$

în care:

N , M_x , M_y sunt forța axială și momentele încovoietoare pe cele două direcții;

A_n , W_{nx} , W_{ny} – aria, respectiv modulele de rezistență nete față de cele două axe ale secțiunii barei.

Elemente solicitate la compresiune axială cu încovoiere

Barele solicitate la compresiune axială și la încovoiere sunt întâlnite la foarte multe elemente de construcții metalice, cum sunt barele comprimate ale grinzilor cu zăbrele încărcate și între noduri (tălpile superioare), precum și la stâlpii și riglele cadrelor la care apar atât forțe axiale de compresiune cât și momente încovoietoare.

Și în cazul barelor solicitate la compresiune axială și la încovoiere pot să apară două situații și anume:

- bare solicitate la eforturi axiale de compresiune și la încovoiere pe o direcție care se verifică cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} + \frac{M}{W} \leq \sigma_a; \quad (4.25)$$

- bare solicitate la eforturi axiale de compresiune și la încovoiere pe două direcții la care verificarea se face cu relația:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\min} A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1\sigma_a \quad (4.26)$$

în care:

φ_{\min} este coeficientul de flambaj minim corespunzător zvelteții maxime;
 A , W_x și W_y – aria și respectiv modulele de rezistență brute ale secțiunii transversale.

La verificarea barelor supuse la compresiune axială cu încovoiere pe două direcții în formula (4.26) se introduce M_x maxim și M_y din secțiunea unde M_x este maxim, făcând și o verificare cu M_y maxim și M_x din secțiunea unde M_y este maxim.

Dacă influența efortului axial de compresiune asupra efortului unitar normal total este redusă, se face în afara verificării de stabilitate cu relațiile (4.25) și (4.26) și o verificare de rezistență cu relațiile (4.23) și (4.24). De asemenea STAS-ul 763/1-71 prevede ca în acest caz să se verifice stabilitatea generală cu relația:

$$\frac{M_c}{\varphi_y W_x} \leq \sigma_a \quad (4.27)$$

în care:

M_c este momentul de calcul care se ia conform prevederilor standardului;

φ_y – rezultă funcție de coeficientul de zveltețe λ_y calculat cu relația:

$$\lambda_y = \frac{l_c}{i_y};$$

l_c este lungimea de calcul dată în STAS 763/1-71;

i_y – raza de girație a tălpii comprimate față de axa y .

În cazul barelor comprimate axial și încovoiate la care secțiunea variază în trepte și lungimea de flambaj se determină separat pentru fiecare treaptă, verificarea cu relațiile (4.25) și (4.26) se face separat pe fiecare porțiune în parte.

Elemente solicitate la încovoiere cu răsucire

Dacă se consideră un element supus la încovoiere cu răsucire liberă, solicitările care iau naștere într-o secțiune sunt: momentul încovoiator M , forța tăietoare T și momentul de răsucire M_r . În acest caz se fac următoarele verificări:

- Verificarea efortului unitar normal din încovoiere cu relația:

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_{\max} \leq \sigma_a, \quad (4.28)$$

unde:

I_n este momentul de inerție net al secțiunii;

y_{\max} – distanța la fibra extremă.

- Verificarea efortului unitar tangențial produs de forța tăietoare la mijlocul înălțimii inimii cu relația:

$$\tau = \frac{T \cdot S_x}{t_i \cdot I} \leq \tau_a \quad (4.29)$$

în care:

S_x este momentul static al jumătății de secțiune față de axa $x - x$ a barei;

t_i – grosimea inimii;

I – momentul de inerție brut al secțiunii.

- Verificarea efortului unitar tangențial maxim de răsucire, pentru punctele cele mai sollicitate cu relația:

$$\tau_r = \frac{M_r}{I_r} t \leq \tau_a, \quad (4.30)$$

în care:

I_r este momentul de inerție la răsucire;

t – grosimea peretelui în punctul unde se face verificarea.

- Verificarea efortului unitar tangențial total în punctele unde τ și τ_r au valori mari și aceeași direcție și sens cu relația:

$$\tau_{total} = \tau + \tau_r = \frac{T \cdot S_x}{t_i \cdot I} + \frac{M_r}{I_r} t \leq \tau_a. \quad (4.31)$$

- Verificarea efortului unitar echivalent calculat în punctele în care σ are valori mari, iar τ și τ_r sunt calculate în aceeași ipoteză de încărcare se face cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau + \tau_r)^2} \leq \sigma_a \quad (4.32)$$

Pentru elementele formate din secțiuni deschise verificarea efortului unitar echivalent se face în punctul de trecere de la inimă la talpă unde σ , τ și τ_r au valori mari.

Curs 5

Elemente de prindere și îmbinare a construcțiilor metalice

Elementele de prindere și îmbinare folosite în construcțiile metalice sunt niturile, șuruburile, buloanele de articulație și sudura.

Nituri

Generalități. Nituirea este unul din procedeele de îmbinare folosit încă din anul 1830. În prezent nituirea este înlocuită parțial cu procedee de îmbinare mai eficiente din punct de vedere tehnic și economic ca: sudarea sau îmbinările executate cu șuruburi de înaltă rezistență strânse excesiv.

Nitul în stare brută este format dintr-o tijă cilindrică și un cap fabricat (fig. 5.1, *a*). Lungimea tijei trebuie să fie atât de mare încât la nituire materialul nitului, prin refulare, să umple complet gaura de nit și să rămână încă suficient material pentru confecționarea celui de al doilea cap, a capului de închidere (fig. 5.1, *b*).

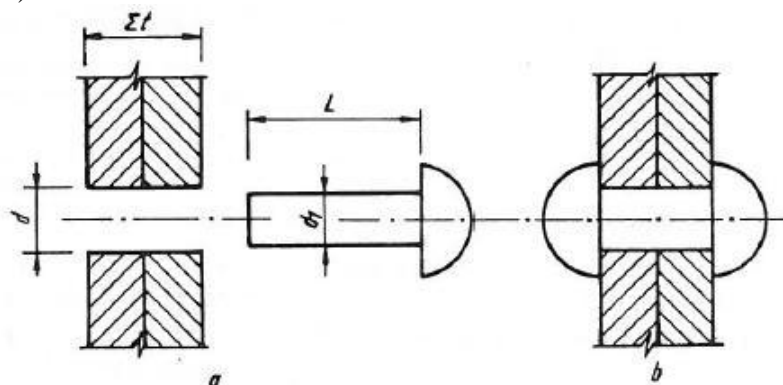


Fig. 5.1. Îmbinarea cu nituri

Diametrul nitului brut d_1 se ia (fig. 5.1, *a*) cu un milimetru mai mic decât diametrul găurii d .

În funcție de modul de executare a nituirii, pentru niturile cu cap semirotund lungimea L a tijei nitului brut se ia:

- nituri bătute manual cu revolverul de nituit:

$$L = 1,1 \sum t + 1,7 \cdot d \quad (5.1)$$

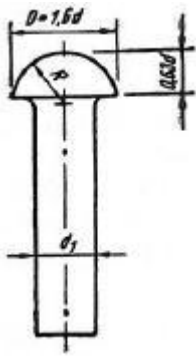


Fig. 5.2. Nit cu cap semirotund

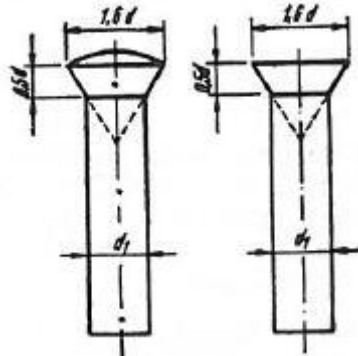


Fig. 5.3. Nit cu cap semiînecat și înecat

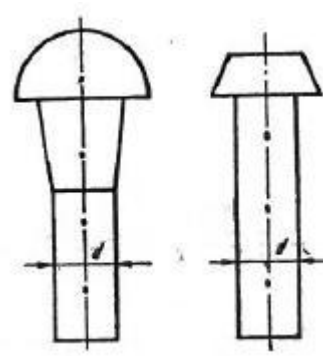


Fig. 5.4. Nituri speciale

- nituri bătute cu presa de nituit:

$$L = 1,1 \sum t + 1,7 \cdot d \quad (5.2)$$

Lungimea obținută se rotunjește în plus la un multiplu de 5 mm.

Formele și dimensiunile niturilor sunt normalizate prin STAS 947-50. În figurile 5.2, 5.3 și 5.4 sunt arătate formele niturilor folosite în construcțiile metalice, iar în tabelul 5.1 sunt date dimensiunile acestor nituri. Dimensiunea importantă este diametrul găurii, adică diametrul nitului bătut, acest diametru fiind hotărâtor pentru dimensionarea îmbinării nituite.

Tabelul 5.1.

Diametrul de calcul al nitului d	13	(15)	17	(19)	21	(23)	25	(28)	31	(34)	37
Diametrul nominal al nitului d_1	12	(14)	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	(33)	36
Diametrul găurii d	13	(15)	17	(19)	21	(23)	25	(28)	31	(34)	37
Diametrul filetat al șurubului corespunzător	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36

În mod obișnuit sunt folosite niturile cu cap semirotund și cu diametru între 13 și 25 mm, baterea acestor nituri executându-se la cald. Întrebuințarea niturilor cu cap semirotund este limitată până la o grosime de strâns Σt egală cu $5d$. Când grosimea de strâns depășește $5d$ pot fi folosite niturile cu cap semiînecat, până la o grosime de strâns egală cu $7d$, sau niturile strunjite cu tija tronconică (fig. 5.4).

Folosirea niturilor cu cap înecat se face când suprafața elementului trebuie să fie netedă. De exemplu, nituirea plăcii de bază a unui stâlp (fig. 5.5) trebuie să fie executată cu nituri la care capul de jos este înecat, pentru că altfel capul niturilor ar împiedica așezarea stâlpului pe fundație.

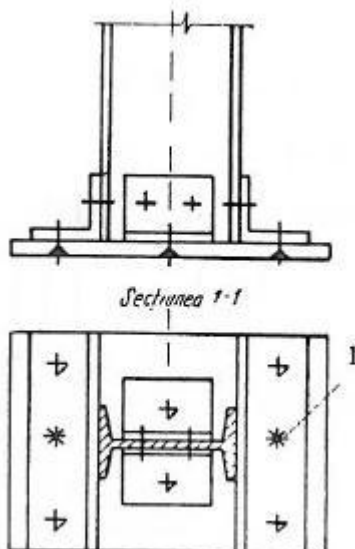


Fig. 5.5. Nit cu cap înecat la papucul stâlpilor; 1 - șurub de ancoraj

În desene este bine să se folosească o legendă după care să se poată recunoaște direct diametrul și forma celor două capete ale nitului.

Pentru construcțiile realizate din OL37, niturile sunt fabricate din bare rotunde de OL34; pentru cele realizate din OL44 și OL52, pentru nituri se folosește OL44.

Modul de lucru al nitului ca piesă de îmbinare. Calculul îmbinărilor nituite. Modul de lucru al nitului ca piesă de îmbinare se poate imagina în două feluri:

- Prin presiunea capetelor nitului asupra suprafețelor pieselor îmbinate, datorită contracției împiedicate la rădăcina nitului, se naște între acestea o forță de frecare, ceea ce permite transmiterea unui efort de la o piesă la alta cu condiția ca forța de frecare să fie mai mare ca acest efort. Acest mod de lucru al nitului se exprimă prin relația:

$$N \leq \mu \cdot S \quad (5.3)$$

unde:

N este forța din îmbinare transmisă prin nit;

S – forța de strângere a nitului;

μ – coeficientul de frecare dintre piesele îmbinate.

Deoarece mărimea forței de frecare μS este greu de apreciat, mărimea ei depinzând de factori care nu pot fi precizați (starea suprafețelor pieselor, temperatura la care s-a terminat închiderea nitului, modul de strângere a pieselor în timpul operației de nituire), această ipoteză nu poate fi luată în considerare la dimensionarea îmbinărilor nituite.

- Admițând că se produce o mică deplasare a pieselor asamblate, una față de alta, efortul de la o piesă la alta se transmite prin suprafața de contact dintre tija nitului și peretele găurii (fig. 5.6). În această ipoteză dimensionarea nituirii se face din condiția ca presiunea exercitată de nit pe suprafața de contact a peretelui găurii să nu întrecă o rezistență numită presiune pe gaură. Considerând această presiune uniform repartizată pe grosimea piesei și diametrul găurii condiția de dimensionare este:

$$\sigma_g = \frac{N}{d \cdot t} \leq \sigma_{ag} \quad (5.4)$$

Efortul care va putea fi transmis printr-un nit cu diametrul d , piesa cea mai subțire având grosimea t , rezultă așadar:

$$N_{ag} = d \cdot t \cdot \sigma_{ag} \quad (5.5)$$

Secțiunea nitului trebuie să fie suficient de mare pentru ca nitul să nu se foarfece. Verificarea la forfecare depinde de modul de rezolvare constructivă a îmbinării.

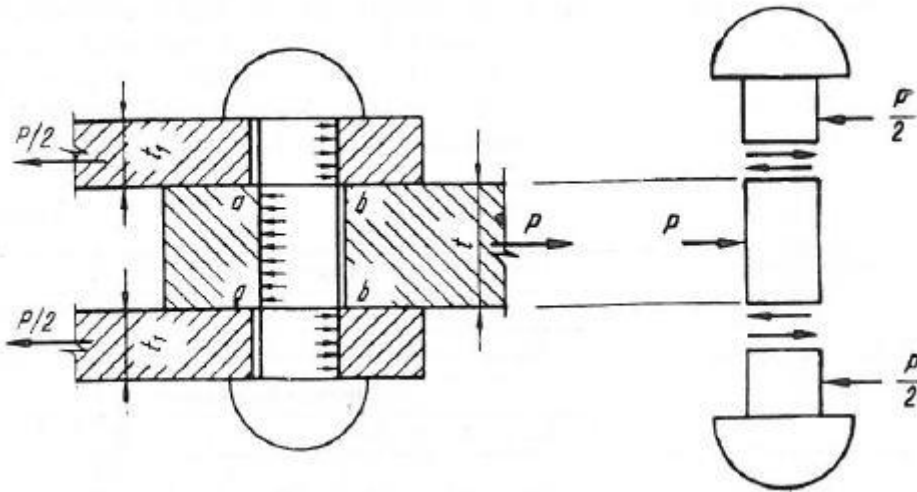


Fig. 5.6. Modul de lucru al unei îmbinări nituite

Când piesele sunt executate fiecare dintr-un singur element și îmbinarea este executată prin suprapunere (fig. 5.7), nitul lucrează cu o singură secțiune de forfecare.

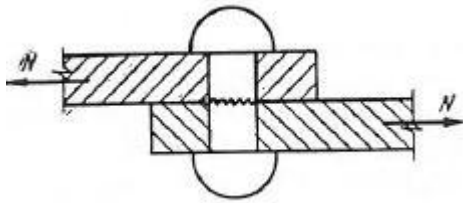


Fig. 5.7. Îmbinare cu o singură secțiune de forfecare

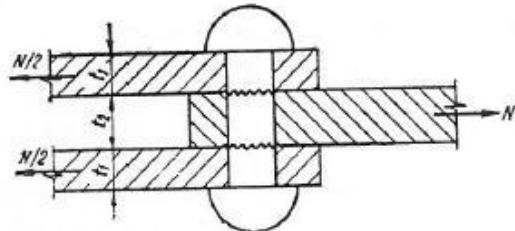


Fig. 5.8. Îmbinare cu două secțiuni de forfecare

Condiția de rezistență la forfecare este:

$$\tau = \frac{N}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq \tau_a \quad (5.6)$$

și deci efortul care poate fi transmis printr-un nit cu diametrul d , care lucrează la simplă forfecare va fi:

$$N_{asf} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \tau_a \quad (5.7)$$

Când nitul lucrează cu două secțiuni de forfecare (fig. 5.8) rezultă:

- efortul admisibil la presiune pe gaură pentru $t_2 \leq 2t_1$:

$$N_{ag} = d \cdot t_2 \cdot \sigma_{ag} \quad (5.8)$$

- efortul admisibil la dublă forfecare:

$$N_{a,df} = 2 \frac{\pi d^2}{4} \cdot \tau_a \quad (5.9)$$

În funcție de tipul îmbinării, de simplă sau de dublă forfecare, efortul admisibil care poate fi transmis printr-un nit rezultă cea mai mică valoare din relațiile (5.5) și (5.7) pentru îmbinarea de simplă forfecare, respectiv (5.8) și (5.9) pentru cea de dublă forfecare. Rezistențele admisibile la presiune pe gaură și forfecare pentru îmbinările nituite sunt cele din tabelul 5.2.

Tabelul 5.2.

Destinația construcției	Solicitarea	$\frac{\sigma_{aimb}}{\sigma_a}$	Rezistențe admisibile							
			Nituri din oțel				Elemente din oțel			
			OL 34		OL 44		OL 37		OL 52	
			Ipoteze de încărcare							
			I	II	I	II	I	II	I	II
Construcții civile și industriale	Forfecare	0,8	1200	1400	1500	1700	-	-	-	-
	Presiune pe gaură	2,0	-	-	-	-	3000	3400	4200	4800
	Întindere în tijă	0,3	450	500	550	600	-	-	-	-

Determinarea numărului de nituri. Determinarea numărului de nituri necesar unei prinderi sau unei îmbinări se face în funcție de efortul efectiv sau de efortul capabil al barei.

Se ia în considerare efortul efectiv când o modificare a acestuia în timp nu este probabilă, iar efortul capabil când o variație a efortului efectiv, prin modificarea încărcărilor este probabilă și când este important să existe aceeași rezervă de rezistență în îmbinarea sau prinderea nitului ca și în bară.

Numărul de nituri necesar transmiterii unei forțe F de la o piesă la alta se determină admitând o repartizare uniformă a forței asupra tuturor niturilor. Numărul de nituri rezultă:

$$n = \frac{F}{N_a} \quad (5.10)$$

unde:

N_a este funcție de tipul îmbinării și reprezintă valoarea cea mai mică care poate fi transmisă printr-un nit, având în vedere presiunea pe gaură sau forfecarea;

F – forța efectivă sau forța capabilă a barei.

Dacă bara este solicitată la întindere forța capabilă a barei este:

$$F = A_{net} \cdot \sigma_a \quad (5.11)$$

Dacă bara este solicitată la compresiune forța capabilă a barei este:

$$F = A \cdot \varphi \cdot \sigma_a \quad (5.12)$$

În tabelul 5.3 se poate citi direct efortul admisibil N_a pentru fiecare diametru de nit în funcție de tipul îmbinării, de grosimea minimă t și de rezistența admisibilă diferită pentru cele două calități de oțel (OL34 și OL44) și în funcție de gruparea de acțiuni.

Cu cât numărul niturilor dintr-un șir este mai mare, cu atât repartizarea forței F pe șirul de nituri este mai neuniformă, niturile extreme fiind mult mai încărcate ca cele de mijloc. Din acest motiv, la prinderi, nu se admit mai mult de șase nituri așezate într-un șir.

Diametrul niturilor și distanța între nituri. În funcție de rolul pe care-l au, se deosebesc următoarele tipuri de nituri:

- *nituri de rezistență*, care transmit forțe; de exemplu, niturile de prindere a barelor în noduri sau niturile de îmbinare;
- *nituri de solidarizare*, care assemblează elementele secțiunii unei bare. Acestea au rolul de a uniformiza eforturile în secțiunea unui element compus, să împiedice lunecarea dintre piesele secțiunii și să strângă piesele componente astfel încât să nu apară spații între ele care ar favoriza corodarea materialului;
- *nituri de etanșare*, care asigură o îmbinare etanșă a două elemente;
- *nituri de rezistență-etanșare*, care în afară de rolul de a realiza o îmbinare etanșă au și pe acela de a transmite forțe.

Diametrul nitului folosit trebuie să fie într-un anumit raport cu grosimea pieselor asamblate.

La profilele laminate (corniere, bare I, U etc.), diametrul maxim al niturilor care pot fi utilizate este indicat în tabelele de profile.

La table, platbande, diametrul niturilor poate fi stabilit din relația:

$$d = \sqrt{\frac{t}{0,25 \pm 0,075}} - 0,4 \quad (5.13)$$

unde d și t sunt în cm. Semnele \pm dau intervalul în care se poate alege d .

În diagrama din figura 5.9 este reprezentată această relație. Așa cum rezultă din diagramă pentru o anumită grosime t pot fi folosite două sau trei diametre de nit diferite.

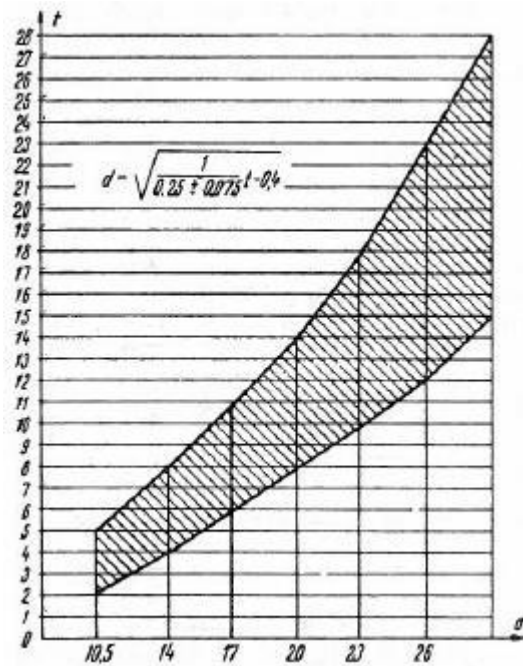


Fig. 5.9. Alegerea diametrelor niturilor

Tabelul 5.3

Diametrul de calcul d , mm	A , cm ²	Rezistența admisă în materialul de	Efortul capabil al unui nit la forfecare		Efortul capabil al unui nit la presiune pe gaură, în daN, în funcție de suma minimă a grosimilor pieselor Σt , în mm, care tind să se deplaseze într-un sens													
			simplă, daN	dublă, daN	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
11	0,92	1500 1700	1140 1292	2280 2584	1320 1496	1650 1870	1980 2244	2310 2618	2640 2992	2970 3366								
13	1,33	1500 1700	1596 1809	3192 3618	1560 1768	1950 2210	2340 2652	2730 3094	3120 3536	3510 3978								
(15)	1,77	1500 1700	2124 2407	4248 4814	1800 2040	2250 2550	2700 3060	3150 3570	3600 4080	4050 4590	4500 5100							
17	2,27	1500 1700	2724 3087	5448 6174	2040 2312	2550 2890	3060 3468	3570 4046	4080 4624	4590 5202	5100 5780	5610 6358						
(19)	2,84	1500 1700	3408 3862	6816 7724	2280 2584	2850 3230	3420 3876	3990 4522	4560 5168	5130 5814	5700 6460	6270 7106	6840 7752					
21	3,46	1500 1700	4152 4706	8304 9412	2520 2856	3150 3570	3780 4284	4410 4998	5040 5712	5670 6426	6300 7140	6930 7854	7560 8568	8190 9282	8820 9996			
23	4,15	1500 1700	4980 5644	9960 11288	2760 3128	3450 3910	4140 4692	4830 5474	5520 6256	6210 7038	6900 7820	7590 8602	8280 9384	8970 10166	9660 10948	10350 11730		
25	4,91	1500 1700	5892 6678	11784 13356	3000 3400	3750 4250	4500 5100	5250 5950	6000 6800	6750 7650	7500 8500	8250 9350	9000 10200	9750 11050	10500 11900	11250 12750	12000 13600	
28	6,16	1500 1700	7392 8378	14784 16756	3360 3808	4200 4760	5050 5712	5880 6664	6720 7616	7560 8568	8400 9520	9240 10472	10080 11424	10920 12376	11760 13328	12600 14280	13440 15232	15120 17136

Diametrul nitului folosit este în funcție și de rolul pe care îl are. De exemplu, în cazul niturilor de rezistență, diametrul ales este bine să fie cât mai mare pentru ca numărul niturilor necesare prinderii sau îmbinării să fie cât mai mic, efortul N_a fiind proporțional cu diametrul nitului. Prin aceasta lungimea prinderii sau a îmbinării va fi mai redusă, deci consumul de material și de manoperă se reduce.

Pentru niturile de solidarizare sau de etanșare este indicat să aibă diametrul minim, pentru ca slăbirile pieselor prin găurile de nit să fie cât mai puțin importante, reducându-se în același timp și manopera necesară executării.

Pentru simplificarea execuției trebuie ca la același element să fie folosit același diametru de nit sau cel mult două diametre diferite.

Niturile trebuie astfel așezate încât să respecte distanțele prescrise, rezultând o poziționare a niturilor cât mai regulată, mai uniformă și mai ușor de trasat.

Distanțele între nituri trebuie stabilite pe următoarele considerente:

- distanțele de la margine la primul nit de rezistență și între niturile de rezistență trebuie să fie minime pentru ca lungimile prinderilor sau îmbinările să fie minime;
- distanțele între niturile de solidarizare trebuie să fie cât mai mari, fără a depăși însă distanța la care asamblarea elementelor nu mai este asigurată;
- distanțele între nituri și așezarea niturilor trebuie să conducă la o slăbire cât mai mică a secțiunii transversale a elementului. Acest considerent este mai ales important pentru barele care lucrează la întindere sau la încovoiere;
- pozițiile niturilor pe aripile cornierelor și pe tălpile profilelor I sau U sunt fixate prin liniile de nituri (fig. 5.10). Poziția acestor linii este dată în tabelele de profile prin distanța W .

Prin STAS 763/1-71 sunt fixate distanțele dintre nituri la construcțiile civile și industriale (tabelul 5.4).

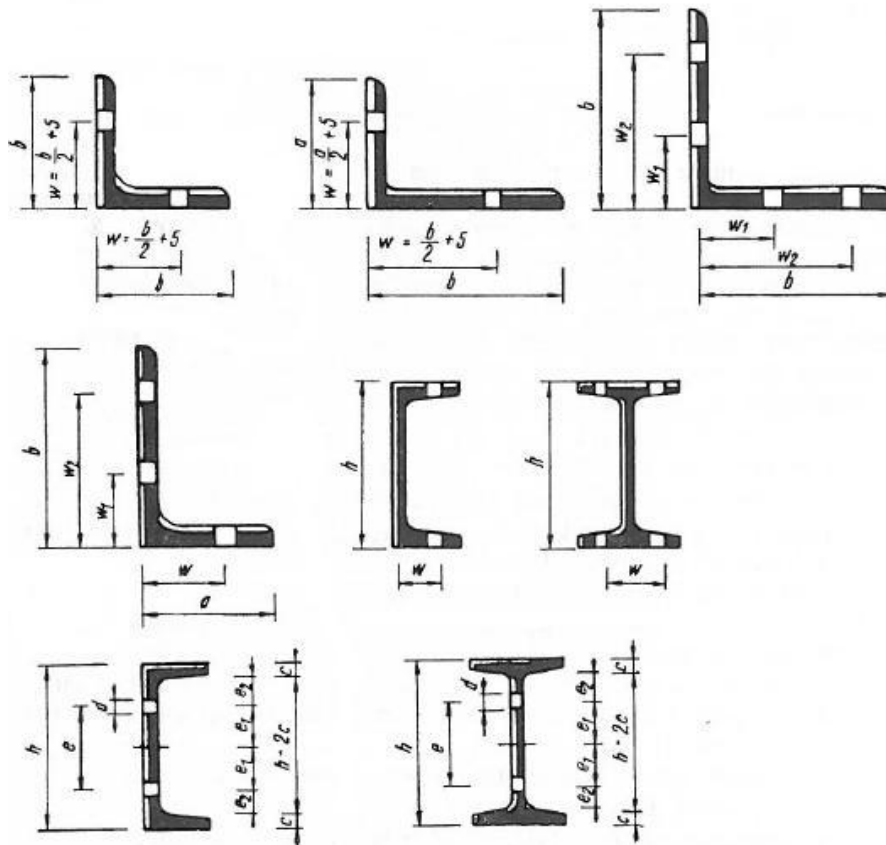


Fig. 5.10. Poziția niturilor la profile laminat

Tabelul 5.4

		Distanțe între nituri						
		e	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	
Nituri de rezistență	Minime	$3 d$	$3 d$	$2 d$	$1,5 d$	$2,6 d$	$3 d$	
	Maxime	Bare întinse	$8 d$ $12 t$	$8 d$ $12 t$	$4 d$ $8 t$	$4 d$ $8 t$	$7 d$ $10 t$	$16 d$ $24 t$
		Bare comprimate	$8 d$ $12 t$	$8 d$ $12 t$	$4 d$ $8 t$	$4 d$ $8 t$	$7 d$ $10 t$	$12 d$ $18 t$

Șuruburi

Generalități. Un șurub este format dintr-o tijă cilindrică, prevăzută la un capăt cu un cap de secțiune transversală hexagonală, iar la celălalt capăt cu o porțiune filetată pe care se înșurubează o piuliță prin care se realizează strângerea pieselor.

Forma filetului în secțiune transversală poate fi: triunghiulară, rotundă sau trapezoidală, forma cea mai folosită în construcțiile metalice fiind cea

triunghiulară. Pentru construcțiile care se demontează de mai multe ori se recomandă șuruburi cu filet de formă dreptunghiulară.

Îmbinările cu șuruburi se folosesc pentru:

- îmbinări de montaj;
- îmbinări unde apar întinderi mari care nu pot fi preluate de nituri;
- îmbinări ale pachetelor cu grosime mare (peste $5d$);
- îmbinări în locuri unde nu se pot bate nituri din condiția de gabarit a buterolei și contrabuterolei;
- îmbinări la construcțiile demontabile.

În construcțiile metalice se folosesc șuruburi brute, păsuite, de înaltă rezistență pretensionate și speciale.

Șuruburile brute și păsuite se confecționează obișnuit din OL37, iar cele de înaltă rezistență pretensionate se confecționează din oțeluri speciale de înaltă rezistență (41 MoC 11).

La tija șurubului se disting următoarele diametre (fig. 5.11):

- d_1 , diametrul părții nefiletate;
- d_0 , diametrul părții filetate, măsurat la interiorul filetului;
- d , diametrul găurii în care se va introduce șurubul.

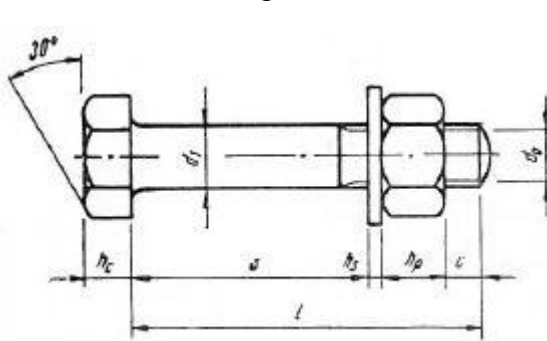


Fig. 5.11. Șurub

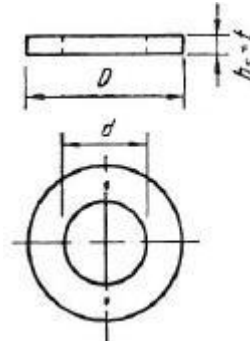


Fig. 5.12. Rondea

Capătul liber al tije se termină obișnuit cu o calotă sferică. Lungimea tije l se compune din: lungimea de strângere s , înălțimea piuliței h_p , la care se adaugă grosimea șaibe h_s - dacă există - și porțiunea tije ieșită în afară cu 3...7 mm, c :

$$l = s + h_p + h_s + c \quad (5.14)$$

Capul șurubului este hexagonal, diametrul cercului înscris S fiind aproximativ $1,6 d_1$, iar înălțimea capului h_c aproximativ $0,7 d_1$. Înălțimea piuliței h_p este aproximativ $0,85 d_1$. După modul de prelucrare a tije se disting:

- *șuruburi nepăsuite* (brute) care au tija neprelucrată, folosite în mod obișnuit pentru construcții. Diametrul găurii d , în care se montează, se execută cu 1...2 mm mai mare decât diametrul tije d_1 . Din acest motiv ele lucrează dezavantajos la forfecare și se folosesc doar acolo unde sunt solicitate în special la întindere în tijă;

- șuruburi păsuite, care au tija prelucrată obișnuit prin strunjire. Jocul șuruburilor păsuite este de maximum 0,3 mm, ele introducându-se în găuri prin batere. Datorită umplerii găurii de către tija șurubului, acesta lucrează asemănător niturilor la forfecare și presiune pe gaură.

Pentru realizarea corespunzătoare a îmbinărilor cu șuruburi, se folosesc unele accesorii cum sunt:

- rondele sau șaibe (fig. 5.12), care se introduc între piesă și piuliță, mai ales la șuruburile păsuite, astfel ca filetul să nu intre în gaura piesei. Diametrul lor se ia $D = 2d_1$, iar grosimea $t = 4...6$ mm;

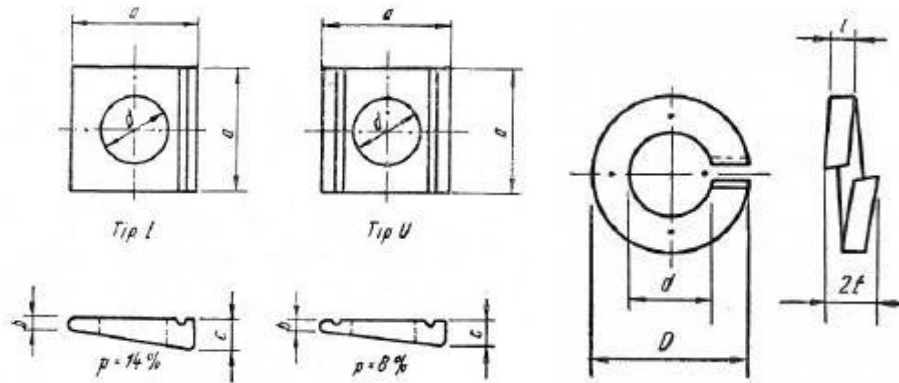


Fig. 5.13. Piese speciale

Fig. 5.14. Inel de siguranță

- șaibe teșite pentru prinderea la profile U și I (fig. 5.13). Șaibele tip U sunt marcate cu două linii, iar cele tip I cu o linie;
- inele de siguranță sau șaibă tip Grower (fig. 5.14), folosite pentru împiedicarea desfacerii piulițelor.

Există o mare varietate de șuruburi speciale. Dintre acestea fac parte: șuruburile de distanțare, șuruburile cu tija tronconică (pentru strângerea pachetelor groase) și șuruburile de ancoraj (fig. 5.15).

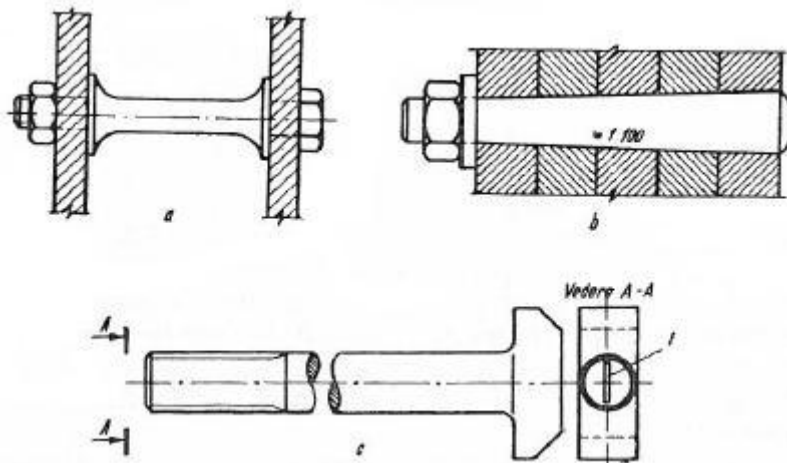


Fig. 5.15. Șuruburi speciale

Modul de lucru al șurubului ca piesă de îmbinare. Șuruburile nu umplu complet găurile. Chiar și la cele păsuite există un mic joc, ceea ce duce la deplasări mai mari ale pieselor îmbinate cu șuruburi față de cele îmbinate cu nituri. Datorită acestui fapt încărcarea șuruburilor din cadrul aceleiași îmbinări este mai neuniformă și această neuniformitate crește odată cu creșterea diferenței între diametrul găurii și diametrul tijei. Comportarea corespunzătoare a unei îmbinări cu șuruburi se asigură printr-o strângere bună, cu chei lungi, astfel încât în tija șuruburilor să apară eforturi de întindere. De aceea, șuruburile supuse la întindere în tijă se vor strânge mai puțin.

Șuruburile lucrează la forfecare, presiune pe gaură și întindere în tijă, eforturile care pot fi transmise printr-un șurub fiind:

$$\text{- pentru forfecare: } N_f = n_f \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \tau_a \quad (5.15)$$

$$\text{- pentru presiune pe gaură: } N_g = \Sigma t_{\min} \cdot d_1 \cdot \sigma_{ag} \quad (5.16)$$

$$\text{- întindere în tijă: } N_t = \frac{\pi d_0^2}{4} \sigma_{ai} \quad (5.17)$$

unde n_f este numărul secțiunilor de forfecare.

Rezistențe admisibile. Rezistențele admisibile pentru elementele îmbinărilor cu șuruburi sunt date în tabelul 5.5.

La îmbinările cu un singur șurub, care lucrează la forfecare, rezistența admisibilă din tabel se reduce prin înmulțirea cu coeficientul 0,9.

Diametrul șuruburilor se alege după aceleași criterii ca cel al niturilor. De asemenea, așezarea lor este analoagă cu cea a niturilor.

La șuruburi intervine condiția de strângere a piulițelor, ceea ce duce la mărirea distanței minime dintre șuruburi față de nituri de la $3d$ la $3,5d$.

Măsurile care se iau pentru împiedicarea desfacerii piulițelor sunt: introducerea inelelor de siguranță între piese și piulițe, folosirea contrapiulițelor de înălțime redusă, folosirea filetelor speciale cu autoblocare, prinderea cu puncte de sudură a piulițelor și crestarea filetelui. Ultimele două măsuri nu mai permit demontarea îmbinării.

Șuruburi de înaltă rezistență strânse excesiv. Șuruburile de înaltă rezistență pretensionate (fig. 5.16) se confecționează din oțeluri slab aliate de înaltă rezistență (41 MoC 11). Sub capul șurubului și sub piuliță se așază șaibe din oțeluri de înaltă rezistență tratate termic. Printr-o strângere puternică, cu ajutorul unor chei dinamometrice, se introduce un efort de preîntindere în tija șuruburilor, a cărui valoare este de circa 75% din limita de curgere a materialului din care se confecționează șuruburile.

Introducerea acestui efort de preîntindere în tija șurubului are drept urmare o strângere puternică a pieselor îmbinate. În acest caz îmbinarea fiind supusă solicitărilor exterioare, va rezista prin frecarea între piese.

Pentru a mări forța de frecare între piese, ele se vor prelucra prin sablare sau decapare cu flacăra. Sablarea se poate face cu nisip cuarțos (cu diametrul granulelor de 0,5...1 mm), printr-un tratament superficial cu alicie din fontă, care

este însă mult mai costisitor. Decaparea se realizează cu ajutorul flăcării oxiacetilenice sau oxigaz, cu un surplus de oxigen de 30% și cu viteza de avans între 1 și 2 m/min.

Șuruburile de înaltă rezistență se pot folosi la toate oțelurile de construcții. Diametrele găurilor se fac cu circa 1 mm mai mari decât diametrul șurubului.

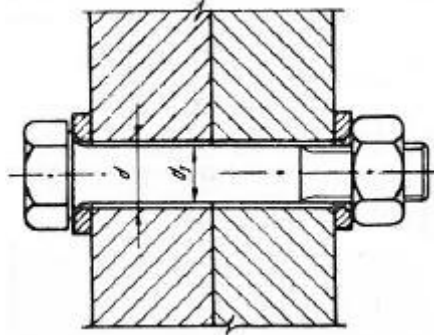


Fig. 5.16. Șuruburi de înaltă rezistență

Distanțele dintre șuruburi și de la axul lor la marginea pieselor sunt aceleași ca la șuruburile obișnuite. Se recomandă distanțe apropiate de cele minime pentru o repartizare uniformă a presiunilor de contact între piese.

Calculul șuruburilor de înaltă rezistență. Dacă se notează cu n_s numărul suprafețelor de frecare (alunecare), atunci capacitatea portantă a unui șurub de înaltă rezistență N va fi:

$$N = n_s N_s \quad (5.18)$$

unde:

N_s este efortul maxim pe care îl poate transmite un șurub de înaltă rezistență, printr-o suprafață de alunecare, care este egal cu:

$$N_s = \frac{\mu \cdot N_t}{c} \quad (5.19)$$

în care:

μ este coeficientul de frecare, care în cazul unei prelucrări corespunzătoare a pieselor se va lua: $\mu = 0,45$ pentru OL37 și $\mu = 0,60$ pentru OL52;

N_t – efortul de preîntindere care se introduce în tija șurubului și care este egal cu:

$$N_t = 0,75 \cdot A_0 \cdot \sigma_c \quad (5.20)$$

c – coeficientul de siguranță care se ia conform tabelului 5.6;

σ_c – limita minimă de curgere a materialului din care se confecționează șuruburile de înaltă rezistență, tratate termic (tab. 5.7);

A_0 – aria netă a șuruburilor.

Tabelul 5.6

Felul solicitării	Valoarea coeficientului de siguranță <i>c</i>	
	Gruparea fundamentală I	Gruparea suplimentară II
Îmbinări supuse la solicitări statice	1,25	1,10
Îmbinări supuse la solicitări dinamice	1,50	1,40

Tabelul 5.7

Piesa	σ_r , daN/mm ²	σ_c , daN/mm ²	S% min.	<i>HB</i> , daN/mm ²	Valoarea minimă a rezilienței (pe epruvete Mesnager) la +20°C, daJ/cm ²
Șurub	85...100	0,75...0,90 σ_r	12	260...300	8
Piuliță	70...80	0,75...0,85 σ_r	15	210...240	8
Rondelă	-	-	-	340...380	-

Tabelul 5.5

Tipul șurubului	Solicitarea	Simbol	Rezistențele admisibile, în daN/cm ² pentru șuruburi din:					
			Gruparea de caracteristici mecanice 4.6. (STAS 2700/3-70) și construcții metalice din: OL 37		Gruparea de caracteristici mecanice 5.6. (STAS 2700/3-70) și construcții metalice din: OL 44		Gruparea de caracteristici mecanice 6.6. (STAS 2700/3-70) și construcții metalice din: OL 52	
			Gruparea de acțiuni					
			I	II	I	II	I	II
Șuruburi precise și semiprecise	Forfecare Presiune pe gaură Întindere în tijă	τ_a	1200	1400	1500	1700	1750	2000
		σ_{ag}	3000	3400	3600	4000	4200	4800
		σ_{ai}	1100	1250	1400	1600	1700	1950
Șuruburi brute (grosolane)	Forfecare Presiune pe gaură Întindere în tijă	τ_a	1050	1200	-	-	-	-
		σ_{ag}	2000	2200	-	-	-	-
		σ_{ai}	1100	1250	1400	1600	1700	1950
Șuruburi de ancoraj	Întindere în tijă	σ_{ai}	Rezistența admisibilă σ_{ais} în daN/cm ² pentru șuruburi de ancoraj din:					
			OL37			OL50		
			Gruparea de acțiuni					
			I	II	I	II	I	II
			1100	1250	1350	1500		

Îmbinări prin sudură

Generalități. La execuția construcțiilor metalice s-au impus în ultimul timp pe scară din ce în ce mai largă construcțiile sudate. Aceasta se datorește avantajelor pe care le oferă construcțiile sudate, prin posibilitățile de alcătuire a unor forme foarte variate de secțiuni, prin simplitatea elementelor de construcții și a utilajului folosit la executarea lor, precum și prin reducerea consumului de metal și prin micșorarea pericolului de coroziune.

Calitatea construcțiilor metalice sudate depinde de o serie de factori cum sunt: alegerea procedului de sudare și a utilajelor folosite, alegerea calității corespunzătoare a materialului folosit la execuția elementelor, alegerea materialului de adaos folosit la sudură și alcătuirea constructivă a elementelor construcțiilor metalice sudate.

Procedee de sudare. Sudarea metalelor este un procedeu de îmbinare a pieselor metalice folosind căldura sau presiunea sau amândouă împreună, cu sau fără material de adaos. Materialul de adaos trebuie să aibă caracteristici asemănătoare cu metalul de bază și temperatura de topire identică sau aproape identică cu cea a materialului care se sudează.

După modul de executare al sudării, în construcții metalice se disting două grupe de procedee de sudare: sudarea prin topire și adaos de material suplimentar și sudarea prin încălzire și presiune.

Sudarea prin topire și adaos de material reprezintă un proces de unire a două materiale metalice, prin folosirea căldurii pentru topirea capetelor celor două piese care se îmbină și a materialului de adaos care se depune în regiunea îmbinării.

Sudarea prin încălzire și presiune reprezintă procesul de unire a două piese metalice, încălzite local pînă la starea plastică după care asupra capetelor pieselor se aplică o presiune mecanică datorită căreia piesele se sudează fără adaos de material.

În urma executării sudurii rezultă cusăturile sau cordoanele de sudură care asigură legătura dintre piesele ce au fost sudate.

Procedee de sudare prin topire și adaos de material. Sudarea pieselor prin topire și adaos de material se realizează prin mai multe procedee care se deosebesc unele de altele după modul în care se realizează încălzirea și după modul cum se face protejarea locului unde se execută sudura. Dintre aceste procedee cele mai răspândite sunt: sudura oxigaz și sudura cu arc electric.

Sudura oxigaz (fig. 6.1). Procedeu de sudare oxigaz se bazează pe proprietățile flăcării obținute prin arderea unui amestec de oxigen și o hidrocarbură (în proporție 1 : 1), care produce topirea metalului de bază și a materialului de adaos. Pentru sudare se folosește, de obicei, acetilena care se produce la locul de executare a sudurii, într-un generator de acetilenă, din carbură de calciu (CaC_2) numită carbid și din apă. Ea poate să fie livrată și îmbuteliată sub presiune când se folosește ca solvent acetona.

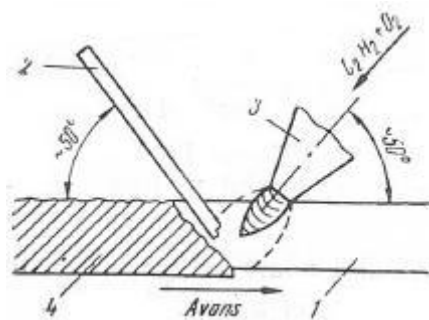


Fig. 6.1. Schema sudurii oxiacetilenice: 1 – piesă; 2 – sârma; 3 – bec; 4 – cordon de sudură.

Oxigenul folosit pentru obținerea amestecului se livrează în butelii de oxigen, la presiunea de 150 atmosfere.

Amestecul de gaze se formează într-un dispozitiv de sudat denumit suflai, care este terminat cu un bec de ardere, la vârful căruia se formează flacăra, a cărei intensitate poate fi reglată. Acest aparat permite reglarea fiecărui gaz și în consecință și intensitatea flăcării. În centrul flăcării temperatura atinge valori până la 3000...3100°C.

Uneori, pentru sudarea cu flăcără se folosesc ca gaze de ardere: butanul, propanul și hidrogenul.

Pentru realizarea cordoanelor de sudură în cazul sudurii oxigaz, se folosește ca material de adaos sârma de sudură.

Sudarea cu gaze se folosește foarte puțin în construcțiile metalice, la piese de importanță redusă, de grosime mică și care nu sunt supuse la sarcini dinamice. La acest procedeu de sudură există o zonă mare influențată termic de temperatura flăcării, ceea ce duce la apariția unor deformații mari ale pieselor.

Pentru tăierea pieselor metalice se folosește suflaiul prevăzut cu un bec special având două canale pentru amestecul oxigaz și pentru oxigen. În acest caz piesele se încălzesc cu ajutorul flăcării oxigaz ca și la sudare, până când acestea ajung la culoarea roșu deschis; apoi se deschide mai mult robinetul de oxigen, flacăra devine puternic oxidantă, ceea ce duce la oxidarea metalului.

Reacția de oxidare fiind exotermă, o mare parte din căldura necesară topirii metalului este furnizată de această reacție.

În uzinele de construcții metalice, tăierea se face în prezent, în majoritatea cazurilor, cu ajutorul flăcării oxiacetilenice, existând instalații speciale care lucrează cu 2...8 becuri de tăiat simultan, ceea ce conduce la creșterea foarte mare a productivității în procesul de tăiere a metalelor.

Sudura cu arc electric. Cel mai des folosit procedeu de sudare este procedeu de sudare cu arc electric, deoarece acesta ca sursă termică concentrează cantități mari de căldură la temperatură ridicată (peste 3500° C), pe un spațiu restrâns, ceea ce face ca zona influențată termic să fie redusă.

Pentru sudarea cu arc electric se poate utiliza atât curent continuu cât și curent alternativ, la o tensiune de 20...70 V și la o intensitate a curentului de 150...1500 A, în funcție de metoda de sudare.

La acest procedeu de sudare, baia de metal topit se formează datorită acțiunii locale a arcului electric.

În cadrul acestui procedeu se disting mai multe metode de sudare, dintre care în construcțiile metalice cele mai importante sunt: sudura electrică manuală, cu electrozi înveliți; sudura automată sau semiautomată sub strat de fondant; sudura electrică în atmosferă de gaze de protecție; sudura electrică în baie de zgură conductoare și sudura electrică cu electrod culcat.

- *Sudura electrică manuală, cu electrozi înveliți* se bazează pe arcul electric ce ia naștere între un electrod învelit și piesă, producând topirea marginilor pieselor ce se sudează.

Temperatura arcului electric la vârful electrodului poate atinge valori de peste 4000° C, iar temperatura materialului topit, valori ce ating 2500° C.

Pentru executarea sudurii electrice se folosește un utilaj destul de simplu format dintr-un transformator sau generator de sudură, cabluri de legătură și un portelectrod (fig. 6.2). În timpul operației de sudare manuală se folosesc și unelte ajutătoare cum este ciocanul de control și peria de sârmă cu care se face și curățirea suprafeței cusăturii de sudură de zgură. De asemenea, pentru a asigura protecția sudorului de efectele dăunătoare ale arcului electric, la executarea sudurii manuale se folosesc: masca de protecție, mănușile și șorțul de protecție.

Sudarea manuală cu arc electric poate folosi, ca sursă de curent electric, curentul continuu sau curentul alternativ. Pentru a produce amorsarea arcului electric, se apropie electrodul de piesa de sudat, se atinge ușor piesa cu vârful electrodului, apoi electrodul se ridică cu 2...5 mm de la suprafața piesei și se păstrează în această poziție, realizându-se între vârful electrodului și piesă un arc stabil. În acest timp, electrodul se topește depunându-se între capetele pieselor ce se sudează; de aceea el se apropie de piesă pe măsură ce se consumă și devine mai scurt.

Electrodul topit este depus sub formă de material de adaos și formează împreună cu materialul topit din marginile pieselor ce se sudează, *cusătura* sau *cordonul de sudură*. Calitatea cordonului de sudură depinde de o serie de factori cum sunt: tensiunea și intensitatea curentului electric, calitatea electrodului și a pieselor de sudat.

Tensiunea curentului electric este în general sub 30 V, iar intensitatea curentului funcție de grosimea pieselor are valori de 200...500 A.

La sudarea manuală este importantă și viteza de deplasare a electrodului, deoarece la o viteză mare se produce numai o topire superficială a pieselor ceea ce face ca să nu se producă o pătrundere corespunzătoare a materialului de adaos în materialul ce se sudează, deci o calitate necorespunzătoare a sudurii, iar la o viteză mică de deplasare se produce arderea metalului de bază.

În cazul când grosimea cordonului de sudură este mare, acesta nu se poate realiza dintr-o singură trecere a electrodului, ci în straturi suprapuse (fig. 6.3), prin treceri succesive.

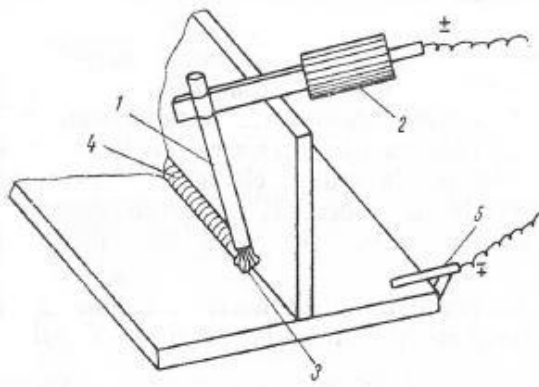


Fig. 6.2. Schema sudării electrice manuale: 1 – electrod; 2 – portelectrod; 3 – arc electric; 4 – cordon de sudură; 5 – clemă de contact

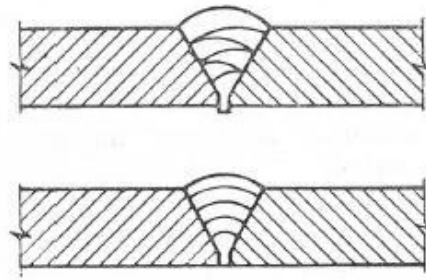


Fig. 6.3. Executarea sudurii în straturi

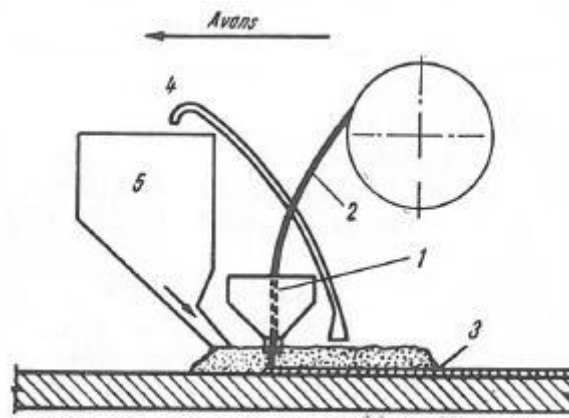


Fig. 6.4. Sudură electrică sub strat de fondant

În acest caz pentru a se putea executa un nou strat de sudură, stratul anterior se curăță bine de zgură prin lovirea cu un ciocan și îndepărtarea cu peria de sârmă a stratului de zgură spart.

- *Sudura electrică automată sau semiautomată sub strat de fondant* se caracterizează prin faptul că arcul electric este acoperit cu un strat de fondant (flux). Sudura se execută cu un aparat automat de sudură format dintr-un cap de sudură fixat de un dispozitiv mobil, care se poate deplasa în lungul piesei. Capul de sudură permite amorsarea și menținerea arcului electric pe de o parte, iar pe de altă parte asigură avansul automat al sârmei care servește drept electrod, precum și deplasarea automată sau semiautomată a întregului aparat în lungul cordonului de sudură (fig. 6.4).

Sârma de sudat este neacoperită și se livrează sub formă de colac, fiind fixată pe o rolă de înfășurare dispusă deasupra capului de sudat. Întrucât cordonul de sudură este complet acoperit de stratul de fondant, calitatea acestuia este mult mai bună decât la sudura electrică manuală.

Fondantul (nisip cuarțos, minereu de mangan, calcar sau caolină și feroaliaje) este așezat într-un buncăr situat deasupra capului de sudat, de unde curge deasupra arcului electric. Pe măsura avansării arcului electric și a răcirii cordonului de sudură, fondantul netopit este recuperat și se introduce din nou în buncărul de fondant pentru refolosire.

Procedeul are următoarele avantaje: productivitate foarte mare (de 8...10 ori mai mare decât la sudura manuală), calitate superioară a cordonului de sudură, consum redus de electrozi, consum mult mai mic de energie electrică, datorită faptului că arcul fiind acoperit, căldura lui este concentrată pentru topire, fără a exista pierderi de căldură în aer, nu există împrăscări ale materialului de adaos, cum se întâmplă la sudura electrică cu electrozi înveliți, nu necesită o pregătire specială a sudorilor, deoarece calitatea cordoanelor de sudură nu depinde în acest caz prea mult de calificarea sudorilor.

Are în schimb dezavantajul că nu poate fi folosit decât la cordoane de sudură orizontale sau foarte puțin înclinate și numai la cordoane de lungime mare.

- *Sudura electrică în atmosferă de gaz de protecție* se folosește pe scară tot mai largă în ultima vreme, ca urmare a faptului că intensitatea arcului electric este mult mai mare decât în cazul sudurii manuale. Acest lucru duce la obținerea unui randament sporit de sudare și permite folosirea unor sârme de sudură neînvelite, drept electrozi de sudură. Arcul electric se produce între electrozii de sudură realizați din tungsten și piesa de sudat, iar în jurul lui se insuflă heliu sau argon, gaze inerte care nu intră în reacție cu materialul topit. Gazele insuflă protejează arcul electric. Procedeul se folosește în general la sudarea oțelurilor inoxidabile.

Gazul protector poate fi format și din hidrogen atomic sau mai ales din bioxid de carbon CO_2 , care este cel mai des folosit, deoarece prin disocierea bioxidului de carbon în oxid de carbon și oxigen se degajă căldură, care sporește temperatura arcului electric. Aceste gaze pot fi folosite în stare pură sau cu adaosuri de oxigen, precum și sub formă de amestecuri de gaze.

Procedeul are dezavantajul că electrodul nefiind învelit nu există material care să se depună sub formă de zgură pe suprafața cordonului de sudură, motiv pentru care nu se creează o protecție termică a materialului depus.

- *Sudura electrică în baie de zgură electroconductoare* nu este de fapt un procedeu de sudare cu arc electric, deoarece după producerea arcului electric necesar începerii topirii zgurei conductoare, acesta se închide și căldura necesară topirii electrozilor și a restului de zgură provine din rezistența zgurii electroconductoare aflată în stare fluidă.

Cu cât temperatura este mai ridicată cu atât crește conductibilitatea zgurii electroconductoare.

Procedeul acesta este folosit în general pentru sudarea pieselor de grosimi foarte mari, cum este cazul pereților de la recipienții centralelor atomice, care au grosimi cuprinse între 200 și 500 mm.

Tensiunea electrică se aplică pe de o parte electrozilor (în număr de 2...4), iar pe de altă parte pieselor care se sudează.

Transferul de material din electrozi în cordonul de sudură se face sub formă de picături.

- *Sudura electrică cu electrod culcat* denumită și sudură Elin-Hafergut, se aseamănă cu sudura electrică manuală în sensul că folosește electrozi înveliți, ca și la sudura manuală. Prin acest procedeu se elimină dezavantajul procedurii manual de sudură și anume acela că electrozii fiind scurți trebuie schimbați des, deoarece în acest caz electrozii se realizează cu lungimi de 1...1,5 m.

Electrodul se așază culcat în locul de sudare, se amorsează arcul la un capăt, după care acesta progresează automat pe toată lungimea electrodului.

Pentru ca electrodul să nu se ridice de la locul de sudare și pentru a păstra stabilitatea arcului electric, deasupra electrodului se așază o șină de cupru. Procedeu acesta se folosește la sudarea tablelor subțiri.

Procedee de sudare prin încălzire și presiune. Procedeele de sudare prin încălzire și presiune sunt mai puțin folosite în construcțiile metalice. Dintre procedeele de sudare prin încălzire și presiune, cele care au un oarecare domeniu de folosire în construcțiile metalice sunt: sudarea prin rezistență cap la cap, prin scânteiere, prin puncte, prin puncte în linie și prin presiune cu gaz.

Sudarea prin rezistență cap la cap. Procedeu acesta se folosește pentru îmbinarea cap la cap prin sudură a profilelor mici, a țevilor și a tablelor.

Cele două piese care se îmbină sunt prinse în bacurile unei mașini pentru sudat (fig. 6.5). Prin intermediul mașinii de sudat, ele sunt aduse în contact, apoi prin ele se trece un curent electric de tensiune redusă și de intensitate ridicată. Datorită rezistenței electrice mari a stratului de aer dintre capetele pieselor, acestea se încălzesc până la starea plastică, după care bacurile mașinii exercită automat sau semiautomat o presiune mecanică asupra celor două piese, realizând sudarea lor. Datorită presiunii exercitate asupra celor două piese, la locul de îmbinare se formează o bavură.

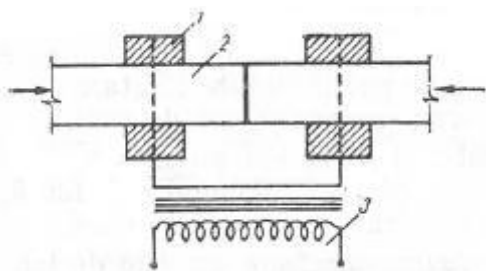


Fig. 6.5. Sudarea prin rezistență cap la cap: 1 – bac; 2 – piesă; 3 – sursă de curent

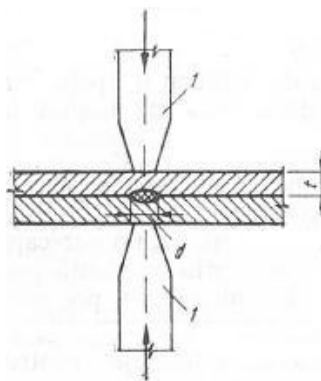


Fig. 6.6. Sudarea prin rezistență prin puncte: 1 – electrod;

Acest procedeu de sudare poate fi folosit doar în cazul pieselor metalice a căror secțiune nu depășește 250 cm^2 . El este folosit în general acolo unde se execută

lucrări de sudare de mare serie, cum ar fi sudarea șinelor de cale ferată, a barelor de oțel-beton sau a țevelor.

Sudarea prin scânteiere. Piese care se sudează sunt plasate într-un circuit electric care se închide în momentul când piesele sunt aduse în contact. Dacă se apropie și se depărtează foarte des capetele pieselor, se produce închiderea și deschiderea repetată a circuitului electric, ceea ce dă naștere unor mici arce electrice, care se manifestă sub formă de scânteii și care aduc capetele pieselor la temperatura de sudare. Când s-a atins această temperatură cele două capete ale pieselor sunt presate automat câteva secunde de bacurile mașinii, realizându-se sudarea pieselor.

Există în prezent mașini automate cu care se sudează piese a căror secțiune poate ajunge până la 1500 cm².

Sudarea prin puncte. La procedeul de sudare prin puncte, piesele care se sudează sunt așezate între doi electrozi din cupru ai mașinii de sudat prin puncte; cei doi electrozi cilindrici se apropie, exercitând asupra pieselor o presiune. Rezistența electrică, întâmpinată la trecerea curentului de la o piesă la alta în regiunea celor doi electrozi, face ca în baza efectului Joule-Lenz, piesele care se îmbină să se încălzească în locul respectiv până la starea plastică. Apoi se exercită o presiune puternică asupra pieselor în așa fel încât moleculele lor se întrepătrund și formează un punct de sudură de formă lenticulară (fig. 6.6). Utilajul folosit are o mare productivitate, fiind în general automatizat. Se folosește de obicei pentru sudarea a două piese din tablă; când se folosesc mașini de mare putere se pot suda și mai multe piese în pachet, având grosimea totală la 40 mm.

Calculul îmbinărilor sudate. Pentru calculul îmbinărilor sudate se determină efortul maxim din secțiunea probabilă de rupere și se compară cu rezistențele admisibile ale cordoanelor de sudură date în STAS 763/1-71 (tabelul 6.1).

Așa cum se vede din tabelul 6.1 rezistențele admisibile la întindere pentru cordoanele de sudură în adâncime se iau egale cu rezistența admisibilă din materialul de bază, când controlul calității sudurilor se face cu mijloace perfecționate (raze roentgen sau gama) și se constată o calitate ireproșabilă a acestora. În cazul când acest control nu se aplică, rezistențele admisibile ale îmbinărilor sudate se iau egale cu 80% din rezistența admisibilă a materialului de bază.

Tabelul 6.1.

Destinația construcției	Tipul cusăturii	Solicitarea	$\frac{\sigma_{as}}{\sigma_a}$	Rezistența admisibilă în cusături de sudură la construcții executate din: daN/cm ²					
				OL 37 ; OLT35		OLT45 ; OL 44		OL 52	
				I	II	I	II	I	II
Construcții civile și industriale	cap la cap	Întindere, compresiune, încovoiere	1,0	1500	1700	1600	1800	2100	2400
		Întindere	0,8	1200	1350	1350	1450	1700	1900
		Forfecare	0,65	1000	1100	1050	1200	1400	1550
	de colț	Forfecare	0,65	1000	1100	1050	1200	1400	1550

Rezistențele admisibile în îmbinările sudate pentru gruparea a III-a de încărcări se determină prin multiplicarea cu 1,3 a rezistenței admisibile din gruparea I fundamentală.

Calculul îmbinărilor sudate se face în mod simplificat, folosind metoda secțiunilor: se secționează cordonul de sudură în secțiunea probabilă de rupere și se consideră că în această secțiune, eforturile unitare sunt uniform distribuite. Aceste eforturi se compară cu rezistența admisibilă din sudură.

Calculul îmbinărilor se face diferit în funcție de tipul îmbinării sudate și de solicitările la care sunt supuse.

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap. Îmbinările sudate cap la cap se comportă foarte bine la solicitările la care sunt supuse, în comparație cu îmbinările cu suduri de colț. Calculul îmbinărilor sudate cap la cap depinde de natura solicitărilor la care sunt supuse. Pentru calcul se presupune că secțiunea probabilă de rupere este normală la axa pieselor și trece prin axa cordonului de sudură.

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap supuse la forțe axiale. Considerând o îmbinare cu sudură cap la cap a două piese de aceeași grosime t și lățime b , ale căror margini sunt prelucrate în V și sudate pe toată lățimea și grosimea pieselor, secțiunea probabilă de rupere sub acțiunea forței axiale este secțiunea $\alpha - \alpha$ (fig. 6.7).

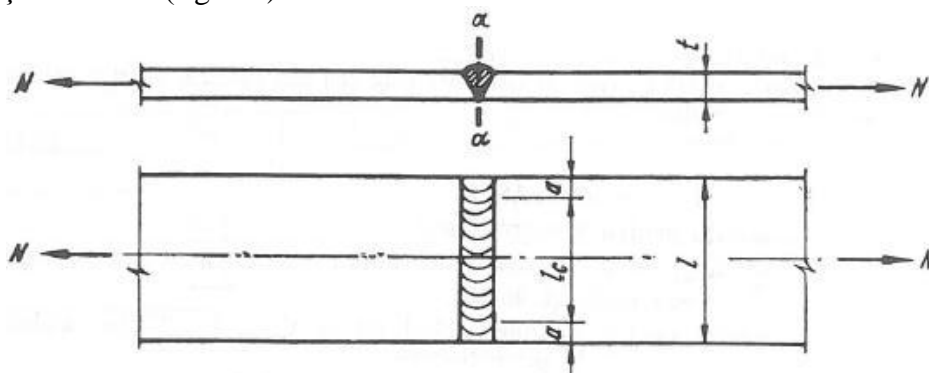


Fig. 6.7. Îmbinare cu sudură cap la cap solicitată la forțe axiale

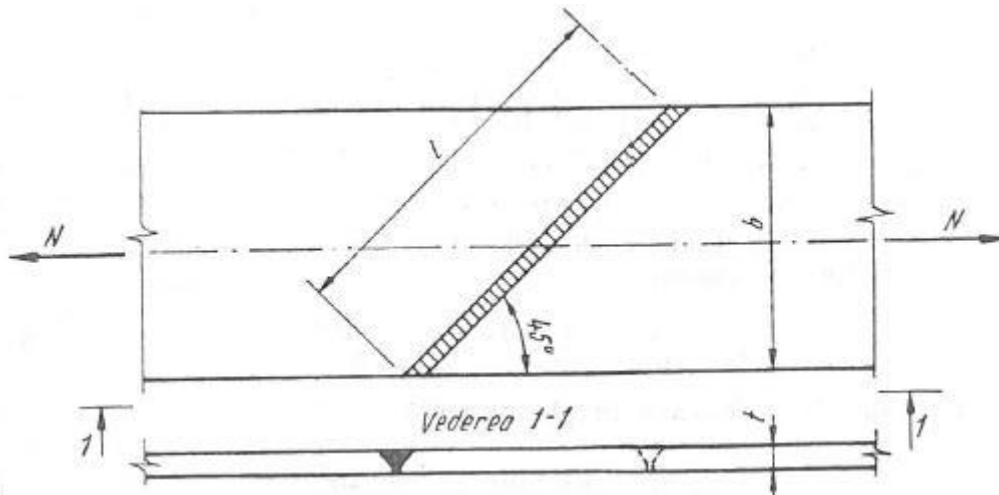


Fig. 6.8. Sudură cap la cap înclinată

Verificarea acestei îmbinări sudate se face calculând efortul unitar normal σ , prin împărțirea forței axiale N la secțiunea de calcul a sudurii și comparând acest efort cu rezistența admisibilă în sudură σ_{as} :

$$\sigma = \frac{N}{A_s} \leq \sigma_{as} \quad (6.1)$$

unde:

N este forța axială din bară;

A_s – secțiunea de calcul a sudurii, în cm^2 ;

σ_{as} – rezistența admisibilă în sudură, în daN/cm^2 .

Aria secțiunii de calcul a sudurii este egală cu aria dreptunghiului de sudură din secțiunea $\alpha - \alpha$:

$$A_s = a \cdot l_c \quad (6.2)$$

în care:

a este grosimea sudurii;

l_c – lungimea de calcul a sudurii.

Grosimea cordonului de sudură se ia, așa cum s-a arătat, egală cu grosimea pieselor când acestea au aceeași grosime sau cu grosimea piesei celei mai subțiri când au grosimi diferite:

$$a = t \quad (6.3)$$

Lungimea de calcul este egală cu lungimea geometrică din care se scad craterele finale:

$$l_c = l - 2a = l - 2t \quad (6.4)$$

Cu aceste valori secțiunea de sudură rezultă:

$$A_s = a l_c = t (l - 2t) \quad (6.5)$$

iar relația de verificare devine:

$$\sigma_s = \frac{N}{t(l - 2t)} \leq \sigma_{as} \quad (6.6)$$

Dacă se elimină craterele finale formula de verificare devine:

$$\sigma_s = \frac{N}{tl} \leq \sigma_{as} \quad (6.7)$$

Această relație se confundă cu relația de verificare a barei, cu deosebirea că rezistența admisibilă cu care se compară este cea din sudură, a cărei valoare se determină cu relația:

$$\sigma_{as} = \alpha \cdot \sigma_a \quad (6.8)$$

în care α are valorile date în STAS 763/1-71:

$\alpha = 1,0$ pentru compresiune;

$\alpha = 1,0$ pentru întindere când sudura se verifică cu raze roentgen sau gama și se constată o calitate bună;

$\alpha = 0,8$ pentru întindere când nu se verifică calitatea sudurii cu metode perfecționate;

$\alpha = 0,65$ pentru forfecare.

Din relația (6.8) se observă că în cazul solicitărilor de întindere, dacă nu se verifică calitatea sudurii cu metode perfecționate, nu se poate obține o îmbinare de egală rezistență cu piesele, chiar dacă se elimină craterele finale.

În acest caz o soluție de a obține o îmbinare de egală rezistență cu bara este de a executa cordonul de sudură la 45° față de axa pieselor (fig. 6.8), când lungimea cordonului crește.

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap solicitate la încovoiere. În cazul îmbinărilor sudate cap la cap solicitate la încovoiere se disting două cazuri de solicitare în funcție de planul în care acționează momentul încovoiator:

- îmbinări sudate cap la cap solicitate la încovoiere la care momentul acționează în plan perpendicular pe planul pieselor (fig. 6.9, a);

- îmbinări sudate cap la cap solicitate la încovoiere la care momentul acționează în planul pieselor (fig. 6.9, b).

Verificarea sudurilor se face în ambele cazuri cu relația:

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} \leq \sigma_{as} \quad (6.9)$$

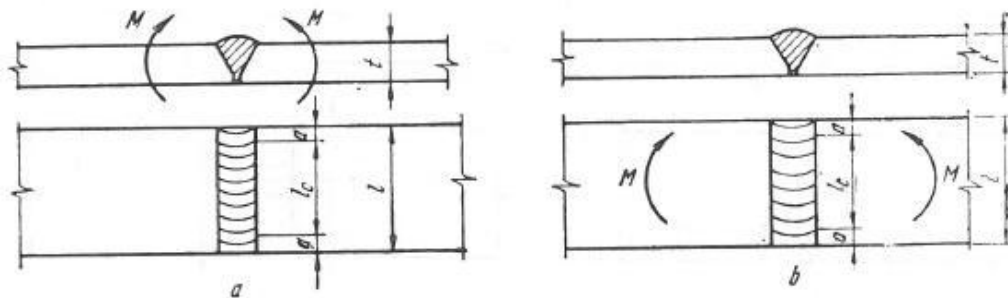


Fig. 6.9. Îmbinări sudate cap la cap solicitate la încovoiere

în care:

M este momentul încovoiator maxim din sudură;

W_s – modulul de rezistență al sudurii, care diferă pentru cele două cazuri de solicitare;

σ_{as} – rezistența admisibilă în sudură, în daN/cm^2 , egală pentru solicitarea de încovoiere cu rezistența admisibilă a oțelului.

Modulul de rezistență în cazul când momentul acționează perpendicular pe planul pieselor are valoarea:

$$W_s = \frac{l_c \cdot a^2}{6} = \frac{(l-2a)a^2}{6} = \frac{(l-2t)t^2}{6} \quad (6.10)$$

iar când momentul acționează în planul pieselor are valoarea:

$$W_s = \frac{al_c^2}{6} = \frac{a(l-2a)^2}{6} = \frac{t(l-2t)^2}{6} \quad (6.11)$$

Dacă se elimină cele două cratere finale, prin procedeul tehnologic arătat formulele de verificare devin:

- pentru momentul care acționează perpendicular pe planul pieselor:

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} = \frac{6M}{lt^2} \leq \sigma_{as} \quad (6.12)$$

- pentru momentul care acționează în planul pieselor:

$$\sigma_s = \frac{M}{W_s} = \frac{6M}{tl^2} \leq \sigma_{as} \quad (6.13)$$

În acest caz sudura este de egală rezistență cu piesele îmbinate deoarece $\sigma_{as} = \sigma_a$.

Calculul îmbinărilor sudate cap la cap solícitate la forfecare. Ca și în cazul solícitării la încovoiere, îmbinările sudate supuse la forfecare pot fi solícitate perpendicular pe planul pieselor (fig. 6.10, a) sau în planul acestora (fig. 6.10, b).

În ambele cazuri verificarea la forfecare se face cu relația:

$$\tau_s = \frac{N}{A_s} \leq \tau_{as} \quad (6.14)$$

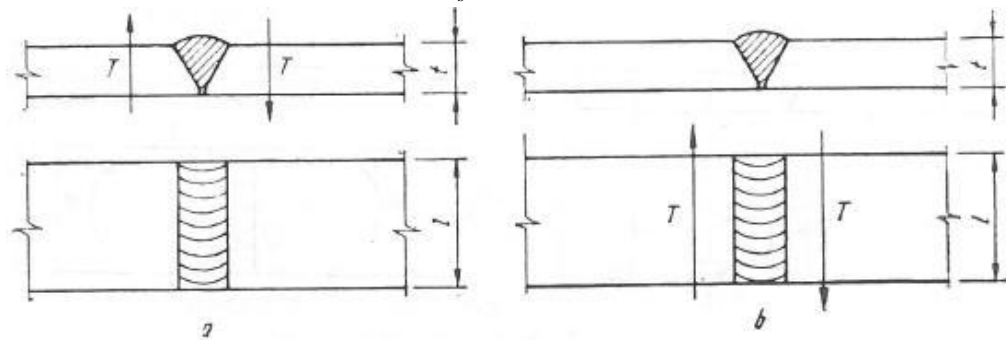


Fig. 6.10. Îmbinări sudate cap la cap solícitate la forfecare

Secțiunea de sudură este aceeași în ambele cazuri:

$$A_s = a \cdot l_c = a(l-2a) = t(l-2t) \quad (6.15)$$

Dacă se elimină craterele finale, formula de verificare se scrie:

$$\tau_s = \frac{T}{A_s} = \frac{T}{al} = \frac{T}{t \cdot l} \leq \tau_{as} = 0,65\sigma_a \quad (6.16)$$

În acest caz secțiunea sudurii este egală cu a pieselor, iar capacitatea de rezistență a sudurii este chiar mai mare decât a materialului de bază, care are o rezistență admisibilă egală cu $0,6\sigma_a$, față de $0,65\sigma_a$ cât are sudura.

Calculul îmbinărilor sudate prin suprapunere. Deși îmbinările prin suprapunere nu sunt specifice îmbinărilor sudate, ele sunt întâlnite de multe ori la realizarea construcțiilor metalice. Calculul acestor îmbinări se face considerând că secțiunea probabilă de rupere a cordonului de sudură este secțiunea $\alpha - \alpha$ după direcția grosimii acestuia (înălțimea triunghiului dreptunghic isoscel înscris în interiorul conturului cordonului de sudură).

Calculul îmbinărilor sudate prin suprapunere sollicitate la forțe axiale. Îmbinarea prin suprapunere a pieselor se poate face cu cordoane de sudură frontale, dispuse pe cele două capete ale pieselor, soluție care se utilizează când lățimea pieselor este egală (fig. 6.11, a), sau cu cordoane laterale dispuse pe cele două margini paralele cu axa pieselor, când cele două piese au lățimi diferite (fig. 6.11, b).

Forța axială se transmite prin cele două cordoane de sudură la care se consideră că se repartizează în mod egal. Pentru calculul îmbinării grosimea a a cordoanelor de sudură se rabate după direcția axei barei.

Verificarea cordoanelor de sudură se face cu relația:

$$\tau_s = \frac{N}{A_s} \leq \tau_{as} \quad (6.17)$$

în care:

N este forța axială din bară;

A_s – secțiunea celor două cordoane de sudură;

τ_{as} – rezistența admisibilă în sudură, în daN/cm².

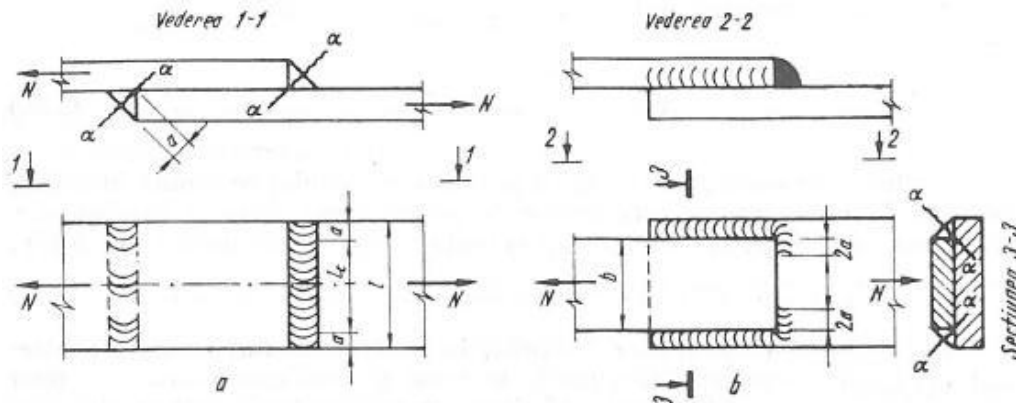


Fig. 6.11. Îmbinări sudate prin suprapunere supuse la forțe axiale

Secțiunea de sudură este egală cu:

$$A_s = 2al_c = 2a(l - 2a) \quad (6.18)$$

iar efortul unitar are valoarea:

$$\tau_s = \frac{N}{2a(l - 2a)} \leq \tau_{as} \quad (6.19)$$

Dacă se elimină craterele finale, lucru care la sudurile frontale se realizează punând plăcuțe de cupru pe care se începe și se termină sudura, iar la sudurile laterale, întorcând sudurile laterale după colțul pieselor pe o lungime egală cu $2a$, atunci secțiunea de sudură este:

$$A_s = 2al \quad (6.20)$$

iar verificarea se face cu relația:

$$\tau_s = \frac{N}{2al} \leq \tau_{as} \quad (6.21)$$

Rezistența admisibilă în sudura de colț are pentru toate solicitările valoarea:

$$\tau_{as} = 0,65\sigma_a \quad (6.22)$$

La dimensionarea cordoanelor de sudură la îmbinări prin suprapunere trebuie respectate și prescripțiile constructive privind dimensiunile minime și maxime ale acestora.

În unele situații, când piesele au lățimi diferite, pentru a reduce lungimea de suprapunere, îmbinările sudate prin suprapunere se realizează atât cu cordoane de sudură laterale cât și frontale, în care caz calculul se face la fel. Secțiunea de sudură se ia egală cu secțiunea tuturor celor patru cordoane.

Calculul îmbinărilor prin suprapunere cu suduri de colț în găuri și tăieturi solicitate la forțe axiale. Îmbinările prin suprapunere cu suduri de colț în găuri și tăieturi se execută la bare cu lățimi mari, în scopul reducerii lungimii de suprapunere. În acest caz în una din piese (de obicei în cea de deasupra) se practică găuri și tăieturi în așa fel încât lungimea cordonului de sudură să crească simțitor (fig. 6.12).

Verificarea îmbinării se face la fel ca la orice îmbinare cu suduri de colț cu relația:

$$\tau_s = \frac{N}{A_s} \leq \tau_{as} = 0,65\sigma_a \quad (6.23)$$

Secțiunea de sudură este egală cu grosimea cordonului de sudură înmulțită cu suma lungimii tuturor cordoanelor de pe marginea piesei, a găurilor și a tăieturilor, dacă grosimea este aceeași la toate cordoanele de sudură (fig. 6.12):

$$A_s = a\{2(l + c + l_2) + (e - a) + 2[2l_1 + \pi(d - a)] + \pi(d_1 - a)\} \quad (6.24)$$

În cazul executării acestor îmbinări, în găuri și tăieturi în afara problemei verificării cordonului de sudură, se pune și problema verificării piesei slăbite prin găurile și tăieturile practicate în ea. Secțiunile slăbite sunt cele prin tăietură, $\alpha - \alpha$ și prin găuri, $\beta - \beta$.

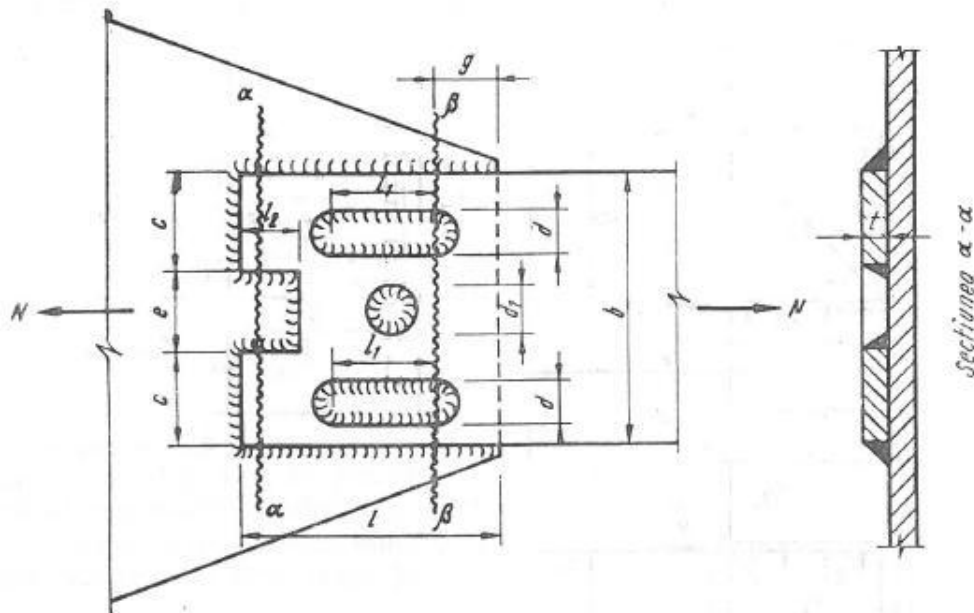


Fig. 6.12. Îmbinare prin suprapunere cu cusături în găuri și tăieturi

Dar în aceste secțiuni trebuie să se țină seama de faptul că o parte din efort s-a scurs deja prin cordoanele de sudură din dreapta secțiunii în guseu și deci verificarea secțiunii slăbite se face numai la diferența de efort existentă în bară în secțiunea respectivă. Cum până în secțiunea $\alpha - \alpha$, majoritatea efortului s-a transmis din bază la guseu, prin sudurile laterale și prin cele din găuri, înseamnă că efortul din această secțiune este foarte mic și nu mai este necesară verificarea în secțiunea $\alpha - \alpha$.

În secțiunea $\beta - \beta$ efortul care rămâne în bară este egal cu diferența dintre efortul total și efortul ce se transmite prin cusăturile laterale pe lungimea g , precum și prin partea rotunjită a găurilor alungite, efort egal cu aria de sudură înmulțită cu rezistența admisibilă a sudurii de colț:

$$N_{\beta} = N - A_{s\beta} \cdot \tau_{as} = N - a [2g + \pi(d - a)] \cdot 0,65\sigma_a \quad (6.25)$$

Secțiunea netă $\beta - \beta$ este egală cu:

$$A_{net\beta} = A - \Delta A_{\beta} = bt - 2dt = t(b - 2d) \quad (6.26)$$

în care A este secțiunea platbandei, iar ΔA_{β} slăbirea în secțiunea $\beta - \beta$.

Verificarea secțiunii se face cu relația:

$$\sigma_{\beta} = \frac{N_{\beta}}{A_{net\beta}} \leq \sigma_a \quad (6.27)$$

$$\sigma_{\beta} = \frac{N - a[2g + \pi(d - a)]0,65\sigma_a}{t(b - 2d)} \leq \sigma_a \quad (6.28)$$

Calculul îmbinărilor sudate prin suprapunere, solicitate la încovoiere.
Îmbinările sudate prin suprapunere cu cusături de colț solicitate la încovoiere sunt întâlnite în general la prinderea de stâlpi a consolelor realizate din platbande. În acest caz, prinderea se poate face cu cordoane de sudură laterale,

paralele cu axa consolei (fig. 6.13, a) cu cordoane de sudură frontale, perpendiculare pe axa consolei (fig. 6.13, b), sau cu cordoane laterale și frontale dispuse pe toate cele patru margini (fig. 6.13, c).

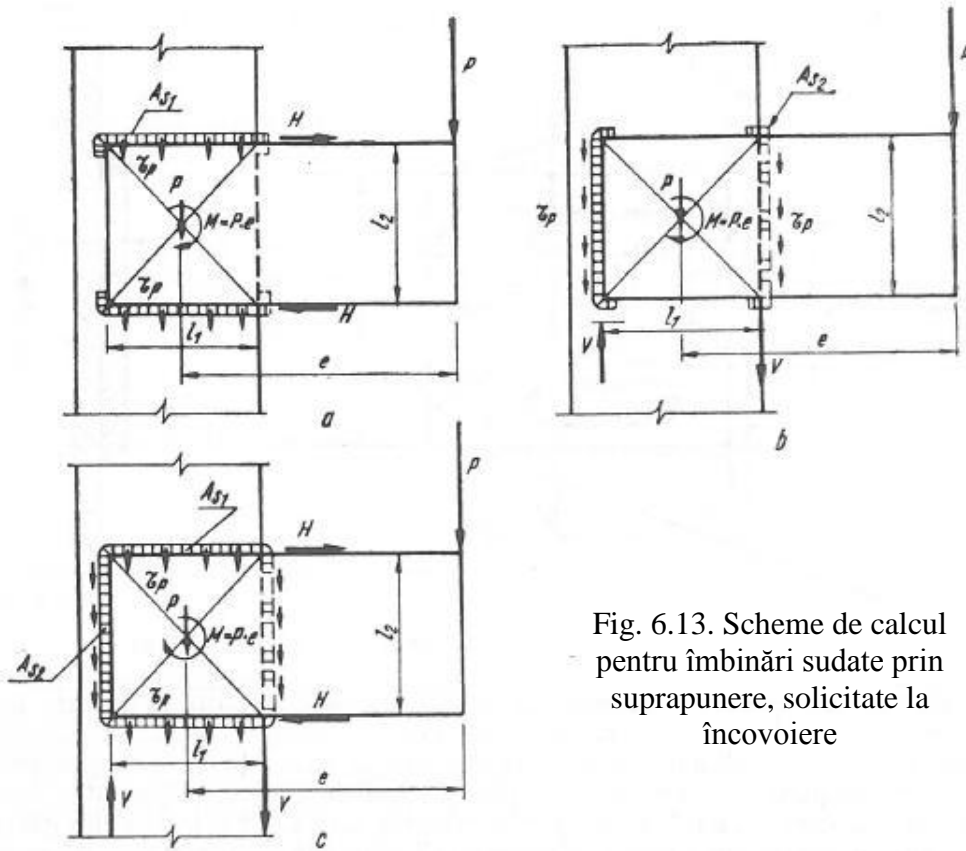


Fig. 6.13. Scheme de calcul pentru îmbinări sudate prin suprapunere, solicitate la încovoiere

Pentru a elimina craterele finale la cusăturile laterale sau frontale acestea se întorc după colțul pieselor cu o lungime egală cu grosimea.

- Pentru calculul îmbinărilor sudate cu *cusături de colț laterale* solicitate la încovoiere (fig. 6.13, a), se reduce forța P din vârful consolei în raport cu centrul de greutate al sudurilor, la o forță P și la un moment egal cu forța înmulțită cu brațul e :

$$M = P \cdot e \quad (6.29)$$

Forța P se repartizează în mod uniform la cele două cusături laterale și dă naștere unui efort tangențial τ_p egal cu:

$$\tau_p = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{2a_1l_1} \quad (6.30)$$

de direcția paralelă cu forța P .

Momentul se descompune într-un cuplu de două forțe orizontale H acționând în cele două cusături laterale, care au valoarea:

$$H = \frac{M}{l_2} = \frac{P \cdot e}{l_2} \quad (6.31)$$

Forțele H produc un efort tangențial τ_H , dirijat după direcția lor și a cărei valoare este egală cu:

$$\tau_H = \frac{H}{A_s} = \frac{H}{a_1 l_1} = \frac{P \cdot e}{a_1 l_1 l_2} \quad (6.32)$$

Efortul τ_P fiind vertical, iar τ_H orizontal, efortul rezultat se obține însumând geometric cele două eforturi și se verifică cu relația:

$$\begin{aligned} \tau_{rez} &= \sqrt{\tau_P^2 + \tau_H^2} = \sqrt{\frac{P^2}{4a_1^2 l_1^2} + \frac{P^2 e^2}{a_1^2 l_1^2 l_2^2}} \\ \tau_{rez} &= \frac{P}{a_1 l_1} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2}{l_2^2}} \leq \tau_{as} = 0,65\sigma_a \end{aligned} \quad (6.33)$$

- Pentru calculul îmbinărilor sudate cu *cusături de colț frontale* se procedează la fel (fig. 6.13, *b*), reducând forța P din vârful consolei, în raport cu centrul de greutate al sudurilor la o forță P și la un moment încovoietor (6.29).

Forța P se repartizează uniform la cele două cordoane de sudură frontale, dând naștere unui efort tangențial τ_P , având direcția verticală:

$$\tau_P = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{2a_2 l_2} \quad (6.34)$$

Momentul se descompune într-un cuplu de două forțe verticale V , în cele două cusături de sudură:

$$V = \frac{M}{l_1} = \frac{P \cdot e}{l_1} \quad (6.35)$$

care dau naștere unui efort unitar tangențial vertical:

$$\tau_V = \frac{V}{A_s} = \frac{V}{a_2 l_2} = \frac{P \cdot e}{a_2 l_1 l_2} \quad (6.36)$$

Cele două eforturi având aceeași direcție (verticală) se compun algebric. Ele se însumează deci în cordonul de sudură din dreapta în care sunt îndreptate de sus în jos, efortul rezultat verificându-se cu relația:

$$\tau_{rez} = \tau_P + \tau_V = \frac{P}{2a_2 l_2} + \frac{P \cdot e}{a_2 l_1 l_2} \quad (6.37)$$

$$\tau_{rez} = \frac{P}{a_2 l_2} \left(\frac{1}{2} + \frac{e}{l_1} \right) \leq \tau_{as} = 0,65\sigma_a \quad (6.38)$$

- La calculul îmbinărilor sudate, cu *cusături laterale și frontale* forța P din capătul consolei se reduce în raport cu centrul de greutate al sudurilor la o forță P și la un moment, la fel ca în primele două cazuri (fig. 5.48, *c*).

Forța P produce un efort tangențial τ_P în cele patru cordoane de sudură, la care se consideră că se repartizează uniform:

$$\tau_P = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{2(a_1 l_1 + a_2 l_2)} \quad (6.39)$$

Acest efort este vertical și îndreptat de sus în jos în toate cordoanele. Momentul încovoietor M se descompune în două cupluri de forțe: orizontale H și verticale V în cordoanele de sudură orizontale și verticale, care se determină din ecuația:

$$M = P \cdot e = H \cdot l_2 + V \cdot l_1 \quad (6.40)$$

în care sunt două necunoscute H și V , problema fiind deci static nedeterminată. Dacă raportul:

$$\frac{l_1}{l_2} \leq 1,5 \quad \text{în care } l_1 > l_2 \quad (6.41)$$

atunci se poate admite că momentele celor două cupluri sunt egale:

$$H \cdot l_2 = V \cdot l_1 \quad (6.42)$$

de unde exprimând pe V în funcție de H și invers și înlocuindu-l în ecuația de momente (6.40) rezultă:

$$V = H \cdot \frac{l_2}{l_1} \quad \text{și} \quad H = V \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (6.43)$$

$$M = P \cdot e = H \cdot l_2 + H \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot l_1 = 2H \cdot l_2 \quad (6.44)$$

de unde:

$$H = \frac{P \cdot e}{2l_2} \quad (6.45)$$

$$M = P \cdot e = V \cdot \frac{l_1}{l_2} l_2 + V l_1 = 2V l_1 \quad (6.46)$$

de unde:

$$V = \frac{P \cdot e}{2l_1} \quad (6.47)$$

Dacă $l_1 = l_2$ rezultă evident, $H = V$.

Eforturile unitare tangențiale din H și V se determină cu relațiile:

$$\tau_H = \frac{H}{A_{s1}} = \frac{H}{a_1 \cdot l_1} = \frac{P \cdot e}{2 \cdot a_1 \cdot l_1 \cdot l_2} \quad (6.48)$$

$$\tau_V = \frac{V}{A_{s2}} = \frac{V}{a_2 l_2} = \frac{P \cdot e}{2 a_2 l_1 l_2} \quad (6.49)$$

Efortul rezultat din cordoanele de sudură orizontale se determină însumând geometric eforturile τ_P și τ_H , iar în cordonul de sudură vertical din dreapta însumând aritmetic eforturile τ_P și τ_V care au același sens.

$$\tau_{rez}^H = \sqrt{\tau_P^2 + \tau_H^2} = \frac{P}{2} \sqrt{\frac{1}{(a_1 l_1 + a_2 l_2)^2} + \frac{e^2}{a_1^2 l_1^2 l_2^2}} \leq 0,65 \sigma_a \quad (6.50)$$

$$\tau_{rez}^V = \tau_P + \tau_V = \frac{P}{2(a_1 l_1 + a_2 l_2)} + \frac{P \cdot e}{2 a_2 l_1 l_2} \leq 0,65 \sigma_a \quad (6.51)$$