

# Curs 13

## Comportarea elementelor structurale din oțel la oboseala EN 1993-1.9

### Definiție:

Elementele de construcții metalice supuse la solicitări repetate se pot rupe în timpul exploatarei, la valori ale tensiunilor mai mici decât rezistența la rupere corespunzătoare solicitării statice. Scăderea rezistenței materialelor, respectiv a metalelor, supuse solicitărilor sau deformațiilor care se repetă de un număr foarte mare de ori se numește oboseala. Acest mod de rupere, generat de formarea uneia sau mai multor fisuri sub acțiunea solicitărilor repetate, este cunoscut sub numele de rupere prin oboseala.

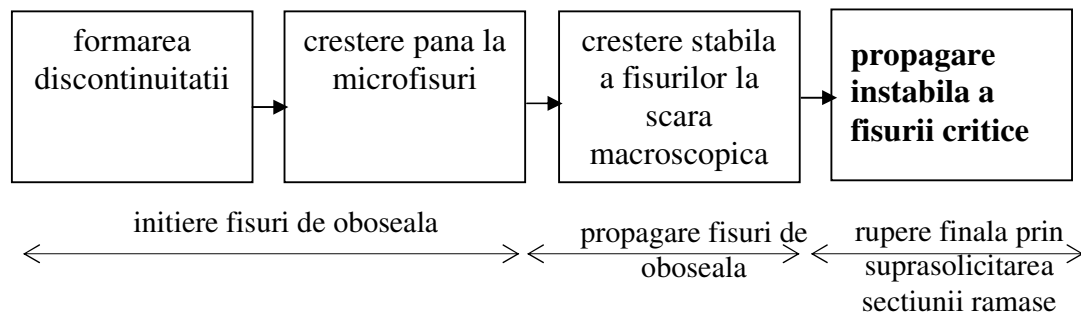


Figura 1. Fazele ruperii prin oboseala

Răspunsul materialului la solicitarea repetată și fenomenul de oboseala aferent poate apărea în următoarele două moduri:

- **Oboseala în domeniul durabilităților mari** (high cycle fatigue), considerată că apare la un număr mai mare de  $10^5$  cicluri de solicitare. Deoarece deformațiile materialului se situează preponderent în domeniul elastic, procesul poate fi controlat atât prin tensiuni cât și prin deformații specifice
- **Oboseala în domeniul durabilităților mici** (low cycle fatigue), denumită și oboseala oligo-ciclica, apare în condițiile unor solicitări variabile care determină deformații locale elasto-plastice.

## Oboseala in domeniul durabilitatilor mari (high cycle fatigue)

După modul cum variază solicitările in timp, apar mai multe tipuri de solicitări variabile, reprezentate prin cicluri de solicitare. Tipul de solicitare repetata, precum si denumirea diferitelor cicluri se găsesc in tabel 1.

Tabel 1. Tipuri de solicitări repetate

	Cicluri ondulate pozitive		Cicluri alternante			Cicluri ondulate negative	
	Cicluri asimetrice pozitive		Ciclu alternant negativ	Ciclu simetric	Cicluri asimetrice negative		
	Ciclu ondulant pozitiv	Ciclu pulsant pozitiv			Ciclu alternant negativ	Ciclu pulsant negativ	Ciclu ondulant negativ
$\sigma$							
$\sigma_m$	$> 0$	$\frac{1}{2}\sigma_{max} > 0$	$> 0$	$0$	$< 0$	$\frac{1}{2}\sigma_{min} < 0$	$< 0$
$ \sigma_m $	$>  \sigma_a $	$ \sigma_a $	$<  \sigma_a $	$0$	$<  \sigma_a $	$ \sigma_a $	$>  \sigma_a $
$\sigma_{max}$	$> 0$	$> 0$	$> 0$	$> 0$	$> 0$	$0$	$< 0$
$\sigma_{min}$	$> 0$	$0$	$< 0$	$< 0$	$< 0$	$< 0$	$< 0$
$\sigma_a$	$\neq 0$	$\frac{1}{2}\sigma_{max}$	$\neq 0$	$\sigma_{max} \sigma_{min} \neq 0$	$\neq 0$	$\frac{1}{2}\sigma_{min}$	$\neq 0$
$\rho$	$1 > \rho > 0$	$0$	$0 > \rho > -1$	$-1$	$-1 > \rho > \infty$	$\pm \infty$	$+\infty > \rho > -1$

Observatie: Tabelul este valabil si pentru solicitări periodice de forfecare sau răsucire

In afara de tensiunile  $\sigma_{max}$  si  $\sigma_{min}$ , un ciclu este caracterizat si prin alte mărimi derivate, cum ar fi:

- amplitudinea tensiunii 
$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$
- variația tensiunii 
$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 2\sigma_a$$
- valoarea medie a tensiunii 
$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$
- caracteristica ciclului 
$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Relația care leagă valorile  $\sigma_{max}$  si numărul N la care se obține ruperea poate fi obținuta sub forma unei curbe  $\sigma - N$ . Aceasta curba poarta numele de curba de durabilitate sau curba Wohler.

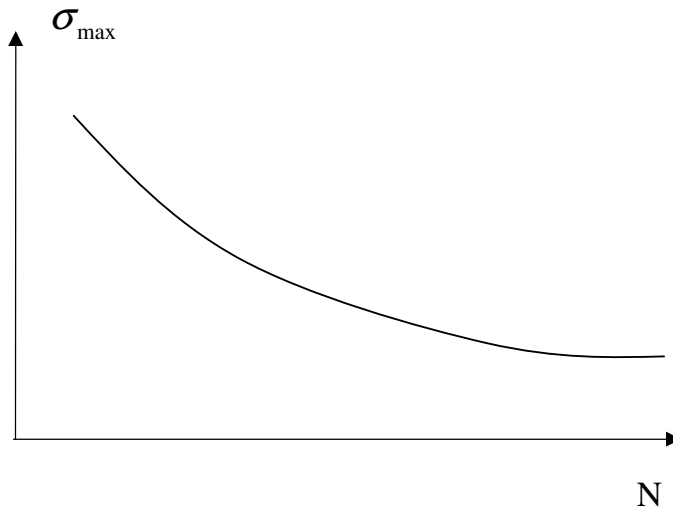


Figura 2. Curba de durabilitate pentru  $\rho$  dat

O posibilitate de reprezentare a capacitatii portante de rupere prin oboseala folosește în ordonata în locul valorilor  $\sigma_{\max}$  valorile variației tensiunilor  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$  reprezentate în scara logaritmică (Figura 3)

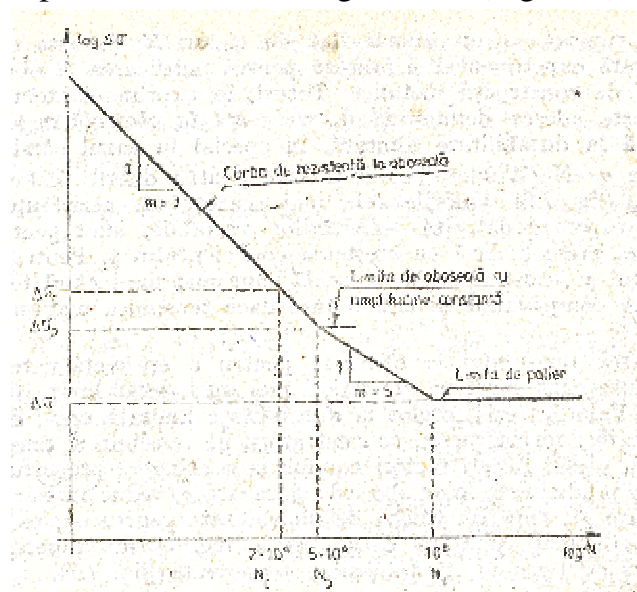


Figura 3. Curba de rezistența la oboseala  $\Delta\sigma - N$

Factori care influențează rezistența la oboseala:

- efectul imperfecțiunilor de suprafață ale pieselor din oțel
- efectul găurilor pentru nituri și șuruburi
- efectul îmbinărilor sudate:
  - o efectul de creștătura
    - tensiunile remanente
- influența calitatii oțelului

## Oboseala in domeniul durabilitatilor mici (low cycle fatigue)

Tensiunile asociate cu oboseala corespundătoare unui număr redus de cicluri (low cycle fatigue) sunt suficient de mari pentru a produce deformări plastice importante astfel ca relația  $\sigma - \varepsilon$  nu mai este liniară ci prezintă bucle de histerezis.

**Aplicatie:** comportarea structurilor metalice la acțiuni seismice.

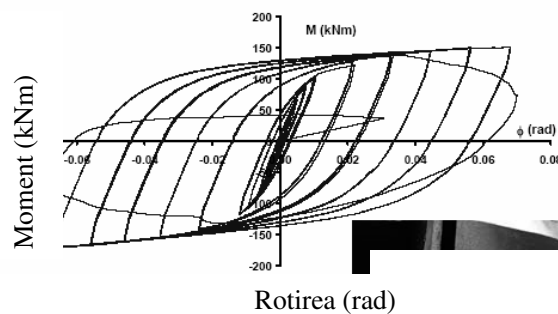
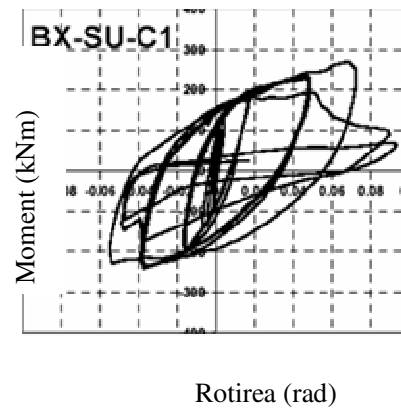
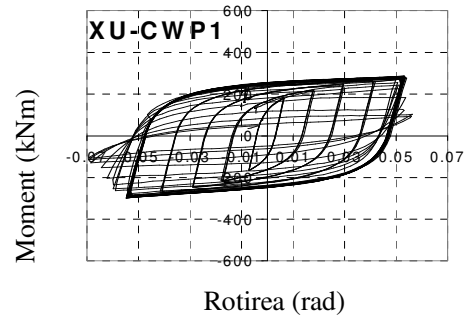
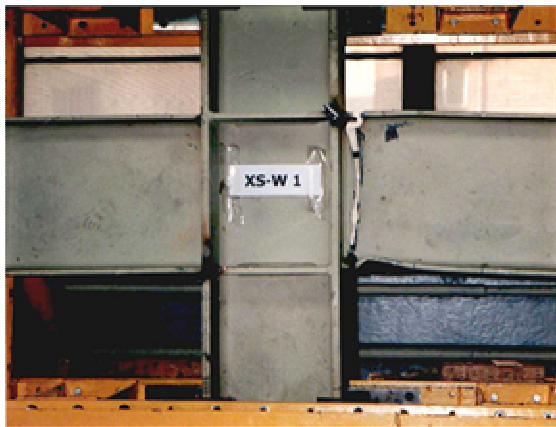


Figura 4. Curbe de histerezis pentru elemente și îmbinări (sudate sau cu suruburi)

## 7 Rezistența la oboseală

### 7.1 Generalități

(1) Rezistența la oboseală pentru domeniile de tensiuni nominale este reprezentată de o serie de curbe  $(\log \Delta\sigma_R) - (\log N)$  și  $(\log \Delta\tau_R) - (\log N)$  (curbe S-N), care corespund categoriilor de detalii tipice. Fiecare categorie de detalii este desemnată printr-un număr care reprezintă, în  $N/mm^2$ , valoarea de referință  $\Delta\sigma_C$  și  $\Delta\tau_C$  pentru rezistența la oboseală la 2 milioane de cicluri.

(2) Pentru tensiuni nominale de amplitudine constantă, rezistențele la oboseală pot fi determinate după cum urmează:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \text{ cu } m = 3 \text{ pentru } N \leq 5 \times 10^6, \text{ a se vedea figura 7.1}$$

$$\Delta\tau_R^m N_R = \Delta\tau_C^m 2 \times 10^6 \text{ cu } m = 5 \text{ pentru } N \leq 10^8, \text{ a se vedea figura 7.2}$$

$$\Delta\sigma_D = \left(\frac{2}{5}\right)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,737\Delta\sigma_C \text{ este limita de oboseală de amplitudine constantă, a se vedea figura 7.1 și}$$

$$\Delta\tau_L = \left(\frac{2}{100}\right)^{1/5} \Delta\tau_C = 0,457\Delta\tau_C \text{ este palierul limită, a se vedea figura 7.2.}$$

(3) Pentru spectre de tensiuni nominale cu domenii de tensiune deasupra și dedesubtul limitei de oboseală la amplitudine constantă  $\Delta\sigma_D$  rezistența la oboseală trebuie să se bazeze pe curbele de rezistența la oboseală extinse după cum urmează:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \text{ cu } m = 3 \text{ pentru } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m 5 \times 10^6 \text{ cu } m = 5 \text{ pentru } 5 \times 10^6 \leq N \leq 10^8$$

$$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{1/5} \Delta\sigma_D = 0,549\Delta\sigma_D \text{ este palierul limită, a se vedea figura 7.1}$$

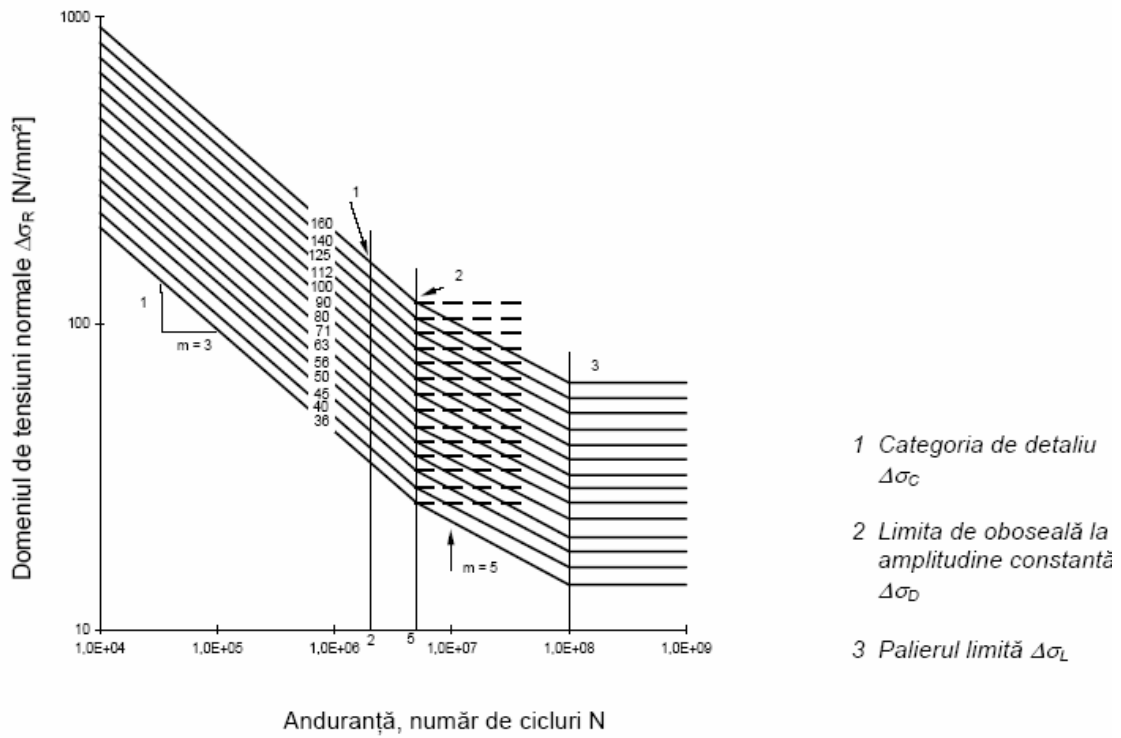


Figura 7.1 - Curbe de rezistență la oboseală pentru domenii de tensiuni normale

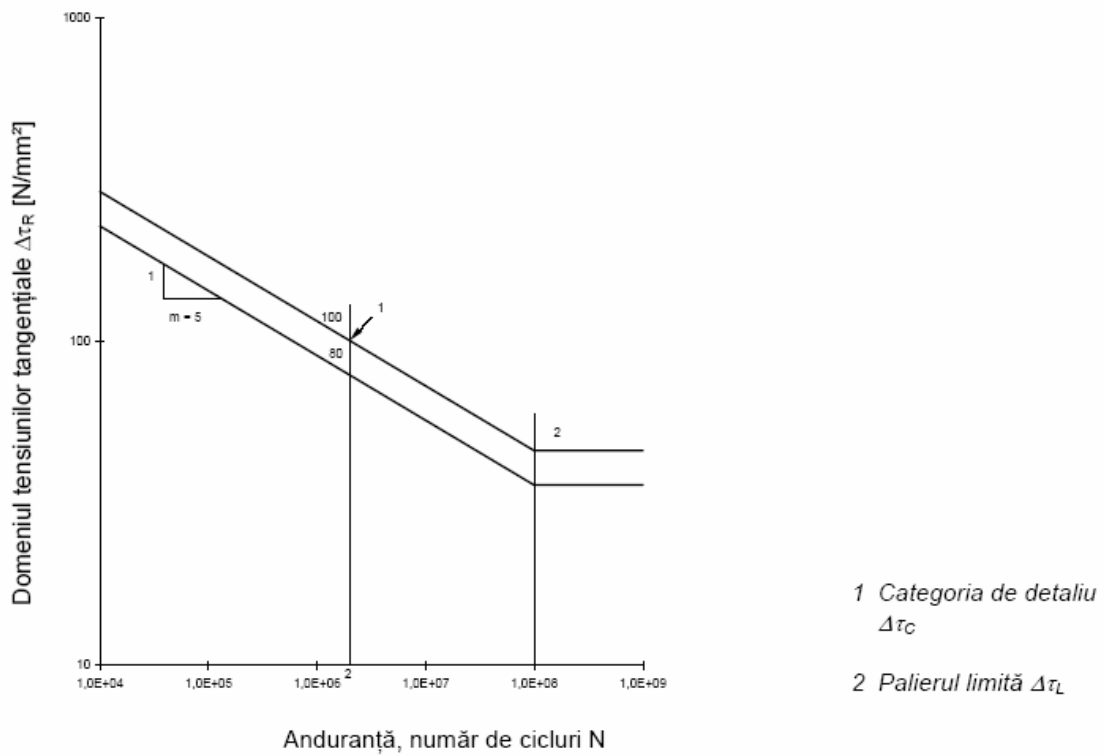
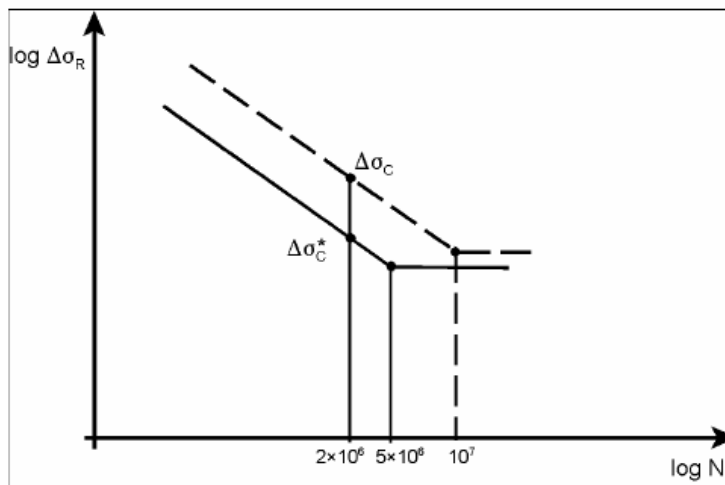


Figura 7.1 - Curbe de rezistență la oboseală pentru domenii de tensiuni tangențiale

NOTĂ 1 - Când se utilizează date experimentale pentru a determina categoria de detaliu în care se încadrează un anumit detaliu de construcție, valoarea domeniului de tensiune  $\Delta\sigma_C$  corespunzătoare unui număr de  $N_C = 2$  milioane de cicluri a fost calculată pentru un nivel de siguranță de 75 % cu 95 % probabilitate de a nu fi depășită pentru  $\log N$ , ținând seama de devierea standard, de mărimea exemplarului și de efectul tensiunilor reziduale. Numărul de date (nu mai mic de 10) a fost considerat pentru prelucrare statistică, a se vedea anexa D din EN 1990.

NOTĂ 2 - Anexa națională poate să menționeze verificarea la oboseală a unui detaliu particular în condițiile în care este evaluată conform cu NOTA 1.

NOTĂ 3 - Datele experimentale pentru anumite detalii nu se potrivesc exact cu cele prezentate anterior în curbele de rezistență la oboseală din figura 7.1. Pentru a se asigura o valoare acoperitoare, aceste detalii, marcate cu asterisc, sunt așezate într-o categorie de detalii mai mică decât cea cerută de rezistența la oboseală la  $2 \times 10^6$  cicluri. O determinare alternativă poate să crească clasarea unor astfel de detalii cu o categorie dacă limita de oboseală la amplitudine constantă  $\Delta\sigma_D$  este definită ca rezistența la oboseală la  $10^7$  cicluri pentru  $m=3$  (a se vedea figura 7.3).



**Figura 7.2 - Rezistența alternativă  $\Delta\sigma_C$  pentru detalii clasificate ca  $\Delta\sigma_C^*$**

(4) Categoriile de detalii  $\Delta\sigma_C$  și  $\Delta\tau_C$  pentru tensiuni nominale sunt prezentate în

Tabelul 8.1 pentru elemente plane și îmbinări mecanice

Tabelul 8.2 pentru secțiuni compuse din table sudate

Tabelul 8.3 pentru suduri cap la cap transversale

Tabelul 8.4 pentru piese auxiliare și rigidizări prinse cu sudură

Tabelul 8.5 pentru îmbinări care transmit eforturi

Tabelul 8.6 pentru secțiuni tubulare

Tabelul 8.7 pentru îmbinări la nodurile grinzilor cu zăbrele

Tabelul 8.8 pentru plăci ortotrope cu nervuri de rigidizare închise

Tabelul 8.9 pentru plăci ortotrope cu nervuri de rigidizare deschise

Tabelul 8.10 pentru îmbinarea dintre talpa superioară și inima grinzilor de rulare

(5) Categoriile de rezistență la oboseală  $\Delta\sigma_C$  pentru domenii de tensiuni geometrice sunt prezentate în anexa B.

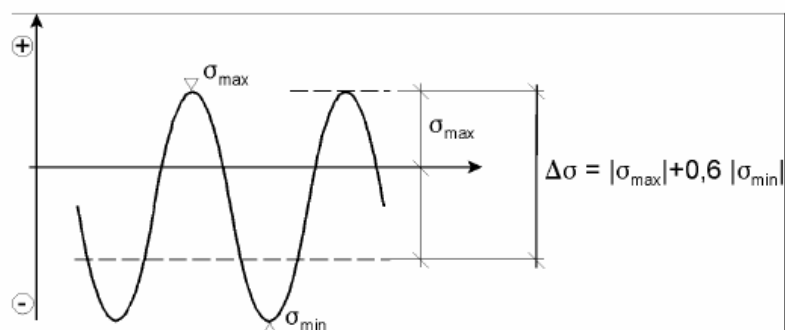
NOTĂ – Anexa națională poate menționa categoriile de rezistență la oboseală  $\Delta\sigma_C$  și  $\Delta\tau_C$  pentru detalii care nu sunt cuprinse de tabelul 8.1 până la tabelul 8.10 și în anexa B.

## 7.2 Modificări ale rezistenței la oboseală

### 7.2.1 Detalii fără sudură sau detensionate supuse la compresiune

(1) Pentru detaliile fără sudură sau la detaliile cu sudură detensionate, influența tensiunii medii asupra rezistenței la oboseală poate fi luată în considerație prin determinarea unui domeniu de tensiuni efective reduse  $\Delta\sigma_{E,2}$  în calculul la oboseală când o parte sau toate ciclurile de încărcare sunt de compresiune.

(2) Domeniul de tensiune efectiv poate fi calculat prin adunarea porțiunii de tensiuni de întindere cu 60 % din magnitudinea porțiunii de compresiune a domeniului de tensiuni, a se vedea figura 7.4.



+ întindere

- compresiune

Figura 7.3 - Domeniul de tensiuni modificat pentru detalii fără sudură sau detensionate

### 7.2.2 Efectul mărimii

(1) Efectul mărimii datorat grosimii sau altor efecte dimensionale trebuie luat în considerare așa cum este prezentat în tabelul 8.1 până la tabelul 8.10. Rezistența la oboseală este dată de:

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \Delta\sigma_C \quad (7.1)$$

## 8 Verificarea la oboseală

(1) Domeniile de tensiuni nominale, nominale modificate sau geometrice datorate încărcărilor frecvente  $\psi_1 Q_k$  (a se vedea EN 1990) nu trebuie să depășească

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &\leq 1,5 f_y && \text{pentru domenii de tensiuni normale} \\ \Delta\tau &\leq 1,5 f_y / \sqrt{3} && \text{pentru domenii de tensiuni tangențiale} \end{aligned} \quad (8.1)$$



(2) Trebuie verificat că sub încărcări de oboseală

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

și

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

(8.2)

NOTĂ – Tabelul 8.1 până la tabelul 8.9 cer ca domeniile de tensiuni să se bazeze pe tensiunile principale pentru anumite detalii.

(3) Dacă nu este menționat altfel în categoriile de rezistență la oboseală din tabelul 8.8 și tabelul 8.9, în cazul domeniilor de tensiune combinate  $\Delta\sigma_{E,2}$  și  $\Delta\tau_{E,2}$  trebuie să se verifice că:



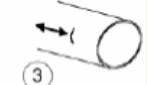




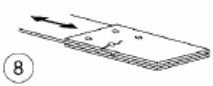
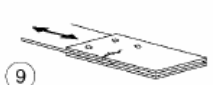


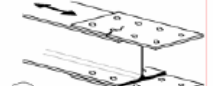

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0 \quad (8.3)$$

(4) Când nu sunt disponibile date pentru  $\Delta\sigma_{E,2}$  sau  $\Delta\tau_{E,2}$  verificarea poate fi făcută conform formatului din anexa A.

NOTĂ 1 - Anexa A este prezentată pentru domenii de tensiune în direcție longitudinală. Prezentarea poate să fie adaptată pentru domeniile de tensiuni de forfecare.

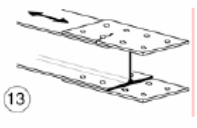
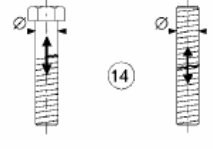
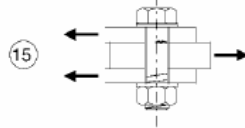
NOTĂ 2 Anexa națională poate prezenta informații despre utilizarea anexei A.

Tabelul 8.1 - Elemente plane și îmbinări mecanice

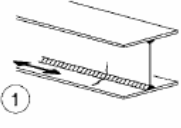
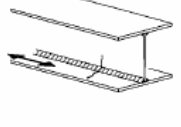
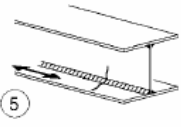
Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
160	<p>NOTĂ - Curba de rezistență la oboseală asociată cu categoria 160 este cea mai ridicată. Nici un alt detaliu nu poate atinge o rezistență la oboseală mai mare la același număr de cicluri.</p>   	<p>Produse laminare și extrudate:</p> <p>1) Table și produse plate; 2) Profile laminare; 3) Secțiuni tubulare fără sudură, circulare sau dreptunghiulare.</p>	<p>Detaliile de la 1) până la 3):</p> <p>Muchii ascuțiți, suprafețe și neregularități de laminare prelucrate prin polizare până la obținerea unei transmișii line a eforturilor.</p>
140		<p>Table tăiate cu foarfecă sau cu flacăra:</p> <p>4) Material tăiat cu foarfeca sau automat cu flacăra cu îndreptare ulterioară a tăieturii. 5) Material tăiat automat cu flacăra având margini neregulate sau tăiate manual cu flacăra, având marginile netezite ulterior. Pentru tăierea automată cu flacăra, calitatea tăieturii conform EN 1090.</p>	<p>4) Toate semnele vizibile de discontinuitate ale muchiilor trebuie îndepărtate. Zonele de tăiere trebuie prelucrate mecanic sau polizate pentru îndepărtarea tuturor bavurilor. Toate zgârieturile, de exemplu cele rezultate în urma polizării pot fi numai paralele cu direcția tensiunilor.</p> <p>Detaliile 4) și 5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colțurile intrând trebuie îmbunătățite prin polizare (panta <math>\leq 1/4</math>) sau evaluate utilizând coeficienții de concentrare corespunzători.</li> <li>- Nu sunt permise reparații prin umplere cu sudură.</li> </ul>
125			
100 m = 5	 	<p>6) și 7) Produse laminare sau extrudate ca în detaliile 1), 2), 3)</p>	<p>Detaliile 6) și 7):</p> <p><math>\Delta\tau</math> calculat cu: <math>\tau = \frac{V S(t)}{I t}</math></p>
<p>Pentru detaliile 1...5 executate din oțeluri cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică se utilizează categoriile de mai jos</p>			
112		<p>8) Îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate cu eclise duble simetrice.</p> <p>8) Îmbinări cu șuruburi pretensionate injectate cu eclise suble simetrice</p>	<p>8) <math>\Delta\sigma</math> trebuie calculat în secțiunea brută.</p> <p>8) ... secțiunea brută.</p>
90		<p>9) Îmbinări cu șuruburi calibrate cu eclise duble simetrice.</p> <p>9) Îmbinări cu șuruburi nepretensionate injectate cu eclise suble simetrice</p>	<p>9) ... secțiunea netă.</p> <p>9) ... secțiunea netă.</p>
		<p>10) Îmbinări cu eclise exterioare cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate.</p> <p>10) Îmbinări cu eclise exterioare cu șuruburi de pretensionate injectate.</p>	<p>10) ... secțiunea brută.</p> <p>10) ... secțiunea brută.</p>
		<p>11) Elemente structurale cu găuri supuse la încovoiere și forțe axiale</p>	<p>11) ... secțiunea netă.</p>
80		<p>12) Îmbinări cu eclise exterioare cu șuruburi calibrate.</p>	<p>12) ... secțiunea netă.</p>
		<p>12) Îmbinări cu eclise exterioare cu șuruburi neprecomprimabile injectate.</p>	<p>12) ... secțiunea netă.</p>

continuă

Tabelul 8.1 (sfârșit)

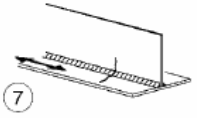
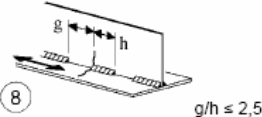
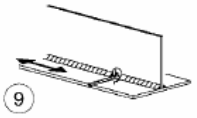


Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
50		13) Imbinări cu eclise exterioare sau duble simetrice cu șuruburi nepretensionate în găuri normale. Fără încărcări reversibile.	13) ... secțiunea netă.
50	Efectul mărimii pentru $t > 30\text{mm}$ : $k_s = (30/t)^{0.25}$ 	14) Șuruburile și tijele filetate solicitate la întindere. Pentru diametre mari (șuruburi de ancoraj) efectul mărimii trebuie să fie luat în considerație cu $k_s$ .	14) $\Delta\sigma$ se calculează folosind aria în zona filetată a șurubului. Incovoierea și întinderea rezultate din efectul de pârghie sau din alte surse trebuie să fie luate în considerație. Pentru șuruburi pretensionate, se poate lua în considerație diminuarea domeniului de tensiuni.
100 m=5		Șuruburi solicitate la forfecare simplă sau dublă Filetul nu se găsește în planul de forfecare 15) - Șuruburi calibrate - Șuruburi normale fără încărcare alternată (șuruburi din grupele 5.6, 8.8 sau 10.9)	15) $\Delta t$ calculat în zona nefiletată a șurubului.

Tabelul 8.2 - Secțiuni compuse din table sudate

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
125		<u>Suduri longitudinale continue:</u> 1) Suduri cap la cap realizate automat pe ambele părți 2) Suduri de în colț realizate automat. Capetele ecliselor se verifică utilizând detaliul 6) sau 7) din tabelul 8.5	<u>Detaliile 1) și 2):</u> Nu sunt permise puncte de oprire/pornire cu excepția cazurilor în care reparațiile sunt facute de specialiști și reparațiile sunt inspectate pentru a verifica execuția reparației.
112		3) Suduri în colț sau cap la cap realizate pe ambele părți dar care conțin puncte de oprire/pornire. 4) Suduri cap la cap realizate automat numai pe o singură parte cu placă suport la rădăcină, fără puncte de oprire/pornire.	4) Când acest detaliu conține puncte de oprire/pornire trebuie folosită categoria 100.
100		5) Suduri în colț sau cap la cap realizate manual. 6) Suduri cap la cap realizate manual sau automat, numai dintr-o parte, în special pentru secțiunile chesonate.	5), 6) Este esențială realizarea unei potriviri foarte bune între tălpi și inimi. Marginea inimii trebuie prelucrată astfel încât forma rădăcinii să asigure penetrarea completă fără întreruperi.

continuă

Tabelul 8.2 (sfârșit)

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
100		7) Suduri în colț sau cap la cap reparate automat sau manual pentru detaliile 1) la 6).	7) Îmbunătățirea prin polizare realizată de specialiști pentru îndepărtarea tuturor semnelor vizibile și verificarea adecvată poate restaura categoria inițială.
80		8) Suduri în colț longitudinale discontinue.	8) $\Delta\sigma$ bazat pe tensiunea directă din talpă.
71		9) Suduri cap la cap longitudinale, suduri în colț sau suduri discontinue cu o gaură de trecere cu înălțimea nu mai mare de 60 mm. Pentru găuri de trecere cu înălțimea > 60 mm a se vedea detaliul 1) din tabelul 8.4	9) $\Delta\sigma$ bazat pe tensiunea directă din talpă.
125		10) Suduri cap la cap longitudinale, cu ambele fețe polizate paralel cu direcția de încărcare, 100 % NDT	
112		10) Fără polizare și fără oprire/oprire	
90		10) Cu puncte de oprire/oprire	
140		11) Suduri longitudinale automate la secțiuni tubulare fără puncte de oprire/oprire.	11) Liber de defecte în afara celor permise de EN 1090. Grosimea peretelui $t \leq 12,5$ mm.
125		11) Suduri longitudinale automate la secțiuni tubulare fără puncte de oprire/oprire.	11) Grosimea peretelui $t > 12,5$ mm.
90		11) cu puncte de oprire/oprire	

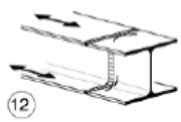
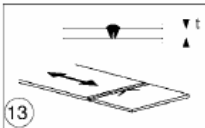
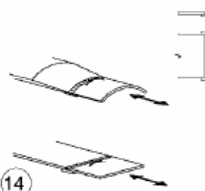

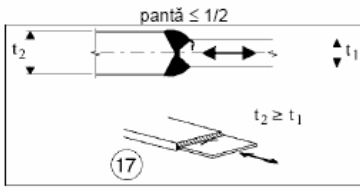
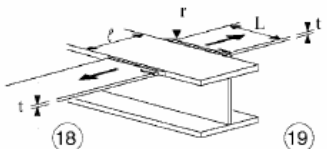
Pentru detaliile de la 1 la 11 realizate cu sudură mecanizată se folosesc categoriile de la sudură automată.

Tabelul 8.3 - Suduri cap la cap transversale

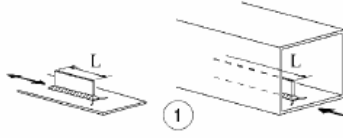

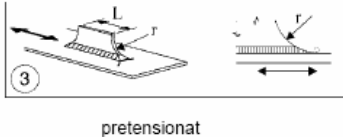
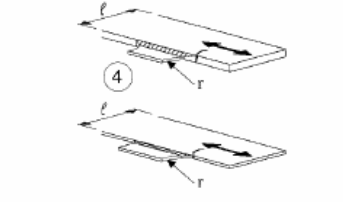

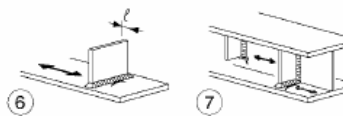
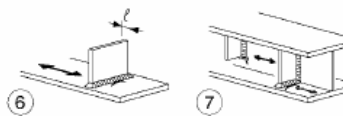
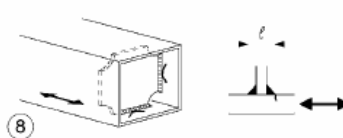
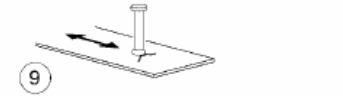
Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
112		<p><u>Fără tabă suport</u></p> <p>1) Cusături transversale în table și platbande.                  2) Cusături transversale ale tălpilor și inimii în grinzi din table sudate înainte de asamblare.                  3) Suduri cap la cap transversale pe întreaga secțiune la profile laminate fără găuri de trecere.                  4) Cusături transversale în table și platbande racordate în lățime sau grosime cu o pantă <math>\leq 1/4</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toate sudurile polizate paralel cu direcția săgeții până la nivelul tablei.</li> <li>- Trebuie folosite piese de prelungire pentru realizarea sudurilor, îndepărtate apoi, iar marginile pieselor vor fi îndreptate prin polizare în direcția efortului.</li> <li>- Sudura din ambele părți trebuie controlată prin NDT. <u>Detaliul 3):</u> Se utilizează numai la îmbinarea profilelor laminate taiate și resodate.</li> </ul>
90		<p>5) Cusături transversale în table și platbande.                  6) Suduri cap la cap transversale pe întreaga secțiune la profile laminate fără gauride trecere                  7) Cusături transversale în table și platbande racordate în lățime sau grosime cu o pantă <math>\leq 1/4</math>. Sudura de legatura trebuie prelucrată mecanic pentru a nu prezenta defecte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convexitatea sudurii să nu depășească 10% din lățimea sudurii, cu tranziția lină la fețele plăcilor.</li> <li>- Trebuie folosite piese de prelungire pentru realizarea sudurilor, îndepărtate apoi, iar marginile pieselor vor fi îndreptate prin polizare în direcția efortului.</li> <li>- Sudura din ambele părți trebuie controlată prin NDT. <u>Detaliile 5 și 7:</u> Suduri facute în poziție orizontală.</li> </ul>
90		<p>8) Ca detaliul 3) dar cu gauri de trecere</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toate sudurile polizate paralel cu direcția săgeții până la nivelul tablei.</li> <li>- Trebuie folosite piese de prelungire pentru realizarea sudurilor, îndepărtate apoi, iar marginile pieselor trebuie îndreptate prin polizare în direcția efortului.</li> <li>- Sudura din ambele părți trebuie controlată prin NDT.</li> <li>- Profile laminate cu aceleași dimensiuni, fără diferențe din toleranțe</li> </ul>
80		<p>9) Cusături transversale în grinzi din table sudate fără găuri de trecere.                  10) Suduri cap la cap transversale pe întreaga secțiune la profile laminate cu găuride trecere.                  11) Cusături transversale în table, platbande, profile laminate sau grinzi din table sudate.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convexitatea sudurii să nu depășească 20% din lățimea sudurii, cu tranziția lină la fețele plăcilor.</li> <li>- Suduri nepolizate</li> <li>- Trebuie folosite piese de prelungire pentru realizarea sudurilor, îndepărtate apoi, iar marginile pieselor trebuie îndreptate prin polizare în direcția efortului.</li> <li>- Sudura din ambele părți trebuie controlată prin NDT. <u>Detaliul 10:</u> Convexitatea sudurii să nu depășească 10 % din lățimea sudurii, cu tranziția lină la fețele plăcilor.</li> </ul>

continuă

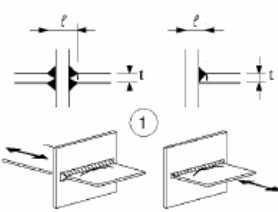

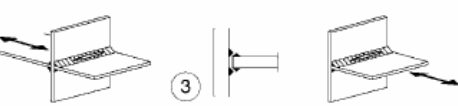
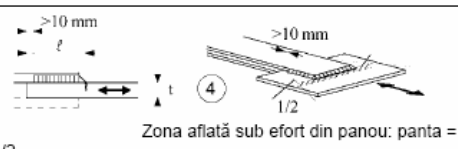
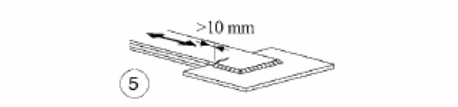
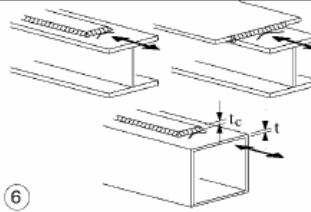
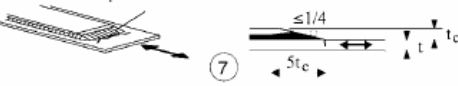
Tabelul 8.3 (sfârșit)

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
63		12) Suduricap la cap transversale pe întreaga secțiune la profile laminare cu găuri de trecere.	- Trebuie folosite piese de prelungire pentru realizarea sudurilor, îndepărtate apoi, iar marginile pieselor trebuie îndreptate prin polizare în direcția efortului. - Suduri din ambele părți.
36		13) Suduri cap la cap realizate dintr-o parte.	13) Fără tablă suport.
71		13) Suduri cap la cap realizate dintr-o parte cu penetrarea completă verificată prin mijloace NDT corespunzătoare.	
71		<b>Cu tablă suport:</b> 14) Cusatură transversală. 15) Sudură cap la cap transversală cu racordare în lățime sau grosime cu pantă $\leq 1/4$ . De asemenea valabil și pentru plăci curbe.	<b>Detaliile 14) și 15):</b> Sudurile în colț pentru prinderea tablei suport trebuie să se termine la $\geq 10$ mm de marginea pieselor. Sudura de prindere provizorie (haft) în cadrul sudurii definitive
50		16) Sudură cap la cap pe tablă suport permanentă cu racordare în lățime sau grosime cu pantă $\leq 1/4$ . Valabile de asemenea pentru plăci curbe.	16) Sudura în colț a plăcii suport se termină la mai puțin 10 mm de marginea tablei care trebuie sudată sau dacă o bună potrivire nu poate fi garantată
71		17) Sudură cap la cap transversală, grosimi diferite fără tranziție, linii centre aliniate.	
Ca în detaliul 1 din tabelul 8.5		18) Suduri cap la cap transversale la intersecții de tălpi.	<b>Detaliile 18) și 19)</b> Rezistența la oboseală a elementului continuu trebuie verificată cu tabelul 8.4, detaliul 4 sau detaliul 5.
Ca în detaliul 4 din tabelul 8.4		19) Cu raze de tranziție conform tabelului 8.4, detaliul 4	

Tabelul 8.4 – Piese auxiliare și rigidizări prinse cu sudură

Categoria detaliului	Detaliu de construcție		Descriere	Cerințe
80	$L \leq 50$ mm	 <p>1</p>	<p><u>Prinderi longitudinale:</u></p> <p>1) Categoria detaliului variază în funcție de lungimea prinderii L.</p>	<p>Grosimea piesei atașate trebuie să fie mai mică decât înălțimea ei. Dacă nu, a se vedea tabelul 8.5, detaliile 5 sau 6.</p>
71	$50 < L \leq 80$ mm			
63	$80 < L \leq 100$ mm			
56	$L > 100$ mm			
71	$L > 100$ mm $\alpha < 45^\circ$	 <p>2</p>	<p>2) Prinderi longitudinale pe table sau țevi.</p>	
80	$r > 150$ mm	 <p>3</p> <p>pretensionat</p>	<p>3) Gusee longitudinale sudate în relief cu raza de tranziție la placă sau la țevă; capetele sudurii în colț întărite (penetrare completa); lungimea de întărire a sudurii <math>&gt; r</math></p>	<p><u>Detaliile 3) și 4):</u></p> <p>Raza de tranziție liniar realizată inițial prin prelucrarea mecanică sau tăierea cu gaz a guseului înainte de sudare, apoi de polizarea sudurii paralel cu direcția săgeții pentru îndepărtarea completă a convexității sudurii transversale.</p>
90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ sau $r > 150$ mm	 <p>4</p> <p>L: lungimea prinderii ca în detaliile 1, 2 sau 3</p>	<p>4) Gusee sudate de una din marginile tablei sau tăpii grinzii.</p>	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$			
40		 <p>5</p>	<p>5) Sudate, fără rază de tranziție.</p>	
80	$l \leq 50$ mm	 <p>6</p>  <p>7</p>	<p><u>Prinderi transversale :</u></p> <p>6) Sudate de tablă.</p> <p>7) Rigidizările verticale sudate ale grinzilor.</p> <p>8) Diafragme ale chesoanelor sudate de tălpi sau inimi. Nu se pot prevedea pe secțiuni tubulare mici.</p> <p>Valorile sunt valabile și la rigidizările inelare.</p>	<p><u>Detaliile 6) și 7):</u></p> <p>Capetele sudurii să fie polizate cu grijă pentru a îndepărta orice defect.</p> <p>7) <math>\Delta\sigma</math> se calculează utilizând eforturile principale dacă rigidizarea se termină pe inimă, a se vedea partea stângă.</p>
71	$50 < l \leq 80$ mm		 <p>8</p>	
80		 <p>9</p>	<p>9) Efectul conectorilor sudați asupra materialului de bază.</p>	

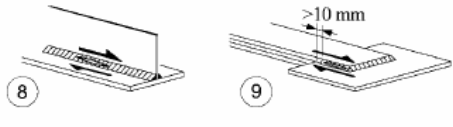
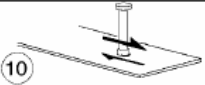


Tabelul 8.5 - Îmbinări cu sudură care transmit eforturi

Categoria detaliului	Detaliu de construcție		Descriere	Cerințe
80	$l < 50$ mm	toate t [mm]	 <p>1) Rupere lângă cordon la sudurile cap la cap cu pătrundere completă și la toate sudurile cu pătrundere parțială.</p>	1) Verificate și găsite fără discontinuități și erori de aliniere în limitele toleranțelor din EN 1090.  2) Pentru calculul $\Delta\sigma$ , se folosește tensiunea nominală modificată.  3) În îmbinările cu pătrundere parțială sunt obligatorii două verificări la oboseală. În primul rând, fisurarea rădăcinii evaluată cu tensiunile definite în secțiunea 5, utilizând categoria 36* pentru $\Delta\sigma_w$ și categoria 80 pentru $\Delta\tau_w$ . În al doilea rând, fisurarea cordonului se evaluează prin determinarea lui $\Delta\sigma$ în tabla încărcată.
71	$50 < l \leq 80$	toate t		
63	$80 < l \leq 100$	toate t		
56	$100 < l \leq 120$	toate t		
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	2) Cedarea cordonului la limita plăcii, cu vârfuri de tensiuni la capetele sudurii datorate deformării locale a plăcii	
40	$l > 300$	$t > 50$		
Ca în detaliul 1) din tabelul 8.5	 <p>Panou flexibil</p>		3) Cedarea rădăcinii în îmbinările T cu sudură în adâncime cu pătrundere parțială sau suduri în colț cu pătrundere completă	4) $\Delta\sigma$ în placa principală trebuie calculat pe baza ariei indicate în schiță.  5) $\Delta\sigma$ se calculează în tablele de suprapunere.
36*				
Ca în detaliul 1) din tabelul 8.5	 <p>Zona aflată sub efort din panou: panta = 1/2</p>		4) Suduri în relief prin suprapunere.	6) Dacă tabla este mai lată ca talpa grinzii, este necesară o sudură transversală la capăt. Această sudură trebuie să fie polizată cu atenție pentru a înlătura defectele. Lungimea minimă a tablelor suplimentare este de 300 mm. Pentru efectul tablelor mai scurte a se vedea detaliul 1).
45*			5) Suduri în relief prin suprapunere.	
56*	$t_c < t$	$t_c \geq t$	 <p>6) Capetele tablelor de suprapunere simplă sau multiplă sudate cu sau fără sudură transversală.</p>	7) Sudura transversală de capăt polizată. În plus, dacă $t_c > 20$ mm, capătul plăcii de tablă trebuie polizat cu o pantă $< 1/4$ .
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
40	-	$t > 50$		
36	-	$t > 50$		
56	 <p>Capăt de sudură transversală întărit</p>		7) Table sudate pe grinzi laminate sau pe grinzi din table sudate. $5t_c$ este lungimea minimă a sudurii de întărire.	

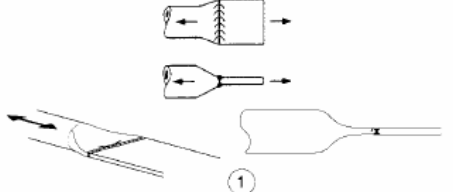
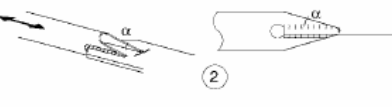
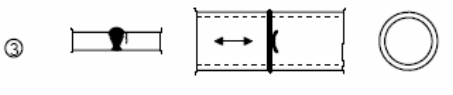
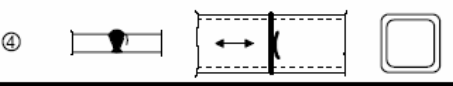
continuă



Tabelul 8.5 (sfârșit)

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
80 m=5		8) Suduri în colț continue care transmit tensiuni de forfecare, cum sunt sudurile dintre inimă și tălpi la grinzile din table sudate. 9) Îmbinări prin suprapunere cu sudură în colț.	8) $\Delta\tau$ să fie calculat în aria de forfecare a sudurii. 9) $\Delta\tau$ să fie calculat în aria de forfecare a sudurii considerând lungimea totală a sudurii. Capetele sudurii la mai mult de 10 mm față de marginile plăcii, a se vedea de asemenea 4) și 5).
a se vedea EN 1994-2 (90 m=8)		<u>Conectori sudati:</u> 10) Pentru elemente compozite	10) $\Delta\tau$ să fie calculat pentru aria nominală a conectorului.
71		11) Îmbinarea dintre țevă și flanșă cu sudura cap la cap cu 80 % pătrundere.	11) Convexitatea sudurii polizată. $\Delta\sigma$ calculat în secțiunea țevii.
40		12) Îmbinarea dintre țevă și flanșă cu sudură în colț.	12) $\Delta\sigma$ calculat în secțiunea țevii.

Tabelul 8.6- Secțiuni tubulare ( $t \leq 12,5$  mm)

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
71		1) Îmbinare țevă-tablă, țevi aplatizate, suduri cap la cap (rost în X)	1) $\Delta\sigma$ calculat în țevi. Valabil numai pentru diametre mai mici de 200 mm.
71		2) Îmbinare țevă-tablă, țevă despăcată și sudată de tablă. Găuri la capătul despăcăturii.	2) $\Delta\sigma$ calculat în țevă. Fisurarea la forfecare a sudurii trebuie verificată utilizând tabelul 8.5, detaliul 8).
63			
71		<u>Suduri cap la cap transversale:</u> 3) Îmbinări cu sudură cap la cap de profile tubulare circulare	<u>Detaliile 3) și 4):</u> - Convexitatea sudurii $\leq 10\%$ din lățimea sudurii, cu tranziții line. - Sudat în poziție orizontală, verificat și găsit fără defecte în afara toleranțelor din EN 1090.
56		4) Îmbinări cu sudură cap la cap între profile tubulare dreptunghiulare.	- Se clasifică în două categorii de detalii de mai sus dacă $t > 8$ mm.

continuă

Tabelul 8.6 (sfârșit)

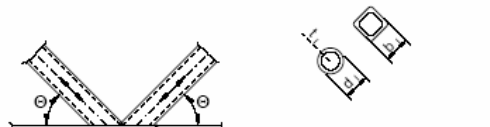
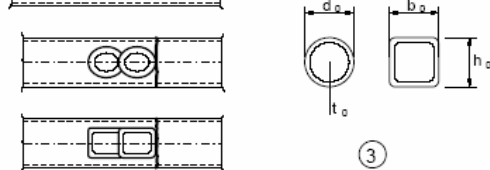
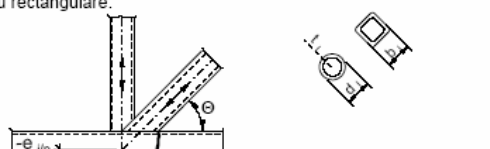
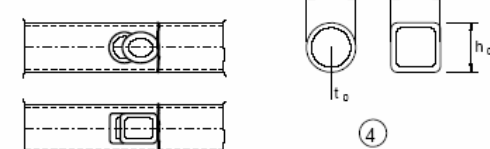
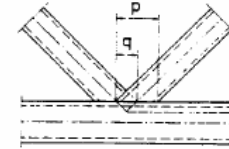
Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
71		<u>Piese auxiliare sudate:</u> 5) Secțiuni tubulare circulare sau dreptunghiulare, sudate cap la cap de altă secțiune.	5) - Suduri care nu transmit eforturi. - Lățimea paralelă cu direcția eforturilor $l \leq 100$ mm. - Pentru alte situații a se vedea tabelul 8.4.
50		<u>Flanșe sudate:</u> 6) Secțiuni tubulare circulare, sudate cap la cap cu flanșă intermediară.	<u>Detaliile 6) și 7):</u> - Suduri care transmit eforturi. - Suduri verificate și găsite fără defecte în afara toleranțelor din EN 1090. - Se clasifică în o categorie de detalii de mai sus dacă $t > 8$ mm.
45		7) Secțiuni tubulare dreptunghiulare, sudate cap la cap cu flanșă intermediară.	
40		8) Secțiuni tubulare circulare, sudate în colț pe flanșă intermediară.	<u>Detaliile 8) și 9):</u> - Suduri care transmit eforturi. - Grosimea peretelui $t \leq 8$ mm.
36		9) Secțiuni tubulare dreptunghiulare, sudate în colț pe flanșă intermediară.	

Tabelul 8.7 - Îmbinări la nodurile grinzilor cu zăbrele

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere
90 m=5	<p>Îmbinări distanțate: Detaliul 1): Îmbinări în K și N, secțiuni tubulare circulare:</p>	<u>Detaliile 1) și 2):</u> - Evaluări separate pentru tălpi și diagonale. - Pentru valori intermediare ale raportului $t_o/t_i$ se interpolează linear între categoriile de detalii. - Suduri în colț permise pentru diagonale cu grosimea peretelui $t \leq 8$ mm. - $t_o$ și $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$
45 m=5		- $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $0,5h_o \leq e_{op} \leq 0,25h_o$ - $0,5d_o \leq e_{op} \leq 0,25d_o$ - $e_{op} \leq 0,02b_o$ sau $\leq 0,02d_o$
71 m=5	<p>Îmbinări distanțate: Detaliul 2): Îmbinări în K și N, secțiuni tubulare rectangulare:</p>	
36 m=5		<u>Detaliul 2):</u> $0,5(b_o - b_i) \leq g \leq 1,1(b_o - b_i)$ și $g \geq 2t_o$

continuă

Tabelul 8.7 (sfârșit)

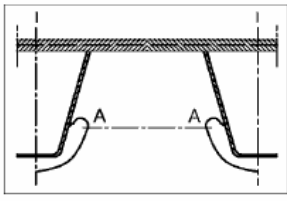
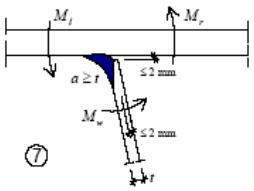
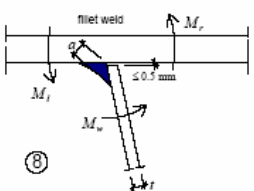
Categoria detaliului	Detaliu de construcție		Descriere
71 m=5	$\frac{t_0}{t_1} \geq 1,4$	<p>Imbinări prin suprapunere: Detaliul 3): Imbinări în K, secțiuni tubulare circulare sau dreptunghiulare:</p> 	<p><u>Detaliile 3) și 4):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30 % ≤ suprapunere ≤ 100 %</li> <li>- suprapunere = <math>(q/p) \times 100</math> %</li> <li>- Evaluări separate pentru tălpi și diagonale.</li> <li>- Pentru valori intermediare ale raportului <math>t_0/t_1</math>, se interpolează linear între categoriile de detalii.</li> <li>- Suduri în relief permise pentru diagonale cu grosimea peretelui <math>t \leq 8</math> mm.</li> <li>- <math>t_0</math> și <math>t_1 \leq 8</math> mm</li> <li>- <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math></li> <li>- <math>b_0/t_0 \times t_0/t_1 \leq 25</math></li> <li>- <math>d_0/t_0 \times t_0/t_1 \leq 25</math></li> <li>- <math>0,25 \leq d/d_0 \leq 1,0</math></li> <li>- <math>b_0 \leq 200</math> mm</li> <li>- <math>d_0 \leq 300</math> mm</li> </ul>
56 m=5	$\frac{t_0}{t_1} = 1,0$		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>0,5h_0 \leq e_{op} \leq 0,25h_0</math></li> <li>- <math>0,5d_0 \leq e_{op} \leq 0,25d_0</math></li> <li>- <math>e_{op} \leq 0,02b_0</math> sau <math>\leq 0,02d_0</math></li> </ul>
71 m=5	$\frac{t_0}{t_1} \geq 1,4$	<p>Imbinări prin suprapunere: Detaliul 4): Imbinări în N, secțiuni tubulare circulare sau rectangulare:</p> 	<p>[<math>e_{op}</math> este excentricitatea în afara planului fermei]</p>
50 m=5	$\frac{t_0}{t_1} = 1,0$		<p>Definiția lui p și q:</p> 

Tabelul 8.8 - Plăci orthotrope cu nervuri de rigidizare închise

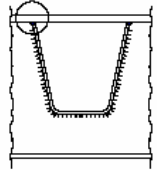
Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
80	$t \leq 12m$ 	1) Rigidizare longitudinală continuă cu decupare suplimentară transversală prin grindă.	1) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizarea longitudinală.
71	$t > 12m$ 		
80	$t \leq 12m$ 	2) Rigidizare longitudinală continuă fără decupare suplimentară transversală în grindă.	2) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizarea longitudinală.
71	$t > 12m$ 		
36		3) Rigidizări longitudinale discontinue care nu traversează grinda	3) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizarea longitudinală.
71		4) Îmbinare de prelungire a rigidizării realizată cu sudură cap la cap, cu pătrundere completă, pe tabla suport.	4) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizarea longitudinală.
112		5) Îmbinare de prelungire a rigidității realizată prin sudură cap la cap efectuată din ambele părți fără tablă suport.	5) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizarea longitudinală. Sudura de prindere provizorie în cadrul sudurii definitive.
90			
80			

continuă

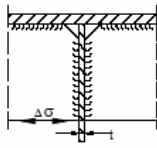
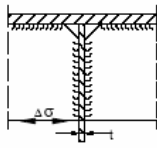
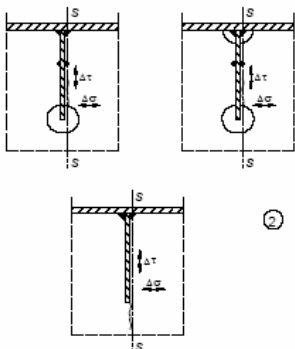
Tabelul 8.8 (sfârșit)

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
71		6) Secțiunea critică în inimigrinzii datorită decupărilor	6) Calcul bazat pe domeniu de tensiuni în secțiunea critică ținând seama de efectele Vierendeel.  NOTĂ - În cazul în care determinarea domeniului de tensiuni se face conform EN 1993-2, 9.4.2.2(3), categoria de detalii 112 poate fi utilizată.
71		<u>Sudura dintre placă și o grindă trapezoidală sau în V</u>  7) Sudură cu pătrundere parțială cu $a \geq t$	7) Calcul bazat pe domeniul de tensiuni normale din încovoirea plăcii.
50		8) Suduri în colț sau suduri cu pătrundere parțială care nu pot fi încadrate la detaliul 7)	8) Calcul bazat pe domeniul de tensiuni normale din încovoirea plăcii.

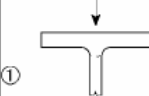
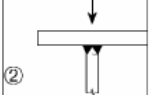
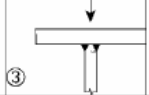
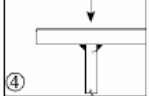
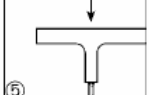
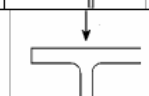
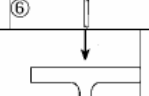
$$\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$$



Tabelul 8.9 - Plăci orthotrope cu nervuri de rigidizare dechise

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
80	$t \leq 12 \text{ mm}$ 	1) Îmbinarea unei rigidizări longitudinale cu o grindă transversală.	1). Calcul bazat pe domeniu de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în rigidizare.
71	$t > 12 \text{ mm}$ 		
56		2) Îmbinarea unei rigidizări longitudinale continue cu o grindă transversală.  $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_i}{W_{det,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_i}{A_{w,det,s}}$  Verificarea domeniului de tensiuni între rigidizări conform EN 1993-2.	2) Calcul bazat pe combinarea domeniului de tensiuni de forfecare $\Delta\tau$ și a domeniului de tensiuni normale $\Delta\sigma$ în inima grinzii, ca un domeniu de tensiune echivalentă: $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} (\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2})$

Tabelul 8.10 - Imbinarea dintre talpa superioară și inima grinzilor de rulare

Categoria detaliului	Detaliu de construcție	Descriere	Cerințe
160		1) Profile laminate I sau H	1) Domeniul de tensiuni de compresiune verticale $\Delta\sigma_{vert}$ în inimă datorat încărcărilor din roți
71		2) Sudură în T cu pătrundere completă între talpă și inimă	2) Domeniul de tensiuni de compresiune verticale $\Delta\sigma_{vert}$ în inimă datorat încărcărilor din roți
36*		3) Sudură în T cu pătrundere parțială, sau cu pătrundere completă conform EN 1993-1-8	3) Domeniul de tensiuni verticale de compresiune $\Delta\sigma_{vert}$ în cordonul de sudură datorat presiunii locale
36*		4) Suduri în colț	4) Domeniul de tensiuni verticale de compresiune $\Delta\sigma_{vert}$ în cordonul de sudură datorat presiunii locale
71		5) Talpă T- cu sudură în adâncime cu pătrundere completă	5) Domeniul de tensiuni verticale de compresiune $\Delta\sigma_{vert}$ în cordonul de sudură datorat presiunii locale
36*		6) Talpă T- cu sudură în adâncime cu penetrare parțială, sau cu penetrare conformă cu EN 1993-1-8	6) Domeniul de tensiuni verticale de compresiune $\Delta\sigma_{vert}$ în cordonul de sudură datorat presiunii locale
36*		7) Talpa T-cu suduri în colț	7) Domeniul de tensiuni verticale de compresiune $\Delta\sigma_{vert}$ în cordonul de sudură datorat presiunii locale