

CALCUL LA FISURARE

SREN 1992-1-1/2004	CEB-FIP/2010	STAS 10107/0-90
$w_k \leq w_{max}$ $w_{max} =$ 0.40mm (pentru XC1 ... 4, XD) 0.30mm (pentru XD1, XD2, XS1 ... 3) Valori stabilite pentru Gruparea Cvasipermanentă de încărcări w_{max} – valoarea medie maximă admisibilă a deschiderii fisurii w_k – valoarea medie a deschiderii fisurii, determinată prin calcul (relația 7.8)	$w_d \leq w_{lim}$ $w_{lim} =$ 0.40mm (limita maxim admisă) 0.30mm (pentru clasele de expunere 2 ... 4) Pentru clasa 1 de exploatare, limita se poate stabili în funcție de durabilitate și împreună cu factorii decizionali (0.10 ... 0.40mm) Valori stabilite pentru Gruparea Cvasipermanentă de încărcări w_{lim} – valoarea limită nominală a deschiderii fisurii w_d – valoarea de proiectare a deschiderii fisurii pentru combinațiile de încărcări considerată (w_d considerat la nivelul armăturii) (relația 7.6 – 3/5)	$\alpha_f \leq \alpha_{adm}$ $\alpha_{adm} =$ 0.10mm (pentru elemente expuse unui mediu agresiv) 0.20mm (pentru elemente expuse direct (neprotejat) acțiunii interperiiilor) 0.30mm (în restul cazurilor) Valori stabilite pentru Gruparea Fundamentală de încărcări (încărcări din exploatare) α_{adm} – valoarea medie admisibilă a deschiderii fisurii α_f – valoarea medie a deschiderii fisurii normale, determinată prin calcul (relația 65)
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ $s_{r,max} = \begin{cases} k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{p,eff}}, & \text{dacă } d_{si} \leq 5 \cdot \left(c + \frac{\phi_s}{2}\right) \\ 1.30 \cdot (h - x), & \text{dacă } d_{si} > 5 \cdot \left(c + \frac{\phi_s}{2}\right) \end{cases}$ $s_{r,max}, [mm]$ – distanța maximă dintre fisuri; $c, [mm]$ – acoperirea cu beton a armăturilor longitudinale; $d_{si}, [mm]$ – distanța interax dintre armăturile aderente; $\phi_s = \frac{\sum n_i \cdot \phi_{s,i}^2}{\sum n_i \cdot \phi_{s,i}}, [mm]$ – diametrul echivalent a barelor longitudinale din zona întinsă; $k_3 = 3.40$; $k_1 = 0.80$ – coeficient ce ține seamă de proprietățile de	$w_d = 2 \cdot l_{s,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs})$ $l_{s,max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}} \cdot \frac{f_{ctm}}{\tau_{bm}}$ $l_{s,max}, [mm]$ – reprezintă lungimea pe care armătura lunecă în beton, zona în care apar eforturi de lunecare τ ; $\phi_s = \frac{\sum n_i \cdot \phi_{s,i}^2}{\sum n_i \cdot \phi_{s,i}}, [mm]$ – diametrul echivalent a barelor longitudinale din zona întinsă; $\rho_{s,ef} = \frac{A_s}{A_{c,ef}}$ $A_s, [mm^2]$ – aria armăturii longitudinale din zona întinsă;	$\alpha_f = \lambda_f \cdot \psi \cdot \frac{\sigma_a}{E_a}$ $\lambda_f = 2 \cdot (c + 0.1 \cdot s) + A \cdot \frac{d}{p_t}$ $\lambda_f, [mm]$ – distanța medie între fisuri; $c, [mm]$ – acoperirea cu beton a armăturilor longitudinale; $s = \max\{s_1, s_2\} \leq 15d, [mm]$ – distanța între axele barelor de armătură din zona întinsă; $d, [mm]$ – diametrul armăturii longitudinale din zona întinsă; În cazul în care barele longitudinale sunt de diametru diferit se înlocuiește $\frac{d}{p_t}$ cu $\frac{A_{bt}}{25 \cdot \sum \pi \cdot d}$.

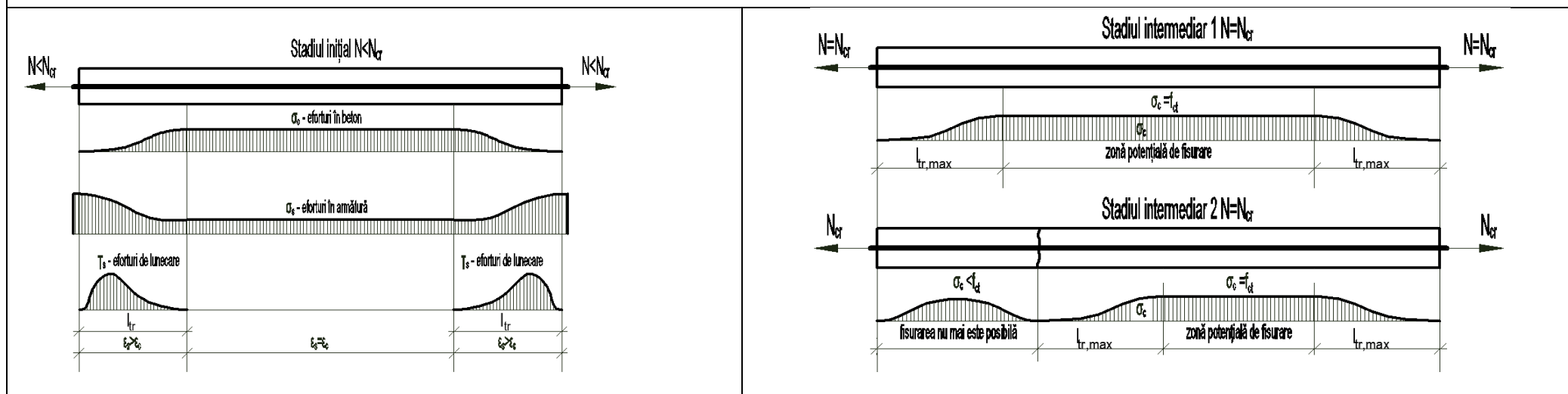
<p>aderența, pentru bare cu înaltă aderență (pentru bare profilate), iar pentru bare netede este 1.60; $k_2 = 0.50$– coeficient ce ține seamă de distribuția eforturilor (pentru încovoiere) și pentru întindere este 1.00; $k_4 = 0.425$;</p> $\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$ <p>A_s, [mm²]– aria armăturii longitudinale din zona întinsă; $A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef}$, [mm²]– aria secțiunii efective de beton din jurul armăturilor întinse; $h_{c,ef} = \min \left\{ 2.5 \cdot (h - d), \frac{h-x}{3}, \frac{h}{2} \right\}$, [mm]– înălțimea efectivă de beton din jurul armăturilor întinse;</p> $\frac{\Delta \varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}}{\geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}}$ <p>ε_{sm}, [mm/m]– alungirea (deformația) medie a armăturii sub gruparea de încărcări considerată; ε_{cm}, [mm/m]– alungirea (deformația) medie a betonului între fisuri sub gruparea de încărcări considerată; σ_s, [MPa] – efortul în armăturile longitudinale întinse sub gruparea de încărcări considerată (considerând secțiunea fisurată); k_t– factor ce ține seama de durata încărcării; $k_t = \begin{cases} 0.60, & \text{pentru încărcare de scurtă durată} \\ 0.40, & \text{pentru încărcare delungă durată} \end{cases}$</p> <p>$f_{ct,eff}$, [MPa]– valoarea medie a rezistenței la întindere a betonului în momentul când se presupune că apar primele fisuri din sarcina de exploatare, în mod curent $f_{ct,eff} = f_{ctm}$;</p>	<p>$A_{c,ef} = b_w \cdot h_{c,ef}$, [mm²]– aria secțiunii efective de beton din jurul armăturilor întinse; $h_{c,ef} = \min \left\{ 2.5 \cdot (h - d), \frac{h-x}{3}, \frac{h}{2} \right\}$ (grinzi) $h_{c,ef} = \min \left\{ \frac{h-x}{3}, \frac{h}{2}, 2.5 \cdot \left(c + \frac{\phi_s}{2} \right) \right\}$ (placă, perete) f_{ctm}, [MPa]– valoarea medie a rezistenței la întindere a betonului; τ_{bm}, [MPa]– efortul mediu de aderență între armătură și beton;</p> $\Delta \varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs}) = \frac{\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr} - \eta_r \cdot \varepsilon_r \cdot E_s}{E_s}$ <p>ε_{sm}, [mm/m]– alungirea (deformația) medie a armăturii pe lungimea $l_{s,max}$; ε_{cm}, [mm/m]– alungirea (deformația) medie a betonului pe lungimea $l_{s,max}$; ε_{cs}, [mm/m]–deformația betonului produs de contracția locală; σ_s, [MPa] – efortul în armăturile longitudinale întinse în dreptul fisurii; $\sigma_{sr} = \frac{f_{ctm}}{\rho_{s,ef}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,ef})$, [MPa] – efortul maxim în armăturile longitudinale întinse în dreptul fisurii; $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$ – coeficient de echivalență; β–coeficient stabilit empiric pentru a evalua deformată medie pe lungimea $l_{s,max}$, ține seama de natura încărcării și stadiul de fisurare; η_r–coeficient ce ține seama de contracția locală a betonului; ε_r, [mm/m]–deformația betonului produs de contracția locală; E_s, [MPa]– modulul de elasticitate al armăturii longitudinale;</p>	<p>$A = \begin{cases} \begin{cases} 10, & \text{pentru încovoiere} \\ 20, & \text{pentru întindere} \end{cases}, & \text{bare netede (OB37)} \\ \begin{cases} 6.50, & \text{pentru încovoiere} \\ 10, & \text{pentru întindere} \end{cases}, & \text{bare profilate (PC52, PC60)} \end{cases}$ – coeficient ce ține seama de tipul armăturii și tipul de solicitare;</p> $p_t = \frac{A_a}{A_{bt}} \cdot 100(\%)$ <p>A_a, [mm²]– aria armăturii longitudinale din zona întinsă; A_{bt}, [mm²]– aria de înglobare a armăturii; $A_{bt} = s_1 \cdot s_2$, $A_{bt} \leq 0.5$ din aria secțiunii de beton pentru încovoiere. E_a, [MPa]– modulul de elasticitate al armăturii longitudinale;</p> $\psi = \frac{\varepsilon_{am}}{\varepsilon_a} = 1 - \beta \cdot (1 - 0.5 \cdot \nu) \cdot \frac{A_{bt} \cdot R_{tk}}{A_a \cdot \sigma_a} \leq 1 - \beta \cdot (1 - 0.5 \cdot \nu)$ <p>ψ – indice de conlucrare a betonului cu armătura longitudinală; ε_{am}, [mm/m]– alungirea specifica medie a armăturii între două fisuri consecutive; ε_a, [mm/m]– alungirea specifică a armăturii în dreptul fisurii sub gruparea de încărcări considerată; Raportul este limitat superior la 1, $\frac{A_{bt} \cdot R_{tk}}{A_a \cdot \sigma_a} \leq 1$. $\beta = \begin{cases} 0.30, & \text{pentru OB37} \\ 0.50, & \text{pentru PC52 sau PC60} \end{cases}$ – coeficient ce ține seama de tipul armăturii și tipul de solicitare; $\nu = \frac{(N,M)_{ld}}{(N,M)} \leq 1$ – coeficient ce exprimă raportul între efortul de exploatare de lungă durată și cel total;</p>
--	---	---

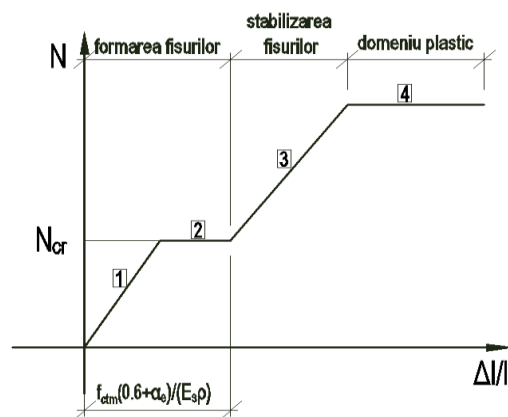
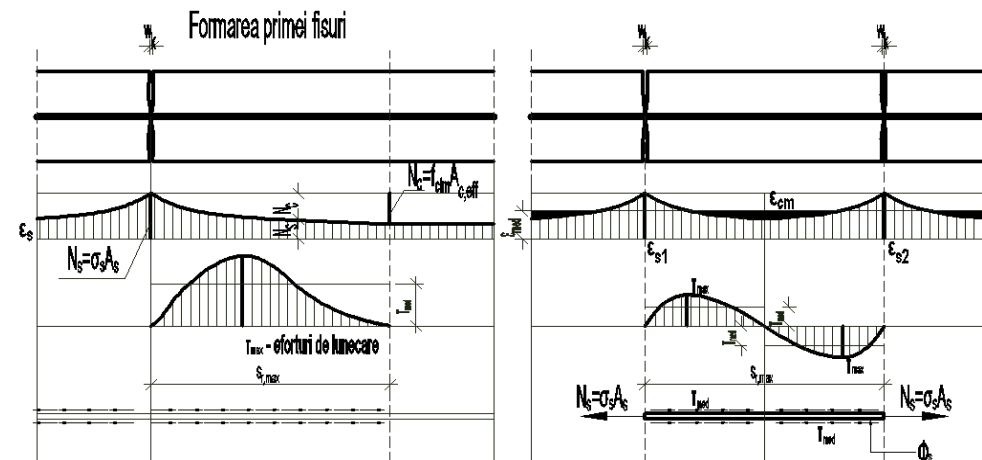
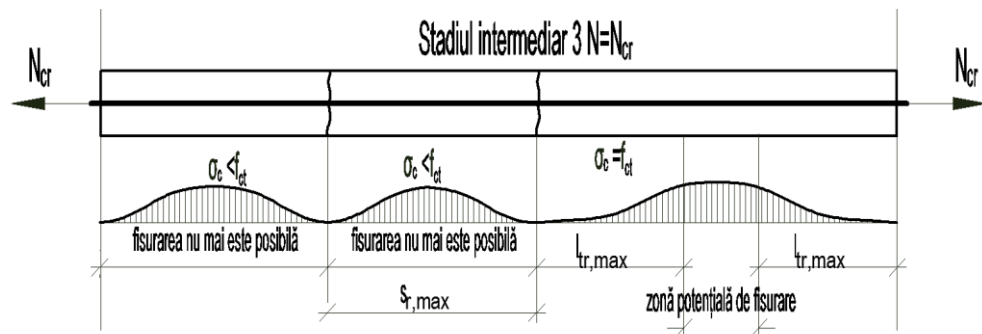
$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$ – coeficient de echivalență; $E_s, [MPa]$ – modulul de elasticitate al armăturii longitudinale; $E_{cm}, [MPa]$ – modulul de elasticitate secant al betonului.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Încărcare</th><th>Formarea fisurilor</th><th>Stabilizarea fisurilor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Scurtă durată</td><td> $\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$ </td><td> $\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$ </td></tr> <tr> <td>Lungă durată</td><td> $\tau_{bm} = 1.35 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$ </td><td> $\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.40$ $\eta_r = 1$ </td></tr> </tbody> </table>	Încărcare	Formarea fisurilor	Stabilizarea fisurilor	Scurtă durată	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$	Lungă durată	$\tau_{bm} = 1.35 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.40$ $\eta_r = 1$	<p>Pentru elemente încovoiate se admite simplificarea</p> $\sigma_a = 0.85 R_a \cdot \frac{A_{a,nec}}{A_{a,ef}}$ <p>Pentru elemente întinse $\sigma_a = 0.85 R_a$.</p> <p>$A_{a,nec}, [mm^2]$– aria secțiunii de armătură longitudinală necesară din calculul la starea limită de rezistență; $A_{a,ef}, [mm^2]$– aria secțiunii de armătură longitudinală prevăzută efectiv; $R_{tk}, [MPa]$– valoarea rezistenței caracteristice la întindere a betonului; $R_a [MPa]$– valoarea de calcul a rezistenței la întindere a armăturii.</p>
Încărcare	Formarea fisurilor	Stabilizarea fisurilor									
Scurtă durată	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$									
Lungă durată	$\tau_{bm} = 1.35 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.60$ $\eta_r = 0$	$\tau_{bm} = 1.80 f_{ctm}(t)$ $\beta = 0.40$ $\eta_r = 1$									

OBSERVAȚII

Pentru calculul la fisurare sunt folosite aceleași principii și modele în cele trei norme, sunt diferențe mici între acestea. STAS 10107 este ceva mai restrictiv în ceea ce privește deschiderea medie a fisurilor și calculul deschiderii efective a fisurii. Modelul de bază utilizat este reprezentat de un element solicitat la întindere centrică, rezultatele obținute pe acesta sunt acceptate și pentru încovoiere (sub ipoteza că în zona fisurată (întinsă) eforturile sunt preluate de armătură). Calculul la fisurare (limitarea deschiderii fisurii) este restâns la o limitare a tensiuniilor în armătura întinsă.

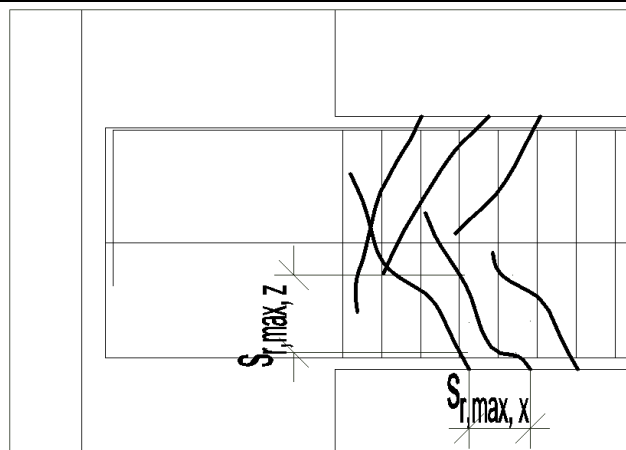
MODELUL DE CALCUL





Grafic CEB-FIB/2010

1. domeniul elastic – nefisurat
2. formarea fisurilor
3. stabilizarea fisurilor
4. domeniu plastic – curgerea armăturii



contribuția forței tăietoare prin factorul ΔF_{td} .

Fisura înclinată este determinată de eforturi V și M, V și T sau V, M și T.

În cazul fisurilor înclinate, SREN 1992, face o expunere foarte succintă, se expune doar modul de determinare a distanței maxime dintre fisuri, aceasta fiind:

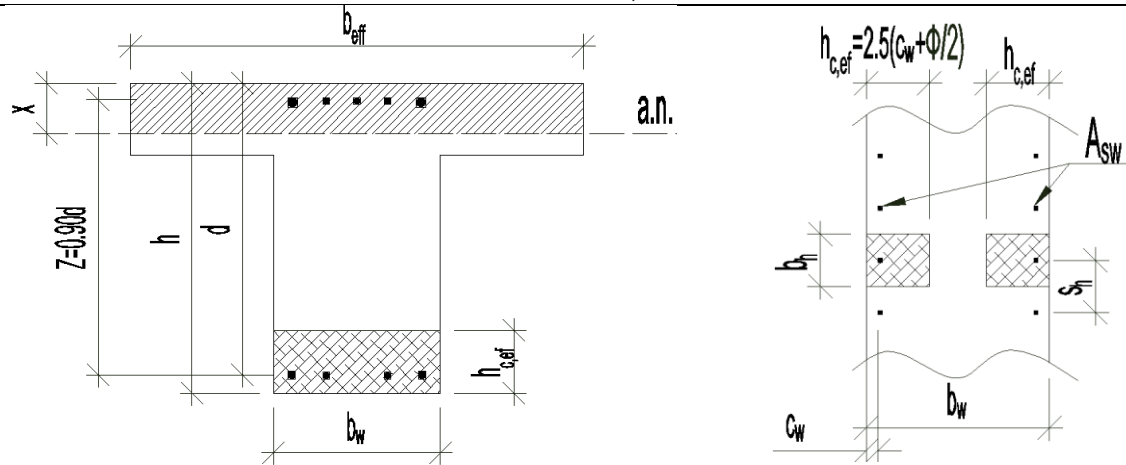
$$s_{r,max} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{r,max,z}} + \frac{\sin \theta}{s_{r,max,x}}}$$

θ – unghiul dintre armătura longitudinală și efortul principal de întindere, în mod curent $\theta = 45 \text{ deg}$, ține seama de modul de armare transversal (pasul armăturii transversale);
 $s_{r,max,x,z}$ – distanța maximă dintre fisuri pe cele două direcții determinat conform 7.3.4 (3).

Pentru claculul deschiderii fisurii înclinate se va utiliza $\Delta \varepsilon$ determinat în armătura longitudinală la care se adaugă

$$w_k = s_{r,max} \cdot \Delta \varepsilon$$

SREN 1992-1-1/2004, CEB-FIP/2010



$$h_{c,ef} = \min \left\{ 2.5 \cdot (h - d), \frac{h - x}{3}, \frac{h}{2} \right\}$$

$$h_{c,ef,w} = \min(2.5 \cdot (h - d), 0.5 \cdot b_w) = \min \left(2.5 \cdot \left(c_w + \frac{\phi_w}{2} \right), 0.5 \cdot b_w \right)$$

$$b_h = \min \left(s_h, 5 \cdot \left(c_w + \frac{\phi_w}{2} \right) \right)$$

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef}, \quad A_{c,eff,w} = b_h \cdot h_{c,ef}$$

STAS 10107/0-90

$$s'_1 \geq 7.5\phi \cong 8\phi$$

$$s_2 = 8\phi + \frac{\phi}{2} + c$$

$$s_1 \geq 15\phi \cong 16\phi$$

$$A_{bt} = s_1 \cdot s_2$$

