

Solutions TP9 - Fatigue

David Trif

10 juin 2010

Exercice 1

Données supplémentaires du problème :

– Acier *St50* $\Rightarrow R_m = 500 \text{ MPa}$

– $R = 1 \text{ mm}$; $\sigma_{D0} = 234,4 \text{ MPa}$; $A = 70,67 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$

Calcul coefficient de concentration de contrainte.

Dans le fascicule *F17 (XXXI)* :

$$\alpha_k = 1 + \sqrt{A \cdot \frac{D}{R} + B} - \sqrt{B} \quad (1)$$

$$\chi \approx \frac{1}{R} + \frac{2}{D} \quad (\chi \rightarrow \text{gradient relatif de contrainte (cours pag. 218)}) \quad (2)$$

$$\frac{D_1}{D} = \frac{50}{40} = 1,25 \Rightarrow B = 0,13 \quad A = 0,071 \text{ (F17)} \quad (3)$$

$$\alpha_k = 1 + \sqrt{0,071 \cdot \frac{40}{1} + 0,13} - \sqrt{0,13} = 2,357 \quad (4)$$

$$\chi = 1 + \frac{2}{40} = 1,05 \text{ 1/mm} \quad (5)$$

On a donc : le coefficient de concentration de contrainte $\alpha_k = 2,357$ et le gradient relatif de contrainte $\chi = 1,05 \text{ 1/mm}$.

Détermination de la contrainte d'endurance τ_{nD} (contrainte de torsion).

Cours, page 220 :

$$\tau_{tn_{lim}}^{(1)} = \frac{\sum(\chi_t)}{\sqrt{3} \cdot \alpha_{kt}} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \tau_{nD} = \frac{\sum(\chi)}{\sqrt{3} \cdot \alpha_k} = \frac{\sigma_{D0} + A\sqrt{\chi}}{\sqrt{3} \cdot \alpha_k} \quad (7)$$

$\sigma_{D0} \rightarrow$ limite d'endurance en extension.

$$\tau_{nD} = \frac{234,4 \text{ MPa} + 70,67 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}} \cdot \sqrt{1,05} \cdot 1/\sqrt{\text{mm}}}{2,357\sqrt{3}} \quad (8)$$

$$\tau_{nD} = 75,15 \text{ MPa} \quad (9)$$

Calcul du moment de torsion correspondant :

$$\text{Page 212 (cours)} \rightarrow \tau_{nD} = \frac{16M_t}{\pi D^3} \quad (10)$$

$$\Rightarrow M_t = \frac{\pi D^3}{16} \cdot \tau_{nD} = \frac{\pi 40^3}{16} \cdot 75,15 = 944,4 \text{ Nmm} \quad (11)$$

Exercice 2

Axe soumis à une flexion rotative (M_f - variable).

$$M_f = 3628 - 375,4 \log_{10} N \text{ (équation courbe de Wohler)} \quad (12)$$

N - nombre de cycles à rupture.

Le dommage total (Page 226) :

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} \quad (13)$$

Avec :

– N_i - durée de vie (si on a seulement M_{fi})

– n_i - cycles avec une certaine sollicitation

$$M_f = 3628 - 375,4 \log_{10} N = 3628 - 375,4 \cdot \frac{\ln N}{\ln 10} \quad (14)$$

$$\Rightarrow \frac{\ln N}{\ln 10} = \frac{3628 - M_f}{375,4} \Rightarrow \ln N = \ln 10 \cdot \frac{3628 - M_f}{375,4} \quad (15)$$

$$N_i = e^{\ln 10 \cdot \frac{3628 - M_{fi}}{375,4}} \quad (16)$$

Les valeurs pour N_i et D sont présentées dans le tableau suivant :

i	n_i (tours)	M_{fi} (Nm)	N_i (tours)	Dom. $D = \frac{n_i}{N_i}$
1	10	1600	252486	$0,0396 \cdot 10^{-3}$
2	190	1500	466251	$0,4075 \cdot 10^{-3}$
3	800	1200	2936078	$0,2725 \cdot 10^{-3}$

Le dommage total (qui correspond à 1000 tours) :

$$D = \sum_{i=1}^3 D_i = 719,5 \cdot 10^{-6} \quad (17)$$

La durée de vie est le nombre de tours (cycles) correspondant à un dommage $D = 1$ (mise hors service).

$$\begin{cases} 1000 \text{ tours} \cdots D \\ x \text{ tours} \cdots 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow x = \frac{1000 \cdot 1}{D} = \frac{1000}{719,5 \cdot 10^{-6}} \quad (18)$$

$$x = 1390000 \text{ tours} \rightarrow \text{Rupture de l'axe} \quad (19)$$

Exercice 3

Rainure de clavette (entaille non calculable) $\rightarrow$ on utilise la méthode par similitude (F1).

Données de l'exercice :

- Acier St50 $\rightarrow R_m = 500 \text{ MPa}$; $P = 70 \text{ kW}$; $N = 200 \text{ tr/min}$
- Flexion alternée; torsion pulsée
- $D = 100 \text{ mm}$; $R_t = 10 \text{ }\mu\text{m}$; $M_f = 70\% M_t$

Dans le cours, Page 225 (coefficient de sécurité) :

$$\frac{1}{s^2} = \left(\frac{1}{s_e} + \frac{1}{s_f} \right)^2 + \left(\frac{1}{s_t} \right)^2 \text{ (pas d'extension)} \quad (20)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{s^2} = \frac{1}{s_f^2} + \frac{1}{s_t^2} \quad (21)$$

La limite d'endurance en extension (calculée pour la suite de l'exercice) :

$$\sigma_{D0} = -243,9 + 21,09\sqrt{R_m} = -243,9 + 21,09\sqrt{500} = 227,7 \text{ MPa} \quad (22)$$

Le moment de torsion :

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi N} = \frac{70000 \text{ (W)} \cdot 60}{2\pi \cdot 200} = 3342000 \text{ Nmm} \quad (23)$$

Le moment de flexion :

$$M_f = 0,7 \cdot M_t = 2340000 \text{ Nmm} \quad (24)$$

1. Sécurité en flexion

$$s_f = \frac{\sigma_{fnlim}}{\sigma_{fn}} \quad (25)$$

$$F33 \rightarrow \sigma_{fn} = M_f \cdot \frac{D}{2I}, \text{ avec } I = \frac{\pi D^4}{64} - bt \cdot \frac{(D-t)^2}{4} \quad (26)$$

Fascicule F35 $\rightarrow t = 10$; $b = 28$ (rainure de clavette).

$$I = 4,342 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (27)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn} = M_f \cdot \frac{D}{2I} = \frac{2340000 \cdot 100}{2 \cdot 4,342 \cdot 10^6} = 26,95 \text{ MPa} \quad (28)$$

Déterminer σ_{fnlim} (méthode par similitude) :

$$F1 \rightarrow \sigma_{fnlim} = \frac{\gamma \sigma_{D0}}{\beta_{bcorr}} \quad (29)$$

$$\gamma = C_1 + \frac{C_2}{\sigma_{D0} \sqrt{D}} \quad (30)$$

$$F33 \rightarrow C_1 = 0,2853; C_2 = 346,5 \text{ MPa} \sqrt{mm} \quad (31)$$

$$\Rightarrow \gamma = 0,2853 + \frac{346,5 \text{ MPa} \sqrt{mm}}{227,7 \text{ MPa} \cdot \sqrt{100} \sqrt{mm}} = 0,4375 \quad (32)$$

$$F1 \rightarrow \beta_{bcorr} = 1 + C_1(\beta_b^{(1)} - 1) \quad (33)$$

$$F5 \rightarrow R_t = 10 \text{ } \mu m; R_m = 500 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_b^{(1)} = 1,08 \quad (34)$$

$$\Rightarrow \beta_{bcorr} = 1 + 0,2853(1,08 - 1) = 1,023 \quad (35)$$

La valeur de la contrainte limite σ_{fnlim} :

$$\sigma_{fnlim} = \frac{\gamma \sigma_{D0}}{\beta_{bcorr}} = \frac{0,4375 \cdot 227,7 \text{ MPa}}{1,023} = 97,38 \text{ MPa} \quad (36)$$

Le facteur de sécurité pour la sollicitation de flexion (alternée) :

$$s_f = \frac{\sigma_{fnlim}}{\sigma_{fn}} = \frac{97,38 \text{ MPa}}{26,95 \text{ MPa}} = 3,612 \quad (37)$$

2. Sécurité en torsion :

$$F33 \rightarrow \tau_t = M_t \frac{D}{2I_p}, \text{ avec } I_p = \frac{\pi D^4}{32} - bt \frac{(D-t)^2}{4} = 9,251 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (38)$$

$$\tau_t = 3,342 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot \frac{100 \text{ mm}}{2 \cdot 9,251 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} = 18,06 \text{ MPa} \quad (39)$$

$$\Rightarrow \tau_{tn} = \sqrt{3} \cdot \tau_t = 31,29 \text{ MPa} \quad (40)$$

$$F1 + F33 \rightarrow \gamma = C_1 + \frac{C_2}{\sigma_{D0} \sqrt{D}} = 0,2826 + \frac{389,6}{227,7 \sqrt{100}} = 0,4537 \quad (41)$$

$$F5 \rightarrow \beta_{bt}^{(1)} = \frac{\beta_b^{(1)}}{0,4\beta_b^{(1)} + 0,6} = \frac{1,08}{0,4 \cdot 1,08 + 0,6} = 1,047 \quad (42)$$

La valeur pour β_{bcorr} :

$$\beta_{bcorr} = 1 + C_1(\beta_{bt}^{(1)} - 1) = 1 + 0,2826(1,047 - 1) = 1,013 \quad (43)$$

La contrainte limite τ_{tnlim} :

$$\tau_{tnlim} = \frac{\gamma \sigma_{D0}}{\beta_{bcorr}} = \frac{0,4537 \cdot 227,7}{1,013} = 102 \text{ MPa} \quad (44)$$

La valeur $\tau_{tnlim} = 102 \text{ MPa}$ est valable en torsion alternée; on cherche la contrainte limite en torsion dans le cas d'une sollicitation pulsée.

En général :

$$\sigma(t) = \sigma_m + \sigma_a \cdot \sin(\varpi t); \sigma_a - \text{amplitude} \quad (45)$$

$$\varpi = 1 \rightarrow \text{sollicitation alternée} \quad (46)$$

$$\varpi = \frac{1}{2} \rightarrow \text{sollicitation pulsée} \quad (47)$$

$$\varpi = 0 \rightarrow \text{le cas statique} \quad (48)$$

Le facteur d'endurance :

$$\xi(\varpi) = \frac{\sigma_{nim}^{(\varpi)}}{\sigma_{nim}^{(0)}} \quad (49)$$

Dans notre cas :

$$\xi(1) = \frac{\sigma_{nim}^{(1)}}{\sigma_{nim}^{(0)}} = \frac{\tau_{nim}^{(1)}}{R_m} = \frac{102 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} = 0,204 \quad (50)$$

Dans le fascicule $F3$, on cherche $\xi(\frac{1}{2})$:

$$F3 \rightarrow \xi(1) = 0,204; \varpi = \frac{1}{2} \Rightarrow \xi\left(\frac{1}{2}\right) = 0,35 \quad (51)$$

$$\xi\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{\tau_{tnlim}^{(\frac{1}{2})}}{R_m} = 0,35 \quad (52)$$

$$\tau_{tnlim}^{(\frac{1}{2})} = 0,35 \cdot 500 \text{ MPa} = 175 \text{ MPa} \quad (53)$$

Le coefficient de sécurité en torsion :

$$s_t = \frac{\tau_{tnlim}^{(\frac{1}{2})}}{\tau_{tn}} = \frac{175 \text{ MPa}}{31,29 \text{ MPa}} = 5,593 \quad (54)$$

Coefficient de sécurité final :

$$\frac{1}{s^2} = \frac{1}{s_f^2} + \frac{1}{s_t^2} = \frac{1}{3,613^2} + \frac{1}{5,593^2} \quad (55)$$

$$s = 3,034 \quad (56)$$

Exercice 4

L'arbre est présenté dans la fig.1.

Le matériau utilisé est l'acier *St50* $\Rightarrow R_m = 500 \text{ MPa}$.

Calcul de la contrainte nominale :

$$\sigma_{fn}^{(1)} = \frac{32M_f}{\pi D^3} = \frac{32 \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 40^3 \text{ mm}^3} = 79,58 \text{ MPa} \quad (57)$$

Sollicitation limite σ_{fnlim}

$$\sigma_{fnlim}^{(1)} = \frac{\sigma_{D0} + A\sqrt{\chi}}{\alpha_k}, \text{ avec } A = 70,67 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}} \quad (58)$$

Dans le fascicule *F8* :

$$\alpha_k = 1,19 + B\left(\sqrt{\frac{D}{R}} - 1,426\right) \quad (59)$$

$$\frac{D_1}{D} = \frac{60}{40} = 1,5 \Rightarrow B = 0,31 \quad (60)$$

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow \alpha_k = 1,19 + 0,31\left(\sqrt{\frac{D}{R}} - 1,426\right) \approx 0,31\sqrt{\frac{D}{R}} \quad (61)$$

$$\chi = \frac{2}{R} + \frac{4}{D_1 + D} \approx \frac{2}{R} \quad (62)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fnlim}^{(1)} = \frac{\sigma_{D0} + 70,67\sqrt{\frac{2}{R}}}{0,31\sqrt{\frac{D}{R}}} \approx \frac{70,67\sqrt{2}}{0,31\sqrt{40}} \quad (63)$$

$$\sigma_{fnlim} = 50,98 \text{ MPa} \quad (64)$$

Le coefficient de sécurité :

$$s = \frac{\sigma_{fnlim}}{\sigma_{fn}} = \frac{50,98 \text{ MPa}}{79,58 \text{ MPa}} = 0,64 < 1 ??? \quad (65)$$

La rupture est donc prévisible. Le moment de torsion appliqué induit une contrainte nominale supérieure à la contrainte limite.

Le remède proposé par M. Nyal est faux, la valeur $A = 70,67 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ restera inchangée. La contrainte limite restera donc constante. Pour augmenter le coefficient de sécurité, il faut diminuer le moment de flexion appliqué.

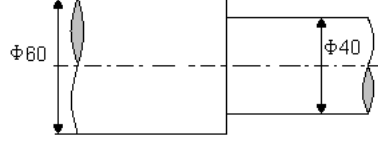


FIGURE 1 – Changement de section, sans congé

Exercice 5

L'arbre, avec son changement de section, est présenté dans la fig.2.

Acier *St70* $\Rightarrow R_m = 700 \text{ MPa}$.

$$\sigma_{fn_{lim}} = \frac{\sigma_{D0} + A\sqrt{\chi}}{\alpha_k} \quad (66)$$

$$F1 \rightarrow \sigma_{D0} = -243,9 + 21,09\sqrt{R_m} = -243,9 + 21,09\sqrt{700} = 314,09 \text{ MPa} \quad (67)$$

$$F8 \rightarrow \alpha_k = 1,19 + B\left(\sqrt{\frac{D}{R}} - 1,426\right) \quad (68)$$

$$\frac{D_1}{D} = \frac{120}{100} = 1,2 \Rightarrow B = 0,24 \quad (69)$$

Les expressions pour α_k et χ :

$$\alpha_k = 1,19 + 0,24\left(\sqrt{\frac{100}{R}} - 1,426\right) \quad (70)$$

$$\chi = \frac{2}{R} + \frac{4}{D_1 + D} = \frac{2}{R} + \frac{4}{220} \quad (71)$$

1. Sans congé $R \rightarrow 0$:

$$\sigma_{fn_{lim}} = \frac{70,67\sqrt{\frac{2}{R}}}{0,24\sqrt{\frac{100}{R}}} = \frac{70,67\sqrt{2}}{0,24 \cdot 10} \quad (72)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn_{lim}} = 41,64 \text{ MPa} \quad (73)$$

2. Avec un congé $R = 5 \text{ mm}$:

$$\alpha_k = 1,19 + 0,24\left(\sqrt{\frac{100}{5}} - 1,426\right) = 1,921 \quad (74)$$

$$\sigma_{fn_{lim}} = \frac{314,09 + 70,67\sqrt{\frac{2}{5} + \frac{4}{220}}}{1,921} \quad (75)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn_{lim}} = 187,8 \text{ MPa} \quad (76)$$

3. Avec un congé $R = 10 \text{ mm}$:

$$\alpha_k = 1,19 + 0,24 \left(\sqrt{\frac{100}{10}} - 1,426 \right) = 1,607 \quad (77)$$

$$\sigma_{fn_{lim}} = \frac{314,09 + 70,67 \sqrt{\frac{2}{10} + \frac{4}{220}}}{1,607} \quad (78)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn_{lim}} = 216,6 \text{ MPa} \quad (79)$$

Les moments de flexion :

$$M_f = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot \sigma_f \quad (80)$$

$$1. M_{f_{lim}} = 41,64 \cdot \frac{\pi \cdot 100^3}{32} = 4,085 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (81)$$

$$2. M_{f_{lim}} = 187,8 \cdot \frac{\pi \cdot 100^3}{32} = 18,44 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (82)$$

$$3. M_{f_{lim}} = 216,6 \cdot \frac{\pi \cdot 100^3}{32} = 21,26 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (83)$$

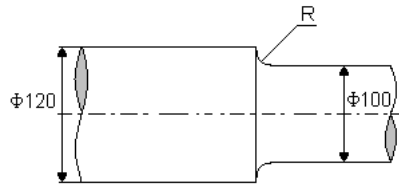


FIGURE 2 – Arbre en acier St70

Exercice 6

$F = 10000 \text{ N}$ (force qui induit un moment de flexion au niveau de l'épaule-ment).

Acier *St50* $\rightarrow R_m = 500 \text{ MPa}$.

Le coefficient de sécurité :

$$s_f = \frac{\sigma_{fn_{lim}}}{\sigma_{fn}} \quad (84)$$

Contrainte de flexion nominale :

$$\sigma_{fn} = \frac{32M_f}{\pi D^3} = \frac{32 \cdot 10000 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}}{\pi \cdot 50^3 \text{ mm}^3} \quad (85)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn} = 48,92 \text{ MPa} \quad (86)$$

Contrainte de flexion limite :

$$F1 \rightarrow \sigma_{fn_{lim}} = \frac{\sigma_{D0} + A\sqrt{\chi}}{\alpha_k} \quad (87)$$

$$F1 \rightarrow \sigma_{D0} = -243,9 + 21,09\sqrt{500} = 227,7 \text{ MPa} \quad (88)$$

$$F8 \rightarrow \frac{D_1}{D} = \frac{60}{50} = 1,2 \Rightarrow B = 0,24 \quad (89)$$

$$\alpha_k = 1,19 + 0,24\left(\sqrt{\frac{50}{3}} - 1,426\right) = 1,83 \quad (90)$$

$$\chi = \frac{2}{R} + \frac{4}{D_1 + D} = \frac{2}{3} + \frac{2}{110} = 0,703 \quad (91)$$

$$\Rightarrow \sigma_{fn_{lim}} = \frac{227,7 + 70,67\sqrt{0,703}}{1,83} = 156,8 \text{ MPa} \quad (92)$$

La valeur pour le coefficient de sécurité :

$$s_f = \frac{156,8 \text{ MPa}}{49 \text{ MPa}} = 3,2 \quad (93)$$

SÉCURITÉ DES ARBRES

1) Sollicitations : $\sigma_i = \sigma_e, \sigma_f$ ou $\tau_t \sqrt{3}$

2) Taux de pulsation : $\varpi_i = \frac{\sigma_{ia}}{|\sigma_{iM}|}$

3) Limite alternée : • *Méthode directe*

$$\sigma_{in\ lim}^{(1)} = \frac{\Sigma(\chi)}{\alpha_k \beta_{b\ corr}^{(1)}}$$

$$\Sigma(\chi) = \sigma_{D_0} + A\sqrt{\chi}$$

$$\beta_{b\ corr}^{(1)} = 1 + \frac{\beta_b^{(1)} - 1}{\alpha_k}$$

Aciers :

$$\frac{\sigma_{D_0}}{MPa} = -243,9 + 21,09 \sqrt{\frac{R_m}{MPa}}$$

$$A = 70 MPa \sqrt{mm}$$

• *Méthode par similitude*

$$\sigma_{in\ lim}^{(1)} = \frac{\gamma \sigma_{D_0}}{\beta_{b\ corr}^{(1)}}$$

$$\gamma = C_1 + \frac{C_2}{\sigma_{D_0} \sqrt{D}}$$

$$\beta_{b\ corr}^{(1)} = 1 + C_1 (\beta_b^{(1)} - 1)$$

4) Limite statique :

$$\sigma_{in\ lim}^{(0)} = \frac{R_m}{\beta_g^{(0)} \beta_k^{(0)} \beta_b^{(0)}}$$

$$\beta_g^{(0)} = \left(\frac{D}{D^*} \right)^{1/8}$$

$$\beta_k^{(0)} = \begin{cases} 1 & \text{si ductile} \\ \alpha_k & \text{si fragile} \end{cases}$$

$$\beta_b^{(0)} = 1$$

5) Contrainte combinée :

$$\sigma_{in\ lim}^{(\varpi_i)} = \xi \left(\frac{\sigma_{in\ lim}^{(1)}}{\sigma_{in\ lim}^{(0)}}, \varpi_i \right) \cdot \sigma_{in\ lim}^{(0)}$$

ξ : voir diagramme d'endurance

6) Sécurités partielles :

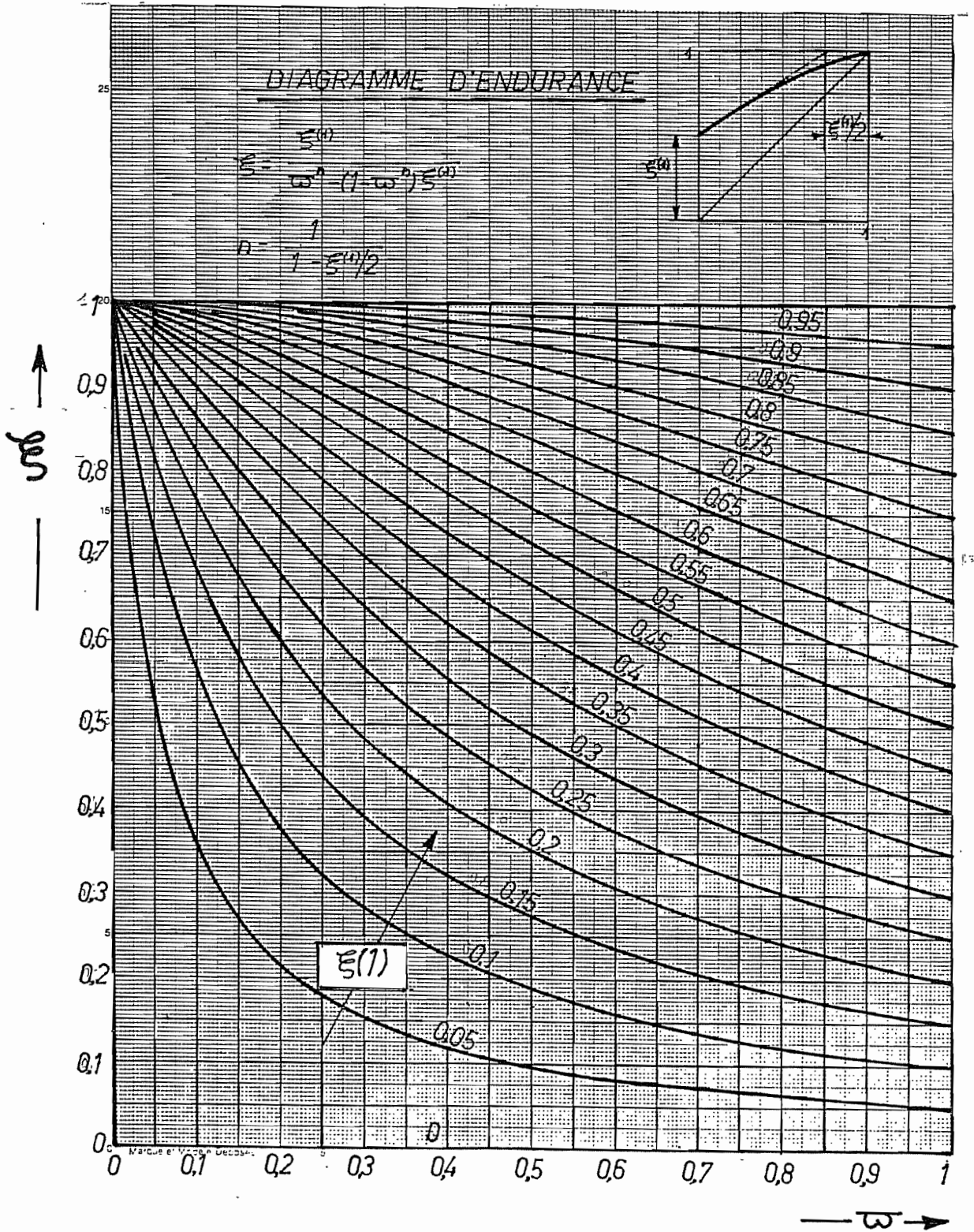
$$s_i = \frac{\sigma_{in\ lim}^{(\varpi_i)}}{\sigma_{inM}}$$

7) Combinaison des différentes sollicitations : sécurité finale s :

$$\frac{1}{s^2} = \left(\frac{1}{s_e} + \frac{1}{s_f} \right)^2 + \left(\frac{1}{s_t} \right)^2 . \quad \text{Il faut que } s \geq 2$$

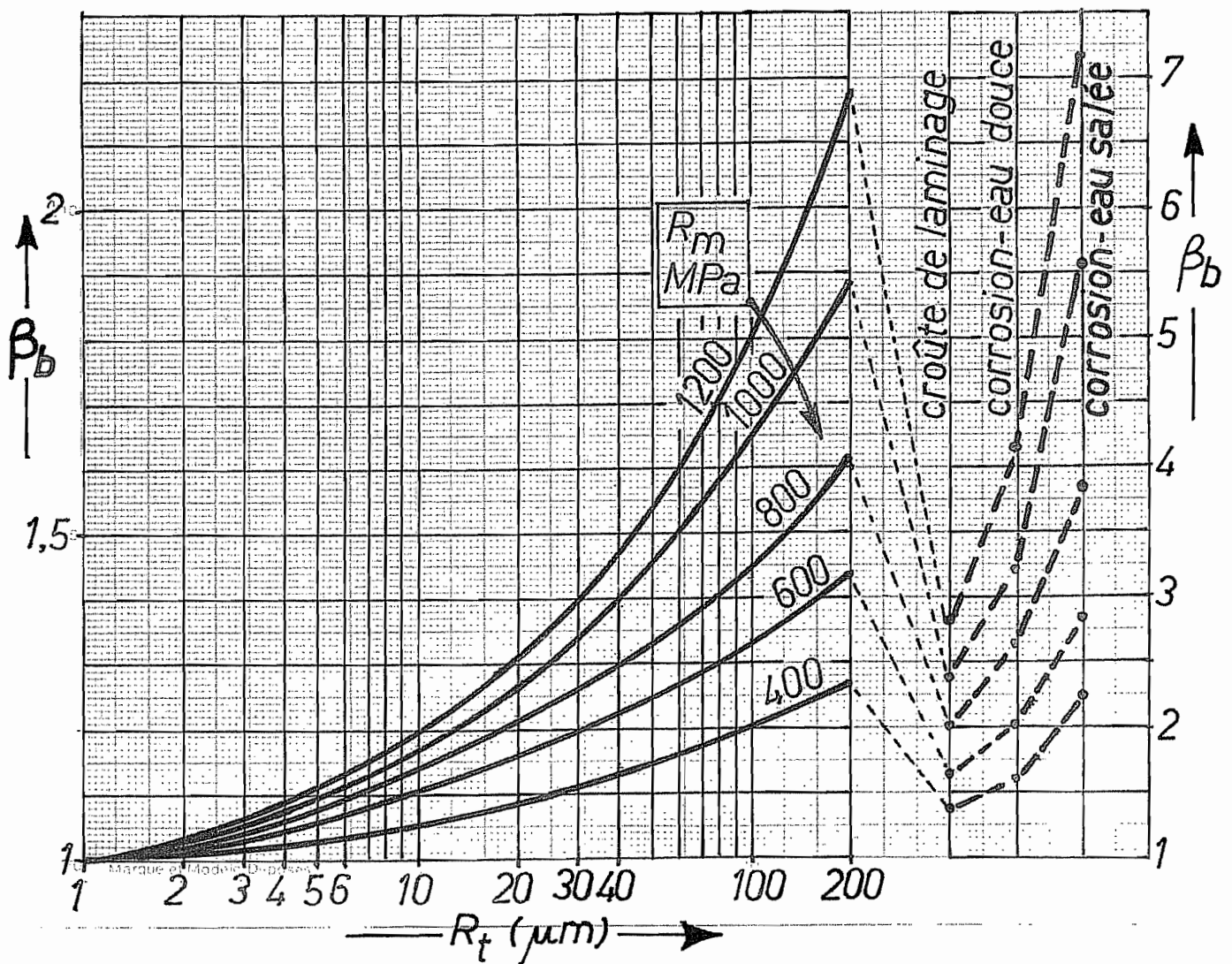
8) Ne pas oublier de vérifier la sécurité par rapport à la déformation permanente.

Il faut que $s_{déf.\ perm} \geq 1,25$

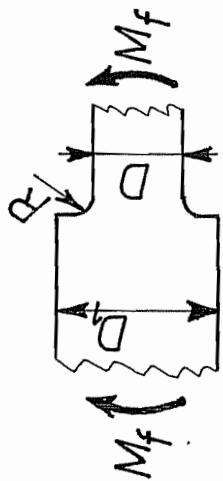


EFFET D'ETAT DE SURFACE (aciers)

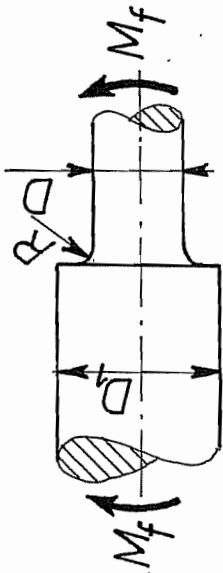
$\bar{\omega}=1$ - Extension et flexion



Torsion :
$$\beta_{bt} = \frac{\beta_b}{0,4\beta_b + 0,6}$$

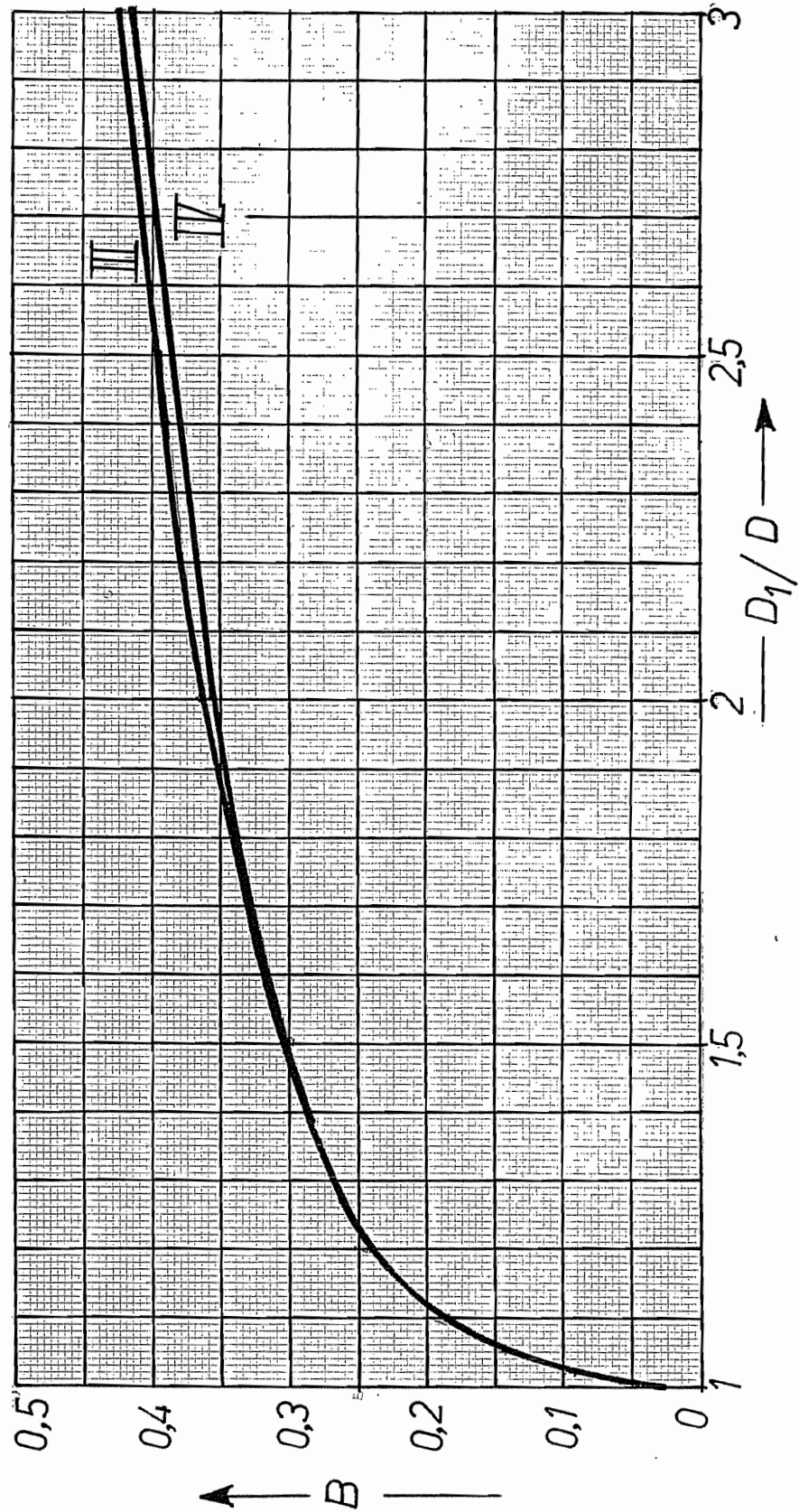


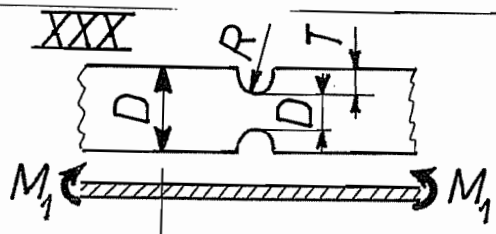
$$\text{III } \alpha_k = 1,168 + B(\sqrt{D/R} - 1,242)$$



$$\text{IV } \alpha_k = 1,190 + B(\sqrt{D/R} - 1,426)$$

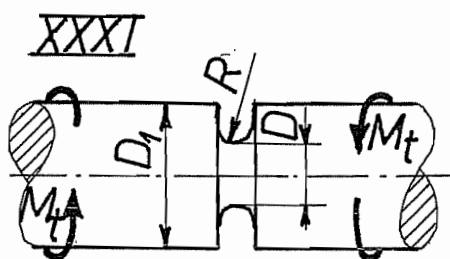
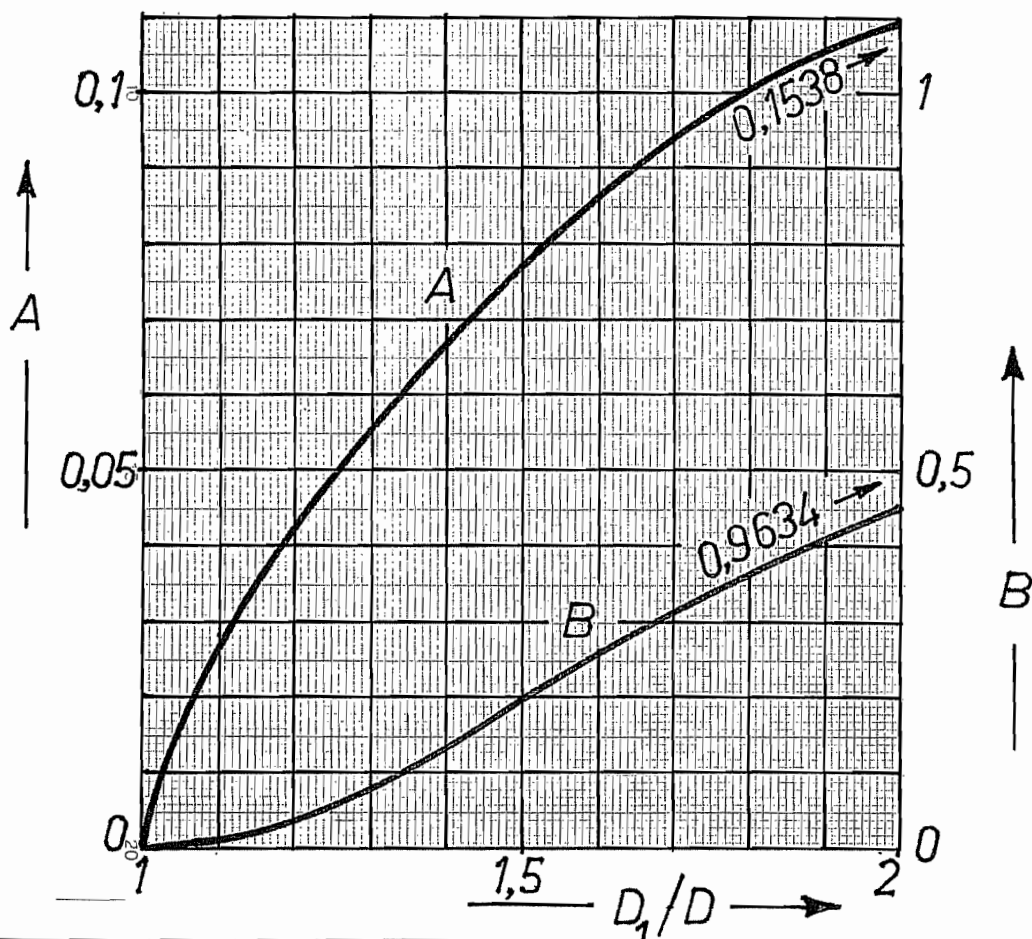
$$X \approx \frac{2}{R} + \frac{4}{D+D_1}$$





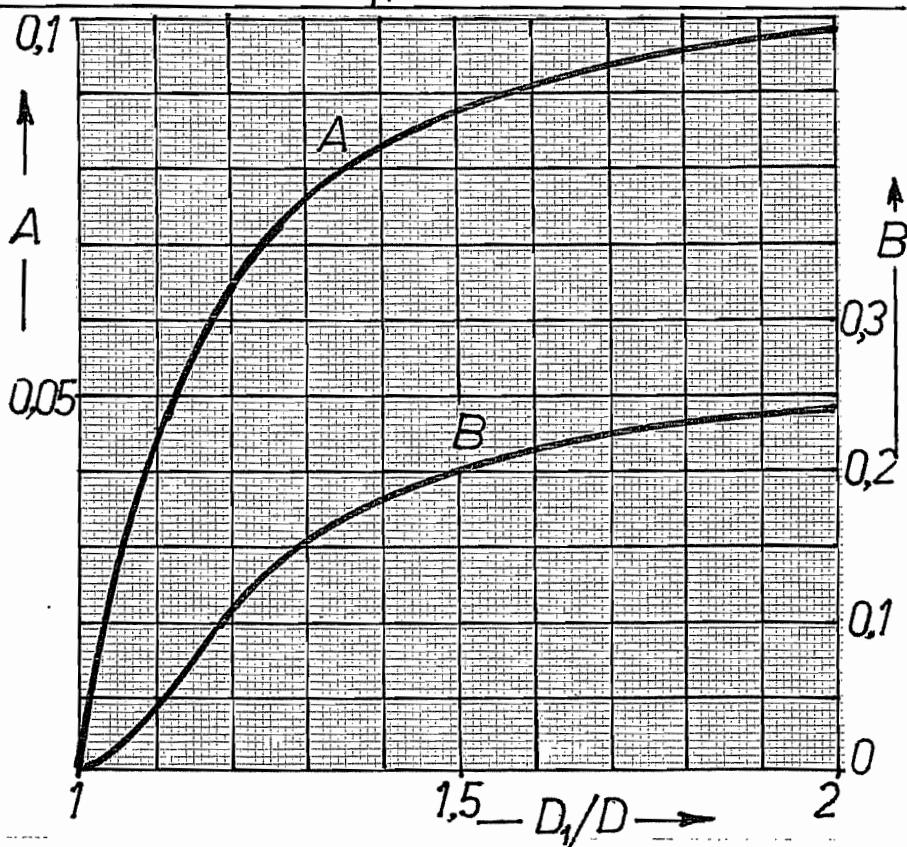
$$M_2 = 0, \quad T/h \gg$$

$$\alpha_k = 1 + \left(\sqrt{A \frac{D}{R} + B} - \sqrt{B} \right)$$



$$\alpha_k = 1 + \sqrt{A \frac{D}{R} + B} - \sqrt{B}$$

$$X \approx \frac{1}{R} + \frac{2}{D}$$



METHODE DE SIMILITUDE (ACIERS)

$$\gamma = C_1 + \frac{C_2}{\sigma_{D0} \sqrt{d}}$$

ENTAILLE	C_1	C_2 MPa.mm ^{1/2}
1. Rainure de clavette fraisée en bout, flexion $\sigma_f = \frac{M_f d/2}{I}$, $I = \frac{\pi d^3}{64} - bt \frac{(d-t)^2}{4}$ b = largeur, t = profondeur	0,2853	346,5
2. Idem, torsion $\tau_t = \frac{M_t d/2}{I_p}$, $I_p = \frac{\pi d^3}{32} - bt \frac{(d-t)^2}{4}$	0,2826	389,6
3. Emmanchement fretté, flexion	0,2373	341,4
4. Emmanchement fretté, torsion	0,4006	456,2
5. Assemblage boulonné, extension • métrique	0,08538	154,6
• Withworth	0,1202	206,6
6. Filetage sur arbre, extension • métrique	0,1446	158,4
• Withworth	0,1556	176,8
7. Filetage sur arbre, flexion • métrique	0,1436	429,9
• Withworth	0,1610	437,3
8. Cannelures en flexion $\sigma_f = M_f/W_f$, • en développante : $W_f = \frac{\pi d_{\text{prim}}^3}{32}$ • droites : $W_f = \xi \frac{\pi d_{\text{int}}^3}{32}$ avec $\xi = 9/8$: série légère 6/5 : série moyenne 5/4 : série forte	0,4508	235,3

.../...

9. Cannelures en torsion $\tau_t = \frac{M_t}{2W_f}$, voir W_f en 8.	• droites	0,2736	167,4
	• en développante	0,5578	170,4
10. Gorge à circlips, flexion		0	368,1
11. Gorge à circlips, torsion		0	449,7
12. Arbre dentelé, torsion τ_t : section brute		0,3638	283,8

Clavetage des arbres cylindriques par clavettes parallèles ordinaires

**NBN
E 27 - 702**
1^{re} édition - Mai 1972

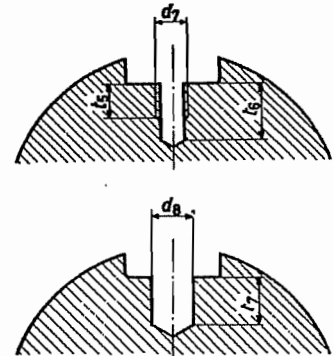
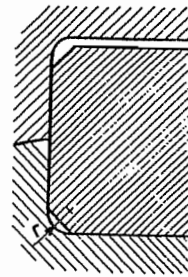
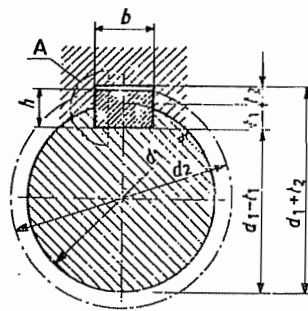
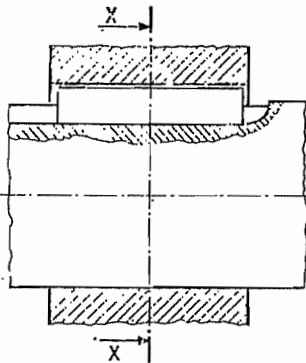
Opspiegeling van cilindrische assen door gewone vlakke inlegspleën
Mitnehmerverbindung von zylindrische Wellenenden durch Passfedern
Keyways in cylindrical shafts for parallel keys

Remplace NBN 801 (pr.)

Conforme à la Recommandation ISO/R 773 - 1969 - Clavetage par clavettes parallèles carrées ou rectangulaires.

Section XX

Détail A

Section au droit du trou
pour vis de fixationSection au droit du trou
pour goupille de fixation

Dimensions et tolérances

Dimensions en mm

Diamètre d'arbre (1)		Clavette (2)	Rainure										Trou pour vis ou goupille de fixation				
d_1			Largeur (3)		Profondeur (4)				Arrondi		d_2 (5)	d_7 (6)	t_5	t_6	d_8	t_7	
					t_1		t_2		r								
au-dessus de	jusqu'à	nom.	tol.	(arbre)	(moyeu)	(arbre)	(moyeu)	nom.	tol.	max.	min.						
				N9	JS9	nom.	tol.	nom.	tol.								
6	8	2 × 2	2	— 0,004	+ 0,0125	1,2		1,0		0,16	0,08	$d_1 + 2,5$	—	—	—	—	
8	10	3 × 3	3	— 0,029	— 0,0125	1,8		1,4		0,16	0,08	$d_1 + 3,5$	—	—	—	—	
10	12	4 × 4	4			2,5	+ 0,1	1,8	+ 0,1	0,16	0,08	$d_1 + 4$	—	—	—	—	
12	17	5 × 5	5	0	+ 0,0150	3,0	0	2,3	0	0,25	0,16	$d_1 + 5$	—	—	—	—	
17	22	6 × 6	6	— 0,030	— 0,0150	3,5		2,8		0,25	0,16	$d_1 + 6$	—	—	—	—	
22	30	8 × 7	8	0	+ 0,0180	4,0		3,3		0,25	0,16	$d_1 + 8$	M 3	4	7	4,5	
30	38	10 × 8	10	— 0,036	— 0,0180	5,0		3,3		0,4	0,25	$d_1 + 8$	M 3	5	8	4,5	
38	44	12 × 8	12			5,0		3,3		0,4	0,25	$d_1 + 8$	M 4	6	10	5,5	
44	50	14 × 9	14	0	+ 0,0215	5,5		3,8		0,4	0,25	$d_1 + 9$	M 5	6	10	6,5	
50	58	16 × 10	16	— 0,043	— 0,0215	6,0		4,3		0,4	0,25	$d_1 + 11$	M 5	6	10	6,5	
58	65	18 × 11	18			7,0	+ 0,2	4,4	+ 0,2	0,4	0,25	$d_1 + 11$	M 6	7	12	9	
65	75	20 × 12	20			7,5	0	4,9	0	0,6	0,4	$d_1 + 12$	M 6	6	11	9	
75	85	22 × 14	22	0	+ 0,0260	9,0		5,4		0,6	0,4	$d_1 + 14$	M 6	8	13	9	
85	95	25 × 14	25	— 0,052	— 0,0260	9,0		5,4		0,6	0,4	$d_1 + 14$	M 8	9	15	11	
95	110	28 × 16	28			10,0		6,4		0,6	0,4	$d_1 + 16$	M 10	9	15	13	
110	130	32 × 18	32			11,0		7,4		0,6	0,4	$d_1 + 18$	M 10	11	17	13	
130	150	36 × 20	36	0	+ 0,0310	12,0		8,4		1,0	0,7	$d_1 + 21$	M 12	15	22	17	
150	170	40 × 22	40	— 0,062	— 0,0310	13,0		9,4		1,0	0,7	$d_1 + 23$	M 12	13	20	17	
170	200	45 × 25	45			15,0		10,4		1,0	0,7	$d_1 + 25$	M 12	15	22	17	
200	230	50 × 28	50			17,0		11,4		1,0	0,7	$d_1 + 28$	M 12	12	19	17	
230	260	56 × 32	56			20,0	+ 0,3	12,4	+ 0,3	1,6	1,2	$d_1 + 32$	M 12	13	20	17	
260	290	63 × 32	63	0	+ 0,0370	20,0	0	12,4	0	1,6	1,2	$d_1 + 32$	M 12	13	20	17	
290	330	70 × 36	70	— 0,074	— 0,0370	22,0		14,4		1,6	1,2	$d_1 + 36$	M 16	17	24	21	
330	380	80 × 40	80			25,0		15,4		2,5	2,0	$d_1 + 40$	M 16	18	25	21	
380	440	90 × 45	90	0	+ 0,0435	28,0		17,4		2,5	2,0	$d_1 + 45$	M 20	20	28	26	
440	500	100 × 50	100	— 0,087	— 0,0435	31,0		19,5		2,5	2,0	$d_1 + 50$	M 20	20	28	26	

Voir notes page 2

Elaboré et approuvé par la
SOCIÉTÉ BELGE DES MÉCANICIENS (SBM)

rue des Drapiers 21 - 1050 Bruxelles. Tél. (02) 11.82.86

Publication autorisée par l'IBN le 15 mars 1972