

Formage à la presse

Tableaux et abaques

par **René MARTIN**

*Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes
Ancien Chef du Service Mise en forme des matériaux
au Centre Technique des Industries Mécaniques
Directeur Technique Adjoint des Forges Barriol et Dallière*

1. Angles de pliage.....	Form. B 7 511 - 2
2. Outillages	— 3
3. Caractéristiques liées aux métaux	— 7
4. Lubrifiants	— 9
5. Déterminations graphiques des caractéristiques de formage	— 11
Pour en savoir plus	Doc. B 7 512

Dans cet article, nous avons regroupé des données technologiques concernant le travail des métaux par formage à la presse.

Présenté sous forme de tableaux et d'abaques, cet article complète l'article **Formage à la presse** [B 7 510] de ce traité.

On rappelle que : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ou $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 0,1 \text{ hbar} = 0,102 \text{ kgf/mm}^2$.

1. Angles de pliage

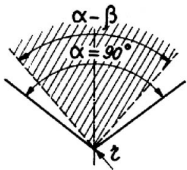
Tableau 1 – Cambrage en V : rayons d’angle de pliage recommandés pour alliages d’aluminium et de magnésium				
Matériaux		État	Épaisseur maxi (mm)	Rayon mini (mm)
Alliages d’aluminium	AlCuMg (A-U2G)	doux	2	1 à 3 e
		recuit	3	2,5 à 3 e
	AlMgSi (A-GS)	doux	1,2	0,8 à 1,2 e
		trempe	2,5	2 à 2,5 e
		recuit	3,5	2,5 à 3,5 e
	AlMg (AG 06)	doux	2	1 à 2 e
		mi-dur	3	2 à 3 e
	AlMn (A-MI)	doux	1,2	0,8 à 1,2 e
		dur	3	2 à 3 e
Alliages de magnésium		plié à froid	10	4 à 10 e
		plié à chaud	2	> 2 e
Al		doux	1	0,3 à 1 e
		dur	2	1 à 2 e

Tableau 2 – Cambrage en V : rayons d'angle de pliage recommandés pour le laiton et les tôles d'acier				
Épaisseur (mm)	Rayon minimal (mm)			
	Laiton		Tôles d'acier	
	doux	dur	qualité emboutissage (E - ES)	qualité courante (TC)
1	0,2	0,3	0,5	0,6
1,5	0,25	0,4	0,75	0,8
2	0,3	0,6	1	1,2
2,5	0,4	0,8	1,25	1,5
3	0,5	1	1,5	1,8
3,5	0,6	1,25	1,75	2,1
4	0,7	1,5	2	2,6
4,5	0,8	1,75	2,25	3

Tableau 3 – Cambrage en V : rayons d’angle de pliage recommandés pour les alliages de titane										
Alliages de titane	T 35 (recuit)	T 40 (recuit)	T 50 (recuit)	T 60 (recuit)	TA 5 E (recuit)	TU 2 (recuit)	TA 8 DV (recuit)	TA 6 V (recuit)	TA 6 V 6 E 2 (recuit)	TV 13 CA (trempé)
Rayons de pliage mini à 180° (1).....	1,5 e	1,5 e	2 e	2 e	4 e	2 e	4 e	4 e	3 e	3 e
Rayons de pliage (2).....	0,5 à 1 e	2 e	2 e	2,5 à 3 e	4 e	2 e	4 e	4 e	3 e	3 e

(1) Résultats extraits de la revue *Matériaux et Techniques*, juin 1970, p. 181.

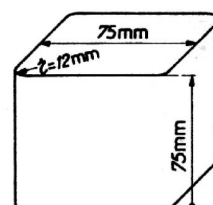
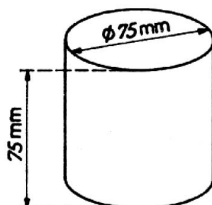
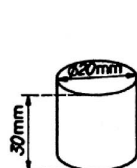
(2) Résultats extraits d’une Note technique Ugine-Kuhlmann.

Tableau 4 – Correction d'angle de pliage 90° (petits rayons)							
Matériau	Épaisseur tôle (mm)	r (mm)	Correction β (degré)	Matériau	Épaisseur tôle (mm)	r (mm)	Correction β (degré)
Acier doux	< 0,8	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	4 5 6	Bronze dur	> 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	0 1 3
Laiton (R _e = 22 hbar)..... Aluminium.....	0,8 à 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	2 3 4	Acier dur (R _e = 60 hbar)	< 0,8	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	7 9 12
Zinc	> 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	0 1 2		0,8 à 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	4 5 7
Acier demi-dur	< 0,8	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	5 6 8		> 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	2 3 5
Laiton (R _e = 35 hbar).....	0,8 à 2	< 1 e 1 e < r < 5 e > 5 e	2 3 5				

r rayon de pliage
α angle de pliage recherché
α-β angle du poinçon-correction

2. Outillages

Tableau 5 – Outillages pour emboutissage de petites pièces (circulaires et quadrangulaires)

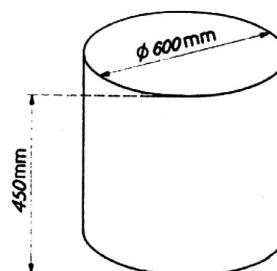
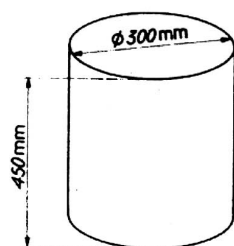


Élément de l'outillage	Matériau à emboutir	Importance de la série (nombre de pièces à réaliser)		
		10 000	100 000	1 000 000
	Aluminium Cuivre Laiton	Y 105 Y 120 90 MCW 5 90 MV 8	90 MCW 5 90 MV 8 Z 100 CDV 5 (1)	Z 100 CDV 5 (1) Z 160 CDV 12
	Acier doux	Y 105 Y 120 90 MV 8	90 MV 8 90 MCW 5 Z 100 CDV 5 (1)	Z 100 CDV 5 (1) Z 160 CDV 12 Z 200 CD 12
	Acier inoxydable	Y 105 ou Y 120 chromé dur Bronze d'aluminium	Z 100 CDV 5 (1) nitruré Bronze d'aluminium	Z 200 CD 12 Z 160 CDV 12
	(2)	35 CD 4 cimenté Y 105 ou Y 120	Y 105 ou Y 120 55 WC 20 cimenté	Z 100 CDV 5 (1) Z 160 CDV 12
	(2)		90 MCW 5 90 MV 8 Y 105 ou Y 120	

(1) L'acier Z 100 CDV 5 est actuellement peu commercialisé en France.

(2) Outillage indépendant du métal à emboutir.

Tableau 6 – Outillages pour emboutissage de grandes pièces circulaires

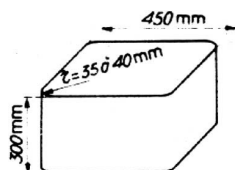


Élément de l'outillage	Matériau à emboutir	Importance de la série (nombre de pièces à réaliser)		
		10 000	100 000	1 000 000
	Aluminium Cuivre Laiton Acier doux	Fonte alliée (trempe superficielle)	Fonte alliée (trempe superficielle) sans ou avec inserts Z 100 CDV 5 (1)	Fonte alliée (trempe superficielle) avec inserts : Z 100 CDV 5 (1) ou Z 160 CDV 12
	Acier inoxydable	Fonte alliée (trempe superficielle) 420 HB maxi) Insert bronze aluminium	Inserts Z 100 CDV 5 (1) ou bronze d'aluminium dans fonte alliée (trempe superficielle)	Fonte alliée (trempe superficielle) inserts nitrurés Z 100 CDV 5 (1) ou Z 160 CDV 12
	(2)	Fonte alliée (trempe ou non)	(A) 90 MV 8 (B) Fonte alliée	(A) Z 100 CDV 5 (1) Z 200 CD 12 Z 160 CDV 12 (B) Fonte alliée
	(2)	Fonte alliée (trempe ou non)	Fonte alliée trempe dans la masse ou superficiellement selon le volume du serre-flan	Z 200 CD 12 Z 100 CDV 5 (1) Z 160 CDV 12

(1) L'acier Z 100 CDV 5 est actuellement peu commercialisé en France.

(2) Outillage indépendant du métal à emboutir.

Tableau 7 – Outillages pour emboutissage de pièces quadrangulaires



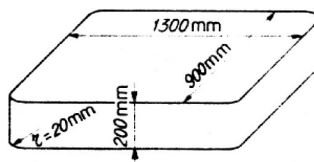
Élément de l'outillage	Matériau à emboutir	Importance de la série (nombre de pièces à réaliser)		
		10 000	100 000	1 000 000
 <u>(1)</u>	Aluminium Cuivre Laiton	Y 105 Y 120	90 MCW 5 90 MV 8 Z 100 CDV 5 <u>(2)</u>	Z 100 CDV 5 <u>(2)</u> Z 160 CDV 12 Z 200 CD 12
	Acier doux	Y 105 Y 120	90 MCW 5 90 MV 8 Z 100 CDV 5 <u>(2)</u>	Z 100 CDV 5 <u>(2)</u> Z 160 CDV 12 (nitrurés ou non)
	Acier inoxydable	Y 105 Y 120 Bronze d'aluminium	Z 200 CD 12 Z 100 CDV 5 <u>(2)</u> (nitrurés) Bronze d'aluminium	Z 200 CD 12 Z 100 CDV 5 <u>(2)</u> Z 160 CDV 12 (nitrurés)
 <u>(3)</u>		35 CD 4 cémenté	Y 105 Y 120 90 MV 8 90 MCW 5	Z 200 CD 12 Z 160 CDV 12
 <u>(3)</u>		Fonte alliée pas nécessairement trempée	Y 105 Y 120 90 MV 8 90 MCW 5	90 MCW 5 90 MV 8

(1) Pour alliages d'aluminium de cuivre et pour l'acier doux : inserts de coins. Pour aciers inoxydables : inserts sur toutes parties frottantes.

(2) L'acier Z 100 CDV 5 est actuellement peu commercialisé en France.

(3) Outillage indépendant du métal à emboutir.

Tableau 8 – Outillages pour emboutissage de grandes pièces



Élément de l'outillage	Matériau à emboutir	Importance de la série (nombre de pièces à réaliser)		
		10 000	100 000	1 000 000
	Aluminium Cuivre Laiton	Fonte alliée trempée superficiellement sur toutes les parties d'usure	Fonte alliée trempée superficiellement sur toutes les parties d'usure avec ou sans inserts (Z 100 CDV 5 (1) ou 90 MV 8)	Inserts : Z 100 CDV 5 (1) ou Z 160 CDV 12 nitrurés avec fonte alliée trempée superficiellement
	Acier doux			
	Acier inoxydable	Fonte alliée trempée superficiellement (400 HB maxi) Insert bronze d'aluminium sur fonte alliée trempée superficiellement	Fonte alliée trempée superficiellement avec inserts Z 100 CDV 5 (1) nitruré Bronze d'aluminium	
	(2)	35 CD 4 cémenté Y 105 - Y 120	Y 105 - Y 120 90 MV 8 90 MCW 5	Z 100 CDV 5 (1) Z 160 CDV 12 (nitrurés)
	(2)	Fonte alliée (trempe superficielle non nécessaire)	Y 105 Y 120 90 MV 8 90 MCW 5	90 MV 8 90 MCW 5 Z 100 CDV 5 (1)

(1) L'acier Z 100 CDV 5 est actuellement peu commercialisé en France.

(2) Outillage indépendant du métal à emboutir.

3. Caractéristiques liées aux métaux

Tableau 9 – Aciers recommandés pour étirage de métaux tendres (jusqu'à 75 HRB)

Taux de réduction (%)	Élément de l'outillage	Importance de la série (nombre de pièces à réaliser)			
		1 000	10 000	100 000	1 000 000
Jusqu'à 25		Y 105 Y 120	90 MCW 5 90 MV 8	Z 100 CDV 5 (1)	Z 100 CDV 5 (1) 55 WC 20 cimenté
		Y 105 Y 120	90 MCW 5 90 MV 8	90 MCW 5 90 MV 8	Z 160 CDV 12
25 à 35		Y 105 Y 120	Z 100 CDV 5 (1)	Z 100 CDV 5 (1) 55 WC 20 cimenté	Z 160 CDV 12
		Y 105 Y 120	90 MCW 5 90 MV 8	Z 160 CDV 12	Z 160 CDV 12
35 à 50		Z 100 CDV 5 (1)	Z 100 CDV 5 (1) 55 WC 20 cimenté	Z 160 CDV 12	Z 160 CDV 12
		90 MCW 5 90 MV 8	Z 160 CDV 12		
≥ 50		Z 160 CDV 12	Z 160 CDV 12		
		Z 160 CDV 12	Z 160 CDV 12		

(1) L'acier Z 100 CDV 5 est actuellement peu commercialisé en France.

Tableau 10 – Formules permettant le calcul du diamètre du flan D

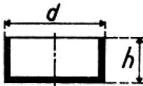

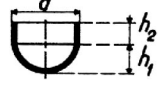
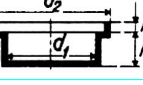
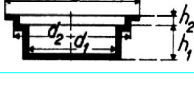

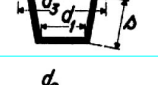

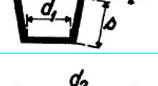
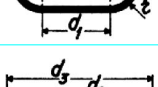
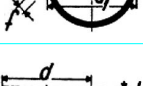
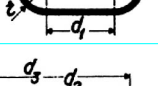
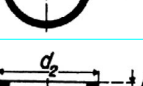
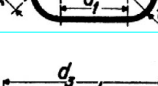

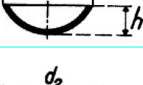

Forme des pièces	Diamètre du flan D	Forme des pièces	Diamètre du flan D
	$\sqrt{d^2 + 4dh}$		$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1h_2)}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$		$\sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + dh_2)}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$		$\sqrt{d_1^2 + 4h^2 + 2f(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_3^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$		$\sqrt{d_1^2 + 4(h_1^2 + d_1h_2 + (f/2)(d_1 + d_2))}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$		$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2) + 2f(d_2 + d_3)}$		$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{2d^2} = 1,414d$		$\sqrt{d_1^2 + 2[s(d_1 + d_2) + 2d_2h]}$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$		$\sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2}$ ou $\sqrt{d_2^2 + 2,28rd_2 - 0,56r^2}$
	$1,414\sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$		$\sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2}$ ou $\sqrt{d_3^2 + 2,28rd_2 - 0,56r^2}$
	$1,414\sqrt{d^2 + 2dh}$		$\sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2h + d_3^2 - d_2^2}$ ou $\sqrt{d_3^2 + 4d_2(0,57r + h) - 0,56r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$		$\sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 2f(d_2 + d_3)}$ ou $\sqrt{d_2^2 + 2,28rd_2 + 2f(d_2 + d_3) - 0,56r^2}$
	$1,414\sqrt{d_1^2 + 2d_1h + f(d_1 + d_2)}$		$\sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2h + 2f(d_2 + d_3)}$ ou $\sqrt{d_2^2 + 4d_2[0,57r + h + (f/2)] + 2d_3f - 0,56r^2}$
	$\sqrt{d^2 + 4h^2}$		$\sqrt{d_1^2 + 4(1,57rd_1 + 2r^2 + hd_2)}$ ou $\sqrt{d_2^2 + 4d_2(h + 0,57r) - 0,56r^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$		

Tableau 11 – Pression de serre-flan p en fonction des métaux travaillés

Matériau	p (bar)
Acier doux.....	25 à 30
Laiton.....	20
Cuivre.....	15
Aciers inoxydables.....	70
Aluminium.....	12

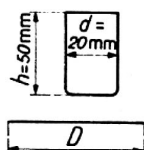
Tableau 12 – Valeur du coefficient X dans le calcul de l'énergie d'emboutissage

d/D	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
X	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67

Tableau 13 – Coefficients de réduction m à appliquer suivant les métaux

Matériau	Coefficient de réduction m		
	1 ^{re} passe $m_1 = d_1/D$	2 ^e passe $m_2 = d_2/d_1$	3 ^e passe $m_3 = d_3/d_2$
E S.....	0,55	0,70	0,80
T C.....	0,60	0,80	0,90
Inox.....	0,60	0,80	0,80
Inox.....	0,65	0,80	0,80
Aluminium.....	0,58	0,70 à 0,75	0,80 à 0,85
Cuivre.....	0,58	0,85	0,85
Laiton.....	0,52	0,70 à 0,72	0,75 à 0,80

Exemple : Embouti laiton



D'après le tableau 10 :

$$D = \sqrt{4dh + d^2} = 66 \text{ mm}$$

d'où $m_t = 0,30$

$$\begin{aligned} d_1 &= D \times 0,52 \approx 34 \text{ mm} & 1^{\text{re}} \text{ passe} \\ d_2 &= d_1 \times 0,70 = 24 \text{ mm} & 2^{\text{e}} \text{ passe} \\ d_3 &= d_2 \times 0,80 \approx 19 \text{ mm} & 3^{\text{e}} \text{ passe } \varnothing 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tableau 14 – Rapport d'emboutissage des coins suivant métaux et méthode utilisés [22]

Matériau	Rapport d'emboutissage q des coins	
	Méthode galbée	Méthode droite
Laiton.....	0,31	0,37
Adx.....	0,36	0,43
Al.....	0,33	0,40
Inox.....	0,40	0,48

Tableau 15 – Recuit de recristallisation : température en fonction du matériau

Matériau	Température (°C)
Acier.....	600 à 720
Inox austénitique.....	1 000 à 1 100 (hypertrempé)
Inox ferritique.....	720 à 800
UZ 33.....	550 à 580
UZ 40.....	550 à 580
AU4G.....	350 à 370
A4 - A9.....	350 à 370

4. Lubrifiants

Tableau 16 – Lubrifiants (solubles ou émulsionnés dans l'eau) couramment utilisés dans le formage des aciers bas carbone [12]

Type de lubrifiant % sévérité	Aptitude au nettoyage		Pouvoir anti- oxydant
	Lessives alcalines	Dégraissants et solvants	
<i>Faible sévérité</i> ($m = 0,90$)			
Huile soluble ou cire, de 5 à 20 %.....	Excellent	Bon	Passable
<i>Sévérité moyenne</i> ($m = 0,80$)			
Savons, de 5 à 20 %.....	Excellent	Très mauvais	Passable
Huiles solubles haute pression (additifs chlorés et soufrés).....	Excellent	Bon	Passable
<i>Grande sévérité</i> ($m = 0,70$)			
Pâte de savons gras (peuvent contenir de la cire).....	Passable	Mauvais	Passable
Huiles solubles haute pression (additifs chlorés et soufrés).....	Excellent	Bon	Très mauvais
<i>Très grande sévérité</i> ($m = 0,60$)			
Savons gras avec charges solides.....	Mauvais	Très mauvais	Bon
Savons secs ou cires, peuvent contenir des additifs solubles.....	Bon	Très mauvais	Bon

Tableau 17 – Lubrifiants à base d’huiles [12]

Type de lubrifiant % sévérité	Aptitude au nettoyage		Protection contre la corrosion
	Lessives alcalines	Dégraissants ou solvants	
<i>Faible sévérité (m = 0,90)</i>			
Huile de laminoir (v = 20 cSt)	Bon	Excellent	Passable
Huile minérale (v = 4 à 60 cSt)	Bon	Excellent	Passable
Huile évaporable	Pas de nettoyage		
<i>Sévérité moyenne (m = 0,80)</i>			
Huile minérale (v = 20 à 60 cSt) + 10 à 30 % d’huiles grasses (animales ou végétales)	Bon	Excellent	Passable
Huile minérale + 2 à 20 % d’huile haute pression (chlorée ou soufrée)	Bon	Bon	Mauvais
<i>Grande sévérité (m = 0,70)</i>			
Huiles grasses (animales ou végétales)	Bon	Bon	Bon
Huiles minérales (200 à 60 cSt) + 5 à 50 % d’huile chlorée :			
– non émulsifiable	Mauvais	Bon	Très mauvais
– émulsifiable	Bon	Bon	Très mauvais
Huiles phosphatées	Passable	Passable	Passable
<i>Très grande sévérité (m = 0,60)</i>			
Mélange de savons gras chargés avec huile minérale	Mauvais	Mauvais	Passable
Huiles sulfochlorées concentrées avec :			
– huile grasse émulsifiable	Bon	Passable	Mauvais
– huile grasse non émulsifiable	Très mauvais	Passable	Mauvais
Huiles sulfochlorées :			
– non émulsifiable	Très mauvais	Passable	Très mauvais
– émulsifiable	Bon	Passable	Très mauvais

Tableau 18 – Lubrifiants employés pour formage de l’acier inoxydable (1) [12]

Lubrifiants	Emboutissage moyen	Emboutissage profond
– Huiles grasses et mélanges (2)	Passable	Passable
– Pâtes de savon gras (3)	Passable	Bon
– Pâtes à base de cire (3)	Bon	Bon
– Émulsions extrême pression (4)	Bon	Bon
– Film sec (cire, savon + borax)	Bon	Bon
– Pâtes pigmentées (3) (5)	Excellent	Excellent
– Huiles soufrées ou sulfochlorées (6)	Bon	Passable
– Huiles chlorées ou cires (7)		
Type haute viscosité (8)	Excellent	Excellent
Type basse viscosité (9)	Excellent	Bon
– Graphite ou bisulfure de molybdène	Bon (10)	

(1) Le classement considère la facilité d’élimination et autres facteurs.

(2) Type végétal ou animal. L’huile minérale est employée pour mélange.

(3) Peut être diluée dans l’eau.

(4) Émulsion d’huile soluble contenant haute concentration de EP composé de soufre ou de chlore.

(5) La craie est communément employée parmi d’autres.

(6) Type EP ; peut contenir huile minérale ou grasse.

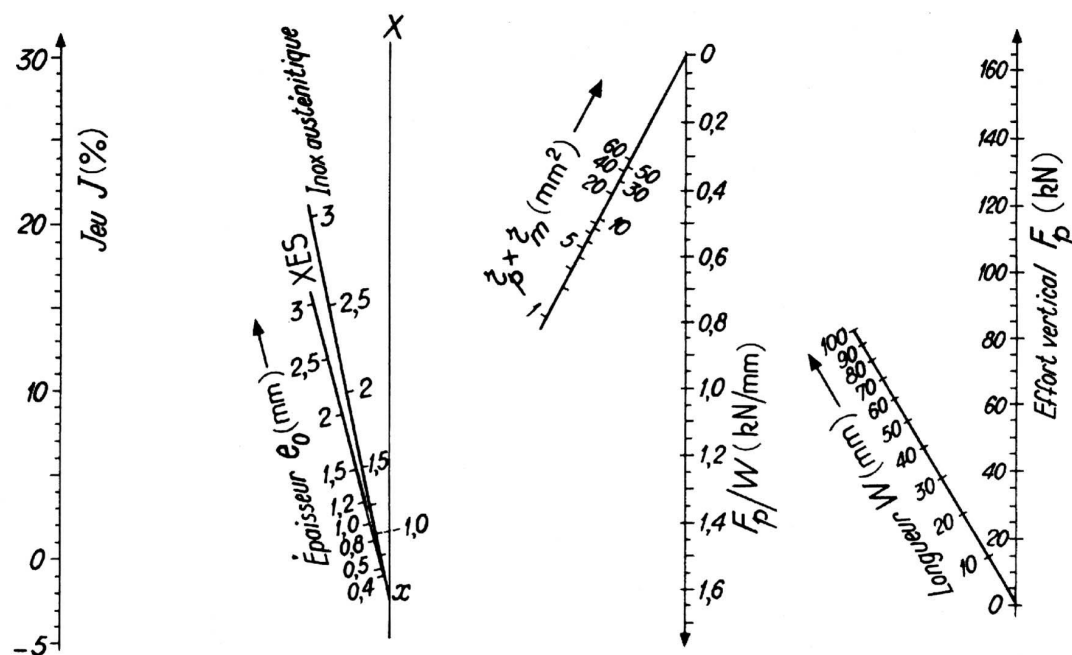
(7) Huile minérale chlorée EP ou cires ; peut contenir émulsifiant pour faciliter élimination dans lessives.

(8) Viscosité de 800 à 3 900 cSt.

(9) Viscosité de 40 à 200 cSt (influencée par le produit de base, le % de chlore et les éléments d’addition).

(10) Pour formage à chaud seulement.

5. Déterminations graphiques des caractéristiques de formage



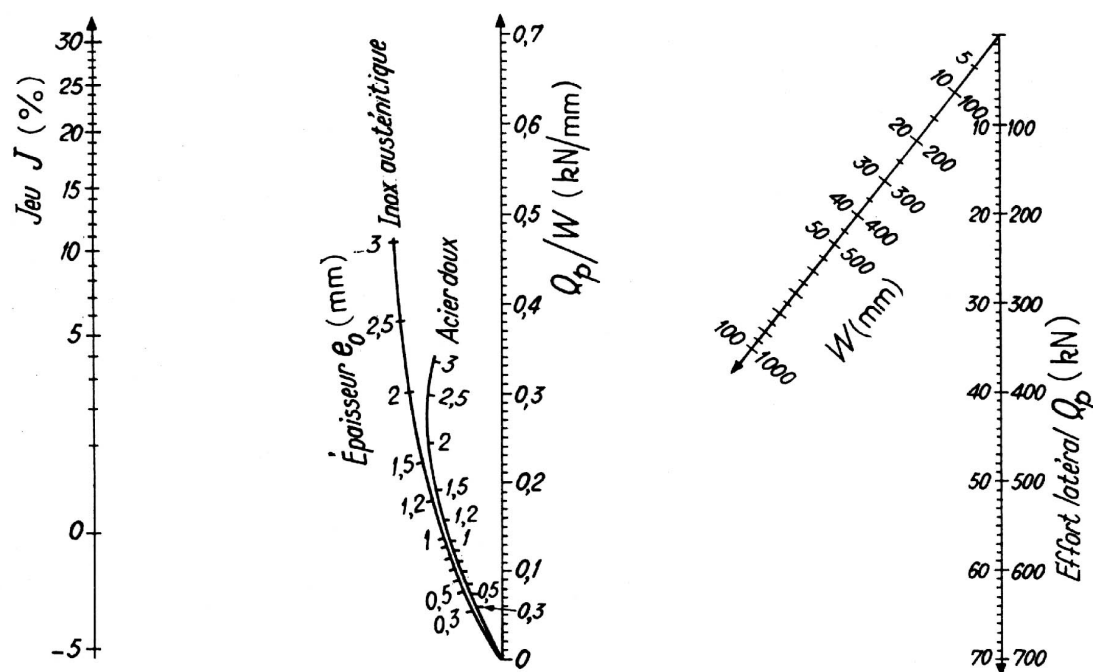
Utilisation de l'abaque (celui-ci n'étant valable que pour $-5\% \leq J \leq 30\%$). On calcule d'abord le jeu relatif J en % : $J = \frac{t - e_0}{t} \times 100$.

On trace la droite (J, e_0) , e_0 étant pris sur la courbe qui correspond au type de tôle utilisée (acier doux ou inoxydable austénitique). Cette droite coupe la droite X en x . On calcule ensuite le produit $r_p \times r_m$. On trace la droite $(x, r_p r_m)$ qui coupe l'échelle F_p/W en un point qui donne la valeur de l'effort vertical par unité de longueur pliée (kN/mm).

On trace la droite $(F_p/W, W)$ qui coupe l'échelle F_p et donne la valeur de l'effort vertical cherché en kN.

Nota. — Si la longueur pliée est supérieure à 100 mm, il suffit de multiplier les deux dernières échelles W et F_p par la puissance de 10 nécessaire.

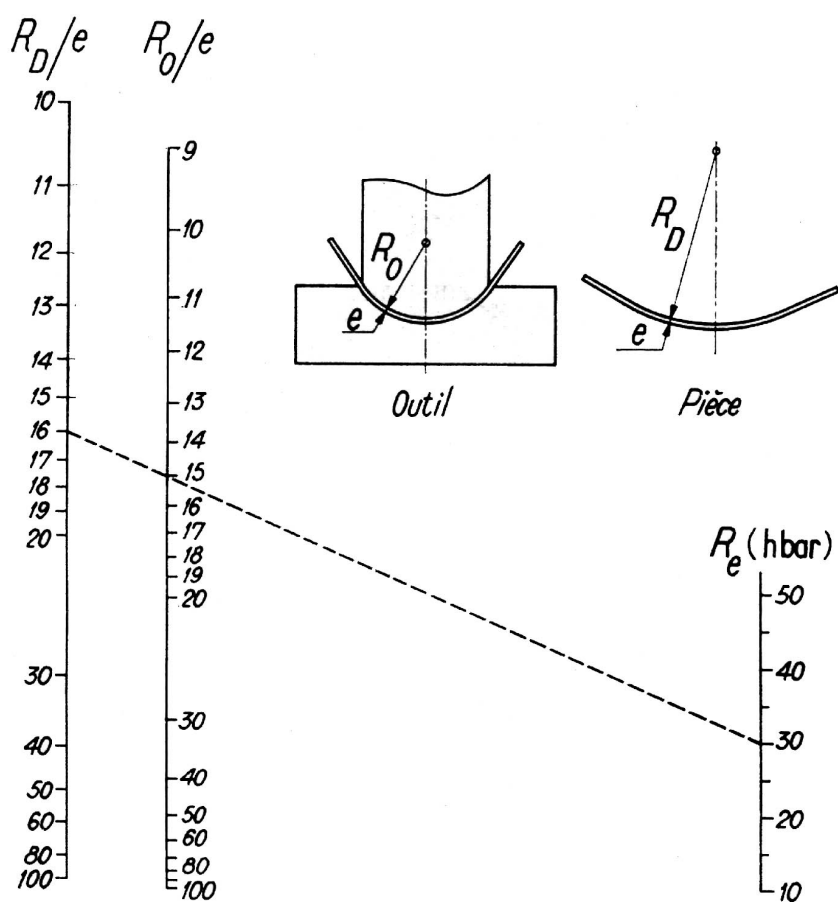
Figure 1 – Effort vertical maximal de pliage F_p , en U avec jeu



Utilisation de l'abaque (celui-ci n'étant valable que pour $-5\% \leq J \leq 30\%$). On calcule le jeu relatif J en % : $J = \frac{t - e_0}{t} \times 100$.

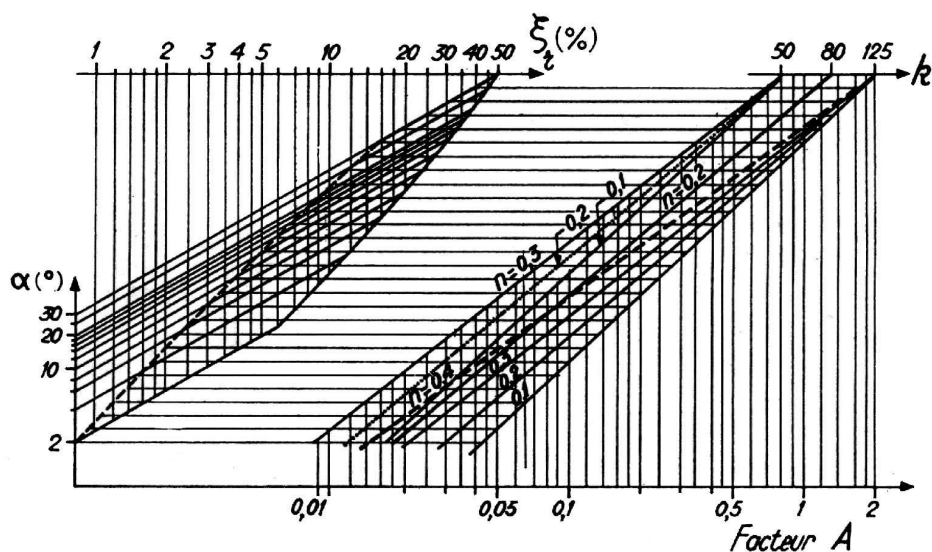
On trace la droite (J, e_0) , e_0 étant pris sur la courbe correspondant à l'acier utilisé. Cette droite coupe Q_p/W en un point définissant la valeur de l'effort latéral maximal par unité de longueur pliée (en kN/mm). On trace la droite $(Q_p/W, W)$ qui coupe l'échelle Q_p à la valeur de l'effort latéral maximal.

Figure 2 – Effort latéral maximal de pliage Q_p , en U avec jeu



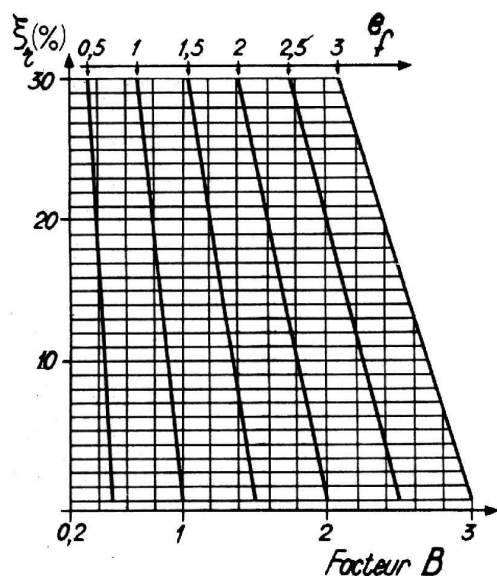
Exemple : $\frac{R_D}{e} = 16$, $R_e = 30$ hbar
 D'où $\frac{R_o}{e} = 15$

Figure 3 - Détermination des rayons de cambrage de l'outillage (grands rayons, acier : $E = 2,1 \times 10^4$ hbar)

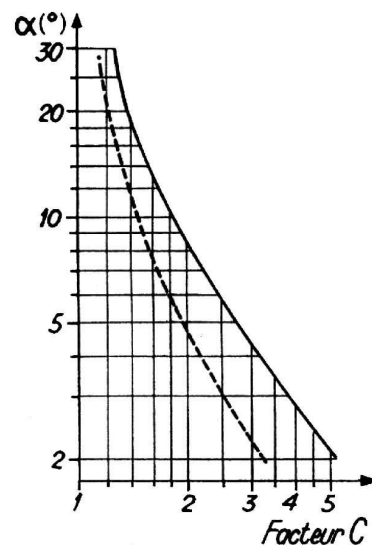


Ⓐ détermination du facteur A :

..... acier doux
 ----- acier inoxydable austénitique
 ————— acier inoxydable ferritique



Ⓑ détermination du facteur B
 e exprimé en mm



Ⓒ détermination du facteur C

--- matrice à angle d'attaque
 — matrice à rayon d'attaque

Exemples :

- Matrice à angle d'attaque $F_t = A \times B \times C \times W$ (en kN)

Déterminer les efforts de sollicitation d'un outillage lors du pliage d'un flan en acier doux XES de 100 mm de longueur et 2 mm d'épaisseur.

Paramètres de l'outillage :

$$\alpha = 9^\circ; e_f = 1,8 \text{ mm}$$

Le taux de réduction est égal à :

$$\xi_r = \frac{e_0 - e_f}{e_0} \times 100 = 10\%$$

d'où $A = 0,14$ (fig. 4 a)

$B = 1,8$ (fig. 4 b)

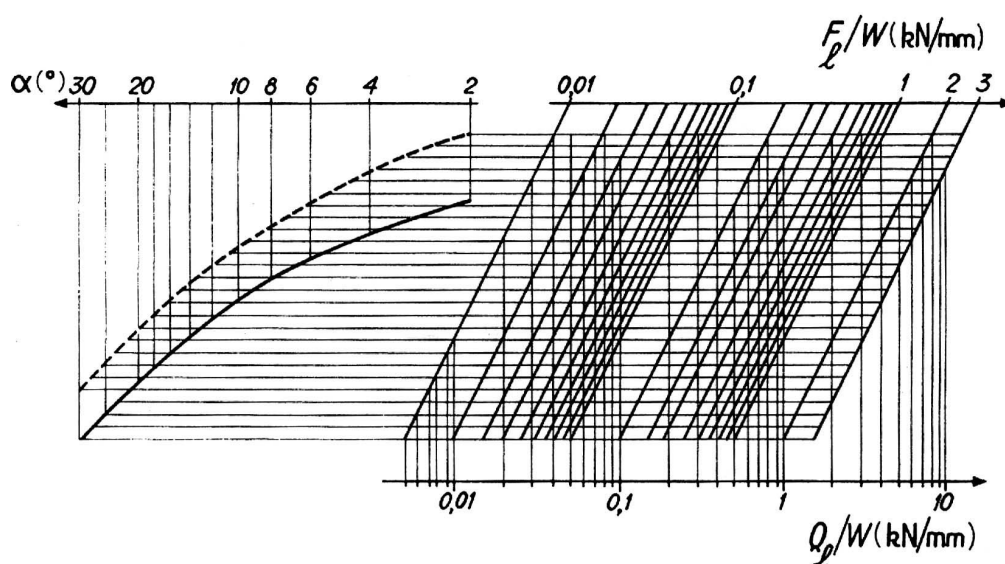
$C = 1,5$ (fig. 4 c)

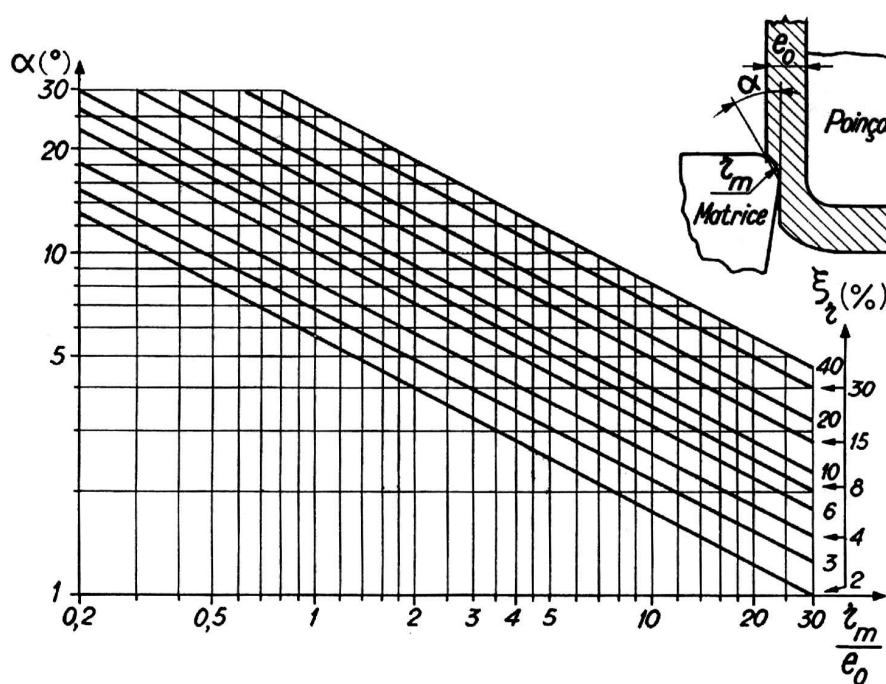
$$F_t = 0,14 \times 1,8 \times 1,5 \times 100 \approx 38 \text{ kN}$$

$$Q_t/W = 0,7 \text{ (fig. 4 d)}$$

$$\text{d'où } Q_t = 0,7 \times 100 = 70 \text{ kN}$$

Figure 4 - Pliage en U avec étréage


 d) détermination du rapport Q_t/W

 --- matrice à angle d'attaque
 — matrice à rayon d'attaque

 e) détermination de l'angle d'attaque α de la matrice à rayon d'attaque

• Matrice à rayon d'attaque

Déterminer les efforts de sollicitation d'un outillage lors du pliage d'un flan en acier doux XES de 100 mm de longueur et 2 mm d'épaisseur.

Paramètres de l'outillage :

$$r_m = 4 \text{ mm}; e_f = 1,8 \text{ mm}$$

On calcule le taux de réduction :

$$\xi_r = \frac{e_0 - e_f}{e_0} \times 100 = 10 \%$$

d'où $\alpha = 9^\circ$ (fig. 4 e)

$A = 0,14$ (fig. 4 a)

$B = 1,8$ (fig. 4 b)

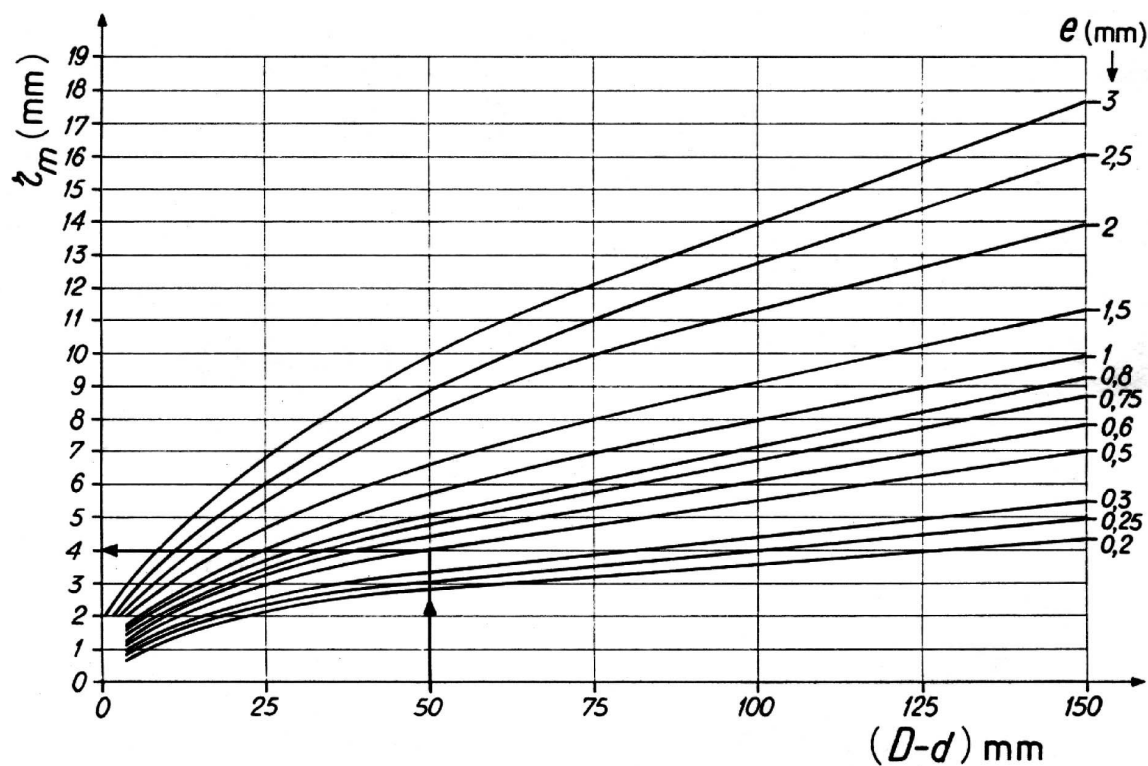
$C = 1,95$ (fig. 4 c)

$F_t = 0,14 \times 1,8 \times 1,95 \times 100 \approx 49 \text{ kN}$

$Q_t/W = 0,7$ (fig. 4 d)

d'où $Q_t = 0,7 \times 100 = 70 \text{ kN}$

Figure 4 – Pliage en U avec étirage (suite)



D diamètre du flan

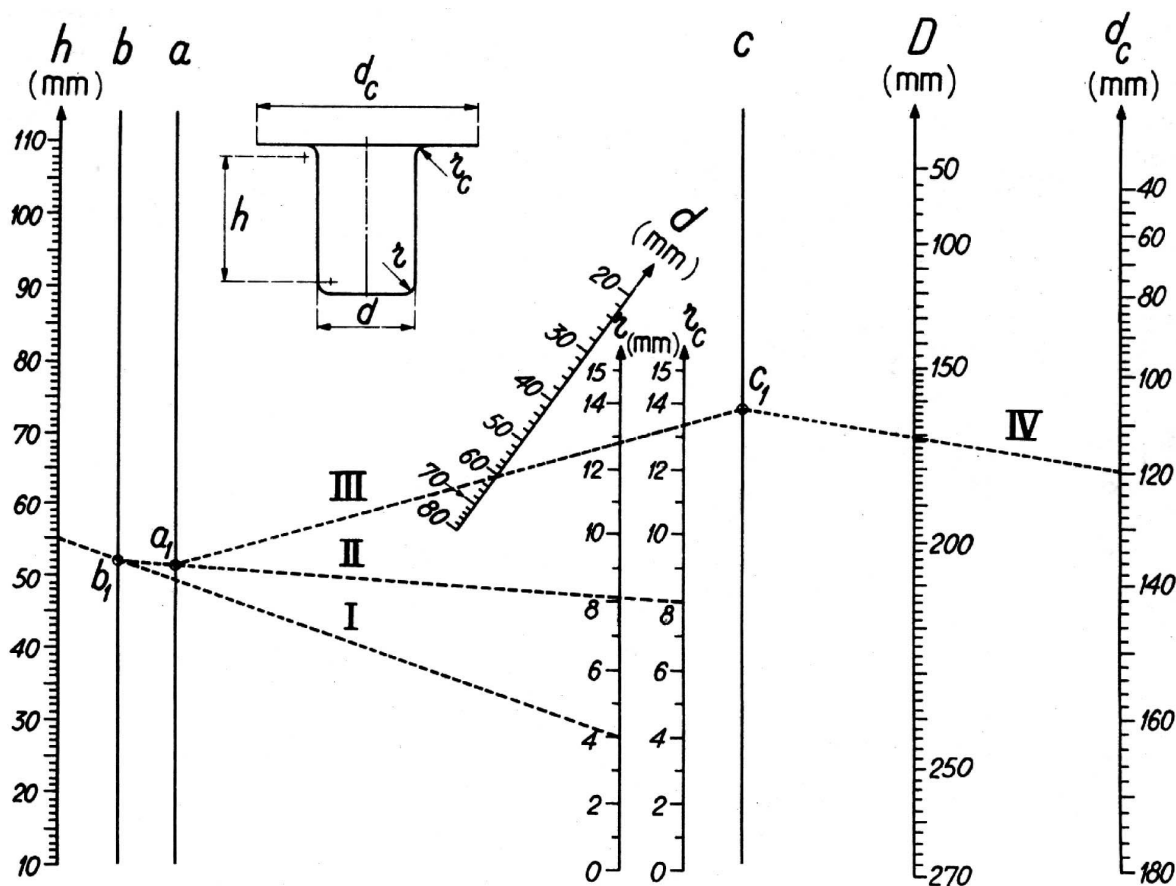
d diamètre du poinçon

Les valeurs indiquées sont valables pour les métaux ferreux et les alliages de cuivre ; pour les métaux légers, elles doivent être majorées de 10 % environ.

Exemple d'application:

$D = 120$ mm ; $d = 70$ mm ; $e = 0,5$ mm d'où, $r_m = 4$ mm.

Figure 5 – Détermination des rayons de matrice r_m



Exemple d'application

Données : $h = 55$ mm, $r = 4$ mm, $r_c = 5$ mm, $d = 60$ mm, $d_c = 120$ mm

Résultats : $h = 55$ mm, $r = 4$ mm → droite I qui coupe b en b_1
 b_1 , $r_c = 8$ mm → droite II qui coupe a en a_1
 a_1 , $d = 60$ mm → droite III qui coupe c en c_1
 c_1 , $d_c = 120$ mm → droite IV
 d'où $D = 170$ mm

Figure 6 – Emboutissage cylindrique. Recherche du diamètre D du flan (pièces cylindriques avec collerette)

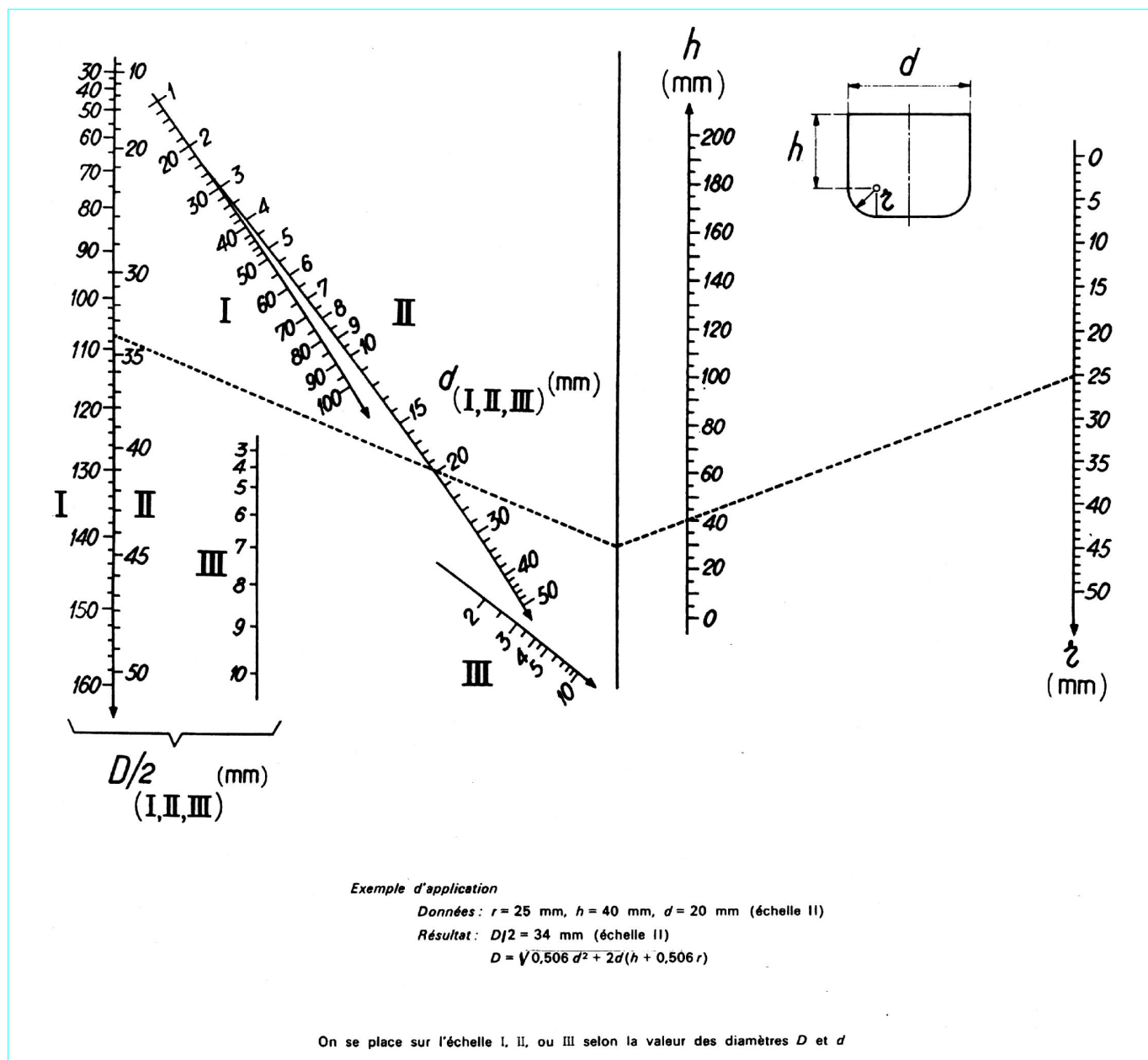
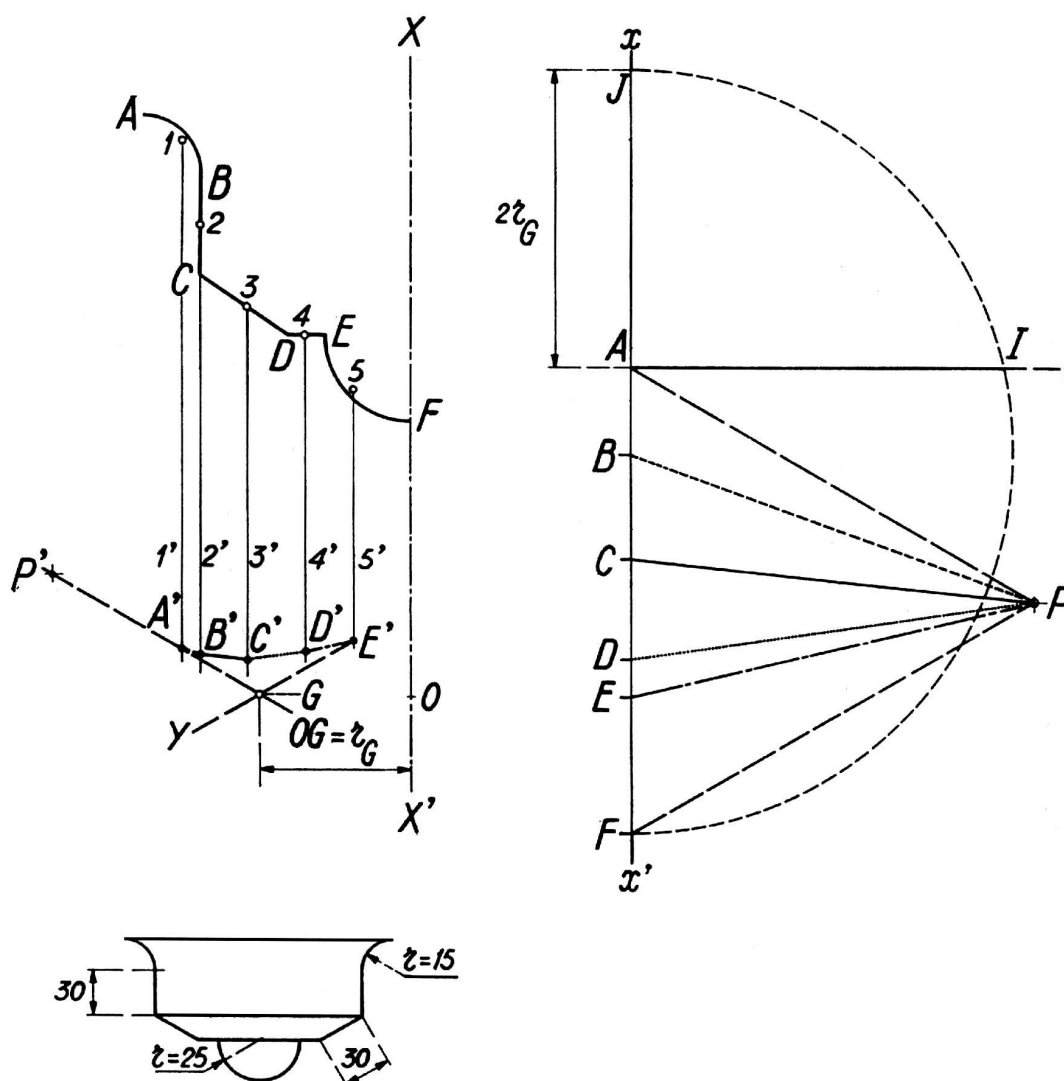


Figure 7 - Emboutissage cylindrique. Recherche du diamètre D du flan (pièces sans collerette)



Exemple d'application

- Tracer le demi-profil de la pièce (les cotes de celle-ci sont données en mm).
- Situer les centres de gravités (1, 2, 3, ...) de chacun des éléments simples composant le profil (AB, BC, CD, ...).
- Mener par ces points des parallèles à l'axe XX' : 1-1'; 2-2'; 3-3'; ...
- Tracer, hors de la pièce, une parallèle xx' à l'axe XX' et, à partir d'un point A, les longueurs développées de chaque élément (AB élément 1, BC élément 2, ...).
- D'un point P quelconque, joindre PA, PB, ... (pour augmenter la précision, P doit être le plus éloigné possible de xx').
- D'un point P' quelconque hors du profil de la pièce, mener P'A' parallèle à PA (A' intersection avec droite 1-1'), puis A'B' parallèle à PB (B' intersection avec 2-2'), etc.

Le centre de gravité G est situé à l'intersection de P'A' et E'Y (E'Y étant parallèle à PF).

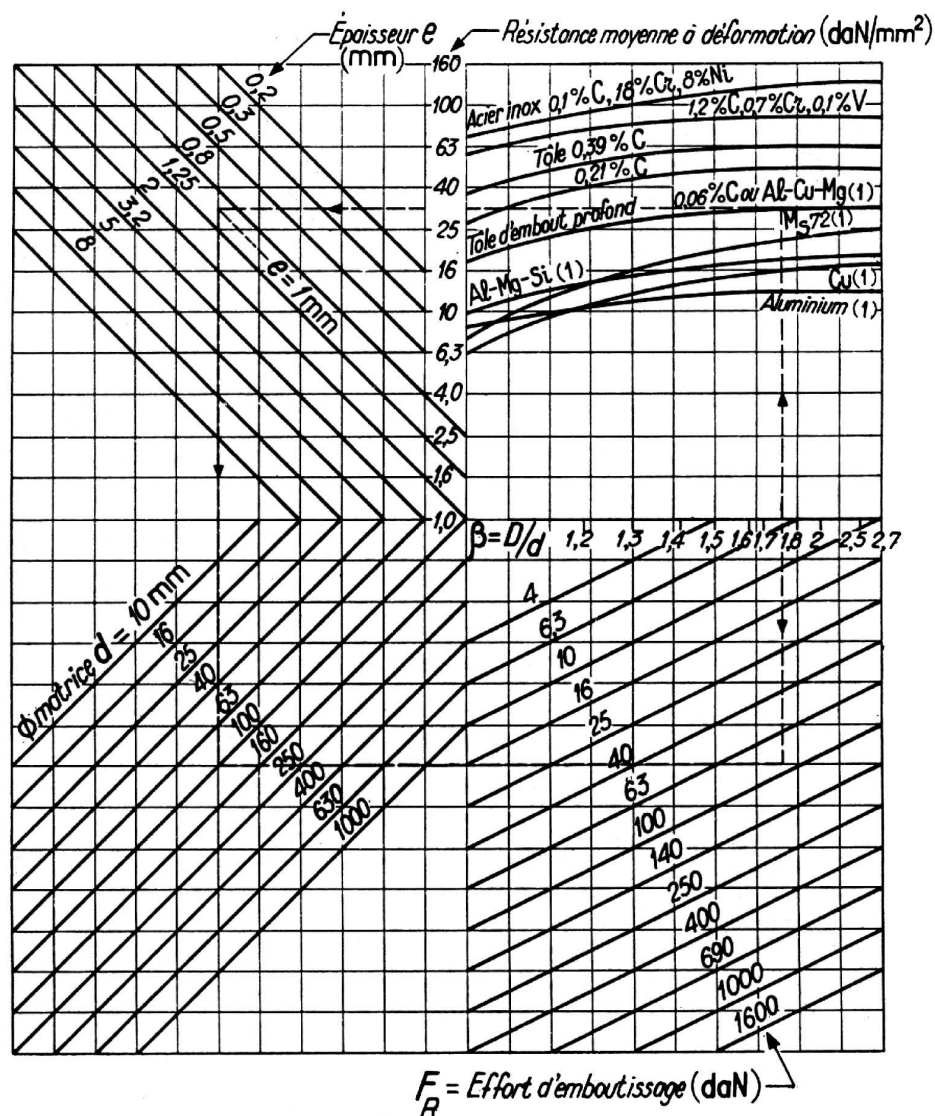
— Du point A sur xx' , on porte $AJ = 2r_G$; on trace le cercle de diamètre JF et la perpendiculaire en A qui coupe le cercle en I. La grandeur AI est le rayon du flan.

— On peut également, lorsque r_G est déterminé, arrêter là la construction graphique et terminer par un calcul

$$D = 2,83 \sqrt{r_G \cdot AF}$$

avec D diamètre du flan.

Figure 8 – Détermination du diamètre D du flan par la méthode du polygone funiculaire



(1) Recuit d'adoucissement

Exemple d'application.

Données : tôle pour emboutissage profond ; $\beta = D/d = 1,75$; $e = 1 \text{ mm}$;
 $d = 100 \text{ mm}$.

Résultat : $F \approx 95 \text{ daN}$ (9,5 tf).

Quelques correspondances :

acier inox 0,1% C, 18% Cr, 8% Ni \rightarrow type 18-10
 tôle 0,39% C \rightarrow XC 38
 tôle 0,21% C \rightarrow A 37 - A 42
 AlCuMg \rightarrow AU2G
 MS72 \rightarrow laiton type UZ30
 AlMgSi \rightarrow type AGS

Figure 9 – Effort d'emboutissage : cas d'un emboutissage cylindrique

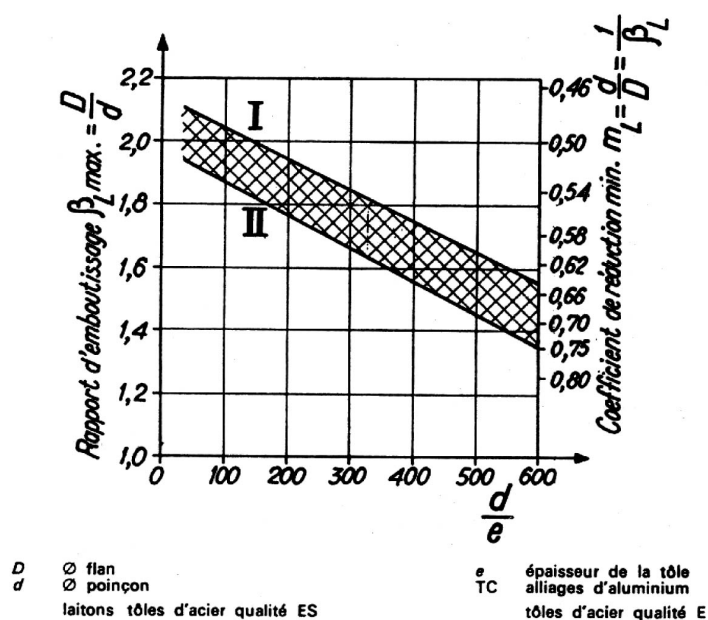


Figure 10 – Rapport limite β_L pour emboutissage en une seule passe

Liste des mots clés

Formage [\[Form. B 7 511\]](#)

Situation de l'article

N° de traité : 153

N° de rubrique : 48

N° de sous-rubrique : 1

N° de volume :

N° de la fiche doc : B7512doc