

LIMITE DE PLIAGE DES TUBES

Maurice Duval ing. Ph.D.
CQRDA

Le pliage de l'aluminium est un procédé fréquemment utilisé pour la fabrication de produits. Il s'agit, à première vue, d'un procédé relativement simple. Cependant, des règles strictes doivent être suivies sur le plan des rayons de courbure au risque de voir le tube se déchirer ou se plisser. Dans le présent document, trois valeurs de pliage sont exploitées : la valeur minimale, la valeur maximale et la valeur réelle. Un exemple des trois méthodes est fourni pour mieux expliciter l'utilisation des formules reliées aux méthodes.

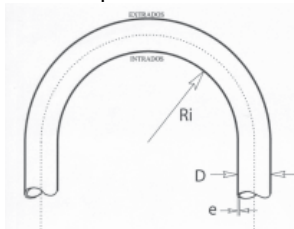
Le calcul de limite de pliage est basé sur l'allongement à la rupture du métal. En général, on doit se référer aux normes des produits (extrusion, tubes et autres) pour connaître l'allongement maximum d'un alliage.

GÉNÉRALITÉS

Lors du pliage d'un tube, la paroi extérieure du tube (extrados) tend à s'amincir et la partie intérieure du tube (intrados) tend à s'épaissir. Il est facile d'évaluer la déformation subie localement par le métal en mesurant localement son épaisseur finale.

L'allongement est estimé par 2 fois (Épaisseur initiale – Épaisseur finale) / Épaisseur finale.

La paroi se déchire si l'allongement atteint la limite maximale permise.



En pliage sur forme, on calculera le rayon minimum (R_i) de l'outillage. Après pliage, ce rayon deviendra le rayon à l'intérieur du pli (intrados). Pour calculer le rayon minimum à l'axe du tube, on ajoutera à R_i la moitié du diamètre extérieur, $(R_i + D/2)$.

Contrairement à certaines perceptions, l'angle de pliage ne joue pas un rôle limitatif. Si le rayon de pliage respecte la capacité de déformation de l'alliage, on peut le plier de 1 degré ou l'enrouler comme un serpent. Si la capacité d'allongement est dépassée, le tube se déchire à l'extrados du pli.

DONNÉES UTILISÉES POUR LES EXEMPLES

Diamètre extérieur du tube	$D = 1,5 po \Rightarrow 3,81cm$
Épaisseur de la paroi	$e = 0,125 po \Rightarrow 0,3175cm$
Propriété de l'alliage	6061-T6

Résistance à la rupture (min) ¹	$R_u = 38 \times 10^3 \frac{lb}{po^2} \Rightarrow 261,81MPa^2$
--	--

Limite d'élasticité (min) ¹	$Y_s = 35 \times 10^3 \frac{lb}{po^2} \Rightarrow 241,15MPa$
--	--

Allongement à la rupture (min) ¹	$A = 8 \%$ ³
---	-------------------------

VALEUR MINIMALE (cas idéal)

La valeur minimale de pliage correspond au plus petit diamètre de courbure qu'il soit possible de donner à un tuyau particulier en assumant un pliage libre (c'est-à-dire flexion pure avec peu ou pas de frottement dans les outils, et ce, sans chauffage de la pièce). Dans ce cas, l'axe neutre, qui ne subit pas de déformation, passe par l'axe du tube, l'intrados du tube se déforme en compression et l'extrados se déforme en traction. Dans ce cas idéal, on doit assumer aussi un amincissement et un épaississement négligeables dans les parois (respectivement à l'extrados et à l'intrados du pli).

Rayon de l'outillage (minimum)	$R_{i_{min}} = D \cdot \left[\frac{(1-A)}{2A} \right]$	$R_{i_{min}} = 8,6 po \Rightarrow 21,8cm$
--------------------------------	---	---

Rayon à l'axe (center line)	$R_n = R_{i_{min}} + \frac{D}{2}$	$R_n = 9,4 po \Rightarrow 23,9cm$
-----------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

1 Aluminum Association Standards 1997.

2 $1 \frac{lb}{po^2} = 1psi \Rightarrow 6890Pa = 6,89kPa$

3 Cette donnée peut être validée par un essai de traction à partir d'un échantillon prélevé sur le tube.

VALEUR MAXIMALE

La valeur maximale correspond au diamètre **minimal** qu'il soit possible d'atteindre si l'intrados du tube ne subit aucune déformation en compression et où l'axe neutre correspond au rayon de l'intrados (R_i). Cette limite s'applique s'il y a un frottement élevé dans les outils ou lorsque les extrémités du tube sont retenues, ce qui cause une traction importante sur le tube pendant l'opération.

On assume un allongement maximal de la paroi à l'extrados du pli.

$$\text{Rayon de l'outillage (min)} \quad R_{i_{\max}} = D \cdot \left[\frac{(1-A)}{A} \right] \quad R_{i_{\max}} = 17,2 \text{ po} \Rightarrow 43,7 \text{ cm}$$

$$\text{Rayon à l'axe neutre (center line)} \quad R_n = R_{i_{\max}} + D \quad R_n = 18 \text{ po} \Rightarrow 45,7 \text{ cm}$$

VALEUR PRATIQUE (cas réel)

Le frottement et l'épaississement de la paroi à l'intrados vont déporter l'axe neutre vers l'intrados du pli et provoquer un allongement de la paroi en traction plus grande que dans le cas idéal. La limite pratique sera normalement comprise entre les deux limites précédentes, il faut analyser les conditions de pliage, qui pourraient favoriser un bon résultat. Si un problème survient et que l'amincissement de la paroi correspond à un allongement inférieur à la valeur limite pour le matériau, il y a lieu de croire que le matériau est défectueux ou hors norme.

CONDITIONS FAVORISANT UN FAIBLE RAYON

1. Lubrifier les surfaces de contact avec l'outillage pour diminuer la traction sur le tube, provoquée par le frottement pendant l'opération.
2. Accepter un certain plissement de l'intérieur ou le provoquer par l'outillage.
3. Accepter un certain aplatissement du tube.
4. Plier en provoquant une compression axiale du tube (favorisée par une paroi épaisse). Certaines machines de pliage spécialisées (avec mandrin intérieur) permettent de réaliser cette condition en réduisant de beaucoup le rayon de pliage minimal. Dans ce cas, la limitation est davantage reliée à la difficulté d'éviter le plissement de la paroi en compression.
5. Préchauffer l'intrados du pli en maintenant l'extrados froid pour favoriser la déformation en compression (condition difficile à réaliser avec un bon conducteur de chaleur comme l'aluminium en particulier sur des tubes de petit diamètre).
6. Choisir un alliage possédant un allongement plus élevé.

CONDITIONS DÉFAVORABLES

1. Absence de lubrification.
2. Méthodes (peu importe lesquelles) empêchant l'aplatissement.
3. Traction provoquée pour empêcher le plissement de l'intrados.
4. Alliage possédant un faible allongement à la rupture.
5. Alliage possédant un faible taux de consolidation (faible différence entre Y_s et R_u).

FOURNISSEURS

Compte tenu du fait que certaines firmes peuvent concevoir des plieuses et d'autres entreprises les fabriquer, cette liste n'a pas la prétention d'être exhaustive. Les entreprises suivantes sont celles mentionnées dans le répertoire en ligne du CRIQ comme étant spécialisées dans la distribution ou la fabrication de machines à pliage de tubes.

A & L Unimétal

Tél. : 514 327-5268
Fax : 514 745-6756
Saint-Laurent
Fabricant d'équipements de pliage

Garant Machinerie

Tél. : 418 837-5832
Fax : 418 837-6628
Lévis
Distributeur d'équipements de pliage

Atelier d'usinage Lebro inc.

Tél. : 514 327-5267
Fax : 514 327-4691
Saint-Léonard
Fabricant d'équipements de pliage

Scies ACME inc.

Tél. : 514 875-1990 ou 800 361-3736
Fax : 514 875-1989
Dorval
Distributeur d'équipements de pliage

Flexline Technologie inc.

Tél. : 450 434-2212
Fax : 450 434-8896
Boisbriand
Fabricant d'équipements de pliage

BIBLIOGRAPHIE

THE ALUMINUM ASSOCIATION. *Aluminum standards and data 1997*; Washington DC; Aluminum Association; 1996; Pagination multiple

GILLANDERS J. *Pipe and Tube Bendin Manual*. Second edition; Rockford Illinois, Fabricators & Manufacturers Association, International. 1994; 202 p.

LYMAN T. *Forming volume 4*; 8th edition; Metals Park, Ohio; American Society for Metals; 1977; 527 p. (ASM Metals Handbook)

CRIQ. *Recherche d'entreprises en ligne* [en ligne]; disponible sur www.icriq.com (consulté le 31 mars 2003)