



# Le repoussage de l'aluminium

Sofiène Amira

10 septembre 2018

# Le repoussage de l'aluminium

## Introduction

Le repoussage est un procédé de formage utilisé pour la production de formes symétriques axialement par une combinaison de force et de rotation. Il s'agit d'un procédé de déformation ponctuelle où un disque métallique, une pièce cylindrique ou une préforme est poussé contre un mandrin concentrique en rotation par un outil au bout arrondi. La figure 1 illustre le principe de formage par repoussage alors que la figure 2 montre des formes typiques produites par ce procédé.

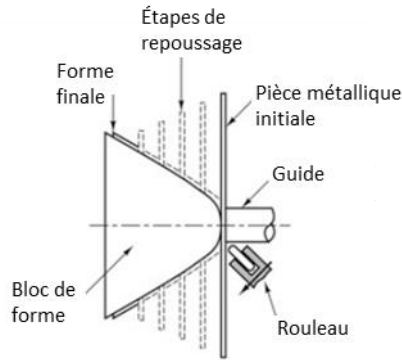


Figure 1, [1]

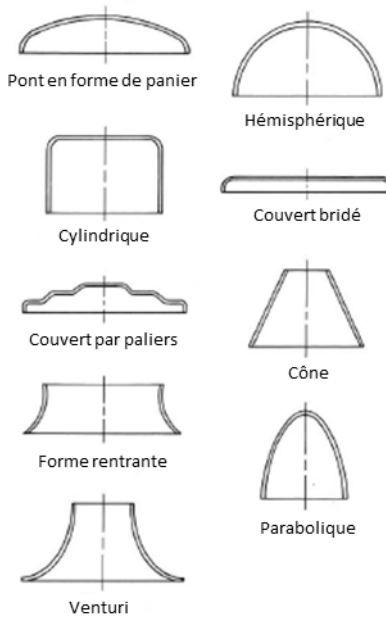


Figure 2, [2]

## Alliages formés

En général, les matériaux qui conviennent le plus à ce procédé de formage doivent avoir une bonne ductilité, une dureté basse, un allongement élevé (10 % ou plus), un grand écart entre la limite d'élasticité et la résistance maximale, un taux d'érouissage lent, et une structure de grains fins. Les alliages d'aluminium les plus formés par repoussage sont le 1100, 2219, 3003, 3004, 5052, 5086, 5154 et le 6061. Ces matériaux sont utilisés à l'état recuit dans le cas de formage sévère. Cependant, dans certains cas, il est préférable d'utiliser des alliages à des états plus durs (T ou H), s'ils sont suffisamment formables, pour éviter l'accumulation de la matière (*ball up*) devant l'outil. Un état dur peut également être utilisé lorsque le formage n'est pas très sévère pour augmenter la dureté du matériau par érouissage. Pour les alliages à durcissement structural (état T) comme ceux de la série 2xxx ou 6xxx, la méthode de formage par repoussage la plus utilisée inclut le repoussage du matériau à l'état recuit jusqu'aux dimensions proches des côtes finales, une mise en solution suivie d'une trempe, une étape de repoussage jusqu'à la forme finale qui n'implique pas un érouissage significatif, suivie du traitement thermique à l'état T correspondant.

## Vitesses de rotation typiques du mandrin

Le tableau 1 illustre les vitesses de rotation typiques utilisées pour le formage par repoussage des alliages d'aluminium. Les vitesses de rotation diminuent avec l'augmentation du diamètre du flan afin de maintenir la même vitesse périphérique, quelle que soit la taille de la pièce à fabriquer. Les vitesses utilisées pour le formage par repoussage des alliages d'aluminium sont généralement plus élevées que celles utilisées pour les aciers au carbone, les aciers inoxydables et le cuivre.

Tableau 1, [3]

Diamètre du flan		Vitesse de la broche (rpm)
m	po.	
<b>Flans plats</b>		
Up to 0.3	Up to 12	<b>600-1100</b>
0.3-0.6	12-24	<b>400-700</b>
0.6-0.9	24-36	<b>250-550</b>
0.9-1.8	36-72	<b>50-250</b>
1.8-3.0	72-120	<b>25-50</b>
3.0-4.5	120-180	<b>12-25</b>
4.5-5.3	180-210	<b>12</b>
<b>Couppelles</b>		
0.25-0.35	10-14	<b>1000-1200</b>
0.35-0.50	14-20	<b>650-800</b>
0.50-0.75	20-30	<b>475-550</b>
0.75-1.0	30-40	<b>325-375</b>

## Lubrifiants

Les lubrifiants sont nécessaires dans toutes les opérations de formage par repoussage. Des lubrifiants comme la cire d'abeilles ou la vaseline conviennent pour les petites pièces. Le naphta (produit distillé du pétrole) est un lubrifiant efficace pour des pièces plus larges. Des lubrifiants comme le kérosène avec graphite colloïdale ou des composés avec bisulfite de molybdène sont utilisés en repoussage à haute température. Les lubrifiants doivent être éliminés facilement des pièces finies sans traitements supplémentaires.

## Applications

Les pièces en alliages d'aluminium produites par ce procédé incluent : gobelets, pichets, bols, ustensiles de cuisine, moules en formes d'anneaux, bidons à lait, réflecteurs d'éclairage public, pièces d'aéronefs et aérospatiales, sections architecturales, têtes de citerne.

Le formage par repoussage est avantageux comparé à l'emboutissage pour les petites séries de pièces avec des temps de livraison courts.

Le formage par repoussage est également utilisé pour la fabrication de grandes pièces pour lesquels des équipements (presses, matrices) ne sont pas disponibles ou très coûteux.

Le formage par repoussage n'est pas considéré comme économique pour des séries de 5000 à 10000 pièces à cause de son faible taux de production. Cependant, certaines exceptions existent, comme la fabrication des pièces coniques tronquées avec des angles de 40° et plus. Ces pièces peuvent être

produite par repoussage à des coûts inférieurs à ceux de l'emboutissage profond avec une paroi d'épaisseur uniforme sans plis, en plus d'augmenter la résistance maximale du métal jusqu'à 100 %.

## **Problèmes et dépannage**

Les problèmes rencontrés lors du formage par repoussage sont semblables à ceux observés lors de l'étirage sur forme ou l'emboutissage profond et incluent les déchirement (*tearing*), les plis (*wrinkles*) et le gauchissement (*buckling*). Les actions correctives proposés aux problèmes de l'étirage sur forme et de l'emboutissage profond sont donc valables dans le cas du formage par repoussage.

## **Variantes du formage par repoussage**

### **Le formage par repoussage assisté par laser**

Le formage par repoussage assisté par laser est une technique novatrice de formage par repoussage à haute température, destinée à permettre le formage de tôles épaisse tout en permettant un meilleur contrôle de la température et de la microstructure du matériau, et ce grâce à la capacité du laser à chauffer sélectivement et uniformément la zone en avant de l'outil de formage. L'avantage de ce dérivé du formage par repoussage est que la chaleur est appliquée seulement et brièvement où c'est nécessaire ce qui mène à la fabrication de pièces exemptes de contraintes thermiques.

### **Le formage des métaux en feuilles avec une approche incrémentale**

Le formage incrémental est une technique de formage basée sur le principe de fabrication en couches sans l'utilisation de matrices. La feuille à travailler est localement déformée par un outil spécial suivant des tranches horizontales. La trajectoire de l'outil de formage dans ces tranches construites est programmée par commande numérique. Cette trajectoire est créée directement à partir du modèle CAO de la pièce finale. La figure 3 montre le principe du formage incrémental.

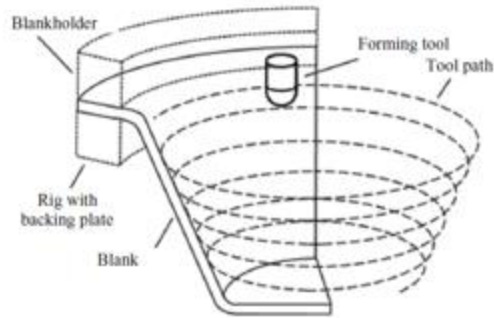


Figure 1 - Principe du formage incrémental, [4]

Les étapes du formage incrémental sont les suivantes (Figure 4) :

- a) La tôle est fermement fixée sur un support.
- b) L'outil de formage descend et entre en contact avec la tôle.
- c) L'outil se déplace suivant le premier tour de la trajectoire correspondant à la forme géométrique du produit final.
- d) L'outil répète ces tours jusqu'à ce la fin du parcours programmé et l'obtention du produit final.

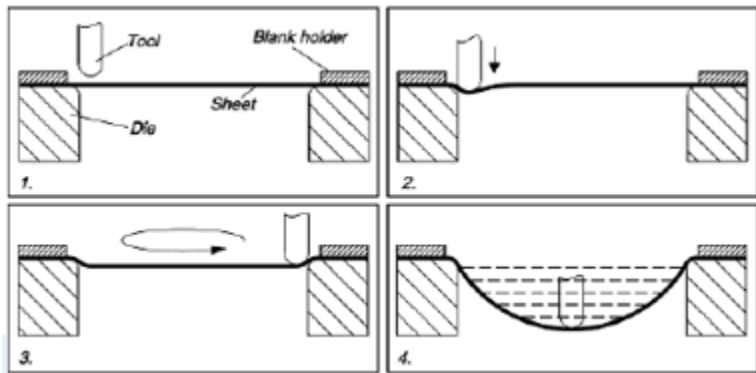


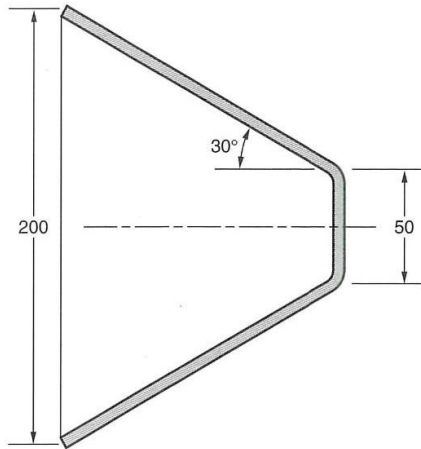
Figure 4 – Étapes du formage incrémental, [5]

## Exercice d'application

Si la pièce montrée ci-dessous est fabriquée par repoussage-cisaillement (*shear spinning*) où le diamètre final reste égal au diamètre du flan initial, on vous demande de calculer :

- (a) L'épaisseur de la partie conique de la pièce,
- (b) Le facteur de réduction en repoussage

On donne l'épaisseur initiale du flan de départ :  $e = 2,4 \text{ mm}$ .



Réponse :

(a) Pour déterminer l'épaisseur de la partie conique de la pièce ( $ef$ ), on applique la loi suivante (loi sine) :

$$ef = e \sin a \text{ (} a \text{ désigne le demi angle du cône).}$$

$$\text{Donc } ef = 2,4 \times \sin 30^\circ = 1,2 \text{ mm.}$$

(b) Le facteur de réduction en repoussage,  $r$ , est déterminé comme suit :

$$R = (e - ef)/e = (2,4 - 1,2)/2,4 = 0,5 \text{ ou } 50\%$$

*Écrit par Sofiene Amira*

### Références

[1] E Paul Degarmo, J. T. Black and Ronald A. Kohser, Materials and Processes in Manufacturing, 9th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2003.

[2] Tools and Manufacturing Engineers Handbook, Volume II Forming, 4th Edition, Society of manufacturing Engineers, 1984.

[3] ASM Specialty Handbook, Aluminum and Aluminum alloys, ASM International, 1993.

[4] E Salem, J Shin, M Nath, M Banu, A. I. Taub, Investigation of Thickness Variation in Single Point Incremental Forming, Procedia Manufacturing, Volume 5, 2016, Pages 828–837.



[5] T. J., Yang, D. Y. Kim, "Improvement of formability for the incremental sheet forming process," International Journal of Mechanical Sciences, vol. 42, no. 1, pp. 1271-1286, 2000.