



# Emboutissage profond de l'aluminium

Sofiène Amira

11 juillet 2018

## Emboutissage profond de l'aluminium

### 1. Emboutissage profond

L'emboutissage profond consiste à fabriquer par formage généralement à froid une pièce creuse profonde (embout) à partir d'une feuille ou d'une plaque préalablement découpée (flan), et ce par action d'un poinçon et d'une matrice, et d'un serre-flan, sans réduction sensible de l'épaisseur. Le procédé est capable de fabriquer des pièces de formes circulaires (telles que des casseroles de cuisson), de formes carrées ou rectangulaires ainsi que d'autres formes complexes. Le principe de l'emboutissage profond est illustré à la figure 1.

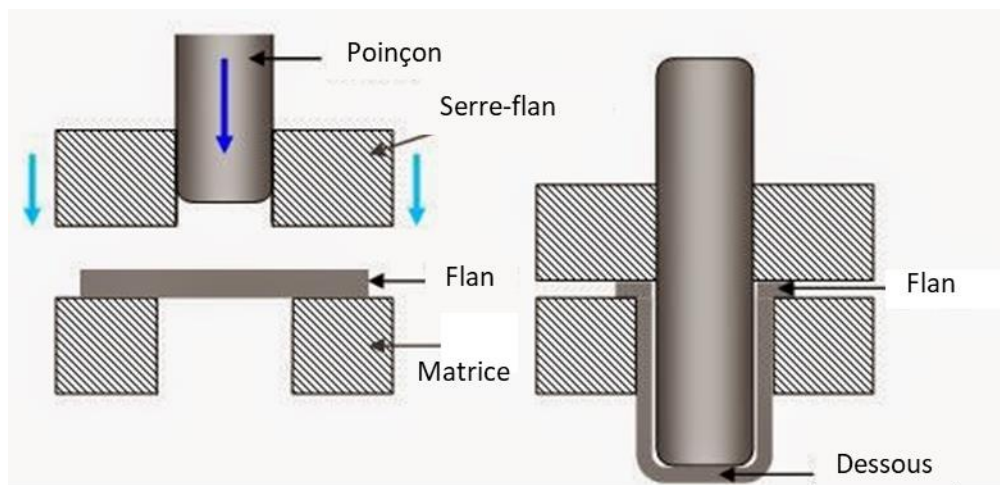


Figure 1, [1]

Les principaux facteurs déterminants dans l'opération d'emboutissage sont le diamètre du flan et du poinçon, les rayons des bords du poinçon et de la matrice, le jeu entre le poinçon et la matrice, l'épaisseur du flan, la lubrification et la pression du serre flan.

### Équipements :

Les presses poinçonneuses (punch presses) utilisées pour l'emboutissage des aciers sont similaires à celles utilisées pour le l'emboutissage des alliages d'aluminium, avec la différence que les capacités requises pour l'emboutissage des alliages d'aluminium sont inférieures pour cause de différence des propriétés mécaniques. Les vitesses d'emboutissage des alliages d'aluminium sont supérieures à celles des aciers. Pour les embouts peu profonds (dont la hauteur

est inférieure au diamètre), les presses poinçonneuses à simple action sont opérées entre 27 à 43 m/min (90 à 140 pi/min). Les presses poinçonneuses à double action sont opérées entre 12 à 30 m/min (40 à 100 pi/min) pour les embouts peu profonds, et à moins de 15 m/min (50 pi/min) pour les embouts profonds (dont la hauteur est supérieure au diamètre) dans le cas des alliages d'aluminium à basse et moyenne résistance mécanique. Pour les alliages d'aluminium à haute résistance mécanique (ceux des séries 2xxx et 7xxx), les vitesses d'emboutissage avec les presses poinçonneuses à double action sont comprises entre 6 et 12 m/min (20 à 40 pi/min).

## Outils

Matériaux : la sélection d'un matériau pour l'outillage d'emboutissage a pour objectif d'assurer la production de la qualité et de la quantité de pièces visées pour un coût minimal de l'outillage par pièce. La performance de l'outillage d'emboutissage est déterminée principalement par l'usure totale (abrasive et adhésive) qui se produit pendant un cycle de production. Cette usure est déterminée par la dureté du matériau de l'outillage, le type et l'épaisseur du métal embouti, la valeur des rayons du poinçon et de la matrice, la lubrification et le fini de surface du poinçon et de la matrice. Les matériaux typiques utilisés pour la fabrication des matrices destinées à l'emboutissage des alliages d'aluminium sont les aciers à outils W1, O1, A2 et D2 ainsi que des fontes alliées. Les matériaux typiques utilisés pour la fabrication des poinçons et des serre-flans incluent les aciers à outils, les fontes alliées et les aciers 4140 et S1 carburés ou nitrurés.

## Jeu entre le poinçon et la matrice

Lors de l'emboutissage, les alliages d'aluminium doivent pouvoir s'écouler sans restriction ou étirement excessif de sorte que l'épaisseur originale change très peu. Le jeu entre le poinçon et la matrice doit donc être déterminé pour prendre en compte ces conditions d'écoulement. En général, ce jeu est égal à l'épaisseur du matériau plus environ 10% par côté dans le cas des alliages à basse et moyenne résistance mécanique. Un jeu additionnel de 5 à 10% peut être nécessaire dans le cas des alliages d'aluminium à haute résistance mécanique (séries 2xxx et 7xxx). Par contre, il faut éviter tout jeu excessif entre le poinçon et la matrice qui peut entraîner la formation de plis (*wrinkles*) sur la pièce emboutie.

## Rayons sur les outils

Les rayons des bords du poinçon et de la matrice doivent être conçus pour permettre l'écoulement sans restriction des alliages d'aluminium, sans entraîner la formation de plis. Ces rayons sont en général égaux à 4 jusqu'à 8 fois l'épaisseur de l'alliage à emboutir.

## Fini de surface de l'outil

Les poinçons et matrices d'emboutissage doivent avoir une rugosité de 0,4 µm ou moins pour la plupart des applications. Des rugosités variant entre 0,08 et 0,1 µm peuvent être spécifiées pour la production des grandes séries. Un plaquage de chrome peut être également spécifié afin de minimiser la friction et de prévenir l'accumulation de particules pour éviter de rayer la surface de la pièce emboutie.

## Lubrifiants

L'utilisation de lubrifiants est indispensable pour l'emboutissage des métaux et alliages, et les alliages d'aluminium ne font pas exception. La lubrification permet au matériau de glisser facilement et uniformément entre le serre-flan et la matrice lors de l'emboutissage ce qui permet de minimiser la friction, le grippage et l'usure de l'outillage. Les lubrifiants sont sélectionnés en fonction de la sévérité de l'emboutissage. Le tableau 1 illustre quelques lubrifiants typiques pour l'emboutissage profond des alliages d'aluminium.

Tableau 1, [2]

10% ou moins	Entre 10% et 50%	50% et plus
Huile minérale, viscosité 100 SUS; huile minérale avec approximativement 10% d'huile de lard	Huile minérale, viscosité 200-250 SUS; huile minérale avec approximativement 15% d'huile de lard	Huile minérale avec additifs de pression extrême, sulfure et autres

## Limites d'emboutissage

Pour tous les alliages d'aluminium, la réduction de diamètre possible diminue avec le nombre de passes en raison de la diminution de la ductilité due à l'érouissage. Pour embouts cylindriques, des réductions de diamètre d'environ 40% pour la première passe, 20% pour la deuxième passe, et 15% pour la troisième et les passes suivantes peuvent être obtenus pour les alliages à basse et moyenne résistance mécanique. Les embouts peuvent généralement être complètement produits

sans recuit intermédiaire. Quatre passes successives ou plus sans recuit peuvent être effectuées sur des alliages tels que 1100, 3003, et 5005, avec une conception de matrice appropriée et une lubrification efficace. Pour les alliages d'aluminium à haute résistance mécanique, des réductions de diamètre d'environ 30% pour la première passe, 15% pour la deuxième passe, et 10% pour la troisième sont possibles, mais à partir de la troisième passe, un recuit devient nécessaire pour poursuivre l'emboutissage. La profondeur totale d'emboutissage des alliages d'aluminium obtenue sans recuit intermédiaire dépasse celle obtenue dans le cas de l'acier, du cuivre, et du laiton.

## Problèmes et solutions

### Plis (*Wrinkles*)

Les plis sont des ondulations indésirables formées sur la collerette ou les bords d'une pièce emboutie (Figure 2). Les causes les plus probables de formation des plis sont les suivantes : la force insuffisante de serre-flan, une faible épaisseur de matériau, un jeu élevé entre le poinçon et la matrice, des rayons du bord de la matrice et du poinçon inadéquats, la présence de friction lors de l'emboutissage.

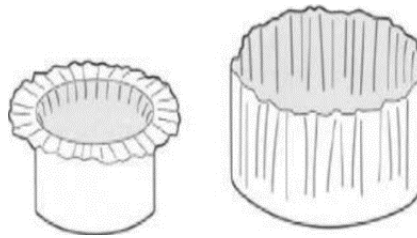


Figure 2, [1]

### Déchirement (*Tearing*)

Le déchirement est un défaut qui se caractérise par la présence de petites fissures sur la pièce emboutie (Figure 3). Causes : Contraintes longitudinales générées lors de l'emboutissage dépassant la résistance maximale du matériau, due à un choix inadéquat du rayon de bord de la matrice, du jeu entre le poinçon et la matrice, et de la force de maintien du disque de départ (*blank*).



Figure 3, [1]

### Cornes (*Earing*)

Ce défaut se caractérise par la formation de cornes sur le bord supérieur de la pièce emboutie due à l'anisotropie du matériau (propriétés variant en fonction des directions).

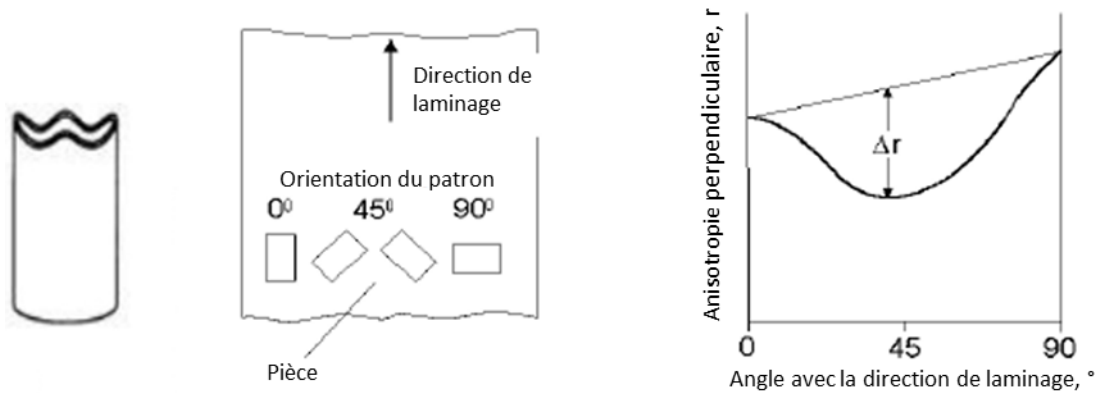


Figure 4, [1]

### Rayures de surface

Ce défaut se manifeste lorsque les surfaces du poinçon et de la matrice sont rugueuses, ou si la lubrification du procédé n'est pas adéquate.

### Exemples de calculs

#### Exercice 1 :

On désire former par emboutissage un embout cylindrique en aluminium 3003-O avec un diamètre intérieur de 75 mm et une hauteur de 50 mm, et ce à partir d'un disque de diamètre 138 mm et d'épaisseur 1,6 mm. Est-ce que cette opération est faisable techniquement en se basant sur ces données ?

#### **Réponse :**

Afin d'évaluer la faisabilité de cette opération d'emboutissage, on doit déterminer le rapport d'emboutissage (RE), la réduction ( $r$ ) et le rapport de l'épaisseur par rapport au diamètre du disque ( $e/D_d$ ). En effet, on estime généralement que l'emboutissage est possible dans les conditions suivantes : (1)  $DR \leq 2$ ; (2)  $r < 0,5$  ou 50% et (3)  $e/D_d > 1\%$ . Ces valeurs ont été initialement déterminées pour les embouts en acier, mais restent valables pour les alliages d'aluminium.

Dans notre cas, on a :

$$RE = 138/75 = 1,84$$

$$R = (138 - 75)/138 = 0,4565 = 45,65\%$$

$$e/D_d = 1,6/138 = 0,011 = 1,1\%$$

À partir de ces données, on estime que l'emboutissage d'un embout en alliage 3003 est faisable techniquement.

### **Exercice 2 :**

Calculez, à partir des données de l'exercice 1, la force d'emboutissage ainsi que la force de maintien du disque de départ (blank). On rappelle que dans le cas de l'alliage 3003-O, la résistance maximale est de 110 MPa et la limite d'élasticité est de 40 MPa. Le rayon de bord de la matrice est de 6,5 mm.

### **Réponse :**

- (a) La force d'emboutissage (F) nécessaire pour réaliser une opération donnée peut être estimée par la formule suivante :

$$F = \pi D_p e R_m \left( \frac{D_d}{D_p} - 0,7 \right)$$

Avec :

$D_p$  et  $D_d$  : les diamètres du poinçon et du disque de départ (en mm), respectivement.

$R_m$  : la résistance maximale de l'alliage considéré (MPa)

$e$  : épaisseur du disque de départ (blank) en mm.

En appliquant cette formule aux données de l'exercice 2, on a :

$$F = \pi(75)(1,6)(110) \left( \frac{138}{75} - 0,7 \right) = 47274 \text{ N ou } 47,3 \text{ kN.}$$

- (b) La force de maintien ( $F_m$ ) nécessaire pour réaliser une opération d'emboutissage donnée peut être estimée par la formule suivante :

$$F_m = 0,015 R_e \pi \{ D_p^2 - (D_p + 2,2e + 2R_{bm})^2 \}$$

Avec :

$R_e$  : La limite d'élasticité de l'alliage considéré (MPa)

$R_{bm}$  : Le rayon de bord de la matrice (mm)

En appliquant cette formule aux données de l'exercice 2, on a :

$$F_m = 0,015 (175) \pi \{ 138^2 - (75 + 2,2 \times 1,6 + 2 \times 6,5)^2 \} = 20098 \text{ N ou } 20 \text{ kN.}$$

## Références

[1] Mikell P. Grover, Fundamentals of Modern Manufacturing, materials, processes and systems, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2002.

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