

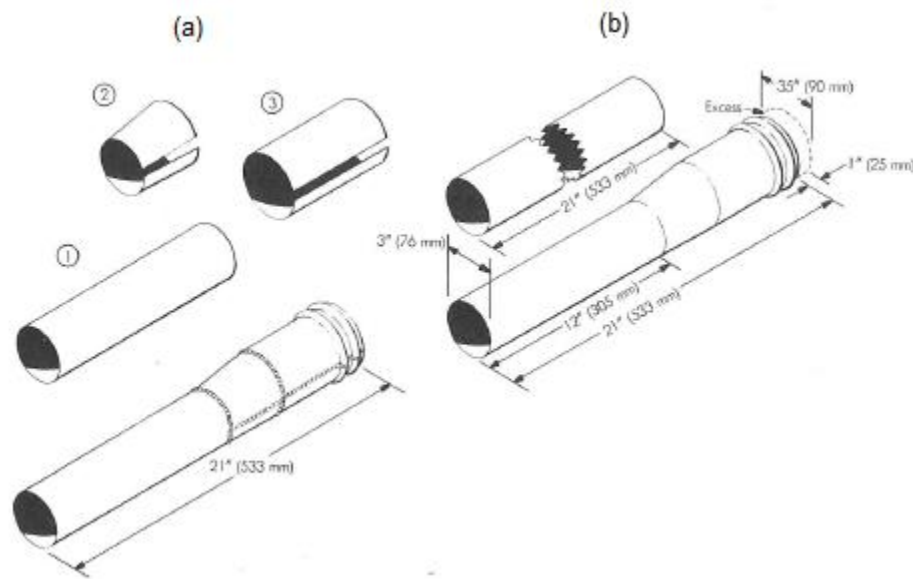
Sofiène Amira

22 octobre 2018

# L'HYDROFORMAGE DE L'ALUMINIUM

## 1. Introduction

L'hydroformage ou le formage hydraulique comprend une variété de technologies de fabrication qui se basent sur l'action d'un liquide sous pression qui exerce une contrainte sur une feuille ou la paroi d'un tube contre une matrice. Cette contrainte provoque la déformation du matériel et le force à épouser les cavités de la matrice. L'avantage principal de l'hydroformage est de permettre la fabrication de structures tubulaires complexes qui aurat nécessité, avec les procédés conventionnels (découpage, pliage, soudage, etc.), plusieurs étapes et opérations, comme l'illustre l'exemple montré à la figure 1.



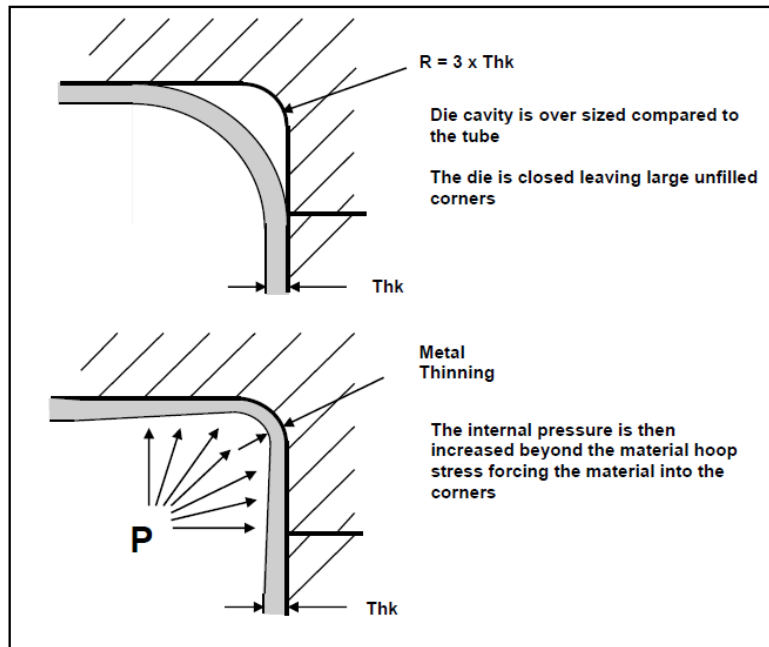
**Figure 1.** Comparaison entre une pièce formée par : (a) des procédés conventionnels, et (b) par hydroformage

## 2. Variantes de l'hydroformage

### 2.1. Hydroformage conventionnel à haute pression

Dans les systèmes d'hydroformage conventionnel des tubes, la pression interne augmente jusqu'à ce que la contrainte induite dépasse la limite d'élasticité du matériau et provoque sa déformation contre la matrice. Une fois que la paroi du

tube est en contact avec la matrice, le frottement aura tendance à s'opposer à tout autre mouvement, ce qui entraîne une répartition inégale de l'épaisseur de la paroi de la pièce finie. Cette non-uniformité d'épaisseur, illustrée à la figure 2, représente un inconvénient de l'hydroformage conventionnel à haute pression. Le matériau hydroformé doit ainsi avoir une ductilité suffisante pour résister à l'amincissement qui se produit, sans rompre.



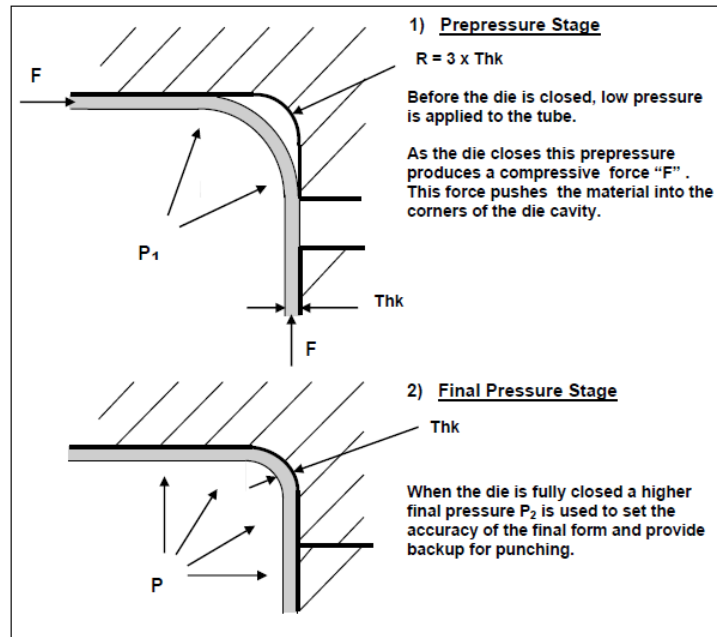
**Figure 2.** Exemple montrant le problème de non-uniformité d'épaisseur rencontré lors de l'hydroformage conventionnel à haute pression.

Lors de l'hydroformage conventionnel, le plus petit rayon à former détermine la pression nécessaire pour la pièce entière. Cette pression est donnée par la formule suivante :

$$\text{Forming Pressure}_{\text{internal}} = \frac{\text{Max Material Yield Strength} \times \text{Max Material Thickness}}{\text{Min Inside Corner Radius}}$$

## 2.2. Hydroformage sous pression par séquences

L'hydroformage sous pression par séquences a été développé pour résoudre le problème de non-uniformité d'épaisseur des parois intérieures des pièces réalisées par hydroformage conventionnel. Cette variante de l'hydroformage permet d'obtenir une meilleure formabilité en utilisant un premier palier de pression pendant la fermeture de la matrice, et un deuxième palier de haute pression après que la matrice soit complètement fermée (voir figure 3).



**Figure 3.** Exemple expliquant le principe de l'hydroformage sous pression par séquence

Les étapes de l'hydroformage sous pression par séquences sont les suivantes :

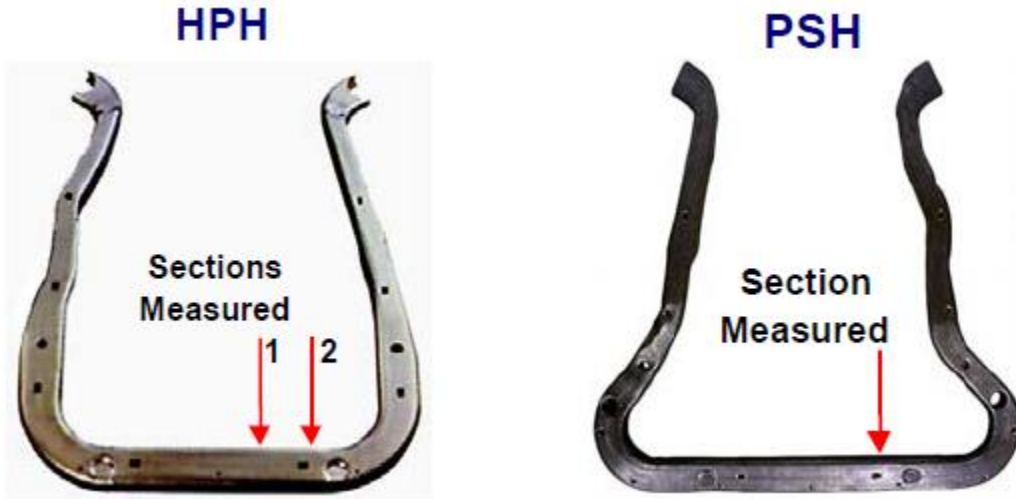
- Le préformage : En fonction de la forme de la pièce finale et des propriétés du matériau à former, le préformage peut être effectué avant l'hydroformage final. Le préformage est habituellement effectué dans la même filière que l'hydroformage, ce qui ne requiert pas l'utilisation d'équipement supplémentaire.
- Le formage libre : Lors de cette étape, le tube se dilate sans aucun contact avec la matrice
- La calibration : commence lorsque le contact entre le tube et la matrice est établi. Le tube est ensuite forcé de prendre la forme interne de la matrice.

### 2.3. Avantages de l'hydroformage sous pression par séquences comparé à l'hydroformage conventionnel :

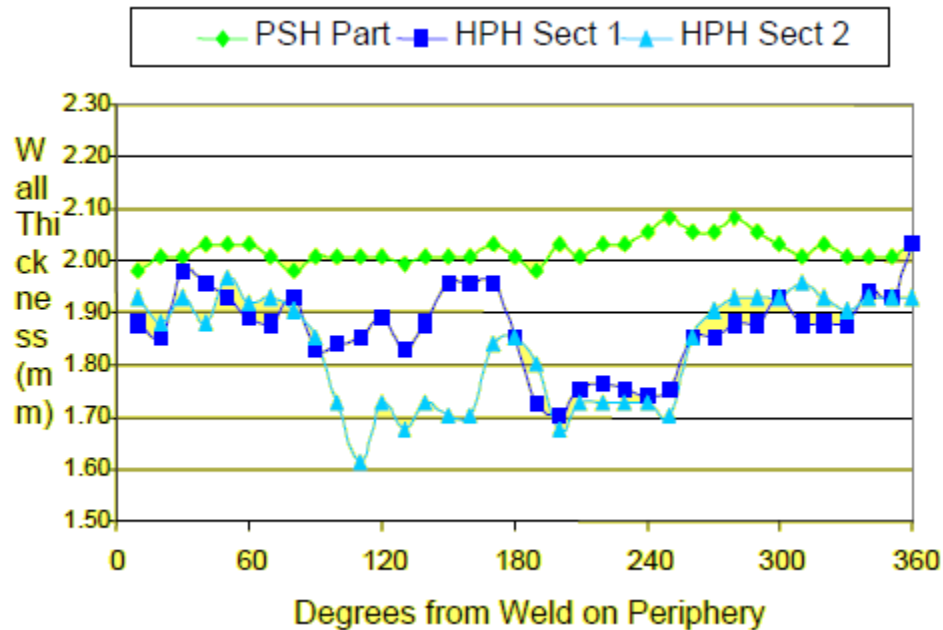
- Uniformité de l'épaisseur des parois :

Il s'agit du principal avantage de l'hydroformage sous pression par séquences en comparaison avec l'hydroformage conventionnel. La figure 4 montre l'exemple de deux pièces assez semblables fabriquées par hydroformage conventionnel pour l'une et sous pression par séquences pour l'autre. Les mesures de l'épaisseur des deux tubes hydroformés au niveau de zones sélectionnées montrent une grande uniformité dans le cas du tube hydroformé sous pression

par séquences, comparée à la grande variation d'épaisseur produite par l'hydroformage conventionnel (voir figure 5).



**Figure 4.** Pièces fabriquées par hydroformage conventionnel (à gauche) et sous pression par séquences (à droite). Les flèches pointent les circonférences où l'épaisseur du tube hydroformé a été mesurée.



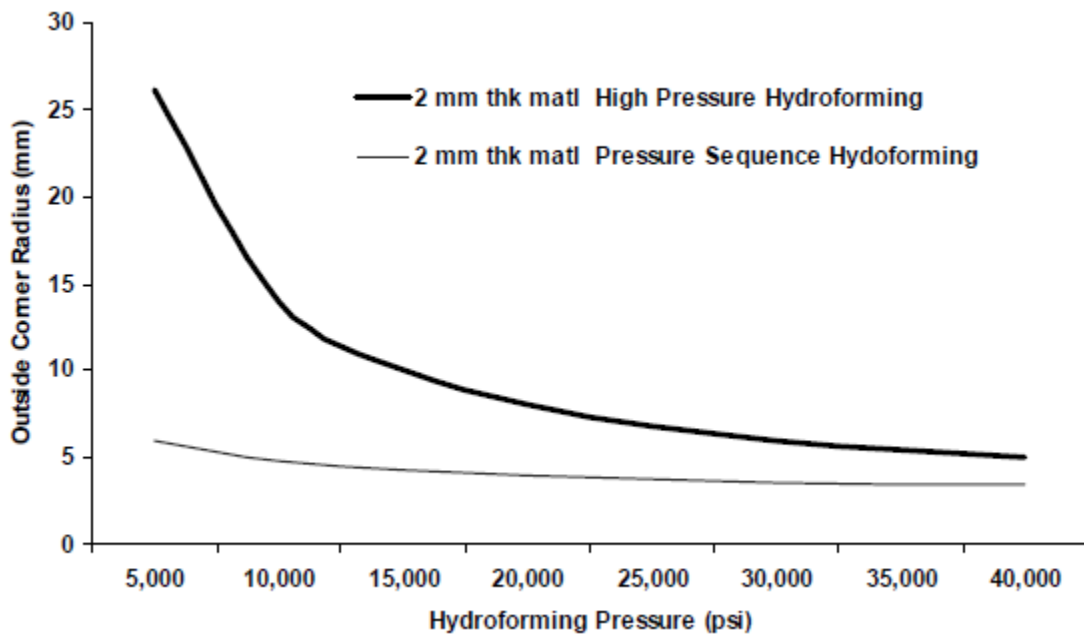
**Figure 5.** Distribution de l'épaisseur des pièces montrées à la figure 4 au niveau des zones sélectionnées

- Diminution de la pression d'hydroformage :

L'hydroformage sous pression par séquences utilise une pression maximale qui représente 1/3 à 1/5 de la pression utilisée par l'hydroformage conventionnel à haute pression.

- Capacité de réaliser des formes avec faibles rayons d'arrondis

L'hydroformage sous pression par séquences permet de réaliser des formes avec des rayons d'arrondis plus faibles en comparaison à l'hydroformage conventionnel et ce, avec des pressions équivalentes d'hydroformage. Cet avantage permet l'obtention de pièces de plus grande complexité. La figure 6 présente un exemple dans ce sens où on peut noter le grand écart entre les rayons d'arrondis obtenus pour une même pression dans le cas des deux variantes du procédé.



**Figure 6.** Variation du rayon extérieur de l'arrondi en fonction de la pression d'hydroformage pour un matériau de limite d'élasticité de 60 000 psi (cas du 7075-T6)

- Augmentation de l'offre des matériaux hydroformés

La capacité de remplir les cavités de la matrice grâce à l'hydroformage sous pression par séquences permet le formage de matériaux à faible allongement tout en évitant le risque de fissures ou de striction de la paroi du tube hydroformé.

### 3. Paramètres affectant le procédé

Les principaux paramètres affectant l'hydroformage sont l'épaisseur du matériau à former, le rayon extérieur minimal de l'arrondi à prendre, la limite d'élasticité du matériau, la lubrification, et la température.

### 4. Alliages d'aluminium hydroformés

Les alliages d'aluminium les plus fréquemment utilisés en hydroformage sont le 1100, 3003, 2024, 5052, 6061, et le 7075.

### 5. Équipements

L'équipement principal en hydroformage est la presse hydraulique et le système de distribution de fluide sous pression. Le principal facteur déterminant lors du choix de l'équipement est la pression de fluide maximale nécessaire pour réaliser le formage.

Le prix des équipements d'hydroformage augmente avec la pression maximale de formage (plus que proportionnellement) dû à l'augmentation des composantes du système comme la tuyauterie, les vannes, les raccords, les pompes, le nombre d'amplificateurs de pression.

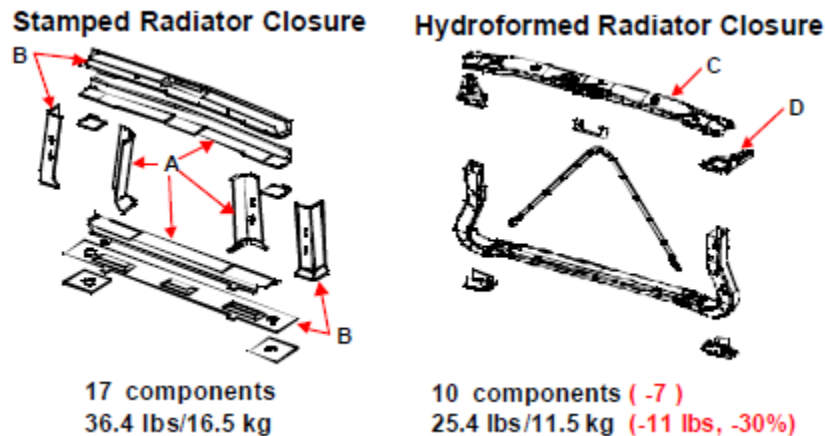
Concernant les matrices, elles sont généralement fabriquées à partir d'aciers à outils traités thermiquement, ce qui leur procure une durée de vie élevée.

### 6. Applications

- Pièces automobiles, de formes complexes – collecteurs, réservoirs de carburant, carters d'embrayage et couvercles de capteurs.

L'hydroformage est particulièrement apprécié dans l'industrie automobile pour sa capacité à produire des structures monocorps plus solides et plus rigides qui pèsent moins, ce qui favorise les efforts des constructeurs automobiles pour améliorer l'économie de carburant. La figure 7 montre un exemple où l'utilisation de l'hydroformage a permis de minimiser les opérations et les composantes

nécessaires pour la fabrication d'un cadre de radiateur, et par conséquent le poids total du système.



**Figure 7.** Comparaison en termes de poids de pièces semblables fabriquées par hydroformage et par estampage

- Dans l'industrie aéronautique, l'hydroformage permet de fabriquer une vaste gamme de pièces en alliages d'aluminium
- Pour le domaine de l'équipement médical, l'hydroformage produit des plateaux chirurgicaux ainsi que des réflecteurs et des couvercles pour les lampes de salle d'opération.

## 7. Lubrification

La lubrification est indispensable lors de l'hydroformage, car elle permet de minimiser la friction entre le matériau à former et les parois de la matrice, ce qui facilite l'écoulement, le remplissage de la matrice et l'uniformisation des épaisseurs obtenues après hydroformage. La lubrification permet également de minimiser le risque de déchirement. Les lubrifiants recommandés pour l'hydroformage de l'aluminium doivent résister aux pressions extrêmes et sont généralement soufrés et/ou chlorés ou phosphatés à base d'eau ou d'huile (minérale ou synthétique).

## 8. Problèmes et dépannage

- *Déchirement.*



- Causes : Contraintes localisées élevées lors de l'hydroformage dû à une épaisseur insuffisante de matériau à former, une formabilité insuffisante, ou un manque de lubrification.
- Solutions suggérées : Revoir les épaisseurs initiales du matériau à former, vérifier les propriétés de formage du matériau, améliorer la lubrification et changer le lubrifiant au besoin.
  
- *Épaisseurs irrégulières.*
  - Causes : mauvaise lubrification, paramètres d'hydroformage inadéquats.
  - Solutions suggérées : choisir un lubrifiant qui convient à l'aluminium et au procédé, vérifier et ajuster les paramètres d'hydroformage (pression des paliers, vitesse de fermeture de la matrice).
  
- *Pièce partiellement formée.*
  - Causes : Pression d'hydroformage insuffisante (mauvais calcul, fuite).
  - Solutions suggérées : vérifier les calculs de la pression d'hydroformage, vérifier la machine à la recherche de fuites.

*Écrit par Sofiene Amira, CQRDA*