

Procédés de fabrication I - IGI - HEIG-VD

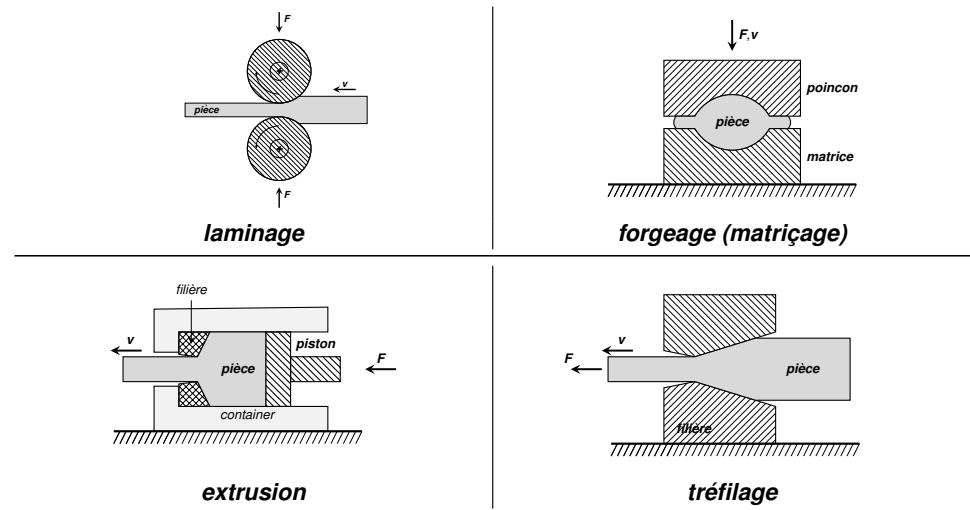
Formage des Matériaux

Résumé

19 décembre 2025

Formage des métaux

Classification des techniques de formage des pièces massives

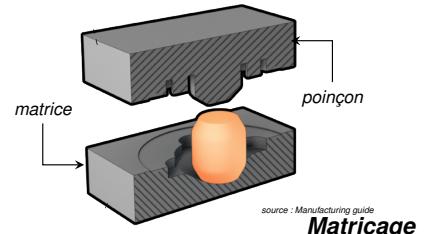
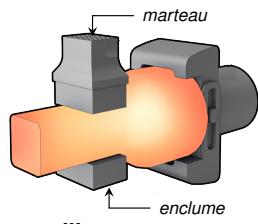


Forgeage

Principe

- En forgeage, on met en forme la pièce en la compressant dans une matrice.
- En forgeage à chaud la ductilité du matériau est améliorée. Les pièces **forgesées à froid** ont de meilleures propriétés mécaniques et sont plus précises.
- On distingue les techn. de forgeage suivant le mode d'application de la pression :

mode de compression :	compression par impact	compression graduelle
	martelage	pressage
- On distingue aussi les techniques de forgeage selon la façon avec laquelle la matrice contraint l'écoulement latéral du matériau (forgeage libre et matriçage).

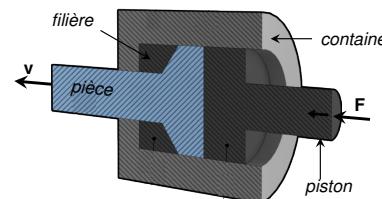


Forgeage libre

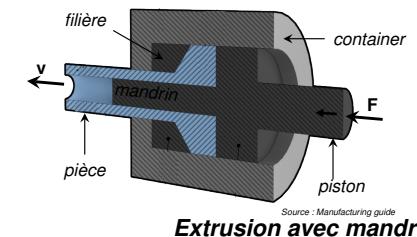
Extrusion

Principe de l'extrusion

- L'extrusion est un procédé dans lequel on produit une barre de section souhaitée en poussant le métal au travers d'une filière.
- La présence de contraintes de compression dans la direction d'extrusion est évidente. Elles se combinent à d'autres contraintes de compression exercées par la filière.
- L'extrusion peut se faire à chaud ou à froid. Généralement, les propriétés structurelles et mécaniques obtenues en extrusion à froid sont meilleures.
- Un des avantages du procédé d'extrusion est l'économie de matière : peu ou pas de matière perdue.



Extrusion simple

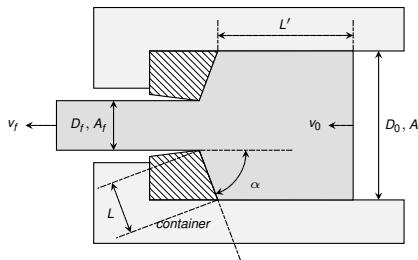


Extrusion avec mandrin

Extrusion - Nomenclature

Schéma et nomenclature pour l'extrusion

Nom	Unité
D_f : diamètre de sortie	mm
D_0 : diamètre d'entrée	mm
A_f : section de sortie	mm^2
A_0 : section d'entrée	mm^2



On pousse !

Nom	Unité
v_f : vitesse de sortie	mm/s
v_0 : vitesse d'entrée	mm/s
L, L' : longueurs de contact	mm
α : $\frac{1}{2}$ angle d'ouverture	rad

Relations géométriques

$$\cdot L = \frac{D_0 - D_f}{2 \sin \alpha}$$

Relations physiques

$$\cdot v_f A_f = v_0 A_0 \quad (\text{incompressibilité})$$

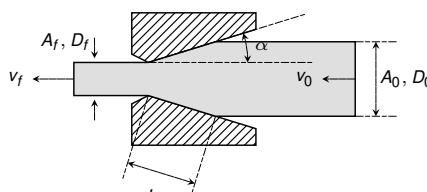
Rapport d'extrusion

$$\cdot r = \frac{A_f}{A_0} \leq 1$$

Tréfilage - Nomenclature

Schéma et nomenclature pour le tréfilage

Nom	Unité
D_f : diamètre de sortie	mm
D_0 : diamètre d'entrée	mm
A_f : section de sortie	mm^2
A_0 : section d'entrée	mm^2



On tire !

Nom	Unité
v_f : vitesse de sortie	mm/s
v_0 : vitesse d'entrée	mm/s
L : longueur de contact	mm
α : $\frac{1}{2}$ angle d'ouverture	rad

Relations géométriques

$$\cdot L = \frac{D_0 - D_f}{2 \sin \alpha}$$

Relations physiques

$$\cdot v_f A_f = v_0 A_0 \quad (\text{incompressibilité})$$

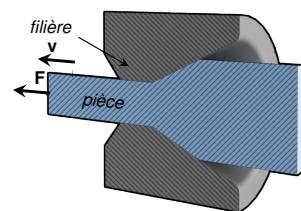
Rapport de tréfilage

$$\cdot r = \frac{A_f}{A_0} \leq 1$$

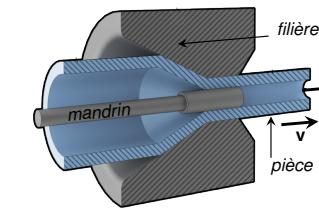
Tréfilage

Principe du tréfilage

- Le tréfilage est un procédé dans lequel on modifie la section d'une barre métallique. La différence avec l'extrusion est que la matière est tirée (et non pas poussée) au travers de la filière. Celle-ci est abondamment lubrifiée.
- Le tréfilage peut se faire à chaud (au détriment des propriétés de la pièce).
- Une contrainte de traction se développe dans la direction de tréfilage (risque de **striction**) et se combine à une contrainte de compression exercée par la filière.
- En général, l'écrouissage obtenu après tréfilage est extrêmement important. Pour améliorer les propriétés plastiques des pièces tréfilées, des traitements thermiques sont généralement nécessaires (**pattement**).



Tréfilage simple



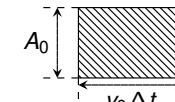
Tréfilage avec mandrin

Extrusion et tréfilage

Travail spécifique d'extrusion/tréfilage (matériau plastiquement idéal)

- Les opérations d'extrusion et de tréfilage consistent (essentiellement) en un étirement.

avant extrusion/tréfilage



après extrusion/tréfilage



$$\cdot \text{Le taux de déformation vaut } \varepsilon = \ln \frac{v_f \Delta t}{v_0 \Delta t} = \ln \frac{v_f}{v_0} = \ln \frac{A_0}{A_f}.$$

- Le travail spécifique de **déformation** en extrusion/tréfilage est l'aire sur la courbe de traction réelle :

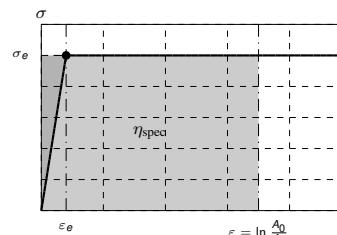


Fig. Courbe de traction réelle pour un corps plastiquement idéal

Pour un corps **plastiquement idéal** :

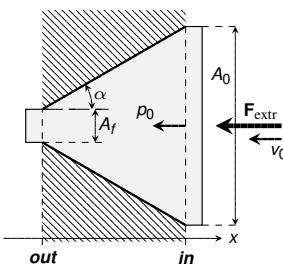
$$\eta_{\text{spec}} = \sigma_e \varepsilon - \frac{1}{2} \sigma_e \varepsilon e$$

Si ε_e est très petit alors $\sigma_e \approx R_e$ et :

$$\eta_{\text{spec}} \approx R_e \varepsilon = R_e \ln \frac{A_0}{A_f} = -R_e \ln r \quad (1)$$

Pression et force d'extrusion

Situation sans frottement



- On appelle p_0 la pression d'extrusion appliquée au flan en entrée. Cette quantité est à peu-près constante sur la section A_0 . La force d'extrusion est donc $F_{\text{extr}} = p_0 A_0$. La puissance d'extrusion vaut

$$P_{\text{extr}} = p_0 A_0 v_0. \quad (2)$$

Sans frottements, cette puissance est dissipée en travail de déformation :

$$P_{\text{extr}} = \eta_{\text{spec}} A_0 v_0 \quad (3)$$

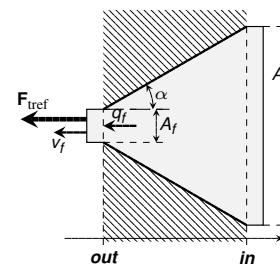
avec η_{spec} le travail spécifique de déformation (1) et $A_0 v_0$ le débit de mat. extrudée. Les équations (2)-(3) impliquent $p_0 = \eta_{\text{spec}}$ soit avec $r = \frac{A_f}{A_0}$, le rapport d'extrusion :

$$p_0 = -R_e \ln r \quad (\textbf{Pression d'extrusion}) \quad (4)$$

$$F_{\text{extr}} = -A_0 R_e \ln r \quad (\textbf{Force d'extrusion}) \quad (5)$$

Traction et force de tréfilage

Situation sans frottement



- On appelle q_f la traction de tréfilage appliquée au flan en sortie. Cette quantité est à peu-près constante sur la section A_f . La force de tréfilage est donc $F_{\text{tref}} = q_f A_f$. La puissance de tréfilage vaut

$$P_{\text{tref}} = q_f A_f v_f. \quad (6)$$

Sans frottements, cette puissance est dissipée en travail de déformation :

$$P_{\text{tref}} = \eta_{\text{spec}} A_f v_f \quad (7)$$

avec η_{spec} le travail spécifique de déformation (1) et $A_f v_f$ le débit de mat. tréfilée. Les équations (6)-(7) impliquent $q_f = \eta_{\text{spec}}$ soit avec $r = \frac{A_f}{A_0}$, le rapport de tréfilage :

$$q_f = -R_e \ln r \quad (\textbf{Traction de tréfilage}) \quad (8)$$

$$F_{\text{tref}} = -A_f R_e \ln r \quad (\textbf{Force de tréfilage}) \quad (9)$$