

Série 7.

Exercice 1

La section de barres d'aluminium doit être réduite par tréfilage. On vous demande de concevoir la filière.

- (a) Montrer d'abord que le procédé de tréfilage limite la réduction de diamètre dans le sens suivant : le diamètre final D_f de la barre ne peut pas être inférieur à environ 60% de son diamètre initial D_0 , plus exactement :

$$D_f \geq \frac{1}{\sqrt{e}} D_0 \quad \text{où} \quad \frac{1}{\sqrt{e}} \approx \frac{1}{\sqrt{2.718}} \approx 0.606. \quad (1)$$

- (b) En supposant la condition (1) remplie, montrer que la longueur de contact L entre la filière et la pièce ne peut pas être arbitrairement grande.
(c) Pour assurer une fabrication optimale, vous savez qu'il faut maximiser la longueur de contact. Dans le cas où on veut réduire de moitié la section d'une barre de diamètre initial $D_0 = 100$ mm, calculez la longueur de contact maximale que vous pouvez employer. Vous tiendrez compte d'un coefficient de frottement μ entre la pièce et la filière d'environ 0.5.

Exercice 2

Un bloc d'acier de 100 mm d'épaisseur et de 1000 mm de largeur doit être réduit à la dimension d'une feuille de 10 mm d'épaisseur par laminage à chaud. Les rouleaux ont un rayon de 400 mm. A la température de laminage, la limite élastique du matériau est de $R_e = 150$ MPa. Ce matériau est supposé incompressible avec un comportement plastique idéal. En plus de cela, on imagine que la largeur de laminage est constante tout au long de l'opération.

- (a) Votre laminoir n'est pas conçu pour supporter une force d'écartement des rouleaux valant plus que 25'000 kN. Vérifier que, dans ce cas, l'opération de laminage ne peut pas être réalisée en une seul passe.
(b) Planifier l'opération en deux passes et déterminer les facteurs de laminage successifs $r^{(1)}$ et $r^{(2)}$. Y a-t-il un choix de $r^{(1)}$ et $r^{(2)}$ qui minimise le travail de laminage total (frottements négligés) ? Si non, choisir $r^{(1)}$ et $r^{(2)}$ de telle façon que le travail de laminage soit le même lors de chaque passe.
(c) Vérifier que le laminoir est capable d'effectuer les deux passes et calculer le coefficient de frottement nécessaire.
(d) Calculer les vitesses de rotation $\omega^{(1)}$ et $\omega^{(2)}$ des rouleaux de façon à ne pas dépasser la limite de puissance de votre laminoir ($P_{\max} = 1$ MW).
(e) Calculer les vitesses d'entrée et de sortie de la matière pour chaque passe.
(f) Comparer la vitesse de sortie de la première passe et la vitesse d'entrée de la seconde. Pourquoi ces deux quantités sont-elles égales ?

Exercice 3

On veut réduire la section (circulaire) de barres en alliage d'aluminium dont le diamètre initial est $D_0 = 50.0 \text{ mm}$. On se propose d'appliquer le procédé de tréfilage à froid en utilisant

- une machine fournissant une puissance maximale de $P = 100 \text{ kW}$
- une filière de demi-angle d'ouverture $\alpha = \arctan \frac{1}{10}$ lubrifiée de façon à ce que le coefficient de frottement dynamique flan-filière vaille $\mu = 0.1$.

- a) Le rapport de réduction de section, $r = \frac{A_f}{A_0}$, nécessaire est $r = 0.75$. On vous demande
- 1) de calculer la longueur de contact L du flan sur la filière,
 - 2) de calculer la force de tréfilage F_{tref} nécessaire,
 - 3) de calculer la contrainte de traction q_f (tension de tréfilage) qu'on doit appliquer sur la section de sortie du flan,
 - 4) de calculer le taux de matière maximum qu'on peut tréfiler par unité de temps,
 - 5) de calculer la proportion de la puissance dépensée sous forme de déformation plastique et la proportion de la puissance dissipée en frottement,
 - 6) d'estimer la pression que le flan exerce sur la filière au niveau de la sortie (**Indication :** considérez que les efforts en tréfilage sont identiques aux efforts observés en laminage).
- b) Le réglage de la force n'est plus possible sur votre machine et la seule force utilisable qui reste est de 50 kN
- 1) Montrez que votre machine vous permet d'atteindre a priori deux rapports de réduction de section $r_- < r_+$. Calculez leurs valeurs respectives.
 - 2) Ces deux rapports sont-ils atteignables avec votre machine. Si c'est le cas continuez avec le plus petit des deux. Sinon, conservez celui qui vous paraît raisonnable pour répondre aux questions suivantes.
 - 3) Calculez le diamètre de sortie et la longueur de contact de la nouvelle filière que vous aurez à usiner de façon à atteindre le rapport de réduction sélectionné sans modifier le demi-angle d'ouverture.
 - 4) Quelles vitesses maximales le flan peut-il atteindre en entrée et en sortie dans les nouvelles conditions de fonctionnement ?

Les propriétés mécaniques (approximatives) qui caractérisent l'alliage d'aluminium utilisé sont données ci-dessous :

TABLE 1: Propriétés mécaniques assumées pour l'alliage d'aluminium

limite élastique	$R_e \simeq 100 \text{ MPa}$
tx. de déf. réel en lim. élastique	$\varepsilon_e \simeq 0$
coeffcient de Poisson	$\simeq \text{incompressibilité}$
comportement plastique	$\simeq \text{parfait}$

Exercice 4

On veut produire des barreaux cylindriques de 19 mm de rayon en tréfilant des barres de 20 mm de rayon faites dans un matériau incompressible et plastiquement idéal de limite élastique $R_e^{\text{amb}} = 650 \text{ MPa}$ à température ambiante $T_{\text{amb}} = 20^\circ\text{C}$.

- (a) Montrez qu'il est possible d'effectuer l'opération de réduction de rayon avec la filière de la Fig. 1 assurant une longueur de contact L de 10 mm et cela pour autant que la lubrification que vous utilisez maintienne le coefficient de frottement à la valeur $\mu = 0.1$.
- (b) Calculez la force de tréfilage $F_{\text{tref}}^{\text{amb}}$ nécessaire à effectuer l'opération à température ambiante avec la filière et la lubrification discutée au point (a).
- (c) Votre machine de tréfilage ne développe que le 90% de la force $F_{\text{tref}}^{\text{amb}}$ calculée ci-dessus. Vous suggérez d'effectuer l'opération à chaud. Les propriétés thermiques essentielles de votre matériau (un type d'acier) sont données à la Tab. 1 et la limite élastique de votre matériau varie linéairement par rapport à la température avec une pente $\eta \simeq 0.13 \text{ MPa}/^\circ\text{C}$:

$$R_e(T) \simeq R_e^{\text{amb}} - \eta(T - T_{\text{amb}}), \quad T_{\text{amb}} \leq T < 800^\circ\text{C}.$$

A quelle température devez-vous travailler ?

- (d) Le four que vous utilisez a une puissance de $P_{\text{four}} = 100 \text{ kW}$. Calculez le volume de matière que vous pouvez traiter par unité de temps et déduisez-en les vitesses de tréfilage v_0 et v_f en entrée et en sortie de sorte que votre chaîne de production (four+filière) fonctionne sans à-coups.
- (e) On sait qu'il en coûte $p_{\text{usi}} = 83.35 \text{ CHF}$ pour réduire le rayon d'une barre de 1 m par tournage (problème 1). Calculez le nombre N^* de pièces à partir duquel le procédé de tréfilage devient plus avantageux ? Vous tiendrez compte que la filière en métal dur vaut 5'000 CHF et que l'utilisation de la chaîne de production (amortissement de l'appareillage, main d'oeuvre et énergie compris) vous revient à 150 CHF/heure.
- (f) Comment évolue la quantité N^* si le prix de la matière première augmente dans des proportions si importantes qu'il ne peut plus être négligé (matériau précieux).

TABLE 1: Propriétés thermiques du matériau

densité	chal. spécf.	solidus	liquidus	chal. latente	coeff. de dil. ther.
ρ	C_p	T_s	T_l	L	a
7.8 g/cc	0.48 J/g/°C	1341°C	1465°C	270 J/g	négligeable

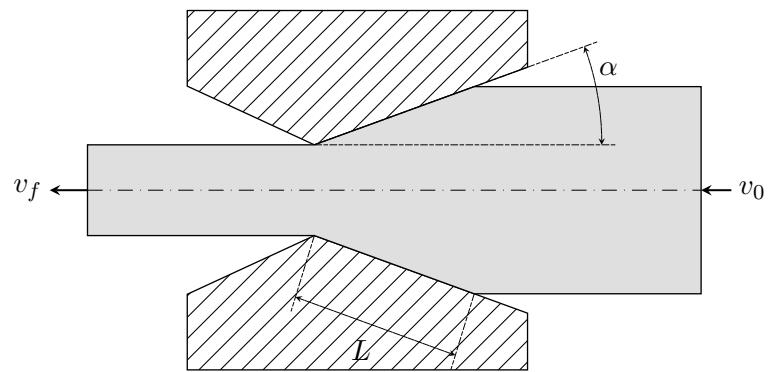


FIGURE 1: Schéma général d'une filière