Procédés de fabrication I - IGI - HEIG-VD
Propriétés Mécanique des Matériaux
Résumé

3 octobre 2025

Généralités

Observation

Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. Exemple :

- *formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
- *formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage,*
- *procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage).*

Conséquence

*La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques** du matériau à usiner.*

Objectifs du chapitre

Principales propriétés mécaniques :

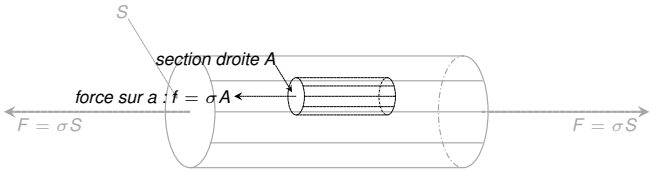
Nom	***Symbole***	***Unité***
Le module d'élasticité	E	$[GPa]$
Le coefficient de Poisson	ν	$[-]$
Le coefficient d'écrouissage	n	$[-]$
Le module d'écrouissage	K	$[MPa]$
La limite élastique	R_e	$[MPa]$
La résistance à la traction	R_m	$[MPa]$
Le taux de déformation réel à la rupture	ε_{ult}	$[-]$
La dureté	HB, HV, HK	$[kg/mm^2]$
...	...	...

Expérience de traction

La contrainte réelle

- *La contrainte réelle σ est le rapport entre la force appliquée et la section droite courante de l'échantillon :*

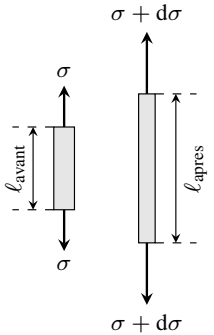
$$\sigma = \frac{F}{S}$$



- *On l'appelle contrainte **réelle** car elle correspond à la distribution de contrainte physique à l'intérieur de l'échantillon.*
- *N'importe quelle section droite A à l'intérieur de l'échantillon est soumis à cette contrainte de la part du reste de l'échantillon.*
- *L'adjectif **réelle** ne doit pas être oublié lorsqu'on parle de la contrainte σ. Sinon on risque de la confondre avec une autre contrainte, la contrainte **nominale** R que nous verrons plus tard et qui est un **image de la force** de traction.*

Expérience de traction élastique

Augmentation infinitésimale $\mathrm{d}\sigma$ de la contrainte réelle en domaine élastique



- ***Loi de transition multiplicative*** *pour la longueur :*

$$\ell_{\text{après}} = \ell_{\text{avant}}\left(1 + \frac{\mathrm{d}\sigma}{E}\right) \quad \textbf{(Hooke infinitésimale)}$$

- *La facteur de prop. est le module d'Young du matériau : E.*
- ***Loi de transition additive*** *pour le* ***log. de la longueur :***

$$\ln \ell_{\text{après}} = \ln \ell_{\text{avant}}\left(1 + \frac{\mathrm{d}\sigma}{E}\right) = \ln \ell_{\text{avant}} + \frac{\mathrm{d}\sigma}{E}$$

Passage de la contrainte réelle de 0 à σ en domaine élastique

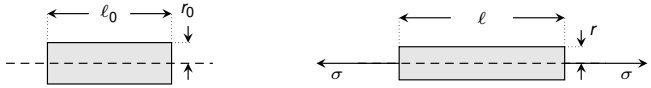
- *La longu. passe de ℓ_0 à ℓ :* $\ln \ell = \ln \ell_0 = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E}$
- *On retrouve la contrainte :* $\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}$
- ***Loi de Hooke macroscopique :*** $\sigma = E\varepsilon$ *où* $\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$.

Expérience de traction élastique (suite)

- *La quantité* $\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}$ *permet de calculer la contrainte réelle dans le domaine élastique :*

$$\textbf{Loi de Hooke :} \quad \sigma = E\varepsilon \quad \text{où} \quad E : \text{est le } \textbf{module d'Young du matériau}. \qquad (1)$$

- *La quantité ε est aussi une* ***bonne mesure de la déformation****. Elle permet de déterminer l'évolution des propriétés géométriques de l'échantillon en cours d'une exp. de traction :*



- *Par définition :* $\ell = \ell_0 \mathbf{e}^{\varepsilon}$ *et sinon la géométrie évolue selon :*

$$r = r_0 \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0 \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ V = V_0 \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ \textbf{(lois de Poisson)} \qquad (2)$$

- *Ces lois font intervenir le coefficient de Poisson ν, une nouvelle caractéristique mécanique du matériau qui est sans unité.*
- *On appellera dorénavant ε taux de déformation* ***réel****.*
- *Les lois (1)-(2), ne sont valables que si $\varepsilon \leq \varepsilon_e$ où ε_e est le taux de déformation réel en limite élastique. Ce taux est une caractéristique mécanique du matériau qui discrimine les déformations élastiques ou réversibles ($\varepsilon \leq \varepsilon_e$) des déformations plastiques ou irréversibles ($\varepsilon \geq \varepsilon_e$).*

Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (2) :*

$$V = V_0 \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}.$$

Il faut que $V > V_0$ si $\varepsilon > 0$ donc que

$$\nu \leq 0.5 \qquad (3)$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$ alors le volume reste constant ($V = V_0$) et l'échantillon est dit* ***incompressible****.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétiques), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (2) :*

$$r = r_0 \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon} > r_0 \quad si \quad \varepsilon > 0.$$