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

20 octobre 2023

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

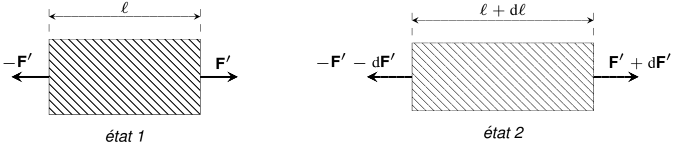
Principales propriétés mécaniques :

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	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$	$[-]$
La dureté	HB, HV, HK	$[kg/mm^2]$
. . .	. . .	. . .

(cf. Annexe **??**)

Expérience de traction et taux de déformation

Episode de traction et taux de déformation réel et nominal



- *La quantité de déf. entre l'état 1 et l'état 2 peut être mesurée en rapportant l'allongement $d\ell$ soit à la longueur déformée ℓ soit à la longueur initiale l_0.*
- *La première méthode conduit à mesurer la déformation par le taux **réel** ε :*

$$d\varepsilon = \frac{d\ell}{\ell} \Longrightarrow \varepsilon = \int_{l_0}^{l} \frac{d\ell}{\ell} = \ln \frac{l}{l_0}$$

- *La seconde méthode conduit à mesurer la déformation par le taux **nominal** e :*

$$de = \frac{dl}{l_0} \Longrightarrow e = \int_{l_0}^{l} \frac{d\ell}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

- *Le taux nominal est plus simple à calculer, mais le taux réel présente l'avantage d'être défini indépendemment de la longueur au repos l_0 qui n'est pas une quantité bien définie dès que la matériau **plastifie**. En outre, en élasticité, la contrainte est liée **linéairement** au taux réel alors que sa relation avec le taux nominal est plus complexe (logarithmique).*

Force et contrainte réelle

Théorie de l'expérience de traction (Hooke, Young, Ludwik)

- *On appelle **contrainte réelle** et note σ le rapport entre force et section courantes :*

$$F = S\sigma.$$

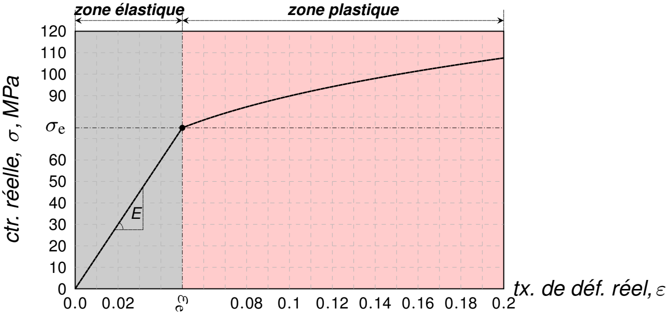
- *Pour un matériau donné, σ ne dépend que du taux de déf. réel ε : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$.*
- *La dépendance entre σ et ε est **forcément** linéaire tant que la barre demeure dans le domaine élastique (pas d'effet mémoire dû à une éventuelle précontrainte).*
- *Dans le domaine plastique on utilise des lois phénoménologiques d'écrouissage, comme la loi de Ludwik (pour les métaux revenus, certains plastiques, etc...)*

$$\sigma = \begin{cases} E\varepsilon, & \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}} \quad \textbf{\textit{(loi de Hooke)}} \\ K\varepsilon^{n}, & \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}} \quad \textbf{\textit{(loi de Ludwik)}} \end{cases}$$

ε_{e} :	*tx de déf. réel en lim. élastique*
E :	*module d'Young,*
n :	*coeff. d'écrouissage,*
$K = E\varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}$:	*module d'ecrouissage.*

La contrainte en fonction de l'allongement

Courbe de traction et limite élastique réelles



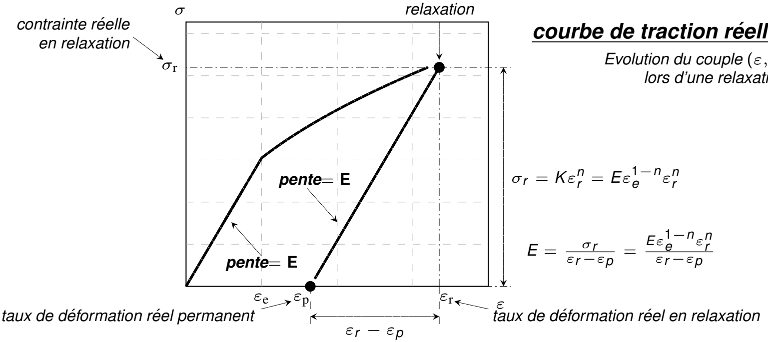
- *La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. C'est ce niveau de contrainte qui est recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, . . .).*

Relaxation

Déformation permanente

- *Dans l'exp. de traction, on appelle **relaxation** le fait de laisser revenir la force à zéro. Les taux de déf. réels ε_p et ε_r avant et après relaxation sont liés par :*

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_e} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_e}\right)^n \quad \textbf{\textit{(Equation de la déformation permanente)}} \qquad (1)$$



courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

$$\sigma_r = K\varepsilon_r^n = E\varepsilon_e^{1-n}\varepsilon_r^n$$

$$E = \frac{\sigma_r}{\varepsilon_r - \varepsilon_p} = \frac{E\varepsilon_e^{1-n}\varepsilon_r^n}{\varepsilon_r - \varepsilon_p}$$

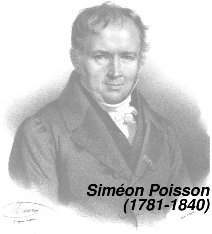
Rapport entre les propriétés géométriques

Elasticité-Loi de Poisson

- *Avant que des cous étroits n'apparaissent sur l'échantillon (striction) l'échantillon* ***reste cylindrique****, mais son rayon diminue. Le but de ce paragraphe est de trouver un rapport entre l'allongement relatif* $\frac{l}{l_0}$ *et le retrait relatif du rayon* $\frac{r}{r_0}$ ***au cours*** *de l'expérience de traction uniaxiale.*
- *Dans le domaine élastique (*$\varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$*), la variation relative de rayon et l'accroissement relatif de longueur sont proportionnels*

$$\frac{dr}{r} = -\nu \frac{dl}{l} \quad \textbf{\textit{(déf. élastique)}} \qquad (2)$$

- *Le coefficient* $\nu > 0$ *est appelé* ***coefficient de Poisson****. C'est une caractéristique mécanique importante des matériaux.*



Siméon Poisson (1781-1840)

Rapport entre les propriétés géométriques

Elasticité-Loi de Poisson

Rappel : $\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{\varepsilon}$,

- *L'équation différentielle* $\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\nu \frac{\mathrm{d}l}{l}$ *s'intègre en*

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{l}{l_0}\right)^{-\nu} = \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{3}$$

- *Les rapports entre sections (*$S = \pi r^2$ *et* $S_0 = \pi r_0^2$*) et entre volumes (*$V = Sl$ *et* $V_0 = S_0 l_0$*) sont :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{4}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{5}$$

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson* ν *:*

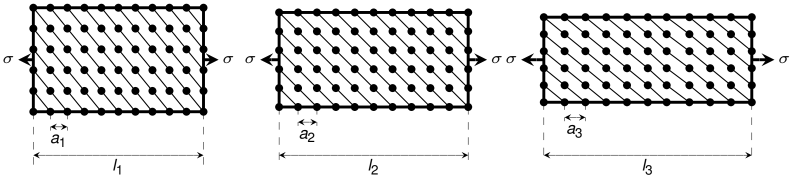
$$\nu \leq 0.5 \tag{6}$$

Si $\nu = \frac{1}{2}$*, le volume reste cst. (*$V = V_0$*), l'échantillon est dit* ***incompressible****.*

ANNEXES, TABLES ET BIBLIOGRAPHIE

A 1: Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations