

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

20 octobre 2023

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

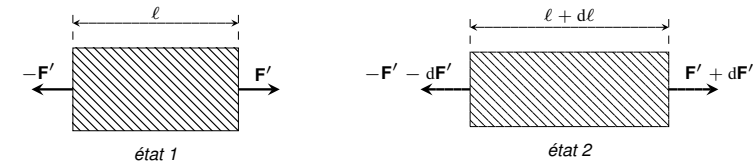
Principales propriétés mécaniques :

Nom	Symbole	Unité
Le module d'élasticité	E	[GPa]
Le coefficient de Poisson	ν	[-]
Le coefficient d'écroutissage	n	[-]
Le module d'écroutissage	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]
...

(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 dl 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 :

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} \implies \varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

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

$$de = \frac{dl}{l_0} \implies e = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

- Le taux nominal est plus simple à calculer, mais le taux réel présente l'avantage d'être défini indépendamment 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 :

$$F = S\sigma.$$

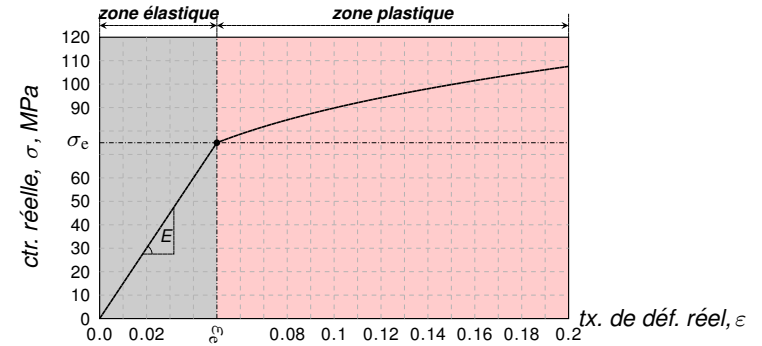
- Pour un matériau donné, σ ne dépend que du taux de déf. réel ε : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$.
- La dépendance entre σ et ε est **forcément** linéaire tant que la barre demeure dans le domaine élastique (pas d'effet mémoire dû à une éventuelle précontrainte).
- Dans le domaine plastique on utilise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

$$\sigma = \begin{cases} E\varepsilon, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad \text{(loi de Hooke)} \\ K\varepsilon^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \quad \text{(loi de Ludwik)} \end{cases}$$

ε_e : tx de déf. réel en lim. élastique
 E : module d'Young,
 n : coeff. d'écroutissage,
 $K = E\varepsilon_e^{1-n}$: module d'écroutissage.

La contrainte en fonction de l'allongement

Courbe de traction et limite élastique réelles



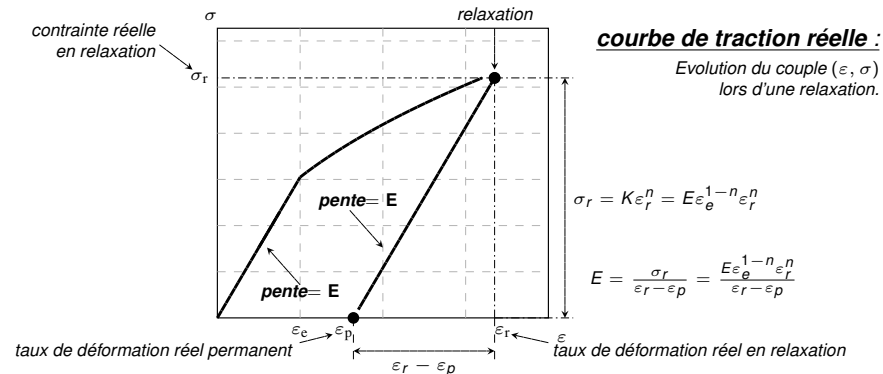
- La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. C'est ce niveau de contrainte qui est recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...).

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 :

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



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 ($\varepsilon < \varepsilon_e$), la variation relative de rayon et l'accroissement relatif de longueur sont proportionnels

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

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



Rapport entre les propriétés géométriques

Elasticité-Loi de Poisson

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

- L'équation différentielle $\frac{dr}{r} = -\nu \frac{dl}{l}$ s'intègre en

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{l}{l_0}\right)^{-\nu} = e^{-\nu\varepsilon}, \quad \varepsilon \leq \varepsilon_e. \quad (3)$$

- 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 :

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = e^{-2\nu\varepsilon}, \quad \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (4)$$

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

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

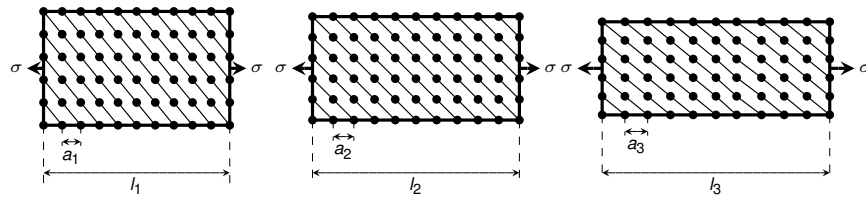
$$\nu \leq 0.5 \quad (6)$$

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

