

# Índex

<b>1 Propietats i assaigs</b>	<b>2</b>
1.1 Els materials i els processos industrials . . . . .	2
1.1.1 Criteris de selecció de materials . . . . .	2
1.2 Propietats mecàniques . . . . .	2
1.2.1 Resistència mecànica i assaig de tracció . . . . .	2
1.2.2 La duresa . . . . .	5
1.2.3 Tenacitat . . . . .	7
1.2.4 Assaigs de fatiga . . . . .	7
1.2.5 Assaigs no destructius o de defectes . . . . .	7
1.3 Propietats tèrmiques . . . . .	8
1.3.1 Conductivitat tèrmica . . . . .	8
1.3.2 Dilatació tèrmica . . . . .	9



# 1 Propietats i assaigs

## 1.1 Els materials i els processos industrials

### 1.1.1 Criteris de selecció de materials

Quan hem de triar un material per fabricar un objecte, s'ha de tenir en compte que hi pot haver criteris diferents que cal considerar. Aquests són, en general:

- **Les propietats.** Per exemple, un recipient per cuinar aliments ha de ser bon conductor de la calor.
- **Les qualitats estètiques.** Per exemple, en objectes de seguretat que han de ser localitzats ràpidament.
- **El procés de fabricació.** Per exemple, es disposa de la maquinària necessària per treballar el material?
- **El cost.** S'ha de tenir en compte la rendibilitat del producte final.
- **La disponibilitat.** S'ha de tenir en compte la vida previsat al mercat.
- **L'impacte ambiental.** En operacions d'extracció i transformació de les matèries primeres i reciclatge quan ha finalitzat la vida útil del producte.

## 1.2 Propietats mecàniques

### 1.2.1 Resistència mecànica i assaig de tracció

La resistència mecànica és la capacitat que té un material per suportar esforços sense deformar-se o trencar-se. En aquest sentit, distingim els següents tipus d'esforç:

- **Tracció.** quan volem estirar una peça.
- **Compressió.** quan volem aixafar una peça.
- **Flexió.** quan volem doblegar una peça.
- **Torsió.** quan volem retorçar una peça.
- **Cisallament.** quan volem tallar una peça.



1. **Models de deformació i comportament mecànic.** Parlem de deformacions *elàstiques* quan al retirar l'esforç aplicat es deformacions no són permanentes. Si la deformació és permanent, parlem de deformació *plàstica*. Els materials *fràgils* són aquells que es trenquen al poc de començar a deformar-se. Els materials *dúctils* es poden estirar en fils molt prims i llargs sense trencar-se. Els *maleables* es poden estirar en làmines planes de gruix molt petit. El *vinclament* consisteix en la deformació que pot patir un objecte sotmés a un esforç de compressió.
2. **Assaig de tracció.** L'assaig de tracció és una de les proves de laboratori de materials més utilitzades i que més informació proporciona sobre les propietats mecàniques dels materials.
3. **Esforç unitari.** L'esforç unitari ( $\sigma$ ) o simplement *esforç*, és la relació entre la força  $F$  aplicada a un material i la secció  $A$  sobre la qual s'aplica.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$$

**Exemple 1.2.1** Calculeu l'esforç que pateix una barra d'acer de diàmetre  $D = 10 \text{ mm}$  al aplicar-li una之力 de tracció  $F = 2000 \text{ N}$ .

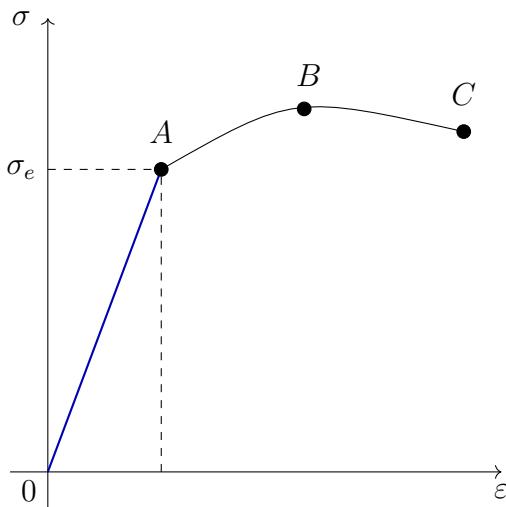
Calculem directament

$$\sigma = \frac{2000}{\pi \cdot (5 \text{ mm})^2} = 25,46 \text{ MPa}$$

4. **Allargament unitari.** Quan apliquem un esforç prou gran a un material, aquest s'allarga. L'*allargament unitari* ( $\varepsilon$ ) és la relació entre l'allargament  $\Delta L$  d'una peça i la llargària inicial  $L_0$  que tenia abans d'aplicar l'esforç de tracció.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

5. **Diagrama de tracció.** En aquests assaigs es fan servir provetes de mides normalitzades que són sotmeses a esforços de tracció fins a trencar-les.



En la *zona elàstica*, el material recuperarà la seva longitud inicial si es retira l'esforç. Aquesta zona va des del punt  $O$  al  $A$ , i el valor de l'esforç que marca el seu límit superior, (anomenat *límit elàstic*  $\sigma_e$ ) és un paràmetre molt important per cada material. Un cop superat el límit elàstic, el material entra en la *zona plàstica*, on les deformacions són permanentes. El punt  $B$  marca l'anomenat *límit de ruptura* (o *resistència al trencament*) a partir del qual el material es considera trencat encara que no s'aprecii la fractura visualment. Més enllà d'aquest punt, i encara que es redueixi l'esforç aplicat, el material continua allargant-se fins que es produeix la rotura física total en el punt  $C$ . Anomenem *estricció* a la reducció que pateix la secció del material al anar estirant-se. Els canvis que pateix el material entre el punt  $A$  i el  $B$  són complexos i es donen a nivell atòmic en la seva estructura. Com a conseqüència d'aquests canvis es produeix un enduriment del material, tot i la seva plasticitat en aquesta regió. L'estudi d'aquests detalls queda fora de l'abast d'aquests apunts.

Una dada fonamental que es pot obtenir del diagrama de tracció és el *mòdul elàstic* o mòdul de Young del material, que resulta ser el pendent de la recta a la zona elàstica de forma que podem escriure

$$\sigma = E\varepsilon$$

que resulta ser una generalització de la llei de Hooke per objectes elàstics unidimensionals ( $F = -kx$ ). Aquest paràmetre,  $E$ , codifica la *rigidesa* del material, ja que relaciona l'esforç que s'ha d'aplicar per obtenir un determinat valor de la deformació.

Per una altra banda, es defineix el *coeficient de seguretat* com

$$n = \frac{\sigma_e}{\sigma_t}$$

on hem escrit  $\sigma_t$  per referir-nos a l'esforça de treball, que és l'esforç al que es veurà sotmesa una peça determinada. Per exemple, si sabem que un tirant (cable) d'un pont penjant ha de suportar un esforç de  $200 \text{ MPa}$ , podríem fer servir un material que tingués un límit elàstic de  $600 \text{ MPa}$  per tenir un coeficient de seguretat de valor 3.

Finalment, en alguns exercicis ens poden demanar calcular el pes d'una estructura sabent la densitat del material del que està feta i dades geomètriques que permetin calcular el volum de material, llavors farem servir senzillament

$$m = \rho V$$

i

$$P = mg$$

### 1.2.2 La duresa

Anomenem *duresa* a la resistència o oposició que presenta un material a ser ratllat o penetrat per un altre.

**1. Assaig Brinell.** Aquest assaig consisteix a pressionar amb una punta esfèrica la superfície d'un material. Al mesurar el diàmetre de la marca que s'ha produït sobre la mostra podem donar el valor de la duresa com

$$HBW = 0,102 \cdot \frac{F}{A}$$

on

- $HBW$ : grau de duresa Brinell (sense unitats).
- $0,102$ : constant (igual a  $1/g$ ).
- $F$ : càrrega aplicada, en  $N$ .
- $A$ : superfície de la marca deixada sobre la proveta (en  $\text{mm}^2$ ). Per obtenir aquest valor es mesura el diàmetre de la marca i es fa l'operació

$$A = \frac{\pi \cdot D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}{2}$$



Les característiques de l'assaig s'indiquen de la manera següent

$$XX \text{ } HBW \text{ } D/C/t$$

on

- $XX$ : grau de duresa Brinell.
- $D$ : diàmetre del penetrador (mm).
- $C$ :  $0,102 \cdot F$  ( $F$  és la càrrega aplicada en newtons).
- $t$ : temps que ha durat l'aplicació de la càrrega (s).

**Exemple 1.2.2** Quin és el significat de  $187 \text{ } HBW \text{ } 5/750/20$ ?

El material assajat té una duresa Brinell de 187. L'assaig s'ha fet amb un penetrador de diàmetre  $D = 5 \text{ mm}$  amb una càrrega

$$F = \frac{C}{0,102} = \frac{750}{0,102} = 7353 \text{ N}$$

aplicada durant 20 s.

**2. Assaig Vickers.** Aquest assaig de duresa és semblant al Brinell però fa servir una piràmide de base quadrada de diamant. En aquest sentit, pot mesurar un rang molt més extens de dureses i per això és considerat l'assaig de duresa "universal". L'expressió corresponent és semblant a la de la duresa Brinell

$$HV = a, 102 \cdot \frac{F}{A}$$

on ara la superfície es calcula com  $A = d^2$  on la  $d$  és la diagonal de l'empremta. En general es pren la mitjana aritmètica de les dues diagonals.

Finalment, existeix relacions empíriques entre la duresa i la resistència al trencament per diferents materials. Per acers tenim

$$\sigma \approx 3,45 \cdot HB$$

i

$$\sigma \approx 3,2 \cdot HV$$



### 1.2.3 Tenacitat

La *tenacitat* es defineix com la capacitat de resistència al xoc. Molt relacionat amb el concepte de tenacitat tenim la *resiliència* que es defineix com l'energia necessària per trencar un objecte d'un sol cop. Per mesurar la resiliència ( $K$ ) dels materials es fa servir l'anomenat assaig Charpy, que consisteix a deixar caure un pèndol que té un martell sobre la mostra a analitzar. Com en tots els assaigs, la mostra o *proveta* té unes mides i forma normalitzades. La idea general de l'assaig és que al deixar caure el martell des d'una determinada altura, aquest trencarà la proveta i seguirà oscil·lant fins a arribar a una altura, menor que la inicial. L'energia perduda en el xoc correspon a la diferència d'energia potencial inicial i final. D'aquesta manera es calcula la resiliència com

$$K = \frac{\Delta E}{A} \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

on  $A$  és l'àrea de la secció de la proveta que pateix el trencament.

### 1.2.4 Assaigs de fatiga

Anomenem *esforços de fatiga* als esforços que alternen el seu sentit d'aplicació de manera repetitiva o cíclica en el temps. L'assaig de fatiga intenta reproduir les condicions de treball reals dels materials. Els resultats de l'assaig es representa en un gràfic que es coneix com a *corba S-N* o *diagrama de Wöhler*. A l'eix vertical es representa l'amplitud de l'esforç aplicat i a l'eix horitzontal el nombre de cicles  $N$  a què ha estat sotmesa la proveta fins el seu trencament. A partir de la corba  $S - N$  es defineix dos valors importants:

- **resistància a la fatiga.** Valor de l'amplitud de l'esforç que provoca el trencament del material després d'un nombre determinat de cicles.
- **vida a la fatiga.** Nombre de cicles de treball que pot suportar un material per a una determinada amplitud de l'esforç aplicat.

Anomenem *límit de fatiga* al màxim valor de l'amplitud de l'esforç a aplicar per tal que no es trenqui en un nombre infinit de cicles. No tots els materials tenen límit de fatiga.

### 1.2.5 Assaigs no destructius o de defectes

Els assaigs no destructius s'apliquen a peces elaborades per determinar la possible presència de defectes interns. Aquests poden ser, entre d'altres, esquerdes, porus, inclusions, etc. Els assaigs no destructius més importants són els *magnètics*, mitjançant *raigs X i raigs gamma* i els assaigs per *ultrasons*.



- **Assaigs magnètics.** Reservat a materials ferromagnètics, es basen en l'anàlisi del comportament del camp magnètic dins un material.
- **Assaigs per raigs X i raigs gamma.** Es fa passar radiació a través de la peça a examinar i s'analitza la imatge obtinguda en una placa fotogràfica. Si no hi ha defectes, la paca hja de quedar impressionada de forma uniforme.
- **Assaigs per ultrasons.** Els ultrasons són ones mecàniques de freqüència superior a la màxima audible per l'oïda humana. Una de les modalitats d'assaig consisteix a situar l'emissor i el receptor sobre la mateixa cara de la peça que s'assaja. Si hi ha algun defecte, l'eco que detecta el receptor no serà l'esperat.

## 1.3 Propietats tèrmiques

### 1.3.1 Conductivitat tèrmica

Hi ha dues propietats tèrmiques que tenen importants aplicacions tecnològiques: la conductivitat tèrmica i la dilatació tèrmica. En aquest sentit, definim la *conductivitat tèrmica* com la facilitat que ofereix un material per permetre el flux d'energia tèrmica a través seu. Els següent resultat pot ser útil:

$$Q = \lambda \frac{A \cdot t \cdot \Delta T}{L}$$

on

- $Q$ : quantitat de calor transmessa ( $J$ )
- $\lambda$ : conductivitat tèrmica del material ( $W/m \cdot ^\circ C$ ) o ( $W/m \cdot K$ )
- $A$ : superfície de contacte entre les dues masses tèrmiques o entre les dues zones que es troben a diferent temperatura ( $m^2$ )
- $t$ : temps transcorregut ( $s$ )
- $\Delta T$ : diferència de temperaturas ( $^\circ C$ ) o ( $K$ )
- $L$ : gruix del material o distància entre les dues zones a diferent temperatura si es tracta d'un mateix cos ( $m$ )

El quocient  $\frac{Q}{t}$  s'anomena *potència tèrmica*  $P_t$  i es pot calcular com

$$P_t = \lambda \frac{A \cdot \Delta T}{L}$$



### 1.3.2 Dilatació tèrmica

La *dilatació tèrmica* és el fenòmen que provoca l'augment de les dimensions d'un material, especialment els metalls, quan augmenta la temperatura. La dilatació lineal es calcula amb

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

on

- $\Delta L = L_f - L_0$ : diferència entre la llargària final i la inicial.
- $L_0$ : llargària inicial.
- $\alpha$ : coeficient de dilatació lineal propi del material ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
- $\Delta T = T_f - T_0$ : diferència entre la temperatura final i la inicial ( $^{\circ}\text{C}$ )