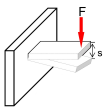
Propietats mecàniques

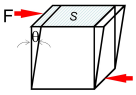
capítol 7

El comportament mecànic d'un material reflexa la relació entre la $\vec{F}$ aplicada i la resposta del material (deformació). Les propietats mecàniques del material es determinen realitzant assaigs al laboratori.

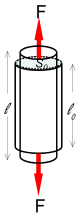
Tipus d'esforç



④ Flexió: allargament perpendicular a l'eix longitudinal. Ex.- trampolí

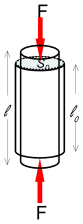


⑤ Cisalla: tensions // a la secció transversal d'un prisme. Ex.- paper en estripar-lo.



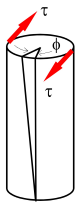
σ_x, $\Delta l_x > 0$

① Tracció: aplicació de 2 forces en sentit oposat. Ex.- cable ascensor



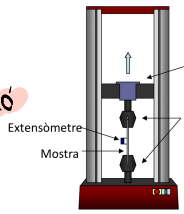
σ_x, $\Delta l_x < 0$

② Compressió: aplicació de 2 forces en el mateix sentit. Ex.- columnes



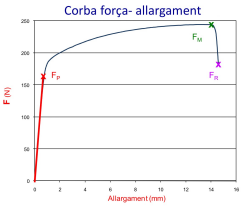
③ Torsió: aplicació d'un moment sobre l'eix longitudinal. Ex.- cargol (🔩)

Assaig de tracció



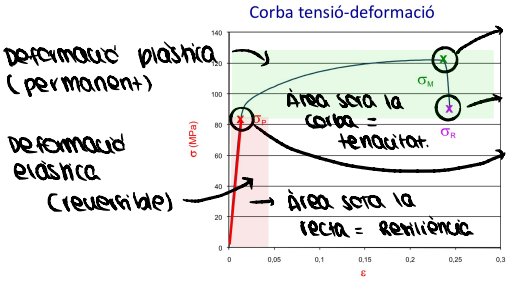
→ Diagrama màquina ($\vec{F}$, Δl)

⚠ Depèn de les dimensions



→ Diagrama convencional (σ, ε)

Tot material sotmès a una tensió experimenta una deformació (reversible, permanent, irreversible)



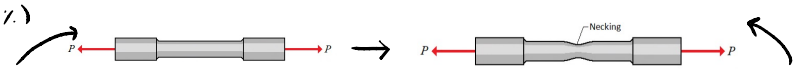
$$\sigma = F / S_0$$

→ secció ⊥ a $\vec{F}$

= Pa = N/m², MPa = N/mm²

$$\varepsilon = l - l_0 / l_0 = \Delta l / l_0$$

→ ε = elongació



L'estricció es dóna quan les deformacions es concentren a la part central de la probeta, causant una disminució en la seva secció. A partir d'aquest moment les deformacions s'acumularan en aquella zona fins la ruptura.

La deformació elàstica és una deformació temporal que desaparèix quan s'atura l'esforç aplicat. Els àtoms desplaçats recuperen la seva posició.

La deformació plàstica és una deformació permanent que no es recupera quan s'atura l'esforç aplicat. Els àtoms sí es desplacen permanentment.

El mòdul de Young o d'elasticitat és un paràmetre que caracteritza el comportament d'un material elàstic. És el pendent de la línia recta del diagrama convencional (només règim elàstic)

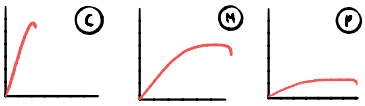
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Mòdul de Young (GPa = 10^9 Pa) = representa la rigidesa del material, la seva resistència a deformar-se elàsticament.

↓

com més gran és E, més rígid és un material i menys deformació elàstica patirà.

E ceràmics > E metalls >> E polímers

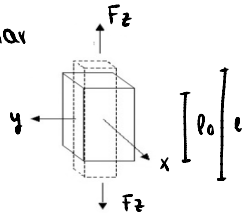


El coeficient de Poisson (ν) és una mesura dels canvis de longitud paral·lela i perpendicular a la tensió aplicada. Només es pot calcular per la zona elàstica perquè considera el volum = ct.

$$\nu = -\varepsilon_x / \varepsilon_z = -\varepsilon_y / \varepsilon_z$$

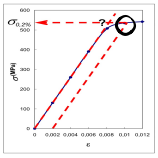
→ allargament // $\vec{F}$

$$\varepsilon_i = \Delta l_i / l_{0i}$$



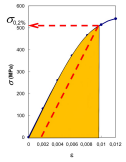
El límit elàstic o de cedència defineix la transició de deformació elàstica a plàstica. Es calcula traçant una recta de pendent E al 0.2% d'ε (= 0.002 ε) i mirant en quin valor de σ es creua amb la corba de deformació plàstica.

σ_y ceràmics >>>> σ_y metalls >>> σ_y polímers



L'anisotropia és una propietat d'un material per la qual diferents qualitats d'aquest varien en funció de la direcció. L'anisotropia al límit elàstic es pot induir per laminar.

El mòdul de tenacitat (U_r) representa l'energia absorbida per unitat de volum en la deformació elàstica. És l'àrea sota la corba tensió - deformació en el tram elàstic.

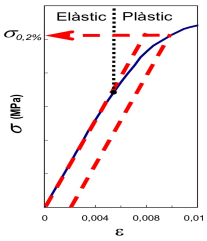


$$U_r = \int_0^{\varepsilon} \sigma \, d\varepsilon$$

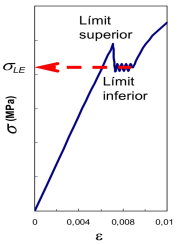
$$\boxed{U_r = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{0.2\%} \cdot \varepsilon_{0.2\%} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_{0.2\%}^2}{E}} = J/m^3 \text{ o } Pa$$

Comportament plàstic La deformació és permanent i no es recupera quan es deixa d'aplicar la força. Els enllaços es van trencant però també se'n formen de nous, el material deforma i, al final, cedeix i trenca.

Hi ha diferents tipus de transició elastoplàstica:



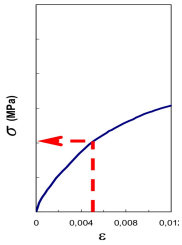
Gradual



Ben definida (acers)

$\sigma_p = \frac{1}{2}(L_s - L_i)$

com més C, més llarga ~~~.



Regió elàstica no lineal (elastòmers)

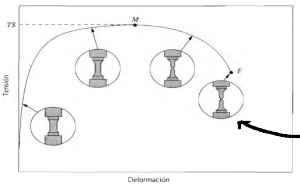
La deformació plàstica correspon al trencament d'enllaços entre àtoms veïns i a la reformació d'aquests. Molts àtoms i molècules es mouen les unes respecte les altres i, en eliminar la tensió, no tornen a les seves posicions originals.

1. Metalls: la transició elastoplàstica és gradual. Quan es deformen plàsticament els plans de màxima compactació llisquen gràcies a les dislocacions. Com a conseqüència, el metall s'endureix.
   - Pla de lliscament = pla amb la major densitat planar d'àtoms
   - Direcció de lliscament = direcció del pla amb una major densitat lineal

   } FCC: molts plans; HCP: 1 pla, 3 direccions

   El cristall amb major τ_R (tensió de cisalla resolta, que depèn de la σ, l'orientació del pla i la direcció de lliscament) deformarà primer.
2. Termoplàstics: $T > T_{transició\ vítrea}$, hi ha prou energia per trencar enllaços secundaris entre les cadenes, que s'alineen en la direcció d'aplicació de la força.
3. Vidres: la deformació té lloc per flux viscós, els enllaços es trenquen i es tornen a formar.
4. Sòlids covalents: com els enllaços són direccionals, no experimenten deformació plàstica.
5. Sòlids iònics: només els monocristalls experimenten una deformació plàstica notable.

Resistència mecànica és la tensió màxima que pot suportar una estructura a tracció passat el límit elàstic. Si aquesta tensió continua aplicant-se, es produirà la fractura. Abans d'arribar a aquest punt, la deformació és uniforme a la regió estreta de la probeta. Superada la tensió màxima, s'inicia l'estricció i la deformació passa a estar concentrada en aquesta zona.



Ductilitat / Fragilitat és una mesura del grau de deformació plàstica que pot suportar un material fins la ruptura. Un material que experimenta poca o nul·la deformació és fràgil.

↓

pot expressar-se com:

Allargament relatiu percentual

$$\boxed{\%\ El = \frac{l_f - l_0}{l_0} \cdot 100}$$

(l_f: longitud fractura)

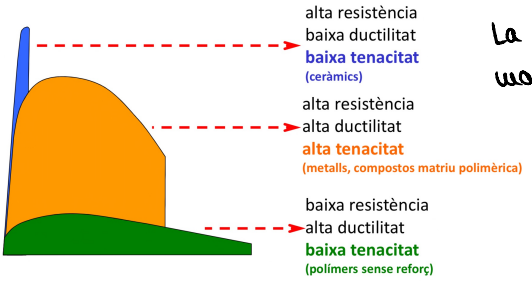
Percentatge d'estricció

$$\boxed{\%\ Z = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \cdot 100}$$

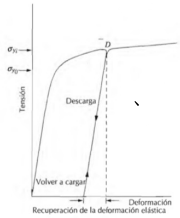
Podem considerar que un material és fràgil quan %Z o %El < 5%.

Metalls deformats en fred = 10%
Metalls recuits = 40%

Tenacitat és una mesura de la capacitat d'un material d'absorbir energia abans de la fractura. És l'àrea sota la corba σ - ε fins la fractura. (energia / volum → J/m^3 o Pa

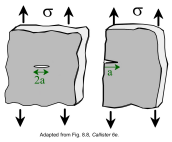


La tenacitat és una combinació de resistència i ductilitat. Perquè un material trigui tenac, ha de ser alhora resistent i dúctil.



Gràfic sobre la recuperació de la part de deformació elàstica en una deformació plàstica.

La tenacitat de fractura és la mesura de resistència d'un material a la fractura fràgil en presència d'una esquerda.



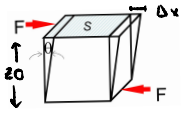
K_{IC} = Tenacitat de fractura en deformació plana

Un material trencarà si $K_C > K_{IC}$

Factor d'intensitat de tensions: $K_C = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$

- Y: constant material
- σ: tensió aplicada
- a: radi fractura
  - externa = a
  - interna = $a/2$

Esforç tallant o de cisalla es produeix per l'aplicació d'una tensió en sentit paral·lel a la superfície.



L'esforç tallant produeix un desplaçament angular (θ) i una deformació de cisalla (γ)

$$\gamma = \tan\theta = \Delta x / z_0$$

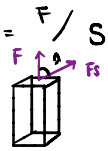
$$\tau = F_s / S_s = G \cdot \gamma$$

- τ: tensió tallant
- S_s: àrea // a F

$$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu)$$

- G: mòdul de cisalla.

$$\sigma = F / S$$



$F_s = F \cdot \cos\lambda$

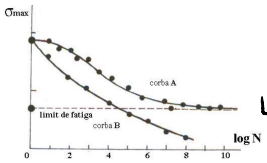
$S_s = S \cdot \cos\phi$

$$\tau_R = \sigma \cdot \cos\lambda \cdot \cos\phi$$

Assaig de dureza mesura la resistència d'un material a ser permanentment deformat per un objecte.

La dureza és la mesura de la resistència d'un material a la deformació plàstica localitzada

La fatiga té lloc quan el material trenca en estar sotmès a càrregues cícliques. Es dóna quan $\sigma < \sigma_{0.2}$



El límit de fatiga és la tensió màxima moderadament per sota de la qual el material no trenca.

La resistència a la fatiga és la tensió representativa per la qual té lloc a la fractura de 10^7 cicles

Etapes del procés de ruptura per fatiga:
1. Iniciació de l'esquerda.
2. Creixement de l'esquerda
3. Ruptura

$$da/dN = A \cdot (\Delta K)^m \rightarrow \Delta K = Y \cdot \Delta\sigma \sqrt{\pi a}$$

Factors que afecten el comportament a la fatiga: tensió mitjana, entorn ambiental i assenyalament.

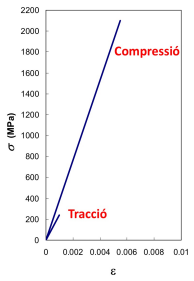
La fluència és la deformació irrecuperable de la probeta, a partir de la qual només es recuperarà la part de la deformació corresponent a la deformació elàstica. Els materials que pateixen fluència poden deformar-se permanentment per sota del límit elàstic i per temperatures inferiors a la de fusió.

En metalls la fluència es pot donar a partir de $T > 0.4\,T_f$ i en polímers $T > T_g$.

Causes de falluda dels materials

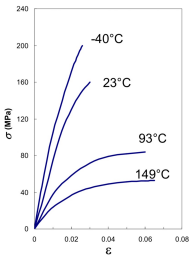
Col·lapse plàstic	▪ grans nivells de deformació permanent ▪ grans nivells d'absorció d'energia ▪ baixa velocitat de propagació de fissures	$\sigma > \sigma_0$
Fractura fràgil	▪ sense deformació permanent ▪ Poca absorció d'energia ▪ Gran velocitat de propagació de fissures	Impacte T baixes Fissures
Fractura per fatiga	▪ tensions subelàstiques fluctuants ▪ sense deformació permanent ▪ llargs períodes de temps	σ fluctuants $< \sigma_0$
Fractura per termofluència	▪ Acció combinada de tensió subelàstica i temperatura amb deformació permanent ▪ T > Trecristalització (per metal·lics) ▪ T >Tg (per termoplàstics i vidres)	$\sigma < \sigma_0$ + Tª

Propietats mecàniques en ceràmics i vidres

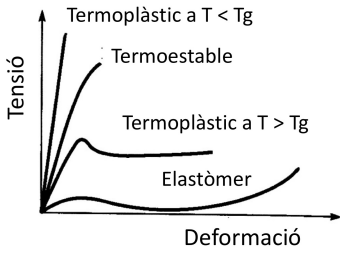


- Molt diferents als metalls
- No presenten una deformació plàstica significativa → fràgils
- Susceptibles de fracturar-se
- Fràgils sota esforços de tracció però resistents a la compressió.

Propietats mecàniques en polímers



- Més similars als metalls que els ceràmics.
- Més lleugers i barats que els ceràmics.
- Marcat efecte de T°.
- Major deformació a major T°.



Material	Enduriment per	Paràmetres
Metàl·lics	deformació	Duresa, σ_0, σ_M, %A
	dissolució sòlida	
	precipitació	
	tractament tèrmic	
	superficial	Microduresa
Polímers termoplàstics	Increment de la cristal·linitat	Duresa, σ_0, σ_M
	Introducció de grups laterals	
	Enllaços de C amb Cl,O, N ò fenilè	
Polímers termoestables	Reacció química	Duresa, σ_0, σ_M

Propietat mecànica	*Concepte*	*Assaig (paràmetre)*
	Capacitat d'un material per:	
Resistència mecànica	Resistir esforços	A tracció (σ_0)
Rigidesa	Oposar-se a la deformació elàstica	A tracció (E)
Tenacitat	Absorbir energia abans de trencar	A tracció (U) A impacte
Ductilitat	Experimentar allargament plàstic	A tracció (%A)
Duresa	Oposar-se a la deformació sota càrrega estàtica	de Duresa
Resistència a la fatiga	Absorbir càrregues fluctuants sense fractura	de Fatiga
Resistència a la fluència	No patir deformació plàstica a temperatures elevades	de fluència