

PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE SÓLIDOS Y FLUIDOS

1ª parte: Sólidos: Dpt. Física de la Materia Condensada (7 semanas):

E. Palacios: elias@unizar.es

2ª parte: Fluidos: Dpt. Física Aplicada: J. L. Brun

Bibliografía: Básica: C. Kittel: *Introducción a la Física del Estado sólido*.

Se recomienda la 6ª edición en inglés. Si no procurarse la parte de elasticidad.

Específica: se indicará en cada capítulo.

Problemas: Se sacarán en hojas. **Consultar la web del Dpto.**

Transparencias: **Consultar la web del Dpto:**

http://fmc.unizar.es/people/elias/Prop_Mec/Prop_Mec0506.htm

EVALUACION

Examen único escrito de teoría y problemas.

Consta de 2 partes

1ª parte: Sólidos: 50%

se valorará intervención en clase

2ª parte: Fluidos: 50%

Nota única. No hay mínimo en cada parte por separado

PROGRAMA

- 0) Introducción: Propiedades mecánicas y térmicas
- 1) Estructura cristalina.
- 2) Enlaces: Iónico, covalente, metálico, ...
- 3) Elasticidad
- 4) Defectos: puntuales, lineales, superficiales.
- 5) Plasticidad, fractura, fatiga y termofluencia.
- 6) Ondas elásticas. Fonones. Capacidad calorífica
- 7) Anarmonicidad. Expansión y conducción térmicas.

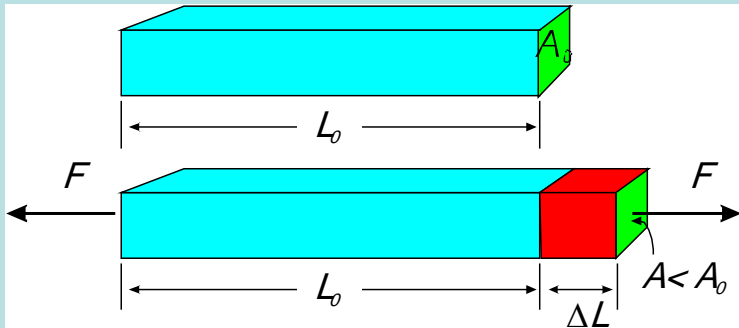
Bibliografía

General:

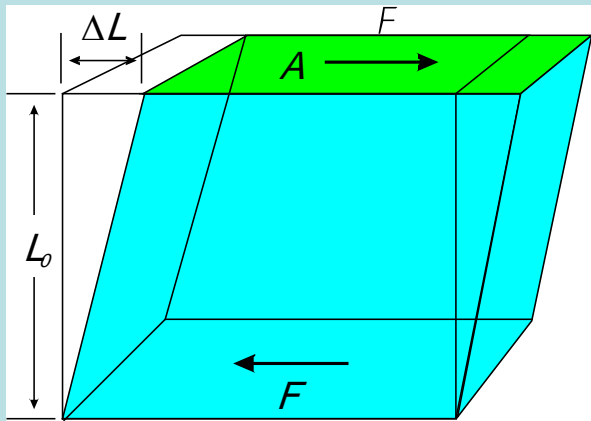
- C. Kittel: Introducción a la Física del Estado Sólido
- Callister: Fundamentals of Materials Science and Engineering
- Landau: Teoría de la elasticidad
- Hojas de problemas

Específica: se indicará en cada capítulo

DEFINICIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES MECÁNICAS



Ensayo de tracción



Ensayo de cizalladura

"Esfuerzo" o "tensión" uniaxial nominal (stress):

$$\sigma_{\text{nom}} = F/A_0 \quad (F \perp A, F // L_0)$$

Esfuerzo verdadero: $\sigma = F/A > \sigma_{\text{nom}}$

"Deformación unitaria" nominal (strain): $\varepsilon_{\text{nom}} = \Delta L/L_0$

Deformación unitaria real: $d\varepsilon = dL/L$

$$\varepsilon = \int_{L_0}^{L_0 + \Delta L} \frac{dL}{L} = \ln(1 + \Delta L/L_0) \xrightarrow{\Delta L \ll L_0} \varepsilon_{\text{nom}}$$

Deformación inducida:

$$\varepsilon_i = -\sqrt{\frac{|\Delta A|}{A}} = -\sqrt{\frac{A_0 - A}{A_0}}$$

Coefficiente de Poisson:

$$\nu = -\varepsilon_i / \varepsilon$$

Esfuerzo o tensión cortante: $\tau = F/A \quad (F // A, F \perp L)$

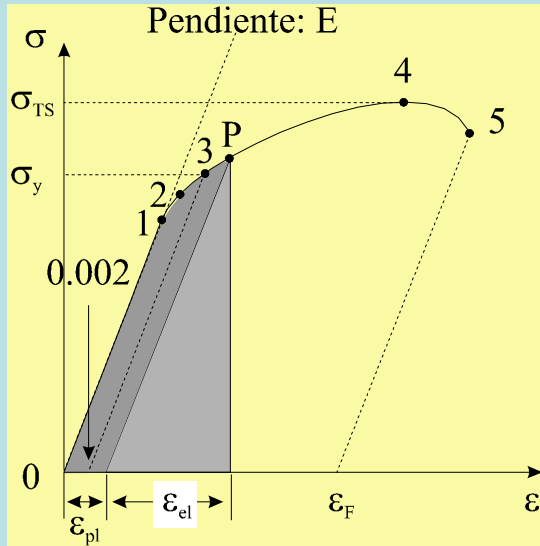
Deformación unitaria por cizalladura $\gamma = \Delta L/L$

Elasticidad:

Sólidos: $\sigma = Y\varepsilon, \tau = G\gamma$ (ley de Hooke)

Esfuerzos pequeños ($t \rightarrow \infty$): **Fluidos:** $G = 0$ (se deforman indefinidamente)

Curvas tensión-deformación



Puntos claves de interés:

1. Límite proporcional: Ley de Hooke $\sigma = E\varepsilon$
 E o Y : módulo elástico o de Young
2. Límite elástico: la deformación es reversible
3. Deformación permanente del 0.2% $\Rightarrow \sigma_y$
4. Formación de cuello. Resistencia máxima a la tracción: σ_{TS} (ultimate tensile strength)
5. Fractura.

ε_f = defor. perm. a la fractura = "ductilidad"

RA(%) reducción de área del cuello a la fractura

Punto P. En la zona de deformación plástica

$$W / V = \int \sigma d\varepsilon$$

Trabajo en la deformación:

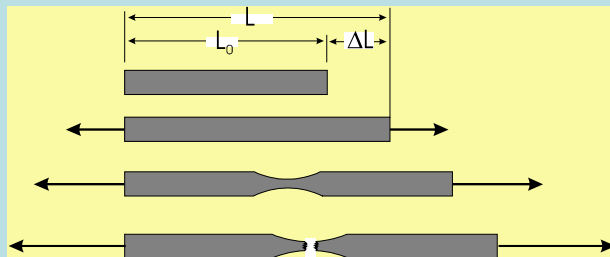
Área sombreada fuerte: W_{pl} : trabajo absorbido en la deformación plástica de cero a P

Material frágil: W_{pl} pequeño

tenaz: W_{pl} grande

Sombreada suave: trabajo de deformación elástica. Aprox:

$$W_{el} \cong \frac{1}{2} \sigma \varepsilon_{el} \cong \frac{1}{2} E \varepsilon_{el}^2 = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E}$$



Vista rápida de las propiedades mecánicas I

Elasticidad: Se debe al alargamiento o deformación de los enlaces por fuerzas externas. Depende del tipo de enlace y estructura cristalina. Se estudiará en detalle.

Plasticidad: Se debe al deslizamiento de unos planos cristalinos sobre otros. Además del tipo de enlace depende:

- * De que la estructura cristalina tenga planos de fácil deslizamiento: Ej. la fase α del Fe (bcc, normal) es mucho más tenaz que la fase γ (fcc, austenita)
- * Defectos que favorezcan el deslizamiento (dislocaciones) o que lo impidan (impurezas, intersticiales, demasiada densidad de dislocaciones).

Se produce sin cambio en el volumen \Rightarrow La ductilidad ε_F puede medirse también como el porcentaje de reducción de área (sección) a la fractura:

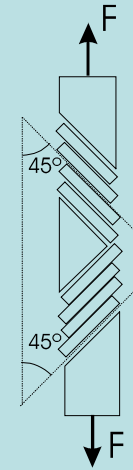
$$100 \times (A_0 - A_F) / A_0 \quad (A_0, A_F \text{ áreas de la sección inicial y a la fractura})$$

Esta medida puede ser mejor que la directa de ε_F debido a la formación de un cuello.

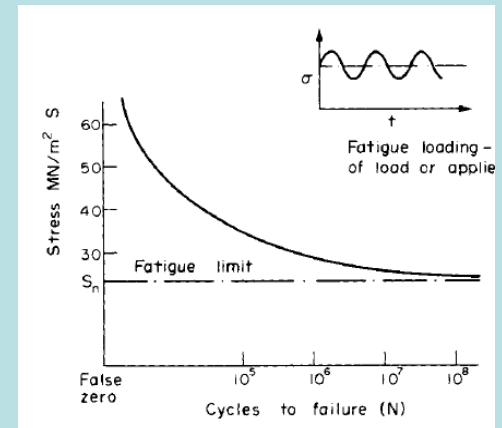
Fatiga: Es la capacidad de fracturarse el material por tensiones menores que σ_{TS} aplicadas repetidamente (millones de veces). Ej. Piezas giratorias.

Se produce por creación y progresión de grietas internas. La tensión mínima de fatiga es muy baja, por lo que normalmente se va controlando a lo largo de la vida útil del material.

Termofluencia (creep): Es la deformación plástica producida a alta temperatura al aplicar tensiones durante largo tiempo. Ej. Expansión permanente con el tiempo de una tubería por la que va gas a alta presión y temperatura.



Esquema del mecanismo de la deformación plástica en la torsión, por deslizamiento de planos cristalinos



Vida de fatiga en función de la tensión cíclica aplicada

Vista rápida de las propiedades mecánicas II

Dureza: Capacidad de ser rayado (que una punta aguda deje una huella permanente). Depende directamente de σ_y y de la geometría de la punta.

Hay distintos tipos de ensayos para su medida dependiendo del tipo de material. Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop, etc

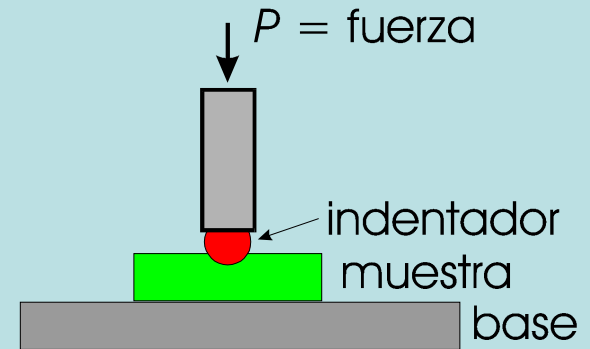
Algunos medios físicos de modificar la dureza:

Trabajo en frío: Consiste en aplicar una deformación plástica al material de manera intencionada y previamente a su uso. Aumenta la dureza (y disminuye la ductilidad) porque crea muchas dislocaciones que se entorpecen unas a otras.

Ejemplos: Laminado (pasar una plancha entre dos rodillos disminuyendo su espesor), Trefilado (pasar un cable a través de un orificio cónico para disminuir su diámetro)

Recocido (efecto opuesto al trabajo en frío): Consiste en calentar el material a alta temperatura pero por debajo del punto de fusión. Elimina el exceso de dislocaciones y reblandece.

Templado (quenching): Reducir rápidamente la temperatura para conseguir que el material permanezca en una fase dura y metaestable a temperatura ambiente.



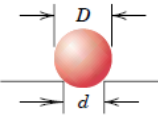
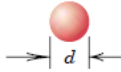
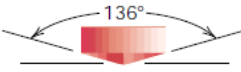
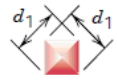
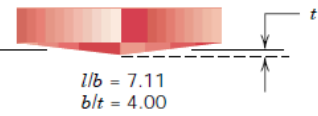
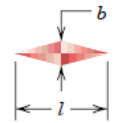
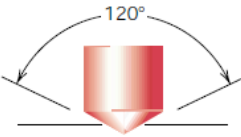



esquema del test de dureza Brinell

Algunos tests de dureza

Escala de Mohs: Talco 1, Yeso 2, Calcita 3, Fluorita 4, Apatito 5, Ortosa 6, Cuarzo 7, Topacio 8, Corindón 9, Diamante 10 (Escala muy cualitativa)

Métodos cuantitativos

Table 7.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres 			<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg } Rockwell <ul style="list-style-type: none"> 15 kg 30 kg 45 kg } Superficial Rockwell	
					

Se mide el área de la huella
Para metales no muy duros

Para metales muy duros

Se mide el la profundidad de la huella

^a For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D , d , d_1 , and l are all in mm.

Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Clasificación de los materiales por sus propiedades mecánicas

Elástico: $\varepsilon(\sigma_Y)$ grande (goma)

Pástico: $\varepsilon(\sigma_Y)$ pequeño (plomo)

Dúctil: ε_F grande (Cu: $\varepsilon_F = 0.45$ o 45%)

Frágil: ε_F pequeño (Ti: $\varepsilon_F = 0.25$, vidrio: $\varepsilon_F \cong 0$)

Duro: σ_Y grande (Ti, $\sigma_Y = 450$ MPa)

Blando: σ_Y pequeño (Al, $\sigma_Y = 35$ MPa)

Tenaz: W_{pl} grande: ambos σ_{TS} y ε_F grandes

(Acero1020, $W_{pl} = 180$ MPa x 0.25 m = 45 MJ/m³)

Clasificación de los materiales sólidos por el tipo de enlace

* Metales y aleaciones:

Enlace metálico: con electrones libres

Densos (la mayoría, ej: Fe, aceros, Cu, Ag, Au,...ligeros: Al, Ti)

Buenos Conductores térmicos y eléctricos

Cristalinos

Dúctiles o frágiles (pero mucho menos que los cerámicos)

* Cerámicas:

Enlace iónico o covalente: sin elec. libres

Duros y frágiles (la mayoría, pero talco o yeso son muy blandos)

Más ligeros que los metales (contienen O, Si, S, P...)

Malos conductores del calor y electricidad

Cristalinos o amorfos (vidrios)

Ej: Vidrios, minerales, sales, óxidos de metales.

* Polímeros

Largas cadenas unidas por enlaces de H o vdW

Muy ligeros (C,O,H,...)

Poco tenaces

Normalmente malos conductores térmicos y eléctricos.

Normalmente amorfos

Ej: polietileno, polivinilo, polimetilmetacrilato, poli...

* Compuestos

Combinando dos o más de los anteriores

Aprovecha las cualidades de ambos.

Ej. fibra de carbono en matriz polimérica, hormigón armado

Propiedades térmicas

- Capacidad calorífica

U, H, S, F, G, V, \dots molares

$$c_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V = -T \left(\frac{\partial^2 F}{\partial T^2} \right)_V$$

$$c_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P$$

$$c_P - c_V = \frac{TV\alpha^2}{N\kappa_T}$$

$$\kappa_T \equiv \frac{1}{B} \equiv -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = \frac{3(1-2\nu)}{Y} \text{ (sol. isótopo)}$$

- Expansión térmica $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$

- Conductividad térmica:

$$J_Q = -K \vec{\nabla} T$$

