

I BLOQUE: MATERIALES

3. MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS METALES

3.1. GENERALIDADES SOBRE LOS METALES

Los metales poseen una serie de características propias como:

- Elevada conductividad eléctrica y térmica, debido al enlace metálico (nubes de e⁻)
- Considerable resistencia mecánica, ductilidad, plasticidad, tenacidad, etc...
- Alta maleabilidad y posibilidad de reciclado mediante la refundición.

Todas estas propiedades se derivan de la unión de sus átomos mediante enlaces metálicos.

3.2. ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES

Los átomos de los metales se encuentran muy próximos entre sí, formando redes tridimensionales muy compactas, abarcando el máximo de volumen posible; denominadas redes cristalinas. Estas estructuras, en los metales, están formadas por enlaces metálicos, donde los e⁻ con mayor energía se encuentran difusos formando nubes electrónicas dentro de la estructura.

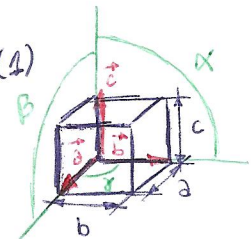
3.2.1. Estructuras cristalinas

El orden atómico de los sólidos cristalinos se puede representar colocando los átomos en las intersecciones de tres familias de planos, cada una con infinitos planos paralelos equidistantes, formando una red puntual tridimensional. Todos los puntos de la red tienen la misma vecindad, poseen una disposición puntual en derredor suyo que se repite en todos los puntos, de forma que podemos identificar una red a partir de una celda unidad constructiva que se repite (4).

La celda unidad queda definida por los vectores ($\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$) y las modificaciones sobre ellos provocan los distintos tipos de redes puntuales.

Existen siete tipos de redes cristalinas simples, con átomos sólo en sus vértices:

1. Cúbico: tres ejes iguales y perpendiculares: $a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ (2)
2. Romboédrico: tres ejes iguales y ángulos iguales: $a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$ (3)
3. Triclínico: tres ejes desiguales y ángulos desiguales: $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ (4)
4. Monoclínico: tres ejes desiguales, uno perpendicular a los otros dos: $a \neq b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ \neq \beta$ (5)
5. Ortorrómbico: tres ejes desiguales y perpendiculares: $a \neq b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ (6)
6. Tetragonal: dos ejes iguales y todos perpendiculares: $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ (7)
7. Hexagonal: dos ejes iguales perpendiculares al tercero: $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ \neq \gamma=120^\circ$



(2)



(3)



(4)



(6)



(7)



(5)



(8)



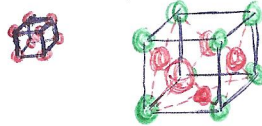
Bravais descubrió que además de las 7 redes cristalinas, existían otras que cumplían la regla de la vecindad, colocando átomos en puntos que no sean intersecciones creando celdas no-primitivas, y que pueden ser:

- Simplejas: son celdas primitivas, es decir, con átomos sólo en los vértices.
- Centradas en el cuerpo: (BCC) con un átomo extra centrado en la celda
- centradas en las caras: (FC) con átomos centrados en la cara del las celdas
- centradas en las bases: con átomos en las bases de la celda.

De esta forma descubrió que existían 14 posibilidades o redes de Bravais. Son las redes cristalinas simples y las complejas si existen átomos en puntos fijos respecto a esos puntos.

La mayor parte de los metales poseen una de las siguientes estructuras:

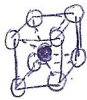
- simples {
- BCC → cúbica centrada en el cuerpo
 - FCC → cúbica centrada en las caras
- compleja {
- HCP → hexagonal compacta.



Para simplificar el estudio, se asume que los átomos son esferas perfectas.

La mayoría de los metales cristalizan en estas estructuras ya que poseen un alto nivel de empaquetamiento y los átomos están muy juntos, luego la energía liberada es mayor.

3.2.b. BCC



En las redes cristalinas BCC, existen átomos en los vértices del cubo y uno en el centro. El índice de coordinación, es decir, el número de átomos que rodean a uno concreto, es de ocho.

El número de átomos que posee una celda unidad (N) viene determinado por:

$$N = N_i + \frac{N_F}{2} + \frac{N_V}{8}$$

$N_i = \text{n}^\circ \text{ átomos internos}$
 $N_F = \text{n}^\circ \text{ átomos centrados en las caras}$
 $N_V = \text{n}^\circ \text{ átomos en los vértices}$

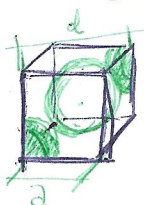
En la red cristalina BCC existe 2 átomos por celda ($N = 1 + 0 + \frac{8}{8} = 2$).

El factor de empaquetamiento atómico (FEA) de una red cristalina es la relación entre el volumen de la celda (V_c) y el volumen ocupado por los átomos (V_a) (4)

Para la red BCC:

$$(4) \quad \text{FEA}_{(BCC)} = \frac{\begin{matrix} \text{n}^\circ \text{ de at} \\ \downarrow \\ 2 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \end{matrix}}{\begin{matrix} \text{radio de los at} \\ \downarrow \\ a^3 \\ \downarrow \\ \text{arista del cubo} \end{matrix}} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{\frac{2^3}{3} \pi}{\frac{2^6}{(\sqrt{3})^3}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \pi}{2 \cdot 2^3} = \boxed{\frac{\pi \sqrt{3}}{8} = 0,68}$$

Como desconocemos la arista del cubo, lo ponemos en función del radio:



$$d = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2}$$

$$4R = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2}$$

$$R = \frac{a\sqrt{2}}{4} \rightarrow a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

3.2.c. FCC



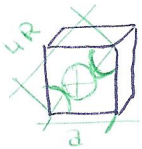
En una red cristalina FCC, los átomos se encuentran en los vértices del cubo y en los centros de las caras. Su índice de coordinación es de 12 átomos

El número de átomos por celda es de: $N = 0 + \frac{6}{2} + \frac{8}{8} = 3 + 1 = 4 \text{ at}$

El FEA es igual a:

$$FEA_{(FCC)} = \frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3} = \frac{\frac{16}{3} \pi R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{2}}\right)^3} = \frac{\pi \sqrt{2}}{3 \cdot \frac{8}{\sqrt{2}}} = \frac{\pi \sqrt{2}}{6} = 0,74$$

Deducimos 'a' en función del radio:



$$4R = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2}$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

Para comprender esta forma de empaquetamiento de forma gráfica, podemos imaginar que son triángulos de bolas de billar que se van apilando apoyándose en las esferas del anterior de forma que cada tres tandas se repite la primera posición: ABCABC...

3.2.d. HCP

La celda unidad es un prisma con base hexagonal, con átomos en los vértices y uno centrado en cada base. Además posee tres átomos internos en el centro.

El índice de coordinación de cada átomo es de 12 at.

El nº de at de cada celda es: $N = 3 + \frac{2}{2} + \frac{12}{6} = 4 + \frac{2}{2} \cdot 2 = 6 \text{ at}$

El máximo nivel de empaquetamiento se consigue cuando el lado del hexágono base es igual a "2R = a" (1)

Para calcular el FEA:

$$FEA_{(HCP)} = \frac{6 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{S_o \cdot h} = \frac{6 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{6R^2 \sqrt{3} \cdot 4R \sqrt{6}} = \frac{\frac{3 \cdot 2^3}{3} \pi R^3}{3 \cdot 2^3 \cdot R^3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0,74$$



3.2.e. Intersticios cristalinos

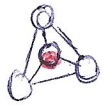
(1)



En FEA pone de manifiesto la existencia de espacio hueco dentro de las estructuras cristalinas,

denominado: intersticios, que pueden ser:

(2)

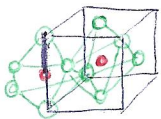


- octaédricos: si el átomo colocado en el intersticio está rodeado de 6 at (1)

- Tetraédrico: si está rodeado de 4 at (2).

El tamaño que poseen los huecos varían de una red a otra:

- Red FCC: los intersticios serán octaédricos y serán colocados en el centro de la arista y en las aristas, si se cumple que el radio del átomo que se coloque allí guarda la relación:



$$2R + R_i - 2 = a \rightarrow R_i = \frac{a - 2R}{2} = \frac{4R - 2R\sqrt{2}}{2\sqrt{2}} = \frac{R}{\sqrt{2}} \rightarrow \boxed{\frac{R_i}{R} = \sqrt{2} - 1 = 0,414}$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{2R(2 - \sqrt{2})}{2\sqrt{2}} = \frac{2}{2\sqrt{2}} - 1 = 2^{1/2} - 1$$

Para que los huecos fuesen tetraédricos, los átomos deberían ocupar el centro de los 8 cubos

porque se puede dividir la arista, siempre que se cumple que:

$$R + R_i = \frac{a\sqrt{3}}{4} \rightarrow \boxed{\frac{R_i}{R} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} - 1 = 0,225}$$

- Red BCC: en la red BCC también pueden existir huecos octaédricos, donde el át. intersticial ocupa el centro de las caras del cubo y el centro de sus aristas, siempre que se cumple que:

$$2R + R_i - 2 = a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \rightarrow \boxed{\frac{R_i}{R} = \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 = 0,155}$$

si los at intersticiales fuesen tetraédricos deberían cumplir que:

$$\boxed{\frac{R_i}{R} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}} - 1 = 0,291}$$

3.2. f. Poliformismo o alotropía

Existen muchos elementos químicos que presentan distintas estructuras cristalinas, bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. Esto se denomina alotropía.

Muchos metales industriales como el Fe o el Ti, presentan distintas estructuras a distintas t° a presión atmosférica.

3.3. DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA

Las estructuras cristalinas poseen una serie de defectos que pueden ser:

- defectos térmicos: los átomos poseen un movimiento vibratorio que se incrementa con la temperatura, separándose y produciendo la dilatación térmica.
- defectos electrónicos: si se encuentran presentes átomos con valencias diferentes se produce una alteración de la nube electrónica. En esto se basan los semiconductores; dependiendo del tipo de impureza que se añada (al Si y al Ge), pueden ser:
 - Impurezas tipo P: poseen menor valencia y provocan déficit de e^- , generando zonas positivas (Ga)
 - Impurezas tipo N: poseen mayor valencia y producen exceso de e^- , generando zonas negativas (As)
- defectos atómicos: son los más relevantes, consisten en fallos o alteraciones en la ordenación espacial de los átomos en la red cristalina. Pueden ser puntuales, lineales o superficiales.

3.3.2. Defectos atómicos puntuales

Los defectos atómicos puntuales más sencillos y comunes son:

- Átomos intersticiales: son átomos que se encuentran en puntos fuera de la red, en los huecos intersticiales.
- Lagunas: son lugares vacantes, donde debería existir un átomo pero que está vacío.
- Átomos extraños: son átomos ajenos a la red que pueden estar en puntos intersticiales o reticulares

Estos defectos se dan de forma espontánea, ya que las estructuras son más estables con ellos. Aumentan con la temperatura y facilitan la difusión.

3.3.2. I. La difusión

El movimiento de átomos dentro de la estructura cristalina debido a la agitación térmica de éstos, es la difusión. La difusión se produce por la diferencia de concentración de las zonas de las redes cristalinas, por lo que se desplazan los át. para equilibrar las.

La difusión se ve favorecida por la t° y por la existencia de lagunas. En la difusión intersticial influye enormemente el tamaño relativo de los átomos.

3.3. b. Defectos atómicos lineales

Son defectos cuya longitud es mucho mayor que su anchura. Las más importantes son las dislocaciones que provocan distorsiones en la red cristalina en torno a una línea. Estas pueden ser:

- En cuña, como semiplanos extras (4)
- En hélice, los planos perpendiculares a la dislocación se enrollan a su alrededor.

La existencia de dislocación genera desestabilidad energética, es decir, la energía de la red es mayor que la de equilibrio, lo que quiere decir que se precisa energía exterior para la creación de dislocaciones. Esta "E" puede provenir de:

- Tensiones térmicas
- deformaciones en frío
- presencia de átomos extraños

Las dislocaciones sólo pueden terminar en otra dislocación (cuando se interceptan), sobre sí mismas o en la superficie. De este modo se puede hablar de un conjunto tridimensional de defectos lineales en un volumen y por tanto de densidad de dislocaciones.

La presencia de dislocaciones en un sólido disminuye su resistencia mecánica de forma considerable y sus movimientos son los causantes de las deformaciones plásticas.

3.3. c. Defectos atómicos superficiales

Los defectos superficiales poseen una mínima profundidad aunque relativa extensión. Los más importantes son los defectos de apilamiento y los límites de grano.

Los defectos de apilamiento se producen cuando al formarse una estructura cristalina con una secuencia de planos concreta (ABCABCABC) se produce un desajuste que provoca la aparición de una pequeña zona con otra ordenación distinta (ABCBCBCABCABC)

Los límites de grano se debe a que en el proceso de solidificación de un material, los ejes cristalográficos de las distintas zonas ordenadas no coinciden (granos), creando los juntas o límites de granos.

La existencia de los granos no es justificable desde el punto de vista energético, sino que se debe a la solidificación simultánea de distintas partes del material.

La microestructura de materiales y aleaciones metálicas depende de:

- Tamaño del grano
- forma del grano
- orientación del grano

El tamaño del grano es importante dado que cuanto más pequeño sea, mayor no. de granos existirá luego mayor no. de dislocaciones estarán restringidas en su movimiento, por lo que se producirán deformaciones plásticas con mayor dificultad.

La forma de los granos suele ser equiaxial aunque puede cambiar si son deformados en frío, como en la laminación.

La orientación de los granos suele ser aleatoria, lo que genera materiales isotrópicos, aunque las deformaciones en frío pueda volverlos anisotrópicos, que pueden ser de utilidad ej: núcleos magnéticos, etc...

3.4. SOLUCIONES SÓLIDAS

La mayoría de los metales se utilizan mezclados con otros formando aleaciones que poseen mejores propiedades que por separado. Aleación metálica es la mezcla de dos o más metales ó, metales y no-metales, cuyo resultado es un material metálico.

Las aleaciones deben ser:

- mezclas homogéneas, es decir, sus componentes han de ser miscibles en estado líquido
- metálicas, es decir, el resultado de la mezcla ha de tener carácter metálico (estructura crist.)

Las concentraciones de los componentes se suelen expresar en % de masa, volumen o atómicos. En las aleaciones cuyos metales cristalizan en igual estructura el disolvente es el de mayor cantidad (y el soluto el de menos) y en las que cristalizan en distinta red el disolvente es el que cristaliza en la red de la aleación.

Las aleaciones más sencillas son las soluciones sólidas que pueden ser:

- de sustitución: cuando los átomos del disolvente se cambian por algunos del soluto en la red.
- de inserción: cuando los át. nuevos se fijan en los huecos intersticiales.

3.4.a. Soluciones sólidas de sustitución.

Se caracterizan porque algunos átomos del soluto se colocan en puntos de la red del disolvente. Para que dos metales (A y B), totalmente solubles, formen esta solución sólida han de cumplirse que:

- Ambos cristalizan en la misma red cristalina. Si son diferentes, la aleación es viable hasta un porcentaje de B en A ó A en B, denominado límites de saturación.
- Ambos metales han de poseer la misma valencia o muy similar.
- Ambos metales han de tener una electro negatividad semejante para que no formen enlaces iónicos.
- Los diámetros atómicos no pueden variar más de un 10-15%.

Aunque se cumplen estas condiciones, es posible que existan límites de saturación.

3.4.b. Soluciones sólidas de inserción

Los átomos del soluto se insertan en los intersticios de la red que forma el disolvente. En este tipo de soluciones la diferencia de diámetro es muy grande y viene determinada por la estructura que adopte el disolvente, por lo que los solutos suelen ser pequeños no-metales, como C, N, O, H₂, etc.. y los disolventes: Fe, Cr, Mn, Ni, Co, ...

El ejemplo por excelencia de solución sólida de inserción es la del Fe y el C, que posee un límite de saturación del 2,08% debido a que la estructura se distorsiona alrededor del C, que posee $R = 0,015 \text{ nm}$ y el Fe γ en FCC $R = 0,129 \text{ nm}$.

5. MECANISMOS DE ENDURECIMIENTO EN METALES

La resistencia mecánica y la dureza de un metal dependen de la facilidad de movimiento que posean sus dislocaciones, de manera que cuanto menor sea la movilidad de éstas, tanto más duro y resistente será el metal.

Los mecanismos más utilizados son:

→ Endurecimiento por deformación en frío: Las deformaciones plásticas originan el endurecimiento de los materiales debido al aumento en la densidad de dislocaciones, que se interceptan entre ellas, disminuyendo su movilidad. Este proceso genera la acritud, un estado con alta resistencia mecánica, baja ductilidad y extrema fragilidad, por lo que se suelen tratar térmicamente como en un recocido, para eliminar tensiones internas y recuperar tenacidad y ductilidad.

→ Endurecimiento por afinamiento de grano: las juntas de grano actúan de barrera que impide el movimiento de las dislocaciones, por lo que, cuanto menor sea el tamaño medio de los granos (d) mayor número habrá de límites que impiden el movimiento de las dislocaciones aumentando así la R. mecánica y la dureza ($+\sigma_c$). Se demostró una relación con el σ_c (1), donde σ_0 y K son ctes. del material. El tamaño del grano depende del proceso de solidificación (1)

$$\sigma_c = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d}} \quad \begin{array}{l} d = \text{tamaño medio del grano} \\ \sigma_0 \text{ y } K = \text{ctes (cte)} \end{array}$$

→ Endurecimiento por solución sólida: las soluciones sólidas de inserción o de sustitución, proporcionan mayor dureza al metal. Esto se explica debido a la deformación mecánica que sufre la estructura al no coincidir el tamaño de los átomos, en las s.s. de sustitución. Algo similar ocurre en los intersticios, donde la presencia del átomo de soluto, genera una deformación. Estos átomos se ven atraídos por las dislocaciones, por lo que para que éstos se muevan es necesario ejercer una fuerza exterior mucho mayor.

1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

1.1. TIPOS DE MATERIALES

- a. Los materiales son sustancias que debido a sus propiedades, resultan de utilidad para la fabricación de estructuras maquinarias y otros productos.
- b. Existen cuatro grandes grupos:
- b.I. Metales y aleaciones
 - b.II. Polímeros
 - b.III. Cerámicos y vidrios
 - b.IV. Materiales compuestos

1.1. II. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

- a. Poseen propiedades químicas, físicas, mecánicas, estéticas y económicas, y de fabricación
- b. Todas excepto las económicas vienen determinadas por su estructura interior.

1.1. III. PROPIEDADES QUÍMICAS

- a. las modificaciones más normales que pueden afectar las propiedades de un material son:

1.1. III. a. OXIDACIÓN

- a. se produce cuando un material se combina con el oxígeno, formando óxidos.
- b. la oxidación puede ser exotérmica, desprende energía, siendo muy fácil la oxidación; o endotérmica, necesitando energía para producirse.
- c. la facilidad de oxidación no repercute a la velocidad de esta ya que se crea una capa de óxido que impide el paso del O_2 por difusión.
- d. a mayor t° mayor facilidad (~~de oxidación~~) de oxidación facilitando la difusión al vibrar y separarse, aumentando la velocidad de la oxidación

1.1. III. b. CORROSIÓN

- a. es igual que la oxidación pero cuando se da en ambientes húmedos o agresivos que diluyen la capa de óxido facilitando la oxidación del material.
- b. solo se produce en algunas zonas del material expuestas, siendo más peligrosa y causando roturas frías.

1.1. IV. PROPIEDADES FÍSICAS

- a. Se deben al ordenamiento de los átomos y las moléculas, las más relevantes son:

1.1. IV. a. densidad y peso específico

- a. la densidad es la relación entre la masa y el volumen ocupado $d = \frac{m}{V}$
- b. el peso específico es la relación entre el peso y el volumen ocupado $P_e = \frac{P}{V}$

1.1. IV. b. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

- a. La resistencia al paso de corriente eléctrica depende de la naturaleza del material y viene determinada por su resistividad $R = \rho \frac{l}{S}$
- b. Atendiendo a su resistividad los materiales pueden ser conductores (metales), semiconductores (Si, Ge, Ga), aislantes (vidrios) $\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t^{\circ})$

1.1. IV. c. PROPIEDADES TÉRMICAS

- a. están relacionados con el aumento o disminución de la temperatura

Material + O_2 → Óxido + e

11. IV. c. I. DILATACIÓN TÉRMICA

a. La mayoría de los materiales aumentan de tamaño al calentarse, al aumentar las vibraciones de los átomos y distanciarse.

$$\beta = 2\alpha$$

$$\delta = 3\alpha$$

b. esta dilatación puede ser

b. I. lineal: $L = L_0(1 + \alpha \Delta t)$

α = coeficiente de dilatación lineal

b. II. superficial: $S = S_0(1 + \beta \Delta t)$

β = coeficiente de " superficial

b. III. cúbica: $V = V_0(1 + \delta \Delta t)$

δ = " de " cúbica

11. IV. c. II. CALOR ESPECÍFICO

a. "C" es la e. calor necesaria para que un kilogramo de un material aumente su temperatura un grado.

$$c = \frac{J}{kg \cdot K} \left[\frac{cal}{g \cdot ^\circ C} \right]$$

b. se mide en $J/(kg \cdot K)$

$$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta t \quad kg \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \cdot K = J$$

11. IV. c. III. TEMPERATURA DE FUSIÓN

a. se denomina punto de fusión la temperatura a la cual un material pasa de estado sólido a líquido.

11. IV. d. IV. DIFUSIÓN

a. La agitación térmica de los átomos en un sólido puede provocar desplazamientos de éstos a otras posiciones. Esto se produce más fácil a mayor temperatura.

11. IV. d. V. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

a. La conductividad térmica (k) indica el comportamiento de un material frente a la transmisión de calor por él.

b. (J) es la flujo densidad del flujo de calor, es decir la e térmica transmitida en b unidad de tiempo.

c. la conductividad térmica depende de la naturaleza, la fase, la composición y t^{Δ} del material

$$J = k \frac{\Delta t^{\Delta}}{l}$$

11. IV. d. PROPIEDADES MAGNÉTICAS

a. existen materiales diamagnéticos que se oponen al campo magnético siendo más débil en su interior, Au, Ag, Cu,

b. materiales paramagnéticos: son los que generan un campo casi igual al que los atraviesa O_2

c. materiales ferromagnéticos: crean un campo mucho mayor que el que los pasa y se usan para bobinas y transformadores. Fe, Co, Ni

11. IV. e. PROPIEDADES ÓPTICAS

a. existen materiales opacos, transparentes y translúcidos.

11. V. PROPIEDADES MECÁNICAS

a. las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material sometido a fuerzas exteriores

11.V.a. ENSAYO DE TRACCIÓN

a. consiste en estirar una probeta normalizada por una máquina lenta y constante, obteniendo una curva de tensión-alargamiento.

b. la tensión (σ) es la fuerza aplicada a la probeta por unidad de sección.

c. el ~~alargamiento~~ ^{deformación} unitario (ϵ) es el tanto por uno que se ha incrementado la longitud de la probeta.

d. módulo de Young: módulo de la elasticidad longitudinal cumple la ley de Hooke (E)

e. en la curva existe:

e.I. zona elástica: es lineal ($\sigma = E \cdot \epsilon$) y si se para la tracción recupera su longitud inicial

e.II. zona plástica: a partir de una tensión límite (σ_0) la deformación es plástica y no se recupera.

e.III. zona de rotura: a partir de la tensión de rotura (σ_r) la deformación se localiza y la tensión disminuye hasta que la probeta se rompe.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} = \left[\frac{N}{cm^2} \right]$$

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

11.V.b. ENSAYOS DE DUREZA

a. existen varios modos y escalas:

11.V.b.I. DUREZA MINERALÓGICA CLÁSICA

a. se entiende como la resistencia a ser rayados, se halla por comparación existiendo una escala del 1 \rightarrow yeso al 10 \rightarrow diamante.

11.V.b.II. MÉTODO DE RETROCESO

a. se mide la dureza dinámica al dejar caer una pieza sobre otra y calcular la e. absorbida.
a + dureza - absorción por lo que rebota más

11.V.b.III. DUREZA A LA PENETRACIÓN

a. se mide la resistencia de un material a ser penetrado por otro mediante distintos penetradores.

b. se mide la fuerza usada para dañar la superficie cruzada, generando las escalas de dureza Brinell, Vickers y Rockwell.

11.V.c. ENSAYO DE RESILIENCIA

a. mide la tenacidad, es decir, la capacidad que tiene un material de almacenar energía, en forma de deformación plástica, antes de romperse. Es lo opuesto a fragilidad.

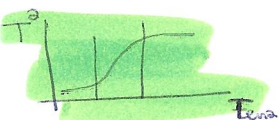
b. el más usado es el ensayo Charpy. Se golpea con una bola una probeta de material de $10 \times 10 \times 55$ en una talla en V (KCV) o en U (KCU) de 2mm y se golpea ahí, midiendo la diferencia de alturas para calcular la energía absorbida

c. la tenacidad baja con t^3

$$KCU = \frac{W \Delta}{S_0}$$

$$E_p = mgh$$

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$



11.V.d. FRACTURA

a. es la separación en dos o más partes de un material y puede ser:

a.I. dúctil: se produce antes una importante ϵ de deformación plástica

a.II. frágil: se produce casi sin deformación (debido a fisuras)

11. V. e. FATIGA

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

a. es el resultado de cargas cíclicas inferiores a la tensión de rotura (como en motores)

b. existen dos tipos de fatiga:

b. I. elementos sin defectos: primero aparecen fisuras y después crecen hasta provocar la rotura.

b. II. elementos con defectos: en materiales con fisuras simplemente van creciendo

c. Solo tienen relevancia las tracciones y no las compresiones; con una amplitud de carga

($\Delta\sigma$), siendo en algunos $\Delta\sigma_e$ por debajo de la cual no hay fatiga.

$$\Delta\sigma \cdot N^b = b$$

11. V. f. FLUENCIA

a. fluencia es la lenta y continua deformación plástica que sufre un material a altas temperaturas bajo una carga constante.

b. Cuanto mayor es t^2 o la fuerza, mayor deformación. Cuanto más bajo sea el punto de fusión más fácil sufrirá fluencia.

11. V. s. FRICCIÓN

a. cuando dos piezas están en contacto, para que se muevan hay que aplicar una

$$\mu_d < \mu_e$$

fuerza $\rightarrow F = \mu_e \cdot N$; N : normal

μ_e = coeficiente de roz. estático

b. ya en movimiento es $F = \mu_d \cdot N$

11. VI. PROPIEDADES ESTÉTICAS Y ECONÓMICAS

a. para elección de un material tiene gran importancia el aspecto visual y el económico

11. VII. PROPIEDADES DE FABRICACIÓN

a. informan acerca de la posibilidad de procesamiento como:

a. I. maleabilidad: capacidad para hacerse láminas

a. II. ductilidad: capacidad para hacerse hilos

a. III. forjabilidad

(a. IV)

CLASES DE PROPIEDADES

Químicas	Resistencia a la oxidación resistencia a la corrosión
Físicas	densidad y peso específico Pp. eléctricas Pp. térmicas Pp. magnéticas Pp. ópticas
Mecánicas	elasticidad longitudinal (E) límite elástico (σ_e) resistencia a la tracción dureza tenacidad (resiliencia) resistencia a la fatiga " a la fluencia coeficiente de rozamiento ($\mu_e \mu_d$)