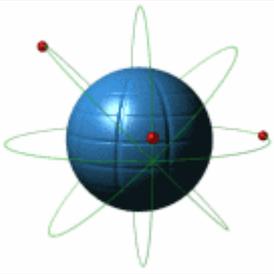


MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS METALES

CONTENIDOS

- ✓ Generalidades
- ✓ Estructura interna de los metales.
- ✓ Defectos en la estructura cristalina
- ✓ Soluciones sólidas
- ✓ Mecanismos de endurecimiento de los metales





1.- GENERALIDADES

Los metales son sustancias simples que se caracterizan por una serie de **propiedades comunes**:

- Elevada conductividad térmica y eléctrica.
- Considerable resistencia mecánica (resisten esfuerzos de tracción, compresión, torsión y flexión sin romperse).
- Gran plasticidad, ductilidad y tenacidad, es decir, capacidad de deformación antes de experimentar la rotura.
- Elevada maleabilidad (capacidad de los metales para extenderse en láminas sin romperse al ser sometidos a esfuerzos de compresión).
- Posibilidad de reutilización (reciclado) ya que se pueden fundir y conformar de nuevo.

Todas estas propiedades se derivan de su **estructura interna**, es decir, del tipo de enlace que une sus átomos que, en este caso, es el **ENLACE METÁLICO**:

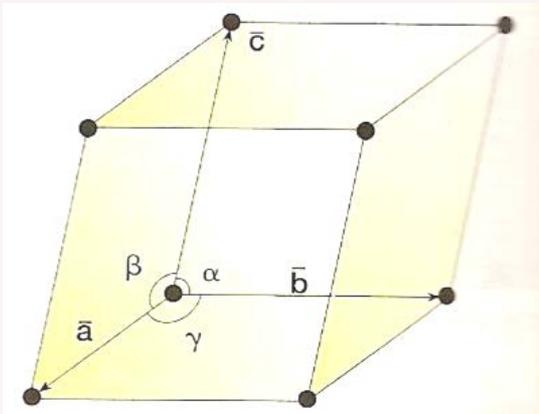
- Los átomos quedan empaquetados formando una estructura cristalina.
- Se genera una nube de electrones que se extiende por los núcleos atómicos y que se puede desplazar.

2.- ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES

ESTRUCTURA CRISTALINA

Un material tiene una estructura cristalina cuando todos sus átomos están ordenados de tal manera que cada uno tiene un entorno idéntico.

La principal característica de una estructura cristalina es que es regular y repetitiva y consta de pequeñas entidades llamadas «CELDA UNIDAD».



RETÍCULO ESPACIAL: red tridimensional que los átomos forman en el espacio.

CELDA UNIDAD: es la unidad que presenta la estructura cristalina y está caracterizada por tres vectores **a**, **b** y **c** que representan las direcciones de las aristas de la celda unidad y los ángulos α , β y γ .

(es la mínima parte del retículo espacial identificable como cristal).

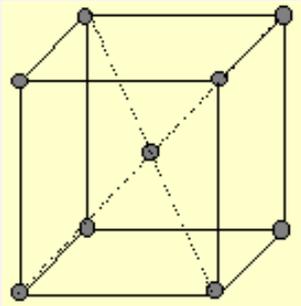
SISTEMAS CRISTALINOS

Según el módulo de los vectores y el ángulo de los planos, nos encontramos con siete sistemas cristalinos diferentes (triclínico, monoclínico, ortorrómbico, tetragonal, cúbico, hexagonal, romboédrico) y catorce retículos espaciales diferentes (redes de Bravais).

2.- ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES

En estado sólido, los **METALES** presentan una estructura interna constituida por un agregado compacto de cristales (estructura cristalina).

Los metales de uso industrial más frecuente cristalizan en tres tipos de redes:



- Red cúbica centrada en el cuerpo (BCC): los átomos están dispuestos en los vértices y en el centro del cubo.

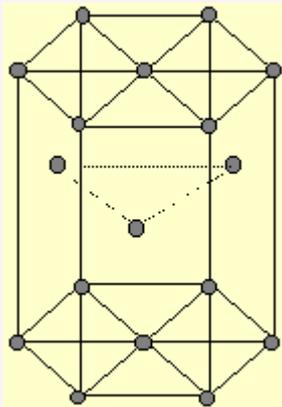
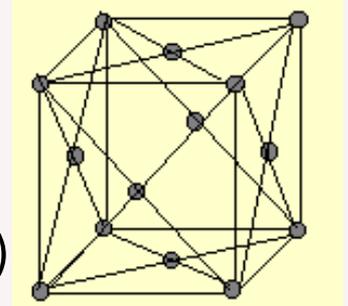
$$a=b=c; \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Ej.: Hierro α , cromo (metales más duros).

- Red cúbica centrada en caras (FCC): los átomos están en los vértices y en el centro de las caras de un cubo.

$$a=b=c; \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Ej.: Hierro γ , cobre (metales más dúctiles)



- Red hexagonal compacta (HCP): los átomos se sitúan en los vértices de un prisma hexagonal, además de uno en cada base y tres en un plano horizontal en el centro del prisma.

$$a=b \neq c; \quad \alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$

Ej.: cobalto, titanio (metales frágiles)

2.- ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES

En las REDES CRISTALINAS METÁLICAS, es interesante conocer las siguientes constantes o parámetros:

✓ **ÍNDICE DE COORDINACIÓN:** nº de átomos que rodean a uno dado.

BCC: 8

FCC: 12

HCP: 12

✓ **Nº DE ÁTOMOS** (celda unidad)

$N = N_i + N_c/2 + N_v/8$ (para todos los sistemas cristalinos menos el HEXAGONAL)

$N = N_i + N_c/2 + N_v/6$ (HEXAGONAL)

N_i : nº de átomos en el interior de la celda

N_c : nº de átomos en el centro de las caras

N_v : nº átomos en los vértices

BCC: 2

FCC: 4

HCP: 6

✓ **ÍNDICE DE EMPACAMIENTO ATÓMICO (FPA):** es la relación entre el volumen total de átomos que hay en una celda unidad y el volumen de la propia celda.

BCC: 68%

FCC: 74%

HCP: 74%

[VIDEO ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES](#)

2.- ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES

POLIMORFISMO O ALOTROPÍA

Existen muchos elementos químicos que pueden presentar diversas estructuras cristalinas bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. Este fenómeno se denomina **ALOTROPÍA** (en el caso de los compuestos químicos la alotropía se conoce como **POLIMORFISMO**).

Muchos metales de importancia industrial, como el hierro, experimentan transformaciones alotrópicas a elevadas temperaturas a presión atmosférica (hierro α , hierro γ , hierro δ).

Los cambios alotrópicos suponen importantes variaciones en las propiedades de los materiales ya que, dependiendo de la estructura cristalina que adopten, tendrán una serie de propiedades características que influirán en sus aplicaciones industriales.

3.- DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA

Las estructuras cristalinas de metales y aleaciones no son perfectas, no existe el sólido cristalino perfectamente ordenado y compacto sino que presentan una serie de defectos de distinto tipo, a los que deben propiedades físicas y mecánicas singulares.

Estos defectos se pueden clasificar en:

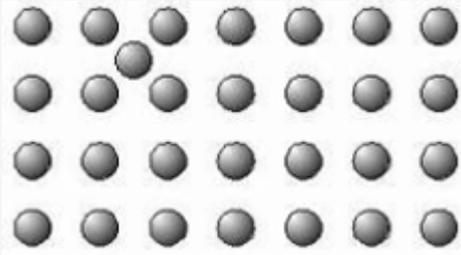
- ✓ Térmicos.
- ✓ Electrónicos.
- ✓ **Atómicos.**

Los DEFECTOS ATÓMICOS son los más importantes desde el punto de vista metalúrgico y consisten en fallos o alteraciones en la ordenación espacial de la estructura cristalina. Pueden ser:

- Defectos atómicos puntuales: átomos intersticiales, vacantes y átomos extraños.
- Defectos atómicos lineales: dislocaciones (en cuña o en hélice).
- Defectos atómicos superficiales o interfaciales: borde o límite de grano

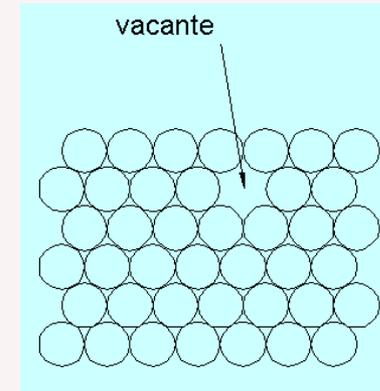
3.- DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA

DEFECTOS ATÓMICOS PUNTUALES



➤ **Átomos intersticiales:** son átomos situados en un punto que no pertenece a la red, es decir, situados en los huecos existentes en las estructuras cristalinas.

➤ **Vacantes:** son puntos de la red vacíos en los que no se encuentra átomo alguno.



➤ **Átomos extraños:** son átomos diferentes de los que forman la red cristalina que se sitúan tanto en puntos reticulares como en huecos.

Todas estas imperfecciones son las causantes de los efectos de **DIFUSIÓN** en los sólidos cristalinos ya que su presencia facilita los movimientos de los átomos en el interior del material. Este fenómeno está asociado a la temperatura ya que el aumento de la misma, incrementa la agitación térmica de los átomos provocando el desplazamiento de los mismos.

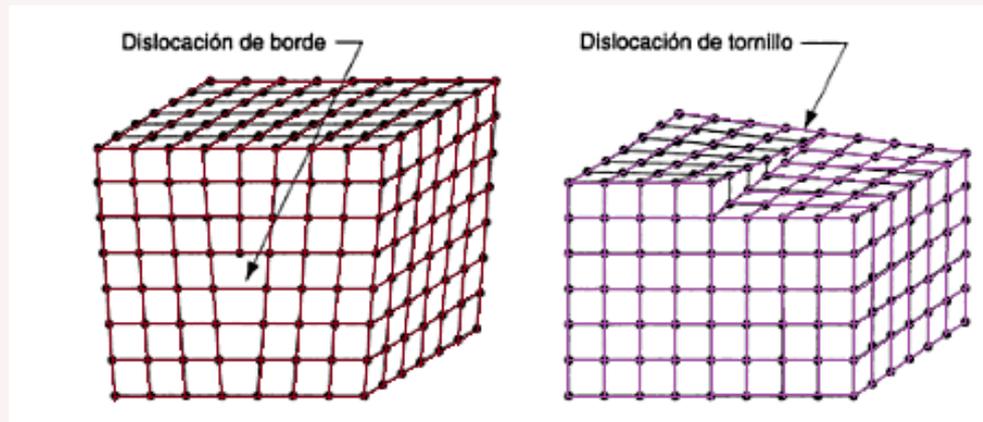
Tiene gran importancia en metalurgia (tratamientos térmicos y superficiales de los materiales)

3.- DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA

DEFECTOS ATÓMICOS LINEALES

Los más importantes son las **DISLOCACIONES** que dan lugar a la distorsión de la red cristalina en torno a una línea. Pueden ser de dos tipos:

- ❖ **En cuña**, en la que falta una línea de átomos o existe un semiplano «extra» en la estructura cristalina regular.
- ❖ **En hélice**, en la que los planos perpendiculares al defecto lineal se enrollan a su alrededor.

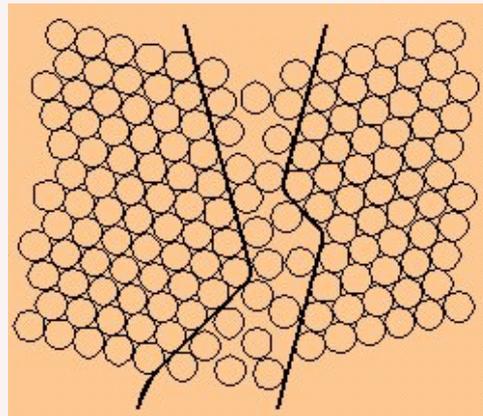


La presencia de dislocaciones en un sólido cristalino disminuye su resistencia mecánica teórica. Además, los movimientos de las dislocaciones son los causantes de la deformación plástica en las aleaciones metálicas (conformado mediante procesos de laminación, forja, etc.)

3.- DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA

DEFECTOS ATÓMICOS SUPERFICIALES O INTERFACIALES

Normalmente separan regiones del material que tienen diferente estructura cristalina y/o orientación cristalográfica.



La estructura de la mayor parte de los metales utilizados industrialmente está constituida por múltiples zonas ordenadas pero sin que las direcciones de sus ejes cristalográficos coincidan. A estas zonas ordenadas se les denomina **GRANOS** o cristales y a la zona límite entre dos de ellos (imperfección a nivel superficial) se le conoce como **LÍMITE DE GRANO**.

La formación de este tipo de defectos se debe al **proceso de solidificación** del metal.

[VIDEO DEFECTOS ATÓMICOS](#)

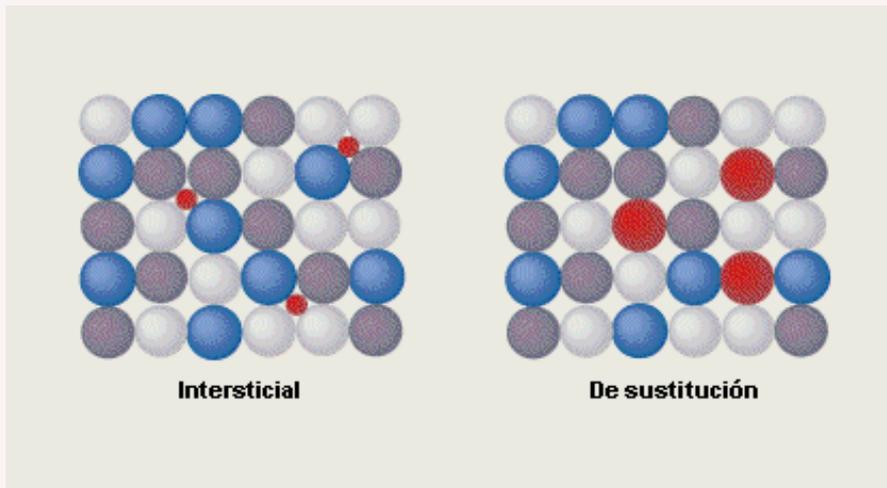
4.- SOLUCIONES SÓLIDAS

La mayoría de los metales no se utilizan en forma pura ya que la mayoría de ellos se mezclan con otros metales o no metales para conseguir materiales (**aleaciones**) de mayor dureza, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión u otras propiedades.

Toda aleación debe cumplir dos condiciones:

- Los elementos que se mezclan deben ser totalmente miscibles en estado líquido para que al solidificar se origine un producto homogéneo.
- El producto obtenido debe poseer carácter metálico, es decir, su estructura interna ha de ser igual que la de los metales.

Las aleaciones más sencillas son las denominadas SOLUCIONES SÓLIDAS, que pueden ser de dos tipos:



- ✓ De sustitución: cuando alguno de átomos de la red cristalina del metal se encuentran sustituidos por átomos de otro metal diferente.
- ✓ De inserción: cuando en los espacios interatómicos de la red cristalina de un metal se introducen átomos extraños (generalmente de un no metal).

5.- ENDURECIMIENTO EN METALES

Entre los mecanismos que se emplean para endurecer las aleaciones metálicas, se tienen los siguientes:

➤ **Endurecimiento por deformación en frío:** es un fenómeno o proceso por medio del cual un metal dúctil se vuelve más duro y resistente a medida que es deformado plásticamente. Se explica de la siguiente manera:

- 1.- El metal posee dislocaciones en su estructura cristalina.
- 2.- Cuando se aplica una fuerza sobre el material, las dislocaciones se desplazan causando la deformación plástica.
- 3.- Al moverse las dislocaciones, aumentan en número.
- 4.- Al haber más dislocaciones en la estructura del metal, se estorban entre sí, volviendo más difícil que las dislocaciones se muevan, se requiere de una fuerza mayor para mantenerlas en movimiento. Se dice entonces que el metal se ha endurecido.

Es frecuente que un metal que haya experimentado deformación en frío se someta posteriormente a un tratamiento térmico, denominado **RECOCIDO**, para devolverle su plasticidad.

5.- ENDURECIMIENTO EN METALES

➤ **Endurecimiento por afino de grano:** es consecuencia de que los bordes de grano se oponen al movimiento de las dislocaciones.

En una aleación metálica, cuanto más pequeño sea el grano mayor será la longitud de borde grano que obstaculiza el movimiento de las dislocaciones, reduciendo las posibilidades de deformación de los cristales con lo que la resistencia del material será mayor.

El tamaño del grano depende de las características del proceso de solidificación.

➤ **Endurecimiento por solución sólida:** las soluciones sólidas, tanto de sustitución como de inserción, se caracterizan por una dureza mayor que la del metal original. Al introducir átomos extraños, la diferencia de tamaño de los radios atómicos (en las soluciones de sustitución) o la reducción de los intersticios (en las de inserción) reduce las posibilidades de movimiento de la red con lo que se impide la deformación.

[VIDEO: ENDURECIMIENTO DE LOS METALES](#)