



TECNOLOGIA MECANICA

EL ESTADO METALICO

Por **JOSE MARIA CORTES DIAZ**

Profesor de Tecnología del Metal del Centro Nacional de Formación Profesional de 1.º y 2.º Grado de "Dos Hermanas".

Una simple observación a metales que conocemos nos bastará para asociar el concepto de metal de éstos con la posesión de una serie de propiedades que si bien no son excluidas, las tienen en suficiente intensidad como para caracterizarlos.

Así, entre estas propiedades podemos indicar como más significativas las siguientes:

- Todos son opacos y sólo en láminas extremadamente finas suelen ser transparentes.
- Su color presenta una cierta monotonía: blancos, grises o grisáceos, algunos con un ligero matiz azul o pardo. El cobre y el oro son los únicos que presentan colores distintos: rojo y amarillo, respectivamente.
- En forma compacta y pulida presentan el característico brillo metálico.
- Todos, a excepción del mercurio, son sólidos a temperatura ordinaria.

- La densidad es muy variable, desde 0,534 en el litio hasta 22,48 para el osmio.
- En estado sólido o fundido todos son buenos conductores del calor y la electricidad.
- Presentan en mayor o menor grado una serie de propiedades mecánicas, tales como deformabilidad, elasticidad, resiliencia, plasticidad, fatiga, dureza, tenacidad, resistencia, etc.

1. ESTRUCTURA DE LOS METALES

Aunque la forma externa en los metales no se corresponda con su ordenación interior, su distribución atómica se encuentra perfectamente ordenada, constituyendo en gran medida, la causa de las propiedades mecánicas.

Al hablar de la estructura de los metales, conviene distinguir según se trate de su estructura "cristalina", "granular" o "microscópica" y "macroscópica".

La estructura cristalina constituida por el sistema cristalino a que pertenece, sólo es observable indirectamente mediante difracción de rayos X.

La estructura microscópica está constituida por granos y se pone de manifiesto mediante ataque de los bordes de grano, y el uso de microscopio metalográfico.

La estructura macroscópica está constituida por fibras, y basta la simple visión o el uso de una lupa de pequeño aumento para su observación.

1.1. ESTRUCTURA CRISTALINA.

La forma especial del enlace metálico da lugar a que los metales en estado sólido adopten una ordenación atómica que los caracteriza como cuerpos cristalinos. Podemos considerar que entre los átomos contiguos se desarrollan fuerzas de atracción y repulsión y que, como consecuencia de estas fuerzas, los átomos adoptan posiciones de equilibrio para los que la

CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS METALICOS

resultante de ambas es nula. Estas fuerzas son función de su presión y temperatura.

No obstante lo indicado se ha de tener en cuenta que la cristalinidad no es exclusiva del enlace metálico, sino que existen otros tipos de enlace, como el iónico y homopolar, con las mismas características, incluso, aunque nos parezca extraño, la estructura cristalina constituye la forma general de presentarse los cuerpos en la naturaleza, frente al estado amorfo que constituye la excepción de la regla.

A pesar de existir muchos tipos de cristales con gran número de variantes de ordenación atómica como ya se estudió en el anterior tema, el cristal metálico se caracteriza por su sencillez de forma y por su alto índice de coordinación (*) respecto a los restantes cristales.

Conviene recordar, ya que puede parecer extraño al considerar a los metales como cuerpos cristalinos, y diferir en su aspecto de los verdaderos cristales que la naturaleza nos ofrece, que la cristalinidad radica exclusivamente en la ordenación y simetría de los átomos aunque ésta no trascienda al exterior como sucede en los cristales naturales.

1.1.1. Redes espaciales o cristalinas.

La clasificación que hemos hecho de los metales en metales propiamente dichos o verdaderos metales y metales de los subgrupos B, se manifiesta por la diferencia existente en la formación de sus redes espaciales. Así, mientras los metales propiamente dichos, debido a su enlace exclusivamente metálico, se presentan con sus átomos agrupados según redes cristalinas muy simples con alto índice de coordinación, salvo raras excepciones, por el contrario, los metales de los subgrupos B dan lugar a redes cristalinas complicadas, debido a la distinta naturaleza de sus enlaces.

En el presente tema sólo nos ocuparemos del estudio de las redes simples de los verdaderos metales, dada su importancia y generalidad, si bien,

(*) Se entiende por índice de coordinación de un átomo al número de éstos de su misma naturaleza que equidistan de él y que constituyen sus vecinos más próximos.

VERDADEROS METALES											METALES DE LOS SUBGRUPOS B					
METALES DE TRANSICION											2	3	4	5	6	
<i>Li</i> A ₂	<i>Be</i> A ₃															
<i>Na</i> A ₂	<i>Mg</i> A ₃										<i>Al</i> A ₁		<i>Si</i>			
<i>K</i> A ₂	<i>Ca</i> A ₁ A ₃	<i>Sc</i>	<i>Ti</i> A ₃	<i>V</i> A ₂	<i>Cr</i> A ₂ A ₃	<i>Mn</i>	<i>Fe</i> A ₁ A ₂	<i>Co</i> A ₁ A ₃	<i>Ni</i> A ₁ A ₃	<i>Cu</i> A ₁	<i>Zn</i>	<i>Ga</i>	<i>Ge</i>	<i>As</i>	<i>Se</i>	
<i>Rb</i> A ₂	<i>Sr</i> A ₁	<i>Y</i> A ₃	<i>Zr</i> A ₂ A ₃	<i>Nb</i> A ₂	<i>Mo</i> A ₂	<i>Ma</i> ?	<i>Ru</i> A ₃	<i>Rh</i> A ₁ A ₂	<i>Pd</i> A ₁	<i>Ag</i> A ₁	<i>Cd</i>	<i>In</i>	<i>Sn</i>	<i>Sb</i>	<i>Te</i>	
<i>Cs</i> A ₂	<i>Ba</i> A ₂	<i>La</i> A ₁ A ₃	TIERRAS RARAS													
			<i>Hf</i> A ₃	<i>Ta</i> A ₂	<i>W</i> A ₂	<i>Re</i> A ₃	<i>Os</i> A ₃	<i>Ir</i> A ₁	<i>Pt</i> A ₁	<i>Au</i> A ₁	<i>Hg</i>	<i>Tl</i> A ₁ A ₃	<i>Pb</i> A ₁	<i>Bi</i>		
		<i>Ra</i>	<i>Ac</i>	<i>Th</i> A ₁	<i>Pa</i>	<i>U</i>										

A₁ = Cúbica centrada en las caras.
 A₂ = Cúbica centrada en el cuerpo.
 A₃ = Hexagonal compacta.

se ha considerado interesante incluir en la tabla, que se indica a continuación, la red en que cristaliza cada uno de los metales.

Tres son los tipos de redes más frecuentes en los metales:

- Cúbica centrada (c.c.).
- Cúbica de caras centradas (c.c.c.).
- Hexagonal compacta (ex.c.).

En la figura 1 se indica la distribución atómica de los tipos de redes indicados.

La determinación para cada tipo de red del número de átomos que corresponde a cada celdilla elemental, resulta interesante, ya que éste, unido al

conocimiento de la constante reticular y la masa atómica, permite el conocimiento de la densidad a partir de la expresión:

$$d = \frac{n \cdot Ma}{V \cdot N} \quad (1)$$

siendo:

n = Número de átomos por celdilla.

Ma = Masa atómica del metal.

V = Volumen de la celdilla.

N = Número de avogadro (6'02 · 10²³).

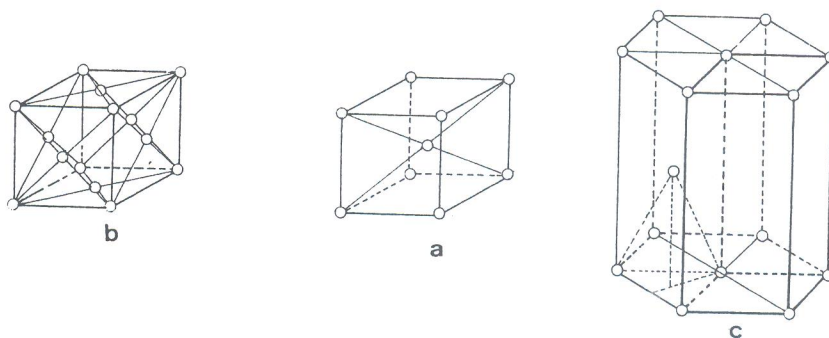


Fig. 1.

Pasemos a enumerar las características más indicativas de las citadas redes cristalinas.

a) *Red cúbica centrada.*

Los metales que cristalizan en este sistema tienen sus átomos distribuidos tal como se indica en la figura 1.a), ocupando los vértices y el centro del cubo.

El valor de n a aplicar en la expresión (1) será 2, como se puede deducir fácilmente ($1 + 8 \cdot 1/8$).

El índice de coordinación de esta red es igual a 8, ya que cada esfera resulta ser tangente con otras 8.

En esta red cristalizan los metales: Li, Na, K, Rb, Cs, Ba, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe_x y Rh.

b) *Red cúbica de caras centradas.*

Los metales que cristalizan en este sistema tienen sus átomos distribuidos tal como se indica en la figura 1.b), ocupando los vértices y los centros de las caras del cubo.

El valor de n será 4, como se deduce fácilmente ($1/2 \cdot 6 + 1/8 \cdot 8$).

El índice de coordinación es 12 y, como puede verse en la figura 2, su distribución es igual a la del sistema hexagonal compacto.

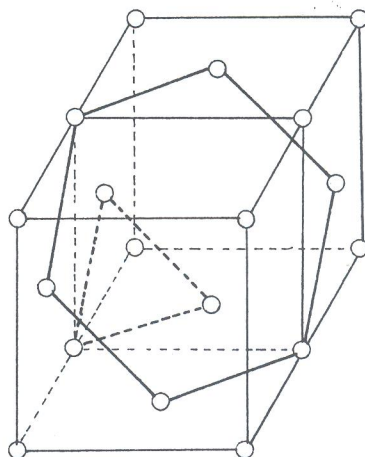


Fig. 2.

En este sistema cristalizan los metales: Ca, Si, La, Th, Fe_γ, Ir, Rh, Co, Ni, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Al y Pb.

c) *Red hexagonal compacta.*

Los metales que cristalizan en este sistema tienen sus átomos distribuidos

tal como se indica en la figura 1, c), ocupando los vértices de un prisma hexagonal regular, los centros de las bases y los centros de los triángulos alternativos, en que se puede descomponer la sección media del prisma.

El valor de n será 6, como se deduce fácilmente ($1/2 \cdot 2 + 3 + 1/6 \cdot 12$).

El número de coordinación depende de la relación entre los parámetros c/a , cuya determinación resulta de gran interés para conocer el comportamiento frente a la deformación de los metales (si $\frac{c}{a} < \sqrt{3}$ los metales se comportan como plásticos, mientras que si $\frac{c}{a} > \sqrt{3}$ como frágiles).

Si $\frac{c}{a} < 1,633$, el índice de coordinación es 12, mientras que si $\frac{c}{a} > 1,633$, los átomos situados en la sección media quedan muy separados del que ocupa el centro de la base y, en este caso, el índice de coordinación es 6.



ACOPLADORES *Hidráulicos*

FLUIDRIVE ESPAÑOL

(PATENTES VULCAN-SINCLAIR)



**— ventajas que ofrece —
su aplicación**

- Permite un arranque suave con la máquina a plena carga.
- Simplifica el equipo eléctrico, pudiendo prescindir de los motores de anillos.
- Puede limitar el par y seguir funcionando el motor con la máquina calada.
- Aplicado a dos motores que accionan un solo mecanismo, se reparte la carga.
- Intensifica la duración y eficacia de funcionamiento de la máquina.
- Elimina fallos eléctricos y mecánicos.

INGENIERIA ESPAÑOLA S.A. «INGESPA»

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA ESPAÑA DE FLUIDRIVE ENGINEERING C.º LTD. - INGLATERRA

TALLERES Y OFICINAS: Polígono Industrial INSIDER, calle A - Teléfono 41 42 29 (3 líneas) - Telex: cacin-58072 «INGESPA» - Telegramas «INGESPA» LA CARTUJA BAJA (ZARAGOZA)

En este sistema cristalizan los metales: Be, Mg, Cu, Ti, La, Zr, Hf, Cr, Re, Os, Ru, Co, Ni, Tl.

1.2. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA O GRANULAR.

Está constituida por los granos cristalinos que forman el metal, a semejanza de los ladrillos de un edificio que se agrupan para formar éste, sin tener en cuenta que, a su vez, cada ladrillo está compuesto por agrupaciones de elementos inferiores.

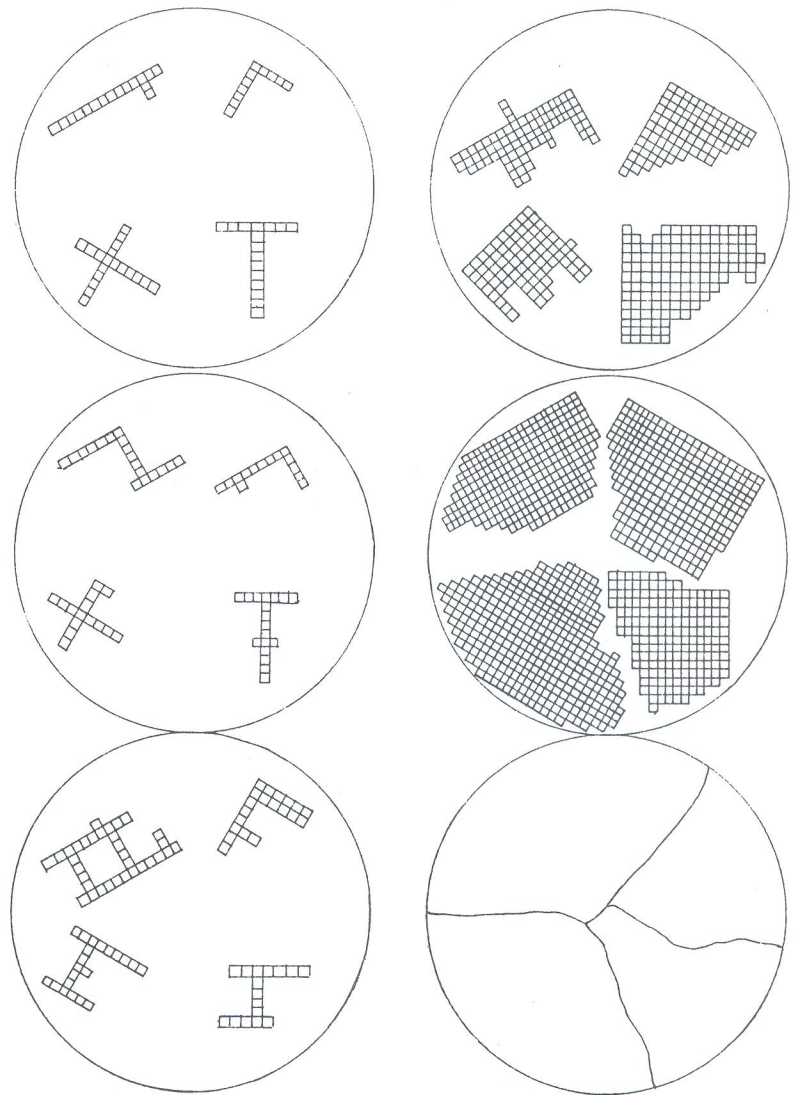
Así como la estructura cristalina es característica e invariable en cada metal, a excepción de aquellos metales que por tener la propiedad de la alotropia, se pueden presentar en varias formas o estados alotrópicos, la estructura granular es variable y puede ser modificada por multitud de factores, tales como proceso de solidificación, tratamientos térmicos, etc., y todo ello explica la importancia de su estudio y la de los medios de modificarla, que constituye la base de los tratamientos térmicos.

1.2.1. Formación de los granos cristalinos.

El proceso de formación de los granos cristalinos de manera simplificada, podemos decir que ocurre de la siguiente forma: si partimos de un metal puro en estado líquido, y descendemos la temperatura, hasta alcanzar la de solidificación, al llegar a ésta se forman los "núcleos" o "gérmenes" a partir de los cuales el cristal nace según ciertas direcciones, dando lugar a formas arborescentes denominadas "dendritas". Como este crecimiento tiene lugar para gran número de núcleos, las dendritas crecerán hasta chocar con las vecinas, deteniéndose el crecimiento cuando todo el espacio interdendrítico se haya ocupado por completo. El poliedro más o menos regular así formado recibe la denominación de *grano cristalino*.

En la figura 3 se indica el mecanismo de la solidificación de un metal según Rosenhain.

La observación microscópica de un metal convenientemente preparado y atacado pondría de manifiesto la existencia de líneas poligonales, correspondientes a los bordes de grano. A



Proceso de cristalización según ROSENHAIN

Fig. 3.

estos granos se les denomina "constituyentes de estructura".

1.3. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA O MACROESTRUCTURA.

Hemos visto en el apartado anterior cómo el proceso de solidificación de un metal o aleación da lugar a la formación de granos cristalinos, rodeados de una película de metal amorfo. La agrupación de estos granos constituyen su estructura primaria. Esta estructura primaria puede ser modificada como consecuencia de los trabajos a que se somete el metal y toda deformación que apliquemos a éste deformará en mayor o menor grado sus partes constitutivas, y, por consiguiente,

las primitivas dendritas que forman la estructura primaria.

La nueva estructura, obtenida de la primaria fuertemente alterada, debido a que por las dimensiones de sus partes constitutivas pueden ser visibles a simple vista, se denomina "macroestructura".

El análisis macrográfico de un metal o aleación tiene por objeto, pues, el poner de manifiesto su macroestructura, pudiendo observar con ello no sólo las heterogeneidades de tipo químico existentes derivadas de su estructura primaria, sino las alteraciones que ha sufrido como consecuencia de los diversos tratamientos a que haya sido sometido.