

EJERCICIOS Y CUESTIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES (TEMAS 1 AL 5)

I. Responder a las preguntas del siguiente test. Hay una única respuesta correcta. Las soluciones se encuentran en la página 4 de este documento.

Consejos para resolver las preguntas tipo test:

1. Todas ellas son preguntas relacionadas con la teoría expuesta en los Temas 1, 2, 3, 4 y 5 de este curso.
2. Hay respuestas que son parcialmente ciertas, pero lo que debe buscarse es la respuesta más completa entre todas las propuestas.

1. Las propiedades de un material dependen de:
 - a. La estructura que tenga
 - b. La estructura y del modo de fabricación que se siga
 - c. Los procesos empleados en su fabricación
 - d. Otras propiedades que posea
2. Un material con una energía de enlace de 68 Kcal/mol y una temperatura de fusión de 962 °C puede ser:
 - a. Un material metálico
 - b. Un material con enlaces tipo Van der Waals
 - c. Un material iónico
 - d. Un material covalente

3. En la práctica la estructura cristalina de un material se suele determinar mediante técnicas de:
 - a. Metalografía
 - b. Microdurezas
 - c. Análisis químico
 - d. Difracción de rayos X
4. La técnica metalográfica revela:
 - a. La organización espacial de las fases de un material metálico
 - b. Las diferentes formas y tamaños que adoptan las fases en la estructura
 - c. Las diferentes configuraciones entre las fases y los compuestos
 - d. Todas son correctas
5. Los materiales cuyas propiedades son independientes de la dirección de la medida se denominan:
 - a. Anisótropos
 - b. Alotrópicos
 - c. Isótropos
 - d. Cuasi trópicos
6. Los materiales denominados no cristalinos son:
 - a. Monocristales
 - b. Amorfos



- c. Policristalinos
- d. Anisótropos

7. Indicar cuales de los siguientes materiales podrán presentar gran ductilidad, poca ductilidad y ninguna ductilidad a temperatura ambiente. Igualmente, indicar cuales de esos mismos materiales pueden ser conductor eléctrico, aislante eléctrico y semiconductor (conduce electricidad en unas condiciones, y no la conduce en otras). Emplear únicamente el criterio basado en los modelos de enlace atómico.

- a. Zirconia (óxido de circonio)
- b. Germanio
- c. Magnesio
- d. Plomo
- e. Plata
- f. TiC (carburo de titanio)
- g. Titanio

II. Resolver los siguientes ejercicios. Algunos están directamente resueltos, en otros se propone el enunciado y la respuesta se encuentra en la página 5 de este documento.

1. Calcular la densidad teórica del hierro α sabiendo que presenta red cúbica centrada en el cuerpo con parámetro

reticular $a = 2,866$ Angstroms y peso atómico = $55,847$ g/mol.

2. Calcular la densidad del cobre de estructura cúbica centrada en las caras, cuyo parámetro de red es $3,615$ Angstroms y masa atómica $63,5$ g/mol.

Consejos para los ejercicios 1 al 3: debe entenderse cuáles son las geometrías de las distintas celdillas unidad que aparecen en la naturaleza y qué son los parámetros de red (ver Tema 3).

3. El hierro puede cristalizar en tres formas diferentes dependiendo de las condiciones de proceso. Puede formar ferrita, austenita y martensita. La ferrita es una fase BCC, la austenita es una fase FCC y la martensita es una fase tetragonal centrada en cuerpo, es decir, es una estructura similar a la de la ferrita (BCC), pero en vez de un cubo se trata de un prisma ortogonal de base cuadrada. a) Calcula la densidad de la martensita. b) La martensita solo se forma en condiciones de rápido enfriamiento de la austenita ¿Se contraerá el Fe cuando la austenita se transforme en martensita, o se expandirá?, ¿Consideras que la ferrita (hierro BCC), la austenita (hierro FCC) y la martensita (hierro TetraC) son alótropos? Justifica tus respuestas. Los datos necesarios se incluyen a continuación:



Elemento	Número atómico	Estructura cristalina	Parámetro de red (Å)	Peso atómico (g/mol)	Temperatura en que la fase es estable (°C)
Fe	26	BCC	2,866	55,847	< 912
		FCC	3,589		912-1538
		Tetra C(*)	a= 2,850 c= 2,931		Metaestable(◊)

(*) Tetra C significa Tetragonal centrada en cuerpo. Estructura cristalina que se puede dar en redes metálicas. Se trata de un prisma ortogonal de base cuadrada: En este caso es una estructura parecida a la BCC (Cúbica centrada en el cuerpo), con la arista vertical mas larga, porque en vez de contener un solo átomo en su interior contiene dos completos (ver figura inferior).

(◊) Metaestable significa que es una fase que sólo se forma en condiciones especiales, y que si se le da energía se transforma en las fases estables. Pero mientras no se le suministre esa energía al material, la fase se mantiene y existe.

4. Se quiere cementar una barra de acero con el fin de endurecer la superficie. El acero seleccionado contiene 0,25 % de C. El proceso se llevará a cabo en un horno a 915 °C, pretendiendo conseguir un contenido en C de 1,0 % en la superficie y del 0,5 % a 0,7 mm de profundidad. ¿Cuánto tiempo duraría el proceso, en horas, realizándolo tal como se describe?

Consejos para los ejercicios 4 y 5: Estos ejercicios están relacionados con la aplicación industrial del proceso de difusión (ver Tema 5).

Datos:

$$D_{927^{\circ}\text{C}} = 1,28 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right)$$

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right)$$

Table 5.1 Tabulation of Error Function Values

z	erf(z)	z	erf(z)	z	erf(z)
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.9340
0.025	0.0282	0.60	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.6420	1.5	0.9661
0.10	0.1125	0.70	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.1680	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.20	0.2227	0.80	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.30	0.3286	0.90	0.7970	2.0	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8209	2.2	0.9981
0.40	0.4284	1.0	0.8427	2.4	0.9993
0.45	0.4755	1.1	0.8802	2.6	0.9998
0.50	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

Extracted from mit3091f04_sadoway_lec24_01.pdf (484.0 KB).
 Author: Donald R. Sadoway, Center for Future Civic Media .
 Massachusetts Institute of Technology, MIT .published: Feb. 10, 2009, released under terms of: Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike (CC-BY-NC-SA)

5. En el proceso del ejercicio anterior, ¿cuál sería la profundidad a la que se alcanza la concentración de 0,5 % en C si el tiempo se reduce a 2 h?

III. Responder a las siguientes cuestiones. Se recomienda consultar la bibliografía disponible para dar una respuesta más completa. Las respuestas están en la página 5 de este documento.

1. Industrialmente los procesos basados en el fenómeno de la difusión se realizan en hornos, ¿por qué?, ¿cómo influye la temperatura del horno a la hora de realizar un proceso de las mismas características?
2. ¿Por qué algunos materiales pueden ser doblados sin romperse y otros no? Dar ejemplos.

Consejos para responder a la cuestión 2: Una de las conclusiones más importantes que deben extraerse del Tema 1 (y de este curso en general) es que las propiedades de los materiales dependen directamente de la estructura y del método de fabricación. De esta manera, cuando una pregunta se refiere a una propiedad concreta, la respuesta tendrá que relacionarse con la estructura y el método de fabricación del material del que se trate.

Como aún no se han explicado los métodos de fabricación, la respuesta a esta pregunta deberá estar relacionada con las distintas estructuras que presentan los materiales.

Mat.	Tipo de enlace	Gran ductilid.	Poca ductilid.	Ninguna ductilid.	Aislante eléctrico	Conductr. eléctrico	Semicond
ZrO ₂	Iónico			X	X		
Ge	Covalente puro			X			x
Mg	Metálico/E estructura HCP		x			X	
Pb	Metálico/E estructura FCC	X				X	
Ag	Metálico/E estructura FCC	X				X	
TiC	Iónico - %Metálico			X		X	
Ti	Metálico/H CP	X				X	

RESPUESTAS

Ejercicio I:

1. b
2. a (son los datos correspondientes a la plata)
3. d
4. d
5. c
6. b
- 7.

Mat.	Tipo de enlace	Gran ductilid.	Poca ductilid.	Ninguna ductilid.	Aislante eléctrico	Conductor eléctrico	Semiconductor
ZrO ₂	Iónico			X	X		
Ge	Covalente puro			X			X
Mg	Metálico/ Estructura HCP		X			X	
Pb	Metálico/ Estructura FCC	X				X	
Ag	Metálico/ Estructura FCC	X				X	
TiC	Iónico - %Metálico			X		X	
Ti	Metálico/ HCP	X				X	

Para los que habéis buscado en Wikipedia (castellano) qué es el TiC, y os habéis encontrado con que dice que es una “CERÁMICA CONDUCTORA ELÉCTRICA”... → Es cierto en gran parte, pero para ver a qué se refieren es mejor buscar datos: La resistividad eléctrica del TiC es muy baja para ser cerámica: $1,8 - 2,5 \times 10^{-6}$ Ohm.m, aunque es superior a la de los metales, que está entorno a $10^{-7} - 10^{-8}$ ohm.m. La conductividad eléctrica es la inversa de la resistividad eléctrica.

Ejercicio II:

1. Resolución:

La densidad se define como:

$$\rho = \frac{\left(\frac{\text{átomos}}{\text{celda}}\right) \cdot (\text{masa atómica})}{(V_{\text{celda}}) \cdot (n^{\circ} \text{ Avogadro})}$$

Siendo en la estructura cúbica centrada en el cuerpo:

Átomos/celda=

$$8 \text{ átomos esquinas} * \frac{1}{8} + 1 \text{ átomo en el centro} = 2$$

Debe tenerse en cuenta que los átomos de los vértices son al mismo tiempo parte de ocho celdillas. Aunque solo se dibuja una de referencia, la estructura está formada por millones de ellas colocadas unas al lado de otras.

$$V_{\text{celda}} = a_0^3 = (2,866 * 10^{-8} \text{ cm})^3 = 2,35 * 10^{-23} \text{ cm}^3$$



Nº Avogadro = $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos/mol

Sustituyendo:

$$\rho = \frac{2 \frac{\text{átomos}}{\text{celda}} \cdot 56 \text{ g/mol}}{2,354 \cdot 10^{-23} \frac{\text{cm}^3}{\text{celda}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ átomos/mol}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

2. Resolución: $\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$

Consejos para resolver el ejercicio 2: El modo de proceder es exactamente el mismo que en el ejercicio anterior. Tan sólo debe tenerse en cuenta que la celda unitaria es diferente. En este caso, por tratarse de una estructura cúbica centrada en las caras, el número de átomos por celda es 4.

3. Resolución:

Austenita, FCC →

$$\begin{aligned} \text{Densidad} &= 4 \cdot (P_{\text{Fe}} / N_A) / (3,589 \cdot 10^{-10})^3 = \\ &0,0865 \cdot 10^{30} \cdot (56 / 6,022 \cdot 10^{23}) = \\ &8046127 \text{ g / m}^3 = 8046,127 \text{ kg / m}^3 \end{aligned}$$

$$P_{\text{Fe}} = 56 \text{ g / mol}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos/mol}$$

Martensita, TetraC →

$$\begin{aligned} \text{Densidad} &= 2 \cdot (P_{\text{Fe}} / N_A) / [(2,850 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 2,931 \cdot 10^{-10}] = \\ &2 \cdot 56 \cdot 10^{-3} / 6,022 \cdot 10^{23} / [(2,850 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 2,931 \cdot 10^{-10}] = \\ &7812,17 \text{ kg / m}^3 \end{aligned}$$

→ El Fe se expande cuando pasa de Austenita a Martensita

¿Cuanto es el porcentaje de aumento de volumen?

Para una masa dada de Fe, el volumen ocupado

$$V = \text{Masa} / \text{Densidad}$$

$$\text{Austenita} \rightarrow V_a = \text{Masa} / 8046,127 \text{ m}^3$$

$$\text{Martensita} \rightarrow V_m = \text{Masa} / 7812,17 \text{ m}^3$$

El porcentaje de expansión en volumen será =

$$\begin{aligned} &[(\text{Volumen final} - \text{Volumen inicial}) / \text{Volumen inicial}] \cdot 100 = \\ &\{[(\text{Masa} / 8046,127) - (\text{Masa} / 7812,17)] / (\text{Masa} / 8046,127)\} \\ &\cdot 100 = \\ &\{8046,127 \cdot [(1 / 7812,17) - (1 / 8046,127)]\} \cdot 100 = 3\% \end{aligned}$$

4. Resolución:

Se empleará la ecuación:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right)$$

para hallar la respuesta, emplear la otra solución de la ecuación diferencial debería dar, lógicamente, el mismo



resultado final (se propone comprobarlo). En las tablas, el término

$$\frac{x}{2\sqrt{D*t}}$$

suele denominarse como z.

Se trata de despejar de esta ecuación el tiempo para ello se procederá de la siguiente manera:

Se calcula el cociente de las concentraciones:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \frac{1 - 0,5}{1 - 0,25} = 0,6667 = \text{erf}(z)$$

En la tabla dato se introduce este número en la columna marcada como erf(z). Dado que el número no coincide con ninguno de los de la tabla habrá que interpolar para poder hallar su correspondiente en la columna de la z:

$$\frac{0,7 - 0,65}{0,6778 - 0,6420} = \frac{z - 0,65}{0,6667 - 0,6420}; z = 0,685$$

Es decir:

$$z = \frac{x}{2\sqrt{D*t}}; 0,685 = \frac{0,7*10^{-3}(m)}{2\sqrt{1,28 (m^2/s)*t (s)}}$$

$$\rightarrow t = 20396 \text{ s} \approx 5,7 \text{ h}$$

5. Resolución: $x = 0,4 \text{ mm}$

Consejos para resolver el ejercicio 5: El modo de proceder es exactamente el mismo que en el ejercicio anterior. En este caso, una vez obtenido el valor de z, debe despejarse x sabiendo que el tiempo es 2 h. Cuidado con las unidades.

Ejercicio III:

1. Respuesta: La manera de realizar la difusión es aplicar calor que suministre la suficiente energía de activación para que los átomos migren a otras posiciones del material base. Industrialmente la manera de realizar este proceso es introducir las piezas en un horno. Mediante el calentamiento de la pieza base, junto con el material a difundir (C ó N, por ejemplo), los átomos de éste adquieren la suficiente energía como para penetrar en el material dándole propiedades superficiales especiales. Una mayor temperatura del horno favorece el proceso de difusión haciendo que los tiempos del proceso se reduzcan.

Un material tiene capacidad para doblarse cuando presenta capacidad para deformarse plásticamente. Otros materiales son frágiles y, por lo tanto, no presentan tal capacidad.



Los materiales presentan un comportamiento u otro en función de distintos aspectos. Uno de los más importantes es el tipo de enlace químico que presentan y, por otro, la capacidad que poseen las dislocaciones de moverse en el interior del material cuando se aplican fuerzas sobre él. De esta forma, cuando el material presenta enlaces metálicos, por ejemplo, las dislocaciones tienen una gran capacidad de generarse y, además, de trasladarse por la red cuando se aplican cargas sobre el metal, dando como resultado una deformación muy importante si la carga es lo suficientemente grande. El resultado es que el metal puede doblarse sin romper. Si los metales presentan gran número de fases secundarias o han sido deformados previamente en gran medida, no se pueden doblar ni deformar adicionalmente. La razón de ello son los obstáculos que encuentran los átomos para moverse de una posición a otra en estas condiciones.

Los polímeros cuyas moléculas están enlazadas por débiles enlaces de Van der Waals también pueden doblarse. Los enlaces de Van der Waals se rompen en una zona para formarse en otra.

Sin embargo, cuando el material está formado por enlaces iónicos y/o covalentes, por ejemplo, las dislocaciones presentes en el mismo no tienen la capacidad de trasladarse por su estructura bajo carga, debido a que los electrones que

comparten en cada enlace no pueden moverse de la posición en que se encuentran. El resultado son materiales muy rígidos y que el material rompe antes de ser doblado, siendo este un comportamiento habitual en las cerámicas.

Otro factor importante es la temperatura a la cual se encuentra el material: la capacidad para deformarse plásticamente aumenta con la temperatura, por lo tanto, cualquier material a alta temperatura será más deformable que a bajas temperaturas, incluyendo las cerámicas.