

Tema 1. Ciencia y tecnología de los materiales.

• Introducción.

La ciencia e ingeniería de los materiales están íntimamente ligadas ya que el conocimiento y procesos de fabricación de los materiales, posibilita la conversión de los mismos para su uso industrial.

Hasta hace relativamente poco tiempo el material de interés tecnológico era el metal, los cuales han perdido parte de hegemonía a favor de materiales tradicionales, cerámicos, compuestos y poliméricos gracias a las nuevas tecnologías de fabricación.

Estas mismas tecnologías posibilitan la fabricación de materiales compuestos y evolución de nuevos materiales. Existe dos posibilidades para la síntesis de un nuevo material, tratar de encontrar otros materiales haciendo composiciones con los mismos o utilizar nuevas técnicas para variar los existentes. La aparición de nuevos materiales no debe suponer el desprecio por los materiales tradicionales.

• Clasificación de los materiales.

Se hace necesario clasificar los materiales en función de sus propiedades, para determinar las tendencias de uso.

Tradicionalmente los materiales se han dividido en estructurales o funcionales aunque esta clasificación no está perfectamente delimitada.

• Materiales estructurales.

Son aquellos basados en sus propiedades mecánicas para su uso, siendo los más importantes tanto en volumen de producción como desde el punto de vista económico.

• Metales.

El estudio de los metales constituye una rama científica llamada metalurgia. Esta se divide en dos grandes áreas Férreos y no Férreos. Hoy día sigue siendo la rama más importante dentro de los materiales estructurales dado las propiedades de los metales que le confieren características únicas. Estas propiedades se basan en el enlace atómico, estructura cristalina que le confiere altos valores de rigidez y resistencia mecánica.

• Cerámicas técnicas.

Su base suele ser elementos inorgánicos de estructura cristalina que pueden ser óxidos, carburos, silicatos, etc., utilizándose tanto como materiales estructurales como funcionales (magnetismo, electrónica ...). Sus propiedades le confieren de un amplio campo de posibles aplicaciones.

Ventajas:

Estabilidad a alta temperatura, alta resistencia frente a esfuerzos de compresión, excelente dureza, resistencia a la corrosión, poco peso específico, amplia gama de conductividades térmicas y eléctricas.

Desventajas:

Alto costo, fragilidad, poca resistencia a cambios bruscos de temperatura.

- **Polímeros.**

Son los materiales que poseen mayor desarrollo potencial. Se han fabricado polímeros con una resistencia específica mayor que el acero y otros con una conductividad mas alta que la del cobre. Su estructura está basada en unas moléculas muy largas que se unen mediante enlace covalente. En general los polímeros son menos rígidos y resistentes que los metales pero son suficientes para muchas aplicaciones.

- **Materiales compuestos.**

Un material compuesto consta de al menos dos materiales diferentes.

En estos materiales el componente mayoritario hace de matriz y el minoritario de reforzante. Según la matriz los materiales compuestos pueden ser de matriz polimérica, metálica o cerámica. Dependiendo en la forma y distribución del reforzante pueden ser de refuerzo continuo o discontinuo. Los materiales compuestos de matriz polimérica son los de mayor demanda y más desarrollo tecnológico.

- **Materiales funcionales.**

Son aquellos que se utilizan según sus propiedades funcionales como propiedades químicas, magnéticas y optoelectrónicas. Su precio suele ser alto y su uso y clasificación son múltiples, aunque se puede dar una clasificación muy general:

Los basados en propiedades químicas: anticorrosivos, reactivos, etc.

Los basados en propiedades magnéticas: altavoces, radios, etc.

Los basados en propiedades optoelectrónica: semiconductores (silicio), ordenadores.

- **Competencia y líneas futuras.**

La aparición de nuevos materiales lleva implícito un ciclo con varias etapas que son: introducción, crecimiento, madurez y declive. Los más importantes para el próximo futuro son lo que están en la etapa de crecimiento. Estos deben de cubrir una serie de necesidades que hoy día se demanda como es la disminución de peso sin merma de la resistencia (incluso aumentarla), ampliar el intervalo de temperatura de uso, mejorar las condiciones superficiales para evitar la corrosión, ahorrar energía y facilitar el reciclado, etc., esto último está teniendo cada vez más incidencia gracias a la preocupación por el medio ambiente y la conservación.

Tema 2. Estructura atómica y molecular.

2.1 Introducción.

Las propiedades de los materiales dependen en gran parte de su estructura. Para poder predecir propiedades en función de su estructura se estudia la ciencia de los materiales.

Las principales estructuras son:

- Atómica: estudio de las partículas atómicas de la corteza (los electrones, los mas importantes) y del núcleo (protones y neutrones).
- Molecular: unión de los átomos siendo el carácter de la unión la que determina la intensidad de la misma.
- Cristalina: unión de moléculas o átomos para formar sólidos. Por micro estructura se entiende aquella que es necesario microscopio para observarla y macro estructura la que se aprecia a simple vista.

2.2 Estructura atómica.

Las propiedades de los materiales dependen de la naturaleza de sus átomos, formado éste por un núcleo y una nube de electrones que son los que mayor importancia tiene en sus propiedades.

2.2.1 Estructura electrónica.

El electrón es una partícula de masa muy pequeña con una carga negativa de $1,6 \times 10^{-19}$ C. Los electrones se posicionan en el átomo según unas probabilidades por capas y orbitales cuya energía está cuantificada en función de la distancia al núcleo.

Números cuánticos:

Hay cuatro números cuánticos, tres de energía y uno del sentido de giro del electrón.

Número cuántico principal (n): Se designan generalmente por números o letras correspondiente a la capa $n=1$ la letra K a la 2 la L y así sucesivamente.

Número cuántico azimutal (l): Son subcapas en que se divide la principal y es función de ella siendo $l = 0, 1, \dots (n-1)$.

Número cuántico magnético(m): indica los diferentes niveles de energía dentro de cada subcapa tomando los valores en función de l siendo $m = -l, \dots 0, \dots l$.

Número cuántico de Spin (S) asigna a cada nivel de energía dos estados posible en función de giro del electrón siendo $S = \pm \frac{1}{2}$.

Como ejemplo tomemos la capa $n = 3$ correspondiente a la letra M:

- número cuántico principal: $n = 3$.
- Número cuántico azimutal: $l = 0, 1, 2$. correspondiente a los orbitales s, p y d.
- Número cuántico magnético: para $l = 0$, $m = 0$; para $l = 1$, $m = -1, 0, 1$; para $l = 2$, $m = -2, -1, 0, 1, 2$ siendo su número $m = 2l+1$
- Número cuántico de Spin: para $m = 0$ $S = \pm \frac{1}{2}$. Y para cada uno se multiplica por los dos estados de giro siendo su número el doble de m para este caso el total sería 18.

Principio de exclusión de Pauli, dice que no hay dos electrones con los mismos números cuánticos. Lo que implica que cada capa tenga una configuración máxima de electrones.

Configuración electrónica: se expresa según este esquema.

Capas Orbitales

K 1s²

L 2 2s² 2p⁶

M 4 3s² 3p⁶ 3d¹⁰

N 12 4s² 4p⁶ 4d¹⁰ 4f¹⁴

O 20 5s² 5p⁶ 5d¹⁰ 5f¹⁴

P 38 6s² 6p⁶ 6d¹⁰

Q 56 7s² 7p⁶

88

118

2.2.2 Estructura nuclear.

El núcleo está constituido básicamente de protones y neutrones ambos con una masa parecida pero el protón con la misma carga que el electrón pero de signo positivo y el neutrón sin carga. Un átomo neutro tienen el mismo número de protones que de electrones. Isótopo es cuando un mismo átomo tiene distinto número de neutrones, teniendo pues distinta masa.

Número atómico (Z) es el número de protones del átomo.

Masa atómica (M) es la masa en gramos de un mol de átomos (Na)

Unidad de masa atómica (uam) es el inverso del Na que multiplicada por M da la masa de un átomo en gramos.

La fuerza que mantiene unidos a los nucleones no es de tipo electromagnético ni gravitatorio sino la fuerza nuclear que tiene la particularidad de unir cargas de igual signo cuando éstas se encuentran muy cerca.

2.2.3 La tabla periódica.

Se trata de una ordenación de los distintos elementos según su número atómico. En dicha tabla las líneas horizontales o periodos corresponde a las capas cuanticas, mientras que las columnas o grupos corresponde al número de electrones que hay en el nivel más externo, los orbitales s y p que da la valencia del elemento.

2.2.4 Electrones de valencia.

Los electrones de valencia se llaman a los electrones situados en la última capa en los orbitales s y p. Dependiendo de esta última capa los átomos tienen a ceder o aceptar electrones para formar enlaces. Los que tienen la última capa completa son los gases nobles que suelen reaccionar con ningún elemento. La oxidación o reducción se produce cuando pierde o gana electrones. La capacidad de un átomo para aceptar electrones se llama electronegatividad y son los que tienen la capa exterior casi completa como los halógenos. La electronegatividad aumenta de izquierda a derechas y de abajo hacia arriba en la tabla periódica.

2.3 Estructura molecular.

Los átomos no suelen presentarse como partículas aisladas sino formando grupos llamados moléculas. Esto es debido a que los átomos tienden a rellenar su última capa de electrones con la unión de otros átomos. Las fuerzas interatómicas llamadas electrostáticas son atractivas y repulsivas según a la distancia en que se encuentren siendo las atractivas las que dominan a grandes distancias y las repulsivas a corta. Existe una distancia en la que se equilibran las dos fuerzas siendo éste la configuración estable y la distancia la de equilibrio.

2.3.1 Estados de la materia.

La temperatura influye en la estabilidad de las moléculas ya que a gran temperatura la energía cinética hace

que se rompan los enlaces. A menos temperatura la energía cinética disminuye y la energía potencial hace estable los enlaces pero a mucha menor temperatura los átomos se inmovilizan llegando a formar sólidos.

2.3.2 Tipos de enlace interatómico.

Hay diferentes tipos de enlace que marcarán las características de los materiales.

- Enlace metálico: es un tipo de enlace en el que los átomos tienen menos de cuatro electrones de valencia de forma que cuando se unen varios átomos, estos ceden los electrones al conjunto del sólido formando como una nube electrónica que es compartido por todos los átomos. De ahí que tengan buena conductividad eléctrica y facilidad de deformación. La energía de enlace dependerá del número de electrones cedidos al gas electrónico teniendo mayor energía los metales de transición.
- Enlace covalente: Este enlace se suele producir entre elementos con electronegatividad parecida y consiste en compartir electrones hasta rellenar su última capa. Cuando cada átomo comparte uno, dos, tres, etc., electrones se suele decir que forma enlaces simples, dobles, triples, etc. La energía de enlace crece según crece su multiplicidad. Estas energías son mas fuertes que las correspondientes a los metálicos ya que tiene un carácter más direccional e implica que los átomos deben acomodarse según una geometría determinada. Este tipo de unión da materiales con poca ductilidad, poca conductividad eléctrica.
- Enlace iónico: este enlace se da en elementos diferentes, uno electronegativo y otro electropositivo. Los dos se unen para completar su última capa. La energía de enlace viene dada por la ley de Coulomb, siendo esta mayor que la del enlace covalente. En el enlace iónico, el enlace no tiene una orientación preferente puesto que la interacción tiene simetría esférica y no es direccional. La conductividad de estos materiales es muy baja y son muy frágiles.
- Enlace de Van der Waals: es un tipo menos importante que los anteriores y se basa en la atracción dipolar entre átomos neutros. Estos átomos suelen tener las cargas desplazadas y no son simétricas por lo que se produce un momento dipolar que interacciona con otro átomo con las mismas características.

Tema 3. Estructura de los sólidos.

3.1 Introducción.

El carácter del enlace junto con el empaquetamiento de átomos y moléculas son importantes para determinar ciertas propiedades mecánicas.

El empaquetamiento puede ser de un cierto grado de orden de corto o largo alcance. De corto alcance son uniones entre átomos y moléculas sin un grado de orden de unión entre grupos. De largo alcance son uniones que forman una configuración repetitiva en el espacio. A este tipo de ordenamiento se le llama estructura cristalina siendo los materiales que la cumplen cristales.

3.2 Tipo de estructuras cristalinas.

Una estructura cristalina está constituida por una red espacial en la que se sitúan grupos de átomos idénticos tanto en composición como en orientación. A estos grupos se les denomina base. En tres dimensiones existen siete sistemas cristalinos independientes que dan lugar a las catorce redes de Bravais. De éstas las más importantes son la cúbica que necesita de un solo parámetro para describir su celda unidad (el lado) y el hexagonal que precisa de dos parámetros (lado y ángulo). Hay estructuras de compuestos intermetálicos que forman celdas unitarias bastantes más complejas, ya que en las redes se sustituyen átomos de un material por otros átomos de otro material.

3.3 Índices de Miller.

Es un conjunto de números que se utilizan para identificar determinados planos y puntos en un cristal. Estos son los valores recíprocos de las intersecciones de dichos planos con los ejes principales. Para calcularlos se procede como sigue.

- se calculan las intersecciones del plano con los ejes coordenados por ejemplo $x = 1$, $y = 2$, $z = 3$.
- se toman los recíprocos 1 , $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$.
- se calcula el mínimo común múltiplo de los denominadores siendo éstos los índices de Miller 6,3 y 2.

También se pueden especificar las direcciones del cristal por medio de unos índices que nos da las coordenadas de un punto situado sobre un eje cuyo plano es perpendicular a ese eje. Estos índices se escriben entre paréntesis. Los índices que definen una dirección se escriben entre corchetes. La particularidad de este sistema es que las direcciones $[a,b,c]$ son siempre perpendiculares a los planos (a,b,c) y que la distancia interplanar es inversamente proporcional al cuadrado de sus índices. Deduciéndose que los planos con menores índices son los más separados. Relacionado con la distancia interplanar hay otro parámetro llamado compacidad cuya forma de relación es que los planos cuyos átomos están dispuestos más compactos son los que tienen mayor separación interplanar. Esta propiedad influye en el grado de deformación de un material ya que éste se ve favorecido en aquellos planos con mayor distancia interplanar que son los más compactos.

• **Determinación experimental de la estructura cristalina.**

Para obtener la estructura cristalina, la técnica utilizada se basa en la difracción de rayos X o electrones. Consiste en utilizar la red cristalina para estudiar las longitudes de onda de los rayos difractados. Como consecuencia de esta difracción, las direcciones de salida de los rayos difractados viene dado en función de sus estructura. Para que haya efectos de difracción se deberá cumplir que la longitud de onda del haz incidente debe ser del orden del espaciado interatómico. Para estudiar la superficie se utiliza haces de electrones que son menos penetrantes pero que resultan útiles para estudiar la superficie del sólido. Estos fenómenos se estudian en materiales que claramente poseen estructura cristalina ya que los amorfos están fuera de este estudio.

• **Fuerzas interatómicas y módulo de Young.**

La fuerza interatómica varía en función del tipo de enlace pero también en función de la separación interatómica. La fuerza de separación a una distancia $(r-r_0)$ entre dos átomos es similar a la interacción de dos masas unidas por un muelle de constante elástica K . Si tenemos un sólido al que aplicamos una fuerza de separación normal, ésta estará en función de dicha constante para los átomos que se están separando por unidad de área:

$=F/S=NK(r-r_0)$ que sustituyendo en esta ecuación N que corresponde a $1/r_0^2$ y a $=(r-r_0)/r_0$ se tiene la ecuación $=K/r_0=E$ siendo $E=K/r_0$ una constante llamada Módulo de Young que representa la rigidez del sólido.

Los esfuerzos también pueden ser de compresión obteniéndose un valor similar o de cizalla cumpliéndose generalmente que el módulo de cizalla $G=3E/8$.

Tema 4. Cristales reales.

4.1 Introducción.

Cuando la periodicidad de la celda unidad en los cristales se ve destruida es lo que se denomina defectos de red. Éstos pueden ser puntuales, lineales y de superficie. Estos defectos modifican las propiedades de los sólidos.

4.2 Defectos puntuales.

Estos defectos presentan un papel fundamental en procesos como la deformación y difusión.

- Vacantes. Es una ausencia atómica en un nudo de la red. No hay vacantes a la temperatura de 0 K. La presencia de vacantes en equilibrio a temperaturas superiores viene dado por la fórmula de Arrhenius.

donde el número de vacantes n depende del número de nudos N , la energía de la vacante E_v , la constante de Boltzmann K y sobre todo de la temperatura T , creciendo con ésta. En metalurgia se utiliza este tratamiento (enfriamiento brusco) para darle al sólido propiedades interesantes.

- Intersticiales: es la presencia de un átomo en un sitio del cristal que no le corresponde. Existen dos tipos:
 - ♦ Por sustitución: cuando unos nudos que estaban ocupados por una clase de átomos son sustituidos por otros.
 - ♦ Inserción: cuando el átomo ocupa un lugar que no es nudo de la red (aceros).

4.3 Defectos lineales. Dislocaciones.

Se extiende a lo largo de líneas por lo que involucra a un mayor número de átomos. Su consecuencia es la dislocación, habiendo dos clases, de arista y helicoidal. Es el responsable de que la resistencia real de los materiales sean varios órdenes de magnitud inferior al valor teórico.

4.3.1 Dislocación en arista.

Se produce por la inserción parcial de un semiplano atómico. Cuando se aplica una fuerza de cizalla la dislocación se desplaza produciendo al final una deformación de tipo escalón. Durante el desplazamiento de la dislocación es preciso vencer las fuerzas interatómicas de los átomos situados en la zona cercana llamado núcleo de la dislocación. Es por esto que se consigue un mayor efecto si la fuerza aplicada es constante y continua que instantánea y momentánea. La forma de medir este desplazamiento es una magnitud llamada vector de Burgers que es el vector necesario añadir para que la trayectoria sea cerrada.

4.3.2 dislocación helicoidal.

Se produce cuando se corta parcialmente el cristal, volviéndolo a unir desplazado. El movimiento de la línea de dislocación es normal a la dirección de la fuerza aplicada mientras que en la de arista tenía la misma dirección. Otra diferencia es que en la dislocación de arista el vector de Burgers es normal a la línea de dislocación para la helicoidal es paralelo.

Movimiento de las dislocaciones.

El deslizamiento es el mecanismo por el que un material se deforma. Este deslizamiento se define por una dirección y un plano. La dirección de deslizamiento es la dirección en la que se mueve la línea de dislocación. En una de arista viene determinado por el vector de Burgers mientras que la helicoidal es normal a dicho vector.

El plano de deslizamiento suele venir definido por la línea de dislocación y el vector de Burgers. En la dislocación de arista son los dos normales, definen un único plano pero en la helicoidal puede ser cualquier plano que esté centrado en la línea de dislocación y por eso suele ser más móvil. A temperaturas altas las de arista pueden moverse por el mecanismo de trepado, que es el desplazamiento de la dislocación a lo largo del plano insertado. La densidad de las dislocaciones es un parámetro importante ya que si éstas interfieren entre sí puede dar lugar a lo que se denomina endurecimiento.

4.3.3 Propiedades de las dislocaciones.

En general las dislocaciones suelen ser mixtas. Esto es debido a que la línea de dislocación puede ser curva, variando el carácter de la dislocación a lo largo de la misma. Una propiedad importante es que sus líneas de dislocación no mueren dentro del cristal salvo lazos cerrados llamados lazos de dislocación. No puede haber dislocación en equilibrio térmico ya que su energía es demasiado grande.

4.3.4 Fuerzas para mover una dislocación.

Es la fuerza de cizalla necesaria para vencer la resistencia intrínseca que se opone la red del cristal a su movimiento. Esta viene dada por la expresión $f = b$ siendo la tensión y el desplazamiento.

Energía de una dislocación.

La energía de dislocación es de tipo elástico y depende proporcionalmente al cuadrado del vector de Burgers por lo que las dislocaciones más favorables energéticamente serían las que tienen el valor de b más pequeño.

4.4 defectos de superficie.

Existen diversos tipos de imperfecciones.

Superficie externa: es el defecto más obvio ya que lo constituye la frontera a lo largo del cual termina la estructura del cristal.

Frontera de grano: cuando se solidifica un sólido éste se constituye en pequeños granos unidos entre sí por los denominados fronteras de grano. Las fronteras de grano presenta desorden en su red pero no por eso son puntos más débiles, sino que muchas veces la disminución del tamaño de grano es uno de los factores que da más resistencia a un material.

Otra deformación de un cristal es el denominado Maclas que consiste que los átomos de cierta región se deslizan proporcionalmente a la distancia del plano de macla, dando lugar a una estructura especular en la red a un lado y a otro del plano de macla.

Tema 5. Propiedades mecánicas.

5.1 Introducción.

Las propiedades mecánicas reflejan su reacción frente a la aplicación de esfuerzos externos y pueden medirse a partir de determinados ensayos. También puede aplicarse otro tipo de acciones tipo térmicos, magnéticos, etc., para determinación de materiales funcionales. La resistencia mecánica es una propiedad que mide la magnitud de la fuerza externa que es necesaria aplicar para vencer las fuerzas internas del material estructural.

5.2 Deformación dependiente e independiente del tiempo.

Una deformación puede ser o no permanente, y dependen o no del tiempo. La dependencia temporal se manifiesta cuando la magnitud de la deformación es función de varios parámetros como son la intensidad de la fuerza, tiempo de actuación o velocidad con la que se aplica.

5.2.1 Deformación elástica.

Es la deformación que se forma mientras está aplicada la fuerza y una vez que se deja de aplicar, el material recupera su forma original instantáneamente. Esta deformación es por tanto reversible e independiente del tiempo.

5.2.2 Deformación viscoelástica.

Denominado también inelástica, ésta depende del tiempo ya que recupera su forma original de forma lenta.

5.2.3 Deformación plástica.

Aquí la deformación es permanente, permaneciendo constante con el tiempo incluso cuando se elimina la fuerza. Esta no depende del tiempo.

5.2.4 Deformación viscoplástica.

Se denomina también deformación por fluencia y suele estar aplicada a altas temperaturas. Aquí la deformación depende del tiempo de aplicación de la fuerza no siendo inmediata su deformación cuando supera el límite elástico

5.2.5 caso general.

El caso general es que la deformación de un material frente a un esfuerzo suele ser mixto, o sea que tendrá componentes que dependan no del tiempo.

5.3 deformación dependiente del tiempo. Ensayo de fluencia.

Se pone de manifiesto cuando un material se somete a carga a altas temperaturas, considerando éstas que son superiores a $0,4 T$ siendo T la temperatura de fusión. El ensayo típico consiste en someter el material a carga constante por encima de $0,4 T$ y registrar la deformación en función del tiempo. Esta suele ocurrir en tres etapas:

- fluencia primaria: la velocidad de deformación disminuye con el tiempo por endurecerse a medida que se deforma.
- Fluencia secundaria o estacionaria: en este intervalo la velocidad de deformación permanece constante.
- Fluencia terciaria: vuelve a aumentar la velocidad de deformación hasta alcanzar el punto de ruptura del material.

El parámetro más importante de este ensayo es la pendiente de la curva de fluencia durante la 2ª etapa o estacionaria. Está claro que cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la deformación. La ecuación que relaciona dicho ensayo es

siendo la fuerza aplicada, constante del material, velocidad mínima de deformación y un exponente denominado sensibilidad a la velocidad de deformación.

5.4 Deformación no dependiente del tiempo. Ensayo de tracción.

Este tipo de ensayo se hace sobre una probeta de una cierta longitud que se sujeta por sus extremos a una máquina mediante mordazas. En la máquina hay un sensor que nos dice en todo momento la tensión que se está aplicando. Se obtiene así una gráfica en la que se representa la tensión en el eje de ordenadas y el alargamiento en el de abscisas. La curva de la gráfica dependerá fundamentalmente del material y geometría de la probeta. Con el fin de minimizar ciertos efectos geométricos se utilizan las deformaciones y tensiones ingenieriles ϵ y σ . Siendo sus fórmulas referenciadas a las condiciones iniciales:

Analizando una de estas gráficas se puede observar que para pequeñas tensiones, la deformación depende linealmente de ésta, cumpliendo la Ley de Hooke correspondiéndose con la deformación elástica. Pero para tensiones mayores, el material alcanza el límite elástico, deformándose gradualmente debido al movimiento

irreversible de las dislocaciones.

5.4.1 límite elástico.

Es muy difícil la determinación exacta del límite elástico ya que depende de la máquina utilizada en el ensayo, aunque en la actualidad se ha afinado bastante utilizando ordenadores y gráficas digitalizadas pudiéndose calcular con cierta precisión. Éste cálculo se define como la tensión a la cual interfecta una línea recta paralela a la línea – pero desplazada un 2% a la derecha de dicha línea.

5.4.2 Resistencia máxima.

Es el punto de la gráfica en el que la tensión es máxima, a partir de la cual progresa la deformación plástica hasta la rotura. La deformación antes de este punto es uniforme en todo el material localizándose en una zona concreta (estricción o deformación localizada) a partir de dicho punto.

5.4.3 Ductilidad.

Es un parámetro que mide la cantidad de deformación plástica que es capaz de soportar un material antes de romperse. En caso de poca ductilidad se dice que es frágil. La ductilidad viene dada generalmente por dos parámetros como son el alargamiento y la reducción de sección, ambos en %.

De acuerdo con la fórmula de la tensión en función de la deformación el parámetro m nos dice si un material es dúctil o frágil. Generalmente el comportamiento dúctil se debe al deslizamiento de fronteras de grano.

5.4.4 Tenacidad.

Es un parámetro que mide el balance entre la energía necesaria para propagar una grieta y la energía absorbida por el material y se define como energía absorbida por unidad de área de la grieta. En un ensayo de tracción correspondería al área encerrada bajo la curva – . Una fórmula para relacionar la tenacidad G con la fuerza aplicada es la condición de fractura frágil instantánea que es una constante del material

donde E es el módulo de elasticidad y a la longitud de la grieta. El primer miembro se llama intensidad de esfuerzos y se suele denominar con la letra K . Cuando K alcanza el valor crítico, la fractura se propaga instantáneamente.

5.5 Otros ensayos mecánicos.

5.5.1 Ensayo de compresión.

Se suele utilizar para medir el límite elástico de materiales frágiles. Y consiste en lo contrario a la tracción. Aquí no hay un máximo en la curva de la gráfica al no haber estricción. La fractura se produce por el avance de multitud de grietas que conducen a la trituración del material.

5.5.2 Ensayo de dureza.

Consiste en medir la profundidad y tamaño de la huella dejada por una máquina de dureza (identador). Cuanto mayor es la huella menor la dureza. El valor obtenido es relativo en comparación con los obtenidos de otros materiales y dependen en gran medida de la técnica utilizada.

5.5.2 Ensayo de torsión.

Consiste en someter al material a giro de una de sus partes manteniendo fija la otra. Las fórmulas utilizadas

son siendo la tensión de cizalladura, T el momento y D el diámetro. La deformación viene dada por siendo la deformación de cizalla, el ángulo de torsión y L y r la longitud y radio del material. Se representan ambos en una gráfica para obtener los resultados.

5.5.4 Ensayo de impacto.

Consiste en la determinación de la temperatura de transición dúctil-frágil. Ésta aumenta cuando lo hace la velocidad de deformación y/o cuando se crean entallas geométricas. La transición dúctil-frágil es un comportamiento de los metales que son dúctiles pero bajo determinadas condiciones son frágiles. El ensayo consiste en hacer botar sobre el material al que se le ha practicado un entalle, un péndulo que se deja caer desde una altura determinada llegando después del bote a otra altura. Se registra en una gráfica las diferencias de alturas en función de la temperatura. Este ensayo también se utiliza para determinar la tenacidad.

5.6 Fatiga.

El ensayo de fatiga consiste en someter al material a una carga cíclica comprendida entre un máximo y un mínimo de tensión. Estas cargas pueden ser de varias clases como de torsión, flexión, compresión, tensión etc., este ensayo mide el número de ciclos que el material aguanta antes de la rotura en función de la amplitud de la tensión. Los datos se representan en una gráfica cuya ordenada es la amplitud de tensión $S = \max - \min$ y como abcisa el logaritmo del número de ciclos N . La resistencia a fatiga representa la tensión por debajo de la cual no se produce rotura para un determinado N . El límite de fatiga es lo mismo pero sin límite de N . El fallo por fatiga se produce por el crecimiento de una grieta originada en la superficie y que se propaga cíclicamente y por pequeños saltos hacia su interior.

5.7 Tensión y deformación reales.

Hasta ahora el estudio se hacía en base a la longitud y sección iniciales obteniéndose la tensión y deformación convencional

para hallar la tensión y deformación real se debe de tener en cuenta estos valores en todo momento cumpliéndose:

Como las fórmulas de la tensión y deformación real son válidas sólo antes de la estricción o deformación localizada cumpliéndose para esta hipótesis que $A_0 L_0 = A L$ que sustituyendo en la tensión real:

tomando estos valores reales se incrementa la curva tensión-deformación, desplazándose hacia menores deformaciones, incrementándose el valor de la resistencia máxima.

5.8 Estabilidad de la deformación en las curvas de tracción.

En un ensayo de tracción, la ecuación más sencilla que relaciona la tensión y deformación real sería siendo K el coeficiente de endurecimiento. El valor de N nos da una idea de la pendiente de la curva en la zona plástica que está ligado al alargamiento uniforme. La condición de inestabilidad plástica se produce en el máximo de la curva cuando .

Teniendo en cuenta que a lo largo de la deformación plástica se cumple que $AL = cte$.

y como

con lo que tenemos que:

produciéndose la inestabilidad plástica cuando se cumple esta última ecuación que coincide cuando se termina

el alargamiento uniforme convencional.

Derivando la primera ecuación y comparándola con esta última tenemos:

que como podemos ver se cumple con independencia del tiempo aunque en caso general hay una cierta dependencia.

Tema 6. Aleaciones.

6.1 Introducción.

Aunque los metales puros tienen algunas propiedades útiles, no pueden utilizarse generalmente en ingeniería debido a su escasa resistencia mecánica o propiedad específica de algún otro material y que con la aleación se supera este inconveniente.

Ejemplos de mejora en las aleaciones son las del carbono en el hierro que aumenta la resistencia mecánica o el caso del cromo en el hierro que mejora la resistencia a la corrosión. Una aleación es un material formado por dos o más elementos que pueden ser puros o compuestos. Cualquier elemento puede ser utilizado para constituir o formar parte de una aleación. Para constituir una aleación es necesario que la mezcla que se forme sea homogénea, siendo el mecanismo de unión sea de tipo predominantemente metálico. Un compuesto puede estar formado por metales y no metales o solo por metales (intermetálicas). La definición de fase es una porción homogénea de un sistema que posee características físicas y químicas uniformes. Un constituyente de un sistema de aleación es una unidad definida y reconocible de la microestructura.

6.2 Metales y aleaciones.

Las aleaciones pueden ser homogéneas, que constarán de una sola fase, o mezclas, que serán una combinación de varias fases. La constitución de una aleación se describe por las fases presentes, la fracción en peso de cada una y su composición, mientras que su estructura viene determinada por el tamaño y forma de las fases. Las tres fases posibles en el estado sólido son metal puro, compuesto y solución sólida.

6.2.1 Metales puros

tienen un punto definido de solidificación y fusión en condiciones de equilibrio. La curva de enfriamiento será una línea horizontal en el punto de solidificación, por tanto el proceso de solidificación se produce a temperatura constante.

6.2.2 Metales compuestos.

Se forman por existir una afinidad química entre los componentes, siendo el enlace más o menos iónico, interviniendo los componentes en proporciones definidas. Las propiedades del compuesto suelen diferir de las de los componentes aislados. La mayoría de los compuestos suelen tener un punto de solidificación definido, siendo su curva de enfriamiento como la de los metales puros.

6.3 Soluciones sólidas.

Cuando no hay afinidad química pero existen otros factores, se forma las soluciones sólidas que pueden ser sustitucionales o por inserción. En este caso las proporciones de los componentes no están definidas. No solidifican a temperatura constante.

Solución sólida sustitucional: es aquella en la que los átomos del soluto sustituyen a átomos del solvente en la estructura reticular del solvente. Es importante la relación del tamaño de los átomos, siendo favorable la

formación cuando la diferencia en radios atómicos es menor del 15%. Un metal de menor valencia tiende a disolver más a un metal de mayor valencia que viceversa. El aumento de temperatura favorece la formación.

Solución sólida intersticial: es cuando átomos de pequeños radios atómicos se acomodan entre los espacios o intersticios de la estructura reticular de los átomos solventes más grandes. Los átomos que radios atómicos menores de 1 Å son los que tienen posibilidades. Las soluciones sólidas intersticiales suelen tener una solubilidad muy limitada.

La calidad de una aleación viene dada por el conjunto de aspectos tales como la segregación propia de la aleación, su macroestructura y su microestructura.

6.4 Difusión.

Los fenómenos de difusión más importantes son los que tienen lugar en fase sólida, bien con otras fases sólidas o con líquidas y gaseosas. Mediante tratamientos térmicos se favorece procesos de difusión que afecta a sus características estructurales tales como el tamaño de grano, influyendo sobre las propiedades de los materiales. En el área de los materiales funcionales es importante este fenómeno ya que según el dopaje tendrá diferentes aplicaciones.

6.4.1 Mecanismos de difusión.

La difusión es el desplazamiento de átomos a través del cristal. Para que esto ocurra se debe de dar dos condiciones: que haya un sitio vacío contiguo o que tenga suficiente energía como para romper los enlaces, causando distorsión durante el desplazamiento.

Los dos mecanismos de difusión más importantes son la difusión por vacantes y la difusión intersticial siendo esta última la más probable.

6.4.2 Análisis cuantitativo de la difusión.

Leyes de Fick.

La primera de las leyes es considerando la difusión en estado estacionario donde el flujo no varía con el tiempo y únicamente depende del gradiente de la concentración del soluto que difunde y de la temperatura, mientras que la segunda de las leyes es considerando la difusión dependiente del tiempo.

J

Siendo D el coeficiente de difusión que indica la velocidad a la que difunden los átomos. Este coeficiente depende de factores como la naturaleza del soluto, de los solventes, del enlace, de la estructura cristalina y de la temperatura.

6.4.3 Caminos preferenciales para la difusión.

En los cristales hay una serie de imperfecciones como las dislocaciones, las fronteras de grano o la superficie misma del material siendo estas imperfecciones por donde la difusión se realiza con más rapidez.

Tema 7 Mecanismos de deformación y reforzamiento.

7.1 Introducción.

Endurecimiento es el fenómeno del aumento de resistencia del material conforme crece la deformación por

interacción de las dislocaciones. Reforzamiento es el aumento de la resistencia originado por efectos microestructurales como es la presencia de intersticiales y partículas de segunda fase.

7.2 Deformación de monocristales.

El deslizamiento en materiales cristalinos ocurre a lo largo de direcciones cristalográficas bien definidas, siendo las más favorables aquellas que poseen mayor densidad de átomos. La deformación plástica de un material puede ocurrir por el deslizamiento de uno o varios sistemas de deslizamiento.

La tensión de cizalla depende de la fuerza aplicada, de la sección de deslizamiento y de los ángulos (el que forma la normal al plano de deslizamiento y la fuerza aplicada, y el otro el que forma la dirección de deslizamiento y la fuerza aplicada). La tensión de cizalla es máxima cuando los ángulos son de 45° siendo cero si son de 90° , tendiendo el material a romperse antes de la deformación. En la deformación de un material suele tener tres fases. La primera se produce mediante los deslizamientos que están orientados favorablemente, la segunda cuando se activan otros deslizamientos no tan favorables, este proporciona los mayores endurecimientos. En la tercera se disminuye el endurecimiento.

7.3 Deformación de policristales: reforzamiento por fronteras de grano.

En la estructura policristalina, el movimiento de las dislocaciones se ve dificultado por la presencia de las fronteras de grano, ya que no pueden atravesarlas. Esto influye enormemente en la deformación de un material policristalino ya que cada cristal está influenciado por los que le rodean, siendo entonces la resistencia a la deformación mayor influyendo el tamaño de grano (mayor resistencia cuanto menor sea el tamaño de grano).

7.4 Reforzamiento por solución sólida.

Un cristal empieza a deformar cuando el producto de la fuerza de cizalla por el vector de Burgers supera a la resistencia. Esta resistencia se puede aumentar por efecto de la deformación o introduciendo aleantes que formen soluciones sólidas. El aumento de la resistencia se debe a que se introducen átomos extraños, entorpeciendo el movimiento de dislocación.

7.5 Reforzamiento por dispersión de partículas.

En algunos casos, los átomos de soluto que se encuentran en solución sólida a altas temperaturas precipitan en pequeñas partículas de segunda fase durante el enfriamiento de la aleación. Las dislocaciones pueden atravesar el precipitado, que una vez atravesado resulta favorable seguir atravesando por el mismo plano. Por tanto, aunque este tipo de partículas producen cierto reforzamiento, es a costa de activar planos de deslizamiento, por lo que la deformación se localiza en bandas. En otras ocasiones los precipitados son tan grandes que las dislocaciones lo rodean produciendo un arqueado dejando un lazo de dislocación en torno al precipitado. Los precipitados incoherentes producen un endurecimiento por deformación muy superior que el de los coherentes.

7.6 Endurecimiento por deformación.

Cuando un cuerpo se deforma, va aumentando la densidad de las dislocaciones, constituyendo estas dislocaciones un obstáculo a su propio movimiento. Dependiendo del grado de interacción entre las dislocaciones, estas pueden ser duras o blandas. En la primera fase de una deformación las interacciones suelen ser blandas siendo duras en la segunda fase.

Tema 8. Diagramas de fase.

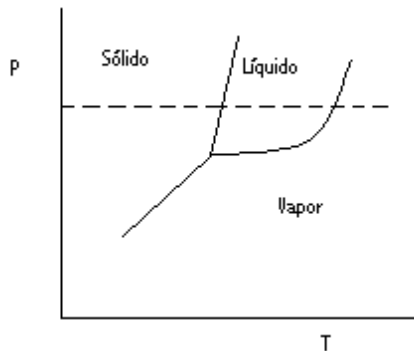
8.1 Introducción.

La formación de una aleación y las fases que presenta depende de la presión, temperatura, volumen y composición. Los diagramas de fase se construyen representando la temperatura en el eje de ordenada y la composición en el de abscisas. Con estos diagramas se puede conocer:

- que fases se encuentran a diferentes temperaturas y composición.
- La solubilidad de los distintos componentes.
- La temperatura a la que empieza y termina la solidificación y la fusión de una aleación.

8.2 Sistema de aleación de un componente.

En un diagrama de presiones frente a temperaturas de una sustancia pura se observa las distintas fases (sólido, líquido y gas). Se aprecian también distintas líneas (líneas bifásicas) donde coexisten dos fases y un punto de convergencia de dichas líneas (punto triple) donde coexisten las tres fases.



8.3 Regla de las fases.

La regla de las fases es la relación $P + F = C + 2$ donde P es el nº de fases, F los grados de libertad y C el nº de componentes.

Ejemplo de aplicación:

Cuántos grados de libertad hay en una línea bifásica de un elemento puro?

Solución:

Nº de fases (P) = 2

Nº de componentes (C) = 1

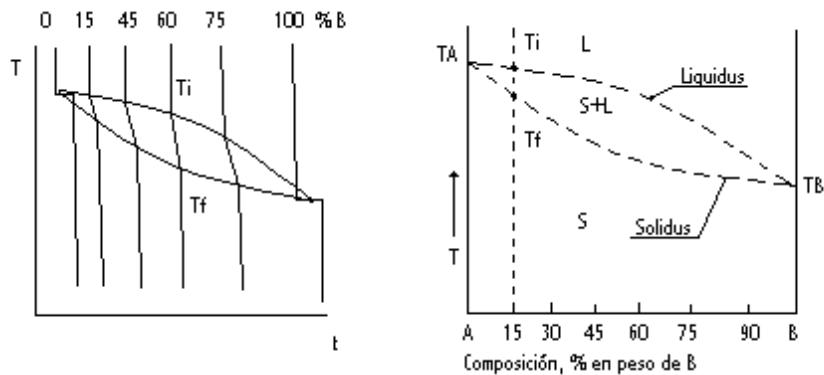
Aplicando la fórmula nos resulta que los grados de libertad es uno, esto quiere decir que variando uno solo de los parámetros (presión o temperatura) se puede seguir manteniendo el sistema bifásico.

En los diagramas de fase binarios, la presión se mantiene constante quedando la regla de fases: $P + F = C + 1$.

8.4 Construcción de los diagramas de fase.

Como ejemplo se considerará una mezcla o aleación de dos componentes (A y B) que son solubles entre sí.

Realizando un diagrama en el representamos las curvas de enfriamiento en función de la composición de A y B en % obtenemos:



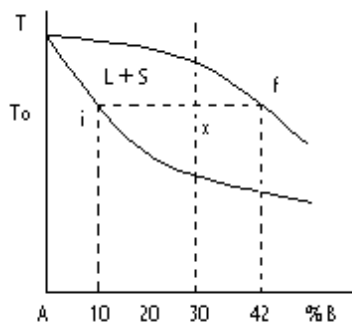
Como sabemos los elementos puros mantienen su temperatura hasta que cambian totalmente de fase mientras que los impuros lo hacen paulatinamente. En este diagrama y en los posteriores la línea punteada superior que corresponde al inicio de la solidificación se le denomina liquidus y la inferior donde se ha producido toda la solidificación se le denomina sólidos. El área entre las dos líneas es la zona bifásica.

Regla de la palanca.

Se utiliza para averiguar las cantidades relativas de las dos fases presentes.

Ejemplo:

Para averiguar los % de líquido y sólido cuando la cantidad de B es 30 % a una temperatura determinada T_0 :



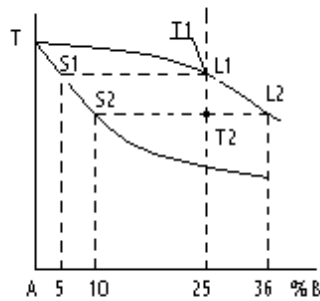
1° trazamos una línea horizontal entre las líneas líquidas y sólidas a la altura de T_0 proyectando los puntos de intersección (i y f) en el eje de abscisas.

2° trazamos una línea vertical que nos refleja el % (30% en nuestro ejemplo)

3° Los % de líquido(L) y sólido(S) vienen dado por las fórmulas:

Cambios de fase en el enfriamiento.

Según el diagrama y según vamos bajando la temperatura va solidificando la aleación siendo su composición



Vemos que al principio casi todo el sólido formado es del elemento con mayor punto de solidificación (en nuestro ejemplo el A).

Cuando llegamos al punto 4, la composición es ya definitiva (75A–25B).

Se observa que en la fase bifásica va variando la composición de los elementos en cada estado mientras que en el monofásico (líquido o sólido) tiene una composición fija ya que son solubles entre sí aunque tengan distinto punto de solidificación.

Tema 9. Clasificación de los diagramas de fase.

9.1 Introducción.

Cuando se produce la aleación de dos componentes que inicialmente se hallan en estado líquido y que posteriormente se produce la solidificación puede suceder que:

- ambos sean solubles
- ambos sean parcialmente solubles
- ambos sean insolubles

en estado sólido sean:

- ambos sean solubles
- ambos sean insolubles
- sean parcialmente solubles

La combinación da lugar a los posibles diagramas básicos de equilibrio clasificados en los siguientes grupos:

1° (1+a)

2° (1+b)

3° (1+c)

4° (2)

5° (3+b)

9.2 Grupo primero.

Desarrollado en el tema anterior.

9.3 Grupo segundo.

En este grupo la línea liquidus presenta un mínimo llamado punto eutectico. La línea sólidos es una línea plana por lo que solidifica a temperatura constante llamada temperatura eutectica.

9.4 Grupo tercero.

Los diagramas de este grupo son los más comunes. Presenta en los laterales del diagrama soluciones sólidas de un metal en otro. Estas soluciones se llaman soluciones sólidas terminales. Las restantes fases son líquido más alfa, líquido más beta, alfa más beta.

9.5 Diagramas de fases con compuestos y fases intermedias.

Las fases intermedias se presentan en la zona intermedia del diagrama, entre las fases terminales. Si tiene un reducido intervalo se denomina fase intermedia simple y se representa por una línea vertical correspondiente a la fórmula química del compuesto. Si la fase tiene un cierto intervalo se le denomina con una letra griega.

La reacción peritética es cuando un líquido mas un sólido da un nuevo sólido en el enfriamiento.

9.6 Grupo cuarto.

Corresponde a que en estado líquido, ambos son parcialmente solubles. Por lo que en su diagrama presenta una separación en el estado líquido mediante una fase intermedia que tendrá dos soluciones líquidas.

Cuando un líquido al enfriar forma otro líquido más un sólido se dice que hay una reacción monotética.

9.7 Grupo quinto.

Se forma un diagrama con tres fases, delimitado cada uno del otro por una línea horizontal. Esta línea es la correspondiente a la solidificación de cada elemento.

9.8 Reacciones invariantes.

Las temperaturas y composiciones de las fases están fijadas.

En el enfriamiento se puede producir las siguientes reacciones invariantes:

Tema 10 : Diagrama de fase hierro-carbono.

10.1 Introducción.

El hierro es un metal *alotrópico* (estructura cristalina que varía con la temperatura).

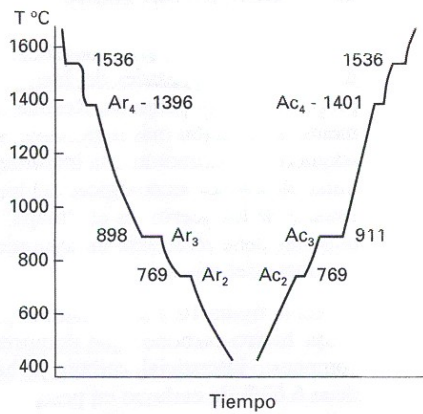


Figura 10.1

Las temperaturas de cambio de fase dependen de si se miden durante el proceso de calentamiento Ac o de proceso de enfriamiento Ar.

El Fe solidifica a 1536° C, cristaliza en la fase δ que es cúbica centrada. Al enfriar, se produce un cambio de fase a 1396° C (Ar₄), dando lugar a la fase CCC ó γ . Si se continúa enfriando hasta alcanzar

898° C (Ar₃), tiene lugar otro cambio de fase pasando de Fe δ a Fe α que será una fase CC. Finalmente se llega a los 769° C (Ar₂), el Fe α se hace magnético pero sin cambio en la estructura reticular.

En el calentamiento la transformación de Fe α a Fe δ se produce una disminución de volumen (en sentido contrario aumenta). Este fenómeno se debe a que la red CCC, presenta un empaquetamiento de átomos más compacto que la CC.

10.2 Diagrama Fe – C.

El C es el elemento de aleación capaz de hacer variar profundamente las propiedades del Fe.

Sistema de aleación Fe – C comprendido entre el Fe puro y un compuesto intersticial Fe₃ C (*Cementita*) con el 6.67 % de C en peso.

La Cementita es meta estable (prácticamente estable a temperatura ambiente). Si se calienta a 700° C durante varios años se descompone en Fe α .

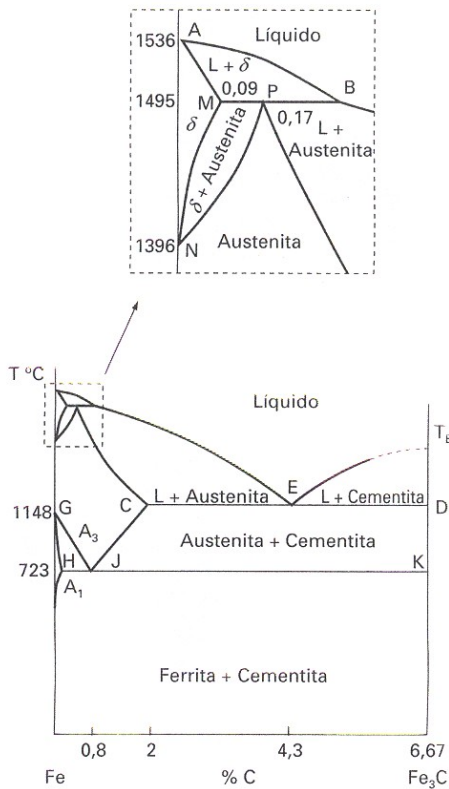


Figura 10.2

REACCIONES ISOTÉRMICAS

El diagrama presenta 3 líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas ($T^a = 1495, 1148$ y 723°C).

· La línea a 1495°C es una *reacción peritética* invariante:

1495°C

$\text{Líquido (0,5\% C)} + (0,09\% \text{ C}) \rightarrow \text{Austenita (0,17\% C)}$

Austenita = solución sólida .

La solubilidad máxima del C en Fe es del 0.09% (pto M). En el Fe es mayor.

La influencia del C en el cambio alotrópico - : conforme se añade C al Fe la temperatura del cambio pasa de 1396 a 1495°C .

La *Ferrita* es una fase de alta T^a .

· 2ª línea CED: *reacción eutética* invariante a 1148°C (pto eutético E) con el 4.3% de C. Cualquier líquido que esté presente y alcance esta línea debe solidificar en una fina mezcla de las 2 fases (*ledeburita*)

1148°C

$\text{Líquido (4.3\% C)} \rightarrow \text{Austenita + Cementita (6.67 \% C)}$

· 3ª línea reacción. *eutectoide* invariante a 723° C (pto eutectoide H) con el 0.8% de C. Esta reacción tiene lugar completamente en estado sólido en una mezcla fina de ferrita y cementita (perlita).

723 ° C

Austenita (0.8 % C) → ferrita (0.02 %) + Cementita (6.67 %C)

10.2.1 Aceros y fundiciones.

Tomado como base el contenido de C, se pueden clasificar en:

ACEROS EUTECTOIDES:

Con un 0.8 % de C y hasta los 765° C mantenido durante un tiempo se transforma en austenita homogénea. Si después lo enfriamos muy lentamente hasta una temperatura superior a la eutectoide se tendrá una estructura austenítica. Posteriormente enfriamiento, provocarán la transformación total de la estructura (laminar de perlita).

ACEROS HIPOEUTECTOIDE:

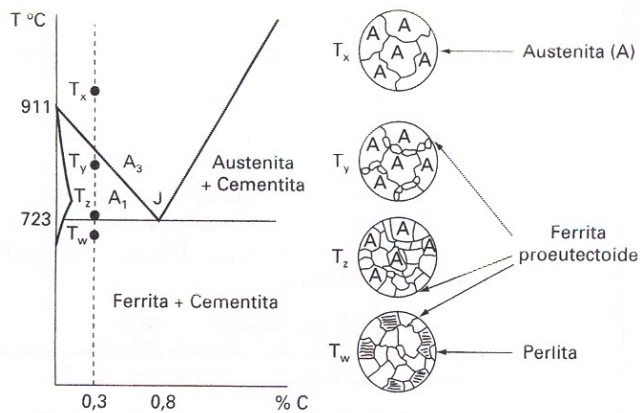


Figura 10.3

Con un 0.3% de C, se calienta hasta los 980° C durante un tiempo se transforma en austenita homogénea al enfriarlo hasta un T_y nucleará y crecerá principalmente en los límites de grano. Conforme se enfrie la cantidad de ferrita y C aumentarán.

Si continuamos enfriando lentamente por debajo de los 723° C la austenita se transformará en perlita (reacción eutectoide).

Cuanto mayor sea la proximidad del contenido de carbono a la composición eutectoide más cantidad de perlita estará presente en la microestructura.

ACEROS HIPOEUTECTOIDES:

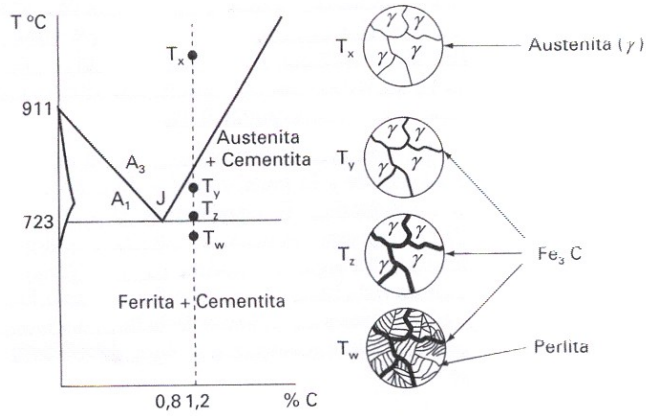


Figura 10.4

Con el 1.2 % de C, se calienta hasta los 1000° C, manteniéndola se convertirá en austenita. Enfriándose lentamente hasta los 770° C empezará a nuclearse en los límites de los granos. Si seguimos enfriando hasta los 723° C la austenita se transformará en perlita (reacción eutectoide)

A medida que el contenido de C aumenta, el espesor de red de la cementita incrementa.

10.3 Constituyentes de equilibrio de los aceros.

10.3.1 Ferrita.

Solución sólida con estructura CC. Es el más blando de todos, muy dúctil, maleable y magnético.

Se presenta:

- 1.- En forma de cristales mezclados con los de perlita.
- 2.- Formando una red que enmarca los granos de perlita.
- 3.- En forma de agujas orientadas en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita.

En la estructura globular aparece formando la matriz que rodea a los glóbulos de cementita.

10.3.2 Cementita.

Compuesto intersticial, duro y frágil. Es débilmente ferromagnética a baja temperatura.

Apta para formar soluciones sólidas de sustitución.

Compuesto inestable que en determinadas condiciones se descompone formando C libre en forma de grafito.

Se presenta:

- En forma de red que envuelve los granos de perlita.
- En forma de agujas finas partiendo de la red que se orientan hacia el interior de los cristales.
- En forma de láminas paralelas separadas por otras de ferrita.
- En forma globular a modo de pequeños glóbulos dispersos en una matriz de ferrita.

10.3.3 Perlita.

Formada por láminas paralelas y alternadas de ferrita y cementita, éstas aparecerán más o menos separadas dependiendo de la velocidad del enfriamiento.

De composición constante.

Cuanto más alto es el contenido de C menor es la proporción de ferrita presente.

Aparece en el enfriamiento lento de la austenita.

10.4 Constituyentes de los aceros templados. Transformaciones de la austenita fuera de equilibrio.

10.4.1. Austenita.

Solución sólida intersticial de C disuelto de Fe .

Constituyente inestable. Pero en condiciones de equilibrio durante el enfriamiento desde la alta temperatura a temperatura ambiente se puede obtener una estructura estable.

Es magnética, dúctil y tenaz, con gran resistencia al desgaste. Es el componente más denso. Con una estructura poliédrica más regular de los cristales, con bordes de granos rectilíneos y ángulos vivos.

10.4.2. Martensita.

Formada por una solución sobresaturada de C en Fe y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde la alta temperatura.

Sus propiedades físicas varían con su composición, aumentando su dureza, resistencia y fragilidad con el contenido en C. El más duro de todos.

En aceros es una fase metaestable formada por una solución intersticial sobresaturada de C en Fe cúbico centrado en cuerpo.

La formación de la fase martensítica solo depende de la temperatura. Esta reacción se inicia cuando se enfría por debajo de los 220° C. Y el contenido se incrementa conforme decrece la temperatura.

10.4.3. Bainita.

Es un producto de descomposición austenístico que tiene una estructura eutectoide no laminar de ferrita y cementita.

Se forma a partir de la austenita por transformación isotérmica, cuando la temperatura de enfriamiento es de 250 a 550° C, por lo que se pueden diferenciar 2 estructuras:

- La bainita superior (de 350 a 550° C) de aspecto arborescente, formada por una matriz ferrítica conteniendo carburos. Las placas discontinuas de los carburos tienden a orientarse paralelamente a la dirección de las agujas de la bainita.
- La bainita inferior (de 250 a 350° C) de aspecto acicular, está constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

Es una estructura intermedia entre la perlítica y la martensítica.

10.4.4. Diagramas de transformación isotérmica .

10.5. Otros constituyentes de los aceros.

CARBUROS

Compuestos muy duros y se pueden considerar de 3 clases:

- Simples formado por un elemento especial combinado con el C.
- Dobles de un elemento y Fe.
- Mezclas isomorfas de un carburo simple con el carburo de Fe.

A altas temperaturas pueden disolverse en el hierro y formar, parcialmente, solución sólida con la austenita.

Poseen la capacidad de conservar su dureza cuando son calentados a temperaturas relativamente altas.

INCLUSIONES NO METÁLICAS

Su presencia puede ser muy perjudicial ya que reducen sus características y propiedades.

Se pueden clasificar en:

- Sulfuros
- Óxidos
- Silicatos: son las que más reducen las características mecánicas.

Tema 11. Tratamientos térmicos de los aceros.

11.1 Introducción.

Consiste en una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento con tiempos determinados, aplicados a un metal o aleación en el estado sólido en forma tal que producirá las propiedades deseadas.

Los tratamientos térmicos de los aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. Factores que influyen en el tratamiento térmico es la temperatura y el tiempo.

11.2 Temperatura y tiempo.

Están caracterizados por los siguientes parámetros: temperatura máxima de calentamiento, tiempo en el que se mantiene la temperatura máxima, velocidades de calentamiento y de enfriamiento. Todos estos factores se pueden representar en una gráfica (temperatura–tiempo).

11.3 Clasificación de los tratamientos térmicos.

Se pueden clasificar en tres tipos fundamentales:

- recocido de primer género o subcrítico: calentar un metal sin que exista transformación de fase, con enfriamiento posterior lento.
- Recocido de segundo género: se calienta por encima de la temperatura crítica provocando un cambio de fase pudiendo ser completo o incompleto, con posterior enfriamiento lento.
- Temple: lo mismo que lo anterior pero con enfriamiento rápido.
- Revenido: es un calentamiento de una aleación anteriormente templada. Si es a temperatura ambiente

o con poco calentamiento se le llama envejecimiento. En caso de las aleaciones de aluminio también se llama maduración.

11.4 Tratamientos térmicos de los aceros.

La base de su estudio es el diagrama de equilibrio hierro-carbono. Los aceros tienen como máximo una concentración en carbono de un 2,2% que es la concentración máxima a la que se encuentra la austenita.

El punto crítico inferior (A1) se encuentra en la línea horizontal hipoeutectoide donde se transforma la austenita en perlita en el enfriamiento, el punto crítico superior (A3) se encuentra en la línea inclinada eutectoide en un acero hipoeutectoide donde se transforma la austenita en ferrita y en acero hipereutectoide la austenita en cementita.

Un recocido de segundo género será completo en calentamientos por encima de Ac3. seguidos de un enfriamiento lento. Será incompleto si el calentamiento es entre Ac1 y Ac3.

El recocido de primer género corresponde a calentamientos a temperaturas inferiores a Ac1. El normalizado se sitúa entre el recocido y el temple.

El temple se produce cuando se calienta por encima de Ac3 y se enfría rápidamente, transformándose la austenita en martensita.

11.5 Recocido.

El objetivo general es ablandar el acero, regenerar su estructura o eliminar tensiones. Se consigue calentando por encima de Ac3 seguido de un enfriamiento lento. El objeto es conseguir granos de ferrita y perlita más finos. Si la estructura inicial no es de grano muy grueso, basta con un calentamiento más bajo y si sólo hay que disminuir tensiones, la temperatura será aún más baja (inferiores a Ac1).

El recocido incompleto de los aceros hipereutectoides se llama también globular, porque es el procedimiento para obtener la estructura de perlita globular que es la que se presenta en los aceros para herramientas.

11.6 Normalizado.

Es el tratamiento que se lleva a cabo calentando el acero unos 35°C por encima del punto crítico superior Ac3, se mantiene un cierto tiempo y se enfría hasta temperatura ambiente. Este proceso le confiere al acero más dureza y resistencia.

11.7 Temple de aceros.

Consiste en calentar el acero por encima de Ac3 y enfriar muy rápidamente transformándose la austenita en martensita que le confiere al acero mucha dureza. El tiempo que dura el calentamiento dependerá de las dimensiones y forma de la pieza. El enfriamiento rápido no es en todo el intervalo de temperaturas sino sólo entre 650 y 400°C. Que es el intervalo donde más martensita se forma. Por debajo de 300°C es deseable que el enfriamiento sea lento para reducir tensiones estructurales.

11.7.1 Templabilidad.

Es la propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza alcanzada al producirse el enfriamiento desde la zona austenítica. Éste aumenta conforme crece el contenido de aleantes, por lo que cuanto mayor sea el contenido en carbono mayor será la templabilidad, no obstante también será mayor la posibilidad de agrietarse por las tensiones que se producen al enfriarse, por lo que habrá que estudiar el

término medio para que los dos factores contrapuestos se equilibren.

11.7.2 Defectos que se producen en el temple.

Puede producir defectos en la pieza como: dureza insuficiente, existencia de puntos blandos, fragilidad excesiva, decarburación y oxidación superficiales e incluso grietas.

11.7.3 Temple superficial del acero.

Se utiliza para obtener una gran dureza de la capa superficial de las piezas, conservando la tenacidad de su núcleo. Esto se consigue calentando rápidamente las capas superficiales de la pieza por encima del punto crítico superior, enfriando rápidamente. Con esto se consigue que sólo un grosor determinado de la superficie se haya templado presentando la dureza característica sin embargo su núcleo que no ha llegado a fundirse conserva la tenacidad. Este tratamiento está indicado para los aceros poco templables que tienen poco contenido de carbono.

11.8 Revenido de aceros.

Es un tratamiento que se hace después del temple para corregir la dureza y fragilidad que presentan. Esto se consigue calentando el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior seguido de un enfriamiento al aire. Con esto se consigue modificar los efectos del enfriamiento brusco disminuyendo dureza y eliminando tensiones.

11.8.1 Fragilidad de revenido.

A una cierta temperatura con la que se consigue el revenido, hay ocasiones en que se presenta zonas de fragilidad que permanecen. Esto sucede porque la cementita precipita rodeando la martensita formando una envoltura frágil responsable de la fragilidad de estos aceros. Los revenidos a temperaturas más altas hacen desaparecer este fenómeno.

Tema 12: Aleaciones férreas.

12.1 Introducción.

Las aleaciones férreas se pueden dividir en tres grupos:

- *Aceros al carbono:*

Están involucradas tres fases importantes: Ferrita, austenita y carburo de Hierro.

- *Aceros aleados:*

La adición de distintas cantidades de aleantes altera el diagrama hierro-carburo de hierro. Son mas caros, pero en ocasiones su aplicación es imprescindible.

- *Fundiciones:*

Contienen mas del 2.11% de carbono, aunque este puede estar presente en forma de grafito. Para estudiarlo se emplea el diagrama Hierro-grafito.

Las propiedades reales del acero elegido difieren de las teóricas, lo que determina la calidad del acero. Depende de:

- Contenido de impurezas y su distribución:
 - ◆ Originadas por las materias primas utilizadas, las mas frecuentes son el fósforo y el azufre, presentes en el mineral de hierro.
 - ◆ Originadas por la contaminación (contacto con el medio), lo que provoca óxidos de hierro o la inclusión de otros elementos.
 - ◆ Originadas por elementos añadidos de forma intencionada, principalmente manganeso y silicio.
- Homogeneidad de los elementos de aleación. óxidos, sulfuros, silicatos y otras inclusiones constituyen discontinuidades en los aceros, deteriorando su comportamiento mecánico, además de originar tensiones en sus inmediaciones.
- Posibles defectos originados durante el proceso de fabricación

Las propiedades finales dependen de la manipulación del acero mediante tratamientos térmicos y mecánicos.

12.2 Aceros al carbono.

El único elemento aleante es el carbono, aunque puedan existir pequeñas cantidades de impurezas.

El fósforo se disuelve en la ferrita y la austenita, teniendo un efecto endurecedor, pero su concentración debe mantenerse pequeña, porque provoca fragilidad. La presencia de azufre también tiene un efecto fragilizador.

El silicio, añadido con fines desoxidantes, puede formar inclusiones de silicatos, que al ser duras y frágiles pueden dar lugar a grietas.

El manganeso se añade para evitar la formación de Sfe, y debe añadirse en una proporción de ocho a uno respecto al azufre.

El coste de este tipo de aceros es relativamente bajo, y se pueden utilizar si la resistencia y otros requerimientos mecánicos no son demasiado severos. Combinando apropiadamente tratamientos térmicos y superficiales se pueden obtener buenas prestaciones.

12.3 Aceros aleados.

Es aquel cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente del carbono. En el proceso de obtención del hierro y sus aleaciones se incorporan cantidades determinadas de elementos que modifican su microestructura y sus propiedades finales. Los principales son: níquel, cromo, manganeso, molibdeno y wolframio, además de vanadio, cobalto, boro, cobre, aluminio, plomo, titanio y niobio.

Los principales efectos producidos son:

- *Temperaturas de transformación:*

La presencia de los elementos de aleación cambia el intervalo critico, la posición del punto eutectoide y la localización de los campos alfa y gamma en el diagrama binario hierro-carburo de hierro.

- *Formación de carburos:*
 - ◆ Solubles en la ferrita: Los elementos de aleación se disuelven en la ferrita del acero. Si el contenido en carbono es muy bajo, todos los elementos se comportan se disuelven en ella, aumentando su dureza y resistencia. Algunos forman carburos y otros no.
 - ◆ No solubles en la ferrita: Los elementos de aleación tienden a combinarse con el carbono, formando carburos .
- *Crecimiento de grano:*

Durante el tratamiento térmico el grano austenítico aumenta. Algunos elementos favorecen este aumento (cromo) con lo que aumenta la fragilidad. Otros retardan dicho crecimiento (níquel, vanadio), son los llamados afinadores de grano.

- *Templabilidad:*

Todos los elementos de aleación excepto el cobalto, tienden a reducir la velocidad crítica de enfriamiento para la obtención de martensita.

- *Resistencia mecánica:*

Los aceros de baja aleación presentan propiedades mecánicas que los aceros al carbono ordinarios, aunque son de mayor coste económico.

- *Resistencia a la corrosión:*

Algunos elementos tienden a formar películas superficiales de óxido que protegen el material.

12.4 Clasificación de los aceros aleados.

Se pueden clasificar los aceros mediante diversos criterios, como por los elementos de aleación más importantes, aplicaciones de construcción, acción que provocan los aleantes en el acero, etc...

12.5 Aceros de construcción.

Es aquel acero que se emplea para hacer piezas de máquinas. La clasificación basándonos en el principal aleante es:

- *Aceros al manganeso:*

Es uno de los elementos de aleación menos costosos y está presente por su poder desoxidante. Disminuye el intervalo crítico y el contenido en carbono del eutectoide. Contribuye a la resistencia y dureza, pero en menor proporción que el carbono. Reduce la fragilidad en caliente.

- *Aceros al níquel:*

Tiene ilimitada solubilidad en hierro γ y es altamente soluble en ferrita, contribuyendo a la resistencia y tenacidad de esta fase. Retarda la descomposición de la austenita y no forma carburos. La perlita formada es más tenaz que la de los aceros no aleados, lo que aumenta la resistencia a la fatiga.

- *Aceros al níquel-cromo:*

La proporción es de aprox. 2,5 de níquel por 1 de cromo. El níquel aumenta tenacidad y la ductilidad, mejorando la templabilidad y la resistencia al desgaste.

- *Aceros al molibdeno:*

Es un elemento costoso, y tiene una solubilidad limitada en hierros γ y α . Es un importante formador de carburos estables a altas temperaturas, por lo que aumenta la resistencia a alta temperatura.

- *Aceros al cromo:*

Es menos costoso que el níquel, y los carburos que forma tienen alta dureza y resistencia a la abrasión.

- *Aceros al vanadio:*

Es el más costoso de los elementos de aleación. Es un potente desoxidante y un fuerte formador de carburos, lo que inhibe el crecimiento del grano.

- *Aceros al wolframio:*

Tiene un marcado efecto sobre la templabilidad, es un importante formador de carburos y retarda el suavizamiento de la martensita en el revenido.

- *Aceros al silicio:*

Es un desoxidante barato. No es un formador de carburos, sino que se disuelve en la ferrita, aumentando la resistencia y la tenacidad.

12.6 Aceros microaleados.

Son aceros de baja aleación y límite elástico elevado. La microestructura de estos aceros, caracterizada por su finura de grano, se consigue por el efecto conjunto de la microaleación y el proceso de laminación de los mismos.

Tema 13. Aceros de alta aleación.

13.1 Introducción.

Este tipo de aceros suelen tener más de un 10% en elementos de aleación. Su precio es más elevado que el de los aceros de baja aleación, por lo que solo deben emplearse cuando se requiera alta resistencia al desgaste o la corrosión, o soportar sin deformación trabajos en frío o en caliente. Se pueden dividir en dos grandes grupos:

- *Aceros resistentes a la corrosión (aceros inoxidables).*
- *Aceros para herramientas.*

13.2 Aceros inoxidables.

Algunos metales (cromo, aluminio) crean una capa de óxido protectora frente a numerosos ambientes corrosivos. En la proporción adecuada pueden comunicar esta propiedad al hierro, formando una película en la superficie del acero muy estable. Para aumentar la resistencia a la corrosión es recomendable un buen acabado superficial, junto con el hecho de que el material posea un solo constituyente, para evitar riesgos de corrosión por diferencias de potenciales electroquímicos. En estos aceros solo son posibles tres tipos de constituyentes, que dan lugar a los diferentes tipos de aceros inoxidables:

- *Martensíticos:*

Son magnéticos. Contienen principalmente Cr, C y Mn. El Si aumenta la resistencia a la oxidación en caliente, el Ni la templabilidad, y el S la mecanización. Son los inoxidables menos aleados, y los más baratos.

- *Ferríticos:*

Son magnéticos. Su principal aleante es el Cr, el contenido en C es más bajo que en los martensíticos, para

obtener una estructura totalmente ferrítica, por lo que no responden a los tratamientos térmicos. Presentan problemas para soldar. Un exceso de C forma carburos de cromo y disminuye la resistencia a la corrosión.

- *Austeníticos:*

No son magnéticos. Precisan de la adición de Ni y a veces otros aleantes para formar estructura austenítica. El más conocido es el 18/8 (Cr y Ni). La resistencia a la corrosión es superior a otros tipos de aceros inoxidable. Es soldable y de fácil conformación en frío.

- *Endurecibles por precipitación:*

Pueden ser martensíticos, austeníticos, o intermedios entre ambos tipos, dependiendo de la proporción Cr/Ni. Lo que los distingue es la adición de otros elementos (Al, Ti, Mo, Cu), que dan lugar a la aparición de compuestos intermetálicos.

- *Superalaciones:*

Son materiales que conservan características mecánicas apreciables a altas temperaturas (entre 815 y 1093°). Para este intervalo de temperaturas los fenómenos de fluencia son los que rigen el comportamiento mecánico. Otro fenómeno que se produce es el de una mayor oxidación.

13.2 Aceros para herramientas.

Son aceros aleados para el trabajo en frío o en caliente (los poco aleados presentan problemas de templabilidad, fragilidad y prematuro desgaste). Este tipo de aceros son ideales para conformar otros materiales, manteniendo sus propiedades hasta temperaturas de 600°. Poseen un contenido de al menos 0,6% de carbono, además de otros elementos aleantes formadores de carburos. Como muchos de los aleantes son CC, tienden a estabilizar la ferrita y la martensita. Los tipos principales son:

- *Aceros poco templables:*

Contienen hasta un 1,5% de C y están débilmente aleados con Mn, Si y V. Su templabilidad no difiere mucho de los aceros comunes. La mayor presencia de C aumenta la resistencia al desgaste, a costa de una menor tenacidad. Dada su baja templabilidad y tendencia a la deformación durante dicho proceso, se aconseja el temple superficial.

- *Aceros templables o indeformables:*

Su templabilidad se ha mejorado con la inclusión de mayores proporciones de Mn y otros aleantes. Se templen en aceite.

- *Aceros para matrices en trabajos en frío:*

Poseen una gran tenacidad y una baja deformabilidad. Ideales para trabajar por choque.

- *Aceros para matrices en trabajos en caliente:*

Son empleados en operaciones de forja y estampación con temperaturas de hasta 400°. Son resistentes a la erosión, desgaste, y choque térmico, además de poseer cierta tenacidad y templabilidad que permita evitar deformaciones o roturas en geometrías complejas. Cuando la temperatura de trabajo es elevada, la adición de W es fundamental.

- *Aceros rapidos:*

Su principal característica es la de mantener la dureza durante el trabajo a altas velocidades de corte, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 600–700°. Para evitar pérdidas de dureza tras sucesivos calentamientos es preciso que los carburos sean estables a la temperatura de trabajo. Durante el enfriamiento del acero rápido desde la fusión se precipitan tres tipos de carburos, los primarios (eutectico), secundarios (entre el eutectico y el eutectoide), y los terciarios (perlita). Los secundarios son responsables de la dureza en caliente, por lo que el temple se deberá realizar a una temperatura en la que estén lo mas disueltos posible.

Tema 14. Fundiciones.

14.1 Introducción.

A diferencia de los aceros, que generalmente contienen menos del 1% de C, las fundiciones contienen del 2 al 4% y hasta un 3% de Si, aunque pueden contener también otros elementos aleantes. El Si influye en la forma en que se presenta el C (combinado en forma de cementita, o libre en forma de grafito). Las fundiciones tienen una contracción moderada durante el enfriamiento. Su temperatura de fusión es mas baja que en los aceros, y su fluidez muy alta. Esto las hace apropiadas para la obtención de piezas moldeadas de formas complejas, difíciles de obtener mediante forja. Por el contrario, debido a su alto contenido en cementita, son poco dúctiles. Para homogeneizar el grano se les somete a un *recocido de homogenización*.

En las fundiciones siempre esta presente ferrita y/o perlita, además del carbono en forma de grafito o cementita, opción esta ultima mas deseable desde un punto de vista cinético, y en la practica mucho mas asequible. La escasa resistencia al impacto y escasa ductilidad desaconseja el uso de las fundiciones en ciertas aplicaciones. Debido a su alto contenido en carbono su soldabilidad es muy deficiente.

14.2 Clasificación de las fundiciones.

El mejor método es según su estructura metalografica:

- Según su contenido en carbono.
- Según su contenido de elementos de aleación e impurezas.
- Según su velocidad de enfriamiento durante o después de la solidificación.
- Según el tratamiento térmico

En base a como se presenta el carbono, hay dos tipos de fundiciones:

- *Fundiciones blancas:*

Todo el carbono se encuentra en forma combinada, como cementita.

- *Fundiciones grises:*

La mayoría, o todo el carbono se encuentra sin combinar, en forma de escamas de grafito.

Dentro de cada grupo, a su vez se encuentran las fundiciones de tipo (dependiendo del contenido en C:

- *Hipoeutecticas.*
- *Eutecticas.*
- *Hipereutecticas.*

Otro rango de fundiciones consideradas como variantes de las blancas y grises son:

- *Fundiciones maleables.*
- *Fundiciones dúctiles.*
- *Fundiciones moldeadas en frío.*
- *Fundiciones aleadas.*

14.3 Efecto de los elementos aleantes.

El efecto primordial de dichos elementos es controlar el estado del carbono en la fundición. Los principales son:

- *Silicio:*

Es el elemento mas importante en las fundiciones grises. Aumenta la fluidez y produce un efecto grafitizante. Durante la solidificación en forma de Si se produce la descomposición de la cementita en ferrita y grafito en forma de escamas. Dichas escamas rompen la continuidad de la matriz, lo que influye en una baja resistencia y baja ductilidad.

- *fósforo:*

Aumenta la fluidez de la fundición en aquellas piezas con grandes cambios de sección.

14.4 Fundiciones blancas.

son aquellas que han evolucionado durante su solidificación y enfriamiento hasta la temperatura ambiente de acuerdo con el diagrama Fe-C metaestable (C en forma de cementita). Se llaman así porque su superficie de fractura es blanca. Para obtener el C en forma de carburo de hierro se deben mantener bajos los contenidos de C y Si, y una velocidad de solidificación elevada.

Los cambios que tienen lugar durante el enfriamiento son determinados por el diagrama hierro-carburo de hierro.

Su principal característica es la presencia de cementita, lo que hace que este tipo de fundición sea dura y resistente al desgaste, y en contrapartida, frágil y de baja resistencia al impacto. Pueden ser templadas, pero pueden padecer grietas en las tensiones provocadas por el temple. Se emplean en aplicaciones donde sea importante la resistencia al desgaste y la abrasión.

14.5 Fundiciones grises.

Son aquellas que al solidificar lo hacen según el diagrama de equilibrio Fe-grafito. Ello se favorece de contenidos altos en C y Si, con velocidades de solidificación lentas. La mayoría de ellas son aleaciones hipoeutecticas. Contienen cantidades relativamente altas de Si, ya que se trata de un elemento estabilizante del grafito. Solidifican siguiendo el diagrama de equilibrio estable hierro-grafito, formando austenita y grafito a temperatura eutectica. En el enfriamiento la austenita precipita el C en exceso en forma de cementita, y el resto de el en perlita. El grafito aparece en forma de laminas irregulares y alargadas. Su superficie de fractura es grisacea, de ahí su nombre. Por tanto, la fundición gris esta constituida por cementita, perlita o ferrita y grafito.

Su resistencia mecánica depende mucho de la matriz, siendo mayor en el caso de la matriz perlítica que ferrítica. Contenidos de Si elevados y enfriamientos lentos favorecen la formación de la matriz perlítica.

Son frágiles debido al efecto entalla de las partículas de grafito, siendo su alargamiento pequeño. Son fáciles de mecanizar, y la presencia de grafito confiere una gran capacidad de amortiguamiento de las vibraciones,

resistiendo también bien el desgaste.

Debido a su bajo coste, se emplean donde se requieran un mínimo de propiedades.

Tema 15. Aleaciones de aluminio I.

15.1 Introducción.

Las aleaciones de ingeniería pueden ser férreas (metal base es el hierro) o no férreas (metal base distinto del hierro).

Dentro de las no férreas destacan las *aleaciones ligeras*, que son las que poseen una baja densidad respecto a la del hierro, siendo las mas importantes las que tienen como elemento de base el aluminio, titanio, o magnesio. Este tipo de aleaciones tiene una especial importancia en la industria aeronáutica.

15.2 Propiedades del aluminio.

Es el metal ligero mas importante, estando entre sus propiedades la ligereza, alta conductividad térmica y eléctrica, y resistencia a la corrosión. Su resistencia a la corrosión se debe a que crea una densa y compacta capa de alumina que se forma en su superficie en contacto con el oxígeno. A veces se aumenta artificialmente el espesor de dicha capa , mediante un procedimiento electrolítico que se conoce como *anodizado*.

Como propiedades mecánicas destacar su alta plasticidad, bajo modulo y poca resistencia al desgaste.

15.3 Obtención del aluminio.

Se obtiene a partir de la *electrolisis* de la alumina (Al_2O_3), siendo necesarias dos fases:

- *Obtención de alumina* de gran pureza:

Se obtiene a partir del mineral *bauxita*, constituido principalmente por óxidos hidratados de aluminio.

- *Conversión de la alumina en aluminio:*

El método mas importante y económico es la electrolisis de la alumina disuelta en un baño de *criolita*.

15.4 Elementos aleantes del aluminio.

Con el fin de aumentar las características mecánicas del aluminio este se alea con otros elementos, principalmente Cu, Zn, Si, Mg y Mn, y se investiga actualmente con el Li.

Las propiedades de las aleaciones de aluminio pueden modificarse mediante deformaciones mecánicas y tratamientos térmicos posteriores.

15.5 Mecanismos de endurecimiento en las aleaciones de Al.

- *Endurecimiento por precipitación:*
 - ◆ Solubilizacion y temple:

Mediante el tratamiento de solubilizacion se trata de obtener una solución sólida con el mayor contenido posible de soluto. Conviene una temperatura lo mas alta posible, para disolver la mayor cantidad de fases que produzcan endurecimiento en la posterior maduración.

El temple consiste en enfriar rápidamente la aleación desde la temperatura de solubilización a fin de que conserve a temperatura ambiente, un estado muy parecido al que tenía a alta temperatura.

◆ Envejecimiento:

El estado de solución sólida obtenida en el temple se caracteriza por una estructura inestable, a partir de la cual tienden a precipitarse los constituyentes endurecedores. Esta precipitación se llama maduración, siendo natural si se desarrolla a temperatura ambiente, o artificial si lo hace a temperatura superior. El objetivo es crear una densa y fina dispersión de partículas en la matriz del metal, dando lugar a un fuerte aumento de la resistencia mecánica del mismo.

◆ Envejecimiento durante el proceso de envejecimiento:

La velocidad de envejecimiento depende de la temperatura, de manera que una elevación de esta acelera el proceso. No obstante, la resistencia máxima que se obtiene es tanto menor cuanto más elevada es la temperatura de envejecimiento.

• *Endurecimiento por solución sólida:*

En algunas aleaciones las líneas de solvus de los precipitados coherentes están situadas entre la temperatura ambiente y la temperatura de envejecimiento.

• *Endurecimiento por deformación:*

Se puede aplicar a todas las aleaciones de aluminio que posean la plasticidad necesaria para los procesos de conformado. Este requisito se da en aquellas aleaciones con composiciones inferiores a la de solubilidad máxima del aleante a la temperatura del eutéctico, no obstante, la deformación en frío (laminación) se da a aquellas aleaciones que no endurecen por precipitación.

• *Endurecimiento por reforzamiento:*

Una forma de conseguir aleaciones estables a alta temperatura consiste en el refuerzo por partículas insolubles en el aluminio que sean estables a esas temperaturas, llamados *dispersoides*.

15.6 Clasificación y designación de las aleaciones de Al.

Existen dos grandes grupos: forja y fundición. La delimitación entre estos dos grupos viene dada por el límite de saturación de la solución sólida a la temperatura eutéctica dado por los aleantes del aluminio. Cerca de la composición eutéctica, la fluidez en estado líquido es máxima, ya que solidifica a temperatura constante. Cerca de esta fase pueden aparecer poros y rechupes, aunque con un adecuado diseño del proceso de la colada se puede minimizar este efecto hasta límites aceptables. Por otro lado la plasticidad en estado sólido es muy pequeña, por lo que la aleación no es apta para sufrir deformaciones en frío o caliente.

Conforme la composición se aleja del eutéctico, el intervalo de temperaturas en que se produce la solidificación aumenta, y la fluidez disminuye, haciéndose los poros más pequeños. En este intervalo la fluidez es buena y la capacidad para llenar el molde es óptima. Aunque pueden tratarse térmicamente, pueden ser tratadas térmicamente, puede resultar peligroso por la formación de ampollas debidas a la expansión del aire atrapado en los poros.

Tema 16. Aleaciones de aluminio II.

16.1 Aleaciones de forja no endurecibles por tratamiento térmico.

Son aleaciones que se caracterizan por baja resistencia mecánica, gran plasticidad, resistencia a la corrosión y una buena soldabilidad. Se emplea para la fabricación de objetos por embutición profunda.

Series que conforman este grupo:

Serie 3xxx. Aleaciones Al-Mn y Al-Mn-Mg para forja.

Serie 5xxx. Aleaciones Al-Mg para forja.

La resistencia del Al aumenta con la adicción de Mg y por tanto dan lugar a aleaciones más ligeras que el Al puro. La solubilidad del Mg en el Al decrece al descender la temperatura, aun así estas aleaciones tienen escasa respuesta frente al tratamiento térmico.

El contenido de Mg en Al de estas aleaciones oscila entre un 0,5 al 5%. Los grupos más importantes son el 5052 que se utiliza para conductos de combustibles y aceites en aviones y la 5026 utilizado en aplicaciones marinas por su resistencia a la corrosión.

16.2 Aleaciones de forja endurecibles por tratamiento térmico.

Comprende las series 2xxx, 6xxx y 7xxx clasificándose en dos grupos:

- serie 6xxx y los de Al-Zn-Mg de la 7xxx que tienen una resistencia media y fácilmente soldables.
- Al-Cu y Al-Cu-Mg de la 2xxx y Al-Zn-Mg-Cu de la 7xxx con gran resistencia y baja soldabilidad (utilizado en aeronáutica).

Serie 2xxx. Aleaciones Al-Cu endurecibles para forja.

Estas aleaciones presentan una soldabilidad baja por lo que su unión se realiza por medio del remachado. Las aleaciones más importante de este grupo son:

La aleación 2017 (Al-3,5Cu-0,5Mg-0,5Mn) llamada duraluminio sirvió para construir zepelines y se utiliza ahora en aviación.

La aleación 2014 (Al-4,5Cu-0,5Mg-0,9Si-8Mn) es más resistente por contener Si. Se utiliza para accesorios de aviación y estructuras de camiones.

La aleación 2024 (con más contenido en Mg y menos en Si) se emplea para estructura de aviones y fabricación de remaches.

El desarrollo de estas aleaciones ha ido encaminado a eliminar los niveles de impurezas (Fe y Si) que fragilizan la aleación, aunque esta impureza finamente dividida y uniformemente distribuida pueden reforzar la aleación utilizándose en la construcción de modernas aeronaves (Concorde).

Serie 6xxx. Aleaciones Al-Mg-Si endurecibles para forja.

Poseen características mecánicas inferiores a la 2xxx pero tienen mayor soldabilidad y resistencia a la corrosión. Tienen gran conductividad eléctrica y una buena aptitud para la transformación en caliente.

Serie 7xxx. Aleaciones Al-Zn-Mg endurecibles para forja.

Presenta características mecánicas mejores (sobre todo si contiene Cu). Son soldables. Este grupo puede presentar además otros compuestos en pequeñas cantidades como el Cr, Mn, Zr y el Cu ya mencionado.

El principal inconveniente es su sensibilidad a la Corrosión Bajo Tensiones (CBT). Para disminuir este riesgo es necesario un estricto control en la composición y tratamiento térmico en su fabricación. La aleación más importante de este grupo es:

7075 (Al-5,5Zn-2,5Mg-1,5Cu) que tiene numerosas aplicaciones en la industria aeronáutica, armamento y deporte.

En función del tratamiento de maduración de esta aleación, se obtiene más resistencia mecánica ó menos sensibilidad a la CBT aunque hay un método de maduración denominado dúplex que mejora una sin detrimento de la otra.

16.3 Aleaciones de aluminio para moldeo.

Las fundiciones de Al se pueden obtener por moldes en arena o metálicos (permanentes) siendo el primero más versátil y sencillo. Sin embargo el moldeo permanente permite obtener piezas con una estructura de grano más fino y con menores contracciones. Está más automatizado aunque tiene limitaciones para el caso de piezas muy grandes o con núcleos complicados.

La tecnología de fundición es compleja, siendo preciso controlar muchos factores para que no se produzcan contracciones excesivas y que tenga la fluidez necesaria para rellenar el molde.

Las aleaciones más aptas para fundición son las que más se aproximan a su composición eutectica, aunque las aleaciones de moldeo no deben tener mucho eutectico ya que empeoran las propiedades mecánicas. Los grupos de aleaciones para moldeo se ordenan de mayor a menor colabilidad: 3xx, 4xx, 5xx, 2xx y 7xx.

Su resistencia a la corrosión es mayor sin Cu.

16.3.1 Series 3xx y 4xx. Aleaciones de Al-Si para moldeo.

Las aleaciones con Si son las más aptas para el moldeo siendo también las más utilizadas. Tienen una gran resistencia a la corrosión y son soldables. Se mejora la resistencia mecánica y la ductilidad si el enfriamiento se produce rápido.

16.3.2 Otras aleaciones de aluminio para moldeo.

Serie 2xx. Aleaciones Al-Cu para moldeo.

Serie 5xx. Aleaciones Al-Mg para moldeo.

Serie 7xx. Aleaciones Al-Zn para moldeo.

Tema 17. Aleaciones de magnesio y titanio

17.1 magnesio: propiedades y obtención.

- El magnesio tiene una densidad de 1.74 g cm³, un punto de fusión de 650 °C y un punto de ebullición de 1090 °C.
- Estructuralmente el magnesio junto con sus aleaciones es fácil de mecanizar.
- No posee transformaciones alotrópicas.

- Cristaliza en el sistema HC, y como consecuencia mala plasticidad.
- Resistencia a la corrosión aceptable a temperatura y atmósfera ambiental. Mala en ambientes marinos.
- Oxidación fuerte en atmósfera seca y alta temperatura.
- Sufre corrosión galvánica en contacto con el resto de los metales.
- Baja resistencia a la tracción, fluencia, fatiga y desgaste.
- Material con gran capacidad de amortiguamiento a las vibraciones debido a su bajo módulo elástico.
- Resistencia del magnesiado laminado y recocido entorno a los 180 Mpa y límite elástico de 100 Mpa.
- Debido a la gran afinidad con el oxígeno y otros agentes químicos se emplea como desoxidante y desulfurizante.
- Empleo como agente reductor en la fabricación de Be, Ti, Zr, y V. Empleo como ánodos de sacrificios y para fines pirotécnicos.
- Aleado y tratado térmicamente la R alcanza los 300–350 Mpa.

Los principales métodos de obtención son:

- Electrolisis del Cl_2Mg : con una pureza del 99.5%, que se aumentará con un refino posterior.
- Reducción del MgO : Calentando en atmósfera inerte a temperaturas superiores a 1100°C .

El magnesio comercial tienen una pureza del 99,8% conteniendo impurezas de Al, Mn, Si, Fe, Ni, y Cu. Estos tres últimos constituyen las impurezas más nefastas ya que disminuyen la resistencia a la corrosión.

Para afinar el Mg se utiliza sistemas de refusión y lavado con fundentes, alcanzando purezas del 99.99%.

17.2 Elementos aleantes del magnesio

Los elementos más comunes son: Aluminio, cinc, manganeso y algunas tierras raras (zirconio, torio y cerio), el berilio disminuye la tendencia a la inflamación durante la colada.

El Zn, Al, Ag, y algunas tierras raras forman con el magnesio diagramas del tipo eutéctico.

El Mn y el Zr forman diagramas peritéticos.

En las aleaciones forman un papel muy importante los elementos afinadores de grano, principalmente el Zr, que al ser la solubilidad máxima de este en Mg del 0,6% no tiene efecto reforzante, añadiéndose a las aleaciones por razón de control sobre el tamaño de grano.

La mayoría de las aleaciones del Mg son ternarias, basadas en sistemas de aleaciones binarias:

Magnesio–Aluminio.

Magnesio–Cinc.

Magnesio–Tierras raras.

Magnesio–Torio.

17.3 clasificación y designación de las aleaciones de magnesio (no entra)

17.4 aleaciones de magnesio para moldeo.

- Mg–Al: la presencia del Al es del orden del 3% al 10%, el aluminio eleva las características mecánicas del Mg, así como su fluidez.
- Mg–Zn: La presencia del Zn es del orden del 4–6%, tienen cierta tendencia a la microporosidad y no son soldables.
- Mg–TR: la presencia de TR es del 2.5–4%, disminución de resistencia a temperatura ambiente, respecto al grupo anterior.
- Mg–Th: La presencia del Th es de 2.5–4% , excelentes características de moldeo, mecánicas y de fluencia

17.5 Aleaciones para forja.

Sabemos que debido a la estructura cristalina del magnesio, HC su plasticidad a baja temperatura es escasa, debido a que los planos de deslizamiento durante la formación son únicamente los basales, por lo que, la probabilidad de encontrar planos de deslizamiento en la dirección adecuada es baja.

Por encima de 250 °C se activan planos adicionales, y la deformación por planos de deslizamiento se facilita, por esto las operaciones de forja, extrusión o laminación se realizan a temperaturas de 350–500 °C.

17.6 Titanio: propiedades y obtención.

- Cuarto metal, tras el hierro, el aluminio y el magnesio, más abundante en la corteza terrestre, (0,9% en peso).
- Densidad 4.54 g cm⁻³ y temperatura de fusión 1667 °C
- A temperaturas por debajo de 425 °C excelente resistencia a la corrosión. Bajo coeficiente de dilatación.
- Muy reactivo con el oxígeno, formando una capa protectora de óxido impermeable.
- Los elementos de aleación empeoran su resistencia a la corrosión.
- Presenta alotropía, a temperatura ambiente (fase) tiene estructura HC, a 883 °C se transforma en CC.
- Debido a su estructura HC el titanio es poco deformable a temperatura ambiente, después de calentarlo y pasar a CC se aminoran sus efectos.
- El método de obtención del titanio es bastante complicado y consta de varias etapas, por ello su obtención es costosa y su uso limitado.

17.7 Elementos aleantes del titanio

Los elementos de aleación aumentan la resistencia del titanio por solución sólida, posibilitan los tratamientos

térmicos, y por tanto la mejora de características mecánicas. Empeoran el comportamiento frente a la corrosión.

Algunos forman solución sólida para grandes cantidades de soluto, mientras que otros tienen una solubilidad muy limitada, formando compuestos denominados titanuros, cuyos radios atómicos difieren menos del 15 %. Cuando el radio atómico del soluto sea muy diferente del correspondiente al Ti la solubilidad será pequeña, y tenderá a formar titanuros.

Algunos elementos estabilizan la fase α , ya que elevan la temperatura de transformación, mientras que otros elementos tienen el efecto contrario, y tienden a estabilizar la fase β . Por último otros elementos se consideran neutros por estabilizar las dos fases y disolverse en ambas sin preferencia por ninguna. Los elementos que cristalizan en HC tenderán a ensanchar la región α , mientras que aquellos que cristalizan en el CC tenderán a ensanchar la región β .

17.8 Transformaciones de fase de las aleaciones de titanio.

El hecho de que las aleaciones de titanio experimenten la transformación durante el enfriamiento posibilita la obtención de distintas estructuras, dependiendo de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

17.9 clasificación de las aleaciones de titanio

Las cantidades relativas de estabilizadores y en la aleación, además del tratamiento térmico, determinan si su microestructura es predominantemente monofásica, una mezcla de α y β , o monofásica β , sobre el intervalo útil de temperatura. Usualmente, las aleaciones de titanio se clasifican de acuerdo con la microestructura, dando lugar a tres grupos principales denominados, α y β .

Tema 18. aleaciones de cobre y de níquel.

18.1 Cobre: propiedades y obtención.

Es un metal de aspecto rojizo que se puede aparecer en forma nativa. Se obtiene por reducción de sus menas, separándolo del oxígeno y del azufre. La mayor parte es extraído de minerales que contienen sulfuros de cobre y de hierro, obteniéndose un cobre impuro que se purifica electrolíticamente. La elevada plasticidad del cobre se debe en parte a que tiene una estructura CCC, pudiéndosele extruir.

18.2 Aleaciones de cobre: consideraciones generales.

Para mejorar sus propiedades mecánicas se alea con diferentes elementos, principalmente Zn (latones), Sn(bronces) y Al. Además del oxígeno y azufre, otra impureza no deseable es el bismuto.

El endurecimiento que producen los elementos de aleación pueden ser de varios tipos, dependiendo de los elementos aleantes y sus proporciones denominándose α y β .

18.3 Aleaciones Cu–Zn (latones).

Constituyen las aleaciones de Cu más importantes, dependiendo del contenido de Zn los latones pueden ser rojos o amarillos. Los latones se dividen en tres grupos principales: α , α + β y β dependiendo del contenido en % de Zn.

18.3.1 Latones α .

Sus características son similares a las del Cu presentando casi la misma tenacidad. Se pueden endurecer por

deformación en fría y ablandar mediante recocido. Su contenido en Zn puede llegar a un 39%. Tienen una alta plasticidad a temperatura ambiente, utilizándose esta propiedad para la fabricación por deformación en frío.

18.3.2 Latones beta.

Pueden contener hasta un 50% de Zn y es muy frágil, se utiliza para metal de aporte para soldadura.

18.3.3 Latones alfa+beta.

Contienen entre un 37 y un 46% de Zn. Poseen menos ductilidad que los latones alfa pero su deformación en caliente es superior, por lo que se consideran como materiales para trabajo en caliente. Su resistencia mecánica y la facilidad de mecanización es mejor que en los latones alfa.

18.4 Aleaciones Cu–Sn (bronces).

Los contenidos de estaño pueden variar entre 1 y 20%. Aunque son más caros que los latones, tienen mejores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la corrosión, aunque son sensibles a ácidos oxidantes, soluciones amoniacales, azufre y ciertos compuestos sulfurados y por las bases fuertes en cambio es resistente a todo tipo de agua.

Tiene una maquinabilidad baja que se mejora con la adición de Pb. Es soldable tanto con soldadura blanda como con soldadura fuerte.

18.8 Níquel.

Es un material de color blanco, resistente a la corrosión, ferromagnético y fácilmente deformable. Es bastante caro, limitando su uso.

Por sus características de dureza y resistente a la corrosión lo convierte en un buen material de recubrimiento. También se emplea como elemento de aleación en las aleaciones de Cu y Fe.

18.9 Aleaciones base níquel.

Es una de las aleaciones más resistente a alta temperatura. Es el motivo por lo que se emplea en motores de turbinas donde el factor termodinámico es esencial para su rendimiento. Las aleaciones de base níquel se pueden dividir en homogéneas o no envejecibles y en envejecibles. Ambas tienen una elevada resistencia a la corrosión pero la envejecible tiene más resistencia mecánica.

Tema 19. Materiales cerámicos.

19.1 Introducción.

Son materiales inorgánicos, no metálicos, procesados a alta temperatura. Hasta hace poco, los materiales cerámicos más importantes eran los tradicionales, que se componen principalmente de arcilla, sílice y feldespato. Se utilizan para la fabricación de ladrillos, tejas, etc. Hoy existen unas nuevas cerámicas orientadas a aplicaciones técnicas compuestas generalmente por compuestos puros o casi puros. La industria de los productos cerámicos son imprescindibles para el funcionamiento de otras muchas industrias. En general los materiales cerámicos son duros y frágiles con baja tenacidad y ductilidad, con alto punto de fusión y bajas conductividades eléctrica y térmica, y alta resistencia bajo esfuerzos de compresión. Hay cerámicas con enlaces entre sus átomos de tipo iónico y de tipo covalente. Los primeros (iónico) son compuestos de un metal con un no metal (generalmente O), mientras que los segundos son compuestos de dos no metales. Aunque los átomos de muchas cerámicas participan de ambos tipos de enlaces.

19.2 Estructura de las cerámicas.

En los materiales cerámicos existe una dificultad a la difusión dado el tipo de enlace ya que la base o unidades estructurales que se desplazan están formadas por varios átomos y no por uno como en el caso de los metales. Esta dificultad promueven unidades estructurales desordenadas formando estructuras amorfas.

19.2.1 Estructura de cerámicas con enlace iónico.

El enlace iónico da lugar a estructuras compactas que siguen dos reglas: la de la carga eléctrica (el cristal sea neutro) y la de los tamaños relativo de los aniones y cationes, que establece el número de coordinación (NC) (que es el número de aniones que rodea a un catión) que determina el cociente entre el radio del catión y el del anión. Esta regla establece la geometría necesaria para que el catión permanezca en contacto con los aniones que le rodean.

Las situaciones más estables corresponden a las de NC mayor.

La estructura cristalina iónica del tipo AC (anión–catión) como la del cloruro sódico tiene una estructura CCC, con los átomos de Cl localizados en los vértices y centros de las caras y los átomos de Na situados en el centro de las aristas y centro del cubo.

19.2.2 Estructura de cerámicas con enlace covalente.

Su NC es normalmente 4 siendo la más representativo el diamante. El enlace impone condiciones de tipo direccional afectando a los átomos más cercanos. Las moléculas se pueden unir entre sí formando polímeros si son orgánicos o silicatos si son inorgánicos. En el diamante cada átomo de carbono está rodeado por otros cuatro, situado en los vértices de un tetraedro. Su estructura corresponde a CCC. El grafito es una forma polimorfa del carbono y tiene una estructura HC formando planos que están unidos entre sí por débiles fuerzas pudiendo desplazarse, confiriéndole de propiedades lubricantes.

Estructuras cristalinas de la sílice y silicatos:

Predomina el enlace covalente ya que se produce entre átomos no metales. Presenta un NC de 4 con una configuración tetraédrica en la que en el centro de la pirámide se encuentra el átomo de silicio con los átomos de O en los vértices. Éste es el monómero de la sílice cristalina. En los silicatos se unen los monómeros entre sí haciendo de puente entre ellos iones metálicos, que en función de mayor a menor contenido de estos iones se pueden clasificar los silicatos en orto, piro, meta(silicatos) y cristales tridimensionales.

19.3 Diagramas de equilibrio.

Se forma diversos compuestos como es la cristobalita, mullita, corindón que se combinan entre sí y con la solución líquida.

19.4 Propiedades mecánicas.

Tienen un módulo de elasticidad bien definido siendo superior al de los metales. Son materiales duros, alta resistencia a ser deformados ya que presentan mucha resistencia al movimiento de dislocaciones, baja tenacidad a la fractura, la gran dureza le confiere propiedades abrasivas.

19.5 Propiedades térmicas.

Tienen un alto punto de fusión, con lo que se utilizan como material refractario. Aunque presenta baja resistencia al choque térmico.

19.6 Propiedades eléctricas y magnéticas.

Presentan gran resistividad eléctrica por lo que se utilizan como aislantes eléctricos. Los materiales piezoeléctricos convierten señales de presión en señales eléctricas y viceversa.

19.7 Procesado de los materiales cerámicos.

Normalmente se toma la materia prima, generalmente pulvurenta, que por compactación y aglomeración se compactan y al ser calentados a altas temperaturas se sueldan o enlazan las partículas entre sí. Los materiales cerámicos no se pueden forjar o mecanizar y son demasiados frágiles para ser trabajados en frío.

Cerámicas tradicionales:

Su procesado habitual consiste en el conformado hidroplástico, cocido y vitrificado.

Los objetos de paredes delgadas se pueden realizar por el procedimiento de fundición por revestimiento que consiste en emplear un molde de yeso en la que se aplica la arcilla con un grosor determinado que cuando se coce y se vitrifica se puede retirar el molde.

Cerámicas técnicas

Se realiza en primer lugar la mezcla de los componentes en forma pulvurenta seguida de una compactación o prensado empleando para ello una cámara de fluido hidráulico que realiza la compactación de forma uniforme, para que compacte se le adiciona un aglomerante que puede ser un producto orgánico que luego se elimina en los tratamientos térmicos. En estos tratamientos las partículas del material se unen por difusión. En algunos casos se le realiza un tratamiento final consistente en añadir unos polvos de alúmina, formando vidrios de bajo punto de fusión que actúa como de pegamento entre las partículas.

19.8 Vidrios.

Son materiales cerámicos en forma amorfa, es decir que no forman estructura cristalina ordenada. Los vidrios más importantes se forman generalmente de sílice. Para modificar las propiedades de los vidrios se introducen iones metálicos en la sílice. La estructura vítrea se forma cuando se enfría moderadamente rápido la sílice líquida.

19.8.1 Temperatura de transición vítrea.

Cuando un material cristalino se enfría desde el estado líquido experimenta un cambio brusco de su volumen específico ya que sus átomos se están reordenando. Cuando lo hace un vidrio no tiene una temperatura definida a la que se convierte en sólido, sino que se va haciendo cada vez más viscoso y en la que llega un momento en el que su volumen específico se estabiliza con la temperatura. Esta temperatura es la llamada temperatura de transición vítrea. Por debajo de esta temperatura la estructura del material queda inmovilizada.

19.9 Viscosidad de los vidrios.

La viscosidad es un parámetro de deformación de cizalla en función de una tensión de cizalla. Se mide en el SI en pascal por segundo. El inverso de la viscosidad se llama fluidez. Tanto una como otra es función de la temperatura que alcanza el material siendo menos viscoso cuanto más temperatura tiene. Dependiendo de la temperatura el vidrio alcanza unos puntos definidos para su procesado siendo generalmente conformado entre el punto de trabajo y el de reblandecimiento.

19.10 Composición y estructura de los vidrios.

Los vidrios presentan una transparencia, dureza y resistencia a la corrosión que los hace indispensables en multitud de aplicaciones. Los formados con sílice puro tiene un alto punto de fusión y bajo coeficiente de expansión térmico siendo sus aplicaciones la fabricación de sistemas ópticos. Generalmente no se emplea puro ya que es muy caro sino que se le agrega modificadores que facilitan su procesamiento.

19.11 Procesado de los vidrios.

Su procesamiento consiste en calentar los vidrios a una temperatura que alcance una viscosidad de trabajo, dependiendo del procesamiento que se le vaya a dar siendo algunos de ellos el soplado, prensado, laminado, estirado etc.

Tema 20. Materiales poliméricos.

20.1 Introducción.

Un polímero es una macromolécula de alto peso molecular en forma de cadena de compuestos hidrocarbonados y derivados también llamados orgánicos. Pueden ser amorfos o parcialmente cristalinos dependiendo del orden que tengan dispuesto. La mayoría de los sistemas biológicos están formados por polímeros. La industria de los materiales poliméricos es la que más desarrollo está teniendo en la actualidad. Los productos químicos necesarios suelen ser los derivados del petróleo estando sujeto pues a las reservas y precios del crudo. Entre las propiedades destaca su alta resistencia a la corrosión, baja resistencia mecánica y muy bajo módulo elástico. Su calor específico es unas cinco veces mayor que el de los metales y su coeficiente de expansión térmica es muy grande. Tienen una conductividad eléctrica baja.

20.2 Moléculas de hidrocarburos.

La molécula elemental es la del metano, compuesta por un carbono enlazado de forma covalente con 4 hidrógenos. Los que presenta enlaces sencillo se dicen que están saturados siendo su fórmula general C_nH_{2n+2} . cuando son insaturados pueden tener dobles y triples enlaces, nombrándose igual que los alcanos pero terminados en eno e ino respectivamente. Cuanto mayor es el número de enlaces entre los carbonos mayor es su reactividad.

20.3 Polimerización: meros, monómeros y polímeros.

Las moléculas insaturadas tienen la características de combinarse consigo mismas repetidas veces dando lugar a cadenas largas. Los compuestos que tienen esta cualidad se denominan monómeros. La cadena que se forma se llama polímero y su unidad estructural se llama mero. Para polimerizar un monómero deben existir como mínimo dos enlaces químicos activos. Si tiene más enlaces activos puede formar polímeros tridimensionales. El grado de polimerización es el peso molecular del polímero dividido por el peso molecular del mero, dando como resultado el número de meros. Cuanto mayor es el GP mayores son las fuerzas de atracción entre las moléculas. El punto de fusión por lo tanto aumenta aunque este aumento no es indefinido sino que hay un GP por encima del cual no se produce ninguna mejora. Las reacciones que conducen a la polimerización se producen por dos mecanismos por adición y por condensación.

20.4 Estructura de los polímeros.

Las características físicas de un polímero dependen en gran parte además de su peso molecular dependiente a su vez del grado de polimerización, de su grado de linealidad y la configuración básica del polímero, dando lugar a cuatro grandes grupos: lineales, ramificados, reticulados y reticulados tridimensionales. Así mismo si un mero no es simétrico puede dar lugar a varias configuraciones espaciales pudiendo ser isotáctico, sindiotáctico y atácticos. También desde el punto de vista del ordenamiento de su estructura los polímeros pueden ser cristalinos o amorfos.

20.5 Clasificación general de los polímeros.

Se basa en el tipo de unión existente entre las cadenas formando tres grupos:

- termoplásticos: se unen por débiles fuerzas del tipo Van der Waals.
- Termoestables: llamados resinas y están unidos por fuerzas del tipo covalente.
- Elastómeros o gomas: tiene características intermedias entre los dos anteriores.

Muy utilizados son los termoestables siendo sus ventajas su resistencia química, estabilidad térmica y mayor resistencia a la fluencia. Sus desventajas son su baja posibilidad de deformación, su baja resistencia al impacto. Aunque más utilizados son los termoplásticos utilizados en la fabricación de embalajes, botellas, etc.

Polímeros termoplásticos importantes son:

- el polietileno: que hay de dos tipos de baja y alta densidad dependiendo de la ramificación de sus cadenas. Pueden aditivarse con distintos aditivos para mejorar algunas características.
- El polipropileno: junto con el anterior son los más importantes. Tiene poca densidad aunque depende de su estructura ya que no es simétrico. Se utiliza para fabricar envases, mangueras etc.
- El poliestireno
- El cloruro de polivinilo
- El polimetilmetacrilato
- El politetrafluoroetileno: teflón.

Proceso de fabricación de los termoplásticos.

Los más utilizados son: el moldeo por inyección y por soplado, la extrusión y el calandrado. En el moldeo por inyección se fuerza al material termoplástico por aplicación de una presión y temperatura a fluir continuamente que puede desembocar en un molde que se rellena fabricando la pieza, o fluir por medio de una boquilla con alguna forma característica, recogiendo a la salida el producto conformado. El calandrado consiste en procesar planchas con cierto grado de viscosidad para su conformado por medio de unos rodillos por los que se le hace pasar.

20.7 Polímeros termoestables.

Son duros, rígidos, poco dúctiles y poco resistente al impacto. Es un material poco deformable. Tienen la característica de no poderse refundir ya que cuando se calientan sufren carbonización por lo que no se pueden reciclar. Algunos polímeros termoestables o resinas importantes son la baquelita que es una resina fenólica, el poliéster formado por dos copolímeros y las resinas melamínicas y uréicas.

20.7.2 Procesado de los plásticos termoestables.

Existen varias formas:

- moldeo por compresión: la resina precalentada se introduce en un molde, formado por dos caras, que posteriormente se cierran, rellenoando todos los huecos por presión y temperatura.
- Moldeo por inyección: ya explicado.
- Moldeo por transferencia: combina los dos anteriores.

20.8 Elastómeros.

Los elastómeros y cauchos o gomas son muy importantes. Su característica principal es su gran capacidad de deformación elástica. Existen caucho natural y sintético siendo el estireno-butadieno el más importante.

20.8.1 Vulcanización.

Es el proceso mediante el cual se reticulan las cadenas por medio del azufre que hace de puente entre las cadenas. Es una operación no reversible teniendo lugar a una cierta presión y temperatura. En función de la reticulación conseguida, que se controla según el azufre adicionado, el caucho será más o menos flexible.

Tema 21. Materiales compuestos.

21.1 Introducción.

Un material compuesto es una mezcla de dos o más sustancias insolubles entre sí y que se han fabricado para que se complementen.

Los primeros materiales compuestos han sido el hormigón y los materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio. Su utilidad radica en la combinación de propiedades que ambos componentes le confieren al compuesto. Generalmente el material mayoritario se llama matriz y el minoritario reforzante.

21.2 Clasificación de los materiales compuestos.

Dependiendo del tamaño del componente minoritario se pueden clasificar en dos grupos: microscópico (que de acuerdo con su geometría pueden ser de refuerzo continuo fibras o discontinuo partículas) y macroscópico. Dependiendo de la naturaleza de la matriz, los MC pueden ser materiales compuestos de matriz plástica (PCMP), metálica (MCMM), o cerámica (MCMC).

21.3 Propiedades mecánicas.

Se considera, para el estudio, que los MC son reforzados con fibra. Considerando a los de partículas un caso extremo del anterior.

21.3.1 Módulo elástico de MC reforzados con fibra continua.

El caso de que el esfuerzo de tracción sea paralela al eje de las fibras la deformación que sufriría la matriz sería la misma que la de la fibra por lo que se denomina isodeformación. En este caso la tensión y el módulo elástico soportado por fibra y matriz sería: siendo V_f la fracción de volumen ocupado por las fibras.

En el caso de que el esfuerzo de tracción sea normal al eje de las fibras, la tensión soportada por matriz y fibra sería la misma pero la deformación será la media ponderada de las deformaciones de fibras y matriz. En este caso la deformación y el módulo elástico soportado por fibra y matriz sería: por lo que se puede ver que el módulo elástico es superior en la dirección de la fibra.

También se puede demostrar que el refuerzo con fibras es más eficiente que con partículas, aunque estas últimas presentan dos ventajas: que el material es isótropo y que es más económico.

21.3.2 Resistencia mecánica de MC reforzados con fibra continua.

Normalmente, las fibras están constituidas por materiales más rígidos y frágiles que la matriz por lo que llegará un momento conforme crece la deformación que la matriz deformará plásticamente, mientras la fibra lo hace de forma elástica. En este caso la tensión y el módulo elástico será: . Cuando la fibra se fractura, la tensión baja hasta el que es capaz de soportar la matriz, quedando sólo .

21.3.3 Resistencia mecánica de MC reforzados con fibra discontinua.

El procesamiento de este tipo de material es más fácil que el de fibra continua. Estos materiales tienen una longitud de fibra crítica para la que se alcanza la tensión de rotura que se calcula con la formula: al cociente lc/d se le denomina factor de forma crítico.

21.3.4 Mecanismo de fractura. Tenacidad.

Es la energía que es preciso consumir para que propague una grieta, o sea, la energía consumida por unidad de superficie de fractura G . Considerando una adherencia perfecta entre matriz y fibra la energía sería . Generalmente esto no es así sino que la tensión de cizalla entre matriz y fibra es más elevada por lo que la deformación y rotura por esa parte es superior. En este caso cuando hay rotura entre fibra y matriz, la grieta no suele propagarse en línea recta, sino tortuosamente por lo que consume energía y aumenta pues su tenacidad.

21.3.5 Propiedades mecánicas de MC reforzados con partículas.

Dado su facilidad de procesamiento es más barato que los reforzados con fibra. Es sobre todo utilizado en los MCMM. Presenta un módulo elástico análogo al reforzados con fibras cuando la dirección de las fibras y de la carga es normal. Para casos en el que las partículas son duras se mejora su resistencia al desgaste, aplicándose para casos de fricción.

21.4 Características diferenciales y procesamiento de los distintos tipos de MC.

La matriz es un material menos resistente y rígido aunque más dúctil que las fibras. Dependiendo del grado de delaminado entre fibra y matriz la resistencia y tenacidad serán inversamente proporcional por lo que es necesario buscar el grado intermedio. La unión entre matriz y fibra puede realizarse por diferentes mecanismos como puede ser unión mecánica, interdifusión, por reacciones químicas, etc.

21.4.2 Materiales compuestos de matriz metálica (MCMM).

Tienen la ventaja con respecto a los de matriz polimerica que su temperatura de trabajo puede ser mucho mayor, además de otras ventajas donde pueden amoldarse mejor a ciertas exigencias como pueden ser los relacionados a conductividades eléctricas o térmicas, etc. Las ventajas que presentan los MCMM respecto a los metales sin reforzar son que tienen mejor resistencia y rigidez, mejor comportamiento a fluencia y a la fatiga y menores coeficientes de expansión térmica, siendo sus inconvenientes su elevado coste y complejidad de procesamiento. Normalmente el procesamiento más barato consiste en agregar las partículas de refuerzo a la matriz fundida, aunque presenta varios inconvenientes relacionados con la homogeneidad y distribución de las partículas.

21.4.3 Materiales compuestos de matriz cerámica (MCMC).

Han sido desarrollados recientemente utilizándose fibra continua de SiC y Al₂O₃. se aplican en tubos cambiadores de calor, sistemas de protección térmica, etc.

21.5 Materiales compuestos macroscópicos.

Los principales son el hormigón y los laminados.

21.5.1 Materiales compuestos laminares.

Están formados por láminas bidimensionales, presentando cada una sus distintas propiedades, configurando con esto una resistencia mecánica característica. Pueden estar constituidos por materiales diferentes, pudiendo estar constituido cada lámina por diferentes compuestos. Los más extendidos son los laminados de madera, vidrios de seguridad, chalecos antibalas, esquís, etc.

21.5.2 Hormigón.

Es un MC reforzado con partículas. La matriz es el cemento y el refuerzo es la grava. Es económico, duro con alta resistencia a la compresión, al fuego, y puede ser fabricado a pie de obra. Aunque presenta algunos inconvenientes como es la poca ductilidad, la baja resistencia a la tracción y a la fluencia y alta contracción y permeabilidad. Algunos de estos inconvenientes se pueden disminuir reforzando el hormigón con gabillas de hierro entrelazadas formando el hormigón armado. Es muy importante la composición de los hormigones ya que influyen en sus propiedades mecánicas como dureza, etc, así como la fase de formación ya que puede producirse para casos de fraguado rápido grietas que debilitarían la estructura.

21.6 Madera.

Es el compuesto natural más importante, siendo uno de los más utilizados.

21.6.1 Estructura de la madera.

En un corte transversal de un tronco se aprecian las siguientes capas.

- corteza exterior, constituidas por células muertas.
- Corteza interior, húmeda y blanda que lleva alimento.
- Cambium, constituido por células nuevas en crecimiento.
- Albura, células que almacenan y conducen la savia.
- Duramen, células muertas que constituyen la parte más dura.

Los anillos concéntricos muestran la edad del árbol siendo en cada anillo las células interiores más grandes que las externas. Las maderas se dividen en dos clases, según el árbol del que procedan. Los de hoja caduca dan madera dura y los de hoja perenne dan madera blanda.

21.6.2 Propiedades mecánicas de la madera.

Dependen de muchos factores, siendo su resistencia mayor en la dirección paralela del eje del tronco, debido a la anisotropía de su estructura celular. La prueba más común que se realiza es el ensayo a flexión en vigas. Los factores que influyen en su resistencia son: las maderas duras son más resistente, el duramen es más resistente, y el grado de humedad determina en gran medida la resistencia, debiéndose de ensayar en maderas con un contenido de humedad estabilizado. Para alcanzar este grado de humedad se seca en hornos con temperatura y humedad específicas. Generalmente el grado de humedad idóneo varía entre un 25 a 30%. Está claro que se debe de elegir la madera para una determinada función, ya las propiedades varían. Para las maderas estructurales, se eliminan defectos pegando secciones de madera para producir vigas laminadas. La viruta se utilizan para tableros de aglomerado que se unen mediante resinas. La madera tiene otras utilidades como la fabricación de papel, etc.

PTO. EUTÉCTOIDE

REACCIÓN EUTÉCTICA

REGIÓN ò FERRITA

REACCIÓN PERITÉCTICA