

12-12-2011



G1

MATERIALES NO FERROSOS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	A. FELIPE GARCÍA MUÑOZ	2
ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	ÁNGELA CARAVANTES GARCÍA (PUNTOS PARES) ARACELI GALIANO SALAS (PUNTOS IMPARES)	3
COBRE Y SUS ALEACIONES	BORJA CHAPARRO COBOS (HASTA BRONCES) GUILLERMO GÓMEZ AMERIGO (BRONCES EN ADELANTE)	16
TITANIO Y SUS ALEACIONES	RAQUEL SERRANO LLEDÓ	30
MAGNESIO Y SUS ALEACIONES	ENELIO HERRERA DÍAZ	42
NÍQUEL	VÍCTOR LISART TÍSCAR	48
OTROS ELEMENTOS	MARINA CALDERÓN LLORET (ESTAÑO Y PLOMO) A. FELIPE GARCÍA MUÑOZ (CINC Y WOLFRAMIO)	55

1. INTRODUCCIÓN

Los metales no ferrosos aquellos que incluyen elementos metálicos y aleaciones que no se basan en el hierro. Su utilización no es tan masiva como los productos férreos, pero tienen una gran importancia en la fabricación de gran cantidad de productos; por el bajo peso específico, la resistencia a la oxidación en condiciones ambientales normales y a la corrosión atmosférica, la fácil manipulación y mecanizado, la elevada resistencia mecánica en relación a su peso de algunas aleaciones; la gran conductividad térmica y eléctrica, y también su bella terminación desde el punto de vista decorativo.

Los metales no ferrosos más importantes son 7: cobre, zinc, plomo, estaño, aluminio, níquel y manganeso. Normalmente, los metales no ferrosos son blandos y tienen poca resistencia mecánica; para mejorar sus propiedades se alean con otros metales. Atendiendo a su densidad se clasifican en tres grupos:

- Pesados: son aquellos metales cuya densidad es igual o mayor de 5 kg/dm^3 ; tales como: estaño, cobre, zinc, plomo, cromo, níquel, wolframio y cobalto.
- Ligeros: son los metales cuya densidad está comprendida entre 2 y 5 kg/dm^3 , como el aluminio y el titanio.
- Ultraligeros: su densidad es menor de 2 kg/dm^3 ; como el magnesio y el berilio.

Las aleaciones de productos no ferrosos tienen gran cantidad de aplicaciones: monedas (fabricadas con aleaciones de cobre, níquel y aluminio), filamentos de bombillas (de wolframio), material de soldadura de componentes electrónicos (estaño-plomo), recubrimientos (cromo, níquel, cinc), etcétera.

2. ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

2.1 Características y Propiedades del Aluminio

El aluminio (Al) es un metal blanco o grisáceo que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no férricos, de ahí su elevado uso en la industria y en la vida cotidiana. Rara vez se emplea solo, sino formando parte de aleaciones que mejoran sus propiedades mecánicas.

Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre, ya que está presente en la mayoría de rocas (sobre todo ígneas), vegetación y animales. Nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se extrae de un mineral llamado bauxita. El aluminio cristaliza en una estructura cúbica centrada en las caras.



El aluminio posee una serie de características:

- Tiene muy baja densidad, por tanto es muy ligero ($2,7 \text{ g/cm}^3$).
- Es un material muy maleable y de gran ductilidad.
- Es un metal blando, se corta y se raya con suma facilidad.
- Posee un coeficiente de conductividad térmica muy elevado. Por esta razón no es apto como material de aislamiento térmico.
- Conduce muy bien la electricidad.
- Es prácticamente inalterable frente al ataque de gran cantidad de sustancias químicas.
- El aluminio es anfótero y puede reaccionar con ácidos minerales para formar sales solubles con desprendimiento de hidrógeno.
- El aluminio fundido puede tener reacciones explosivas con agua. El metal fundido no debe entrar en contacto con herramientas ni con contenedores húmedos.
- El aluminio no es tóxico y, por lo tanto, es sumamente adecuado para la preparación y el almacenamiento de alimentos. Sin embargo, la exposición a altos niveles puede causar problemas para la salud.

También posee otras características como un bajo punto de fusión, alto punto de ebullición, baja resistencia mecánica en estado puro, alta resistencia a la corrosión, es impermeable al agua y a los olores, no desprende sabor ni olor, se mezcla con facilidad y es relativamente barato.



Debido a todas estas propiedades, el aluminio es uno de los metales que más se utiliza.

El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción. Este problema se compensa por su bajo coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

[2.2. Proceso de obtención del Aluminio](#)

El aluminio no se encuentra en estado metálico en la naturaleza, sino que se obtiene a partir de un mineral: la bauxita, la cual, está compuesta mayoritariamente de Alúmina (Al_2O_3) y en menor medida de Óxido de Hierro y Sílice.

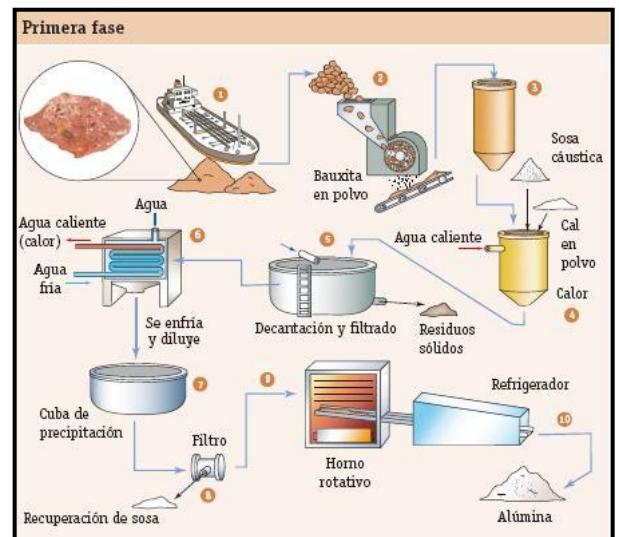
La obtención se realiza en dos fases: la extracción de la alúmina a partir de la bauxita (Proceso Bayer) y la extracción del aluminio a partir de esta última mediante electrolisis (Proceso Hall-Heroult).

Proceso Bayer

El proceso Bayer comienza con el triturado de la bauxita y su lavado con una solución de Hidróxido de sodio a alta presión y temperatura y con suficiente cal y carbonato de sodio. La sosa disuelve los compuestos del aluminio, pero no los otros componentes de la bauxita que contienen hierro, silicio y titanio.

El sólido sin disolver (lodo rojo) se separa de la solución de alúmina por filtración y lavado, y es enviada a la recuperación. Se emplea un decantador y filtros.

La solución de aluminato de sodio filtrada se hidroliza hasta obtener hidróxido de aluminio por enfriamiento.

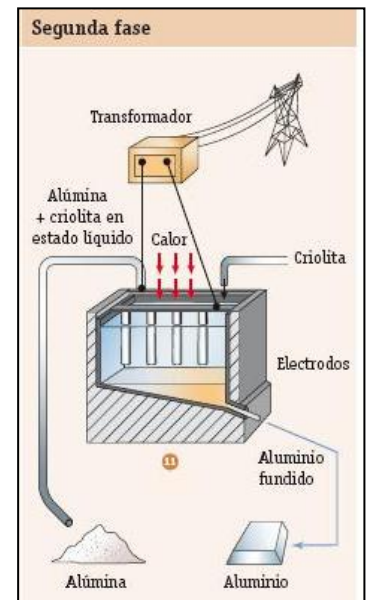


El hidróxido de aluminio se calcina por calentamiento a $980\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un horno rotatorio. La alúmina se enfría y se manda a la planta de reducción. La sosa cáustica diluida y filtrada del hidróxido de aluminio se concentra para volverla a utilizar. El lodo rojo puede volver a emplearse para la recuperación de cantidades adicionales de alúmina.

Proceso Hall-Heroult


La alúmina se disuelve mediante un baño electrolítico de criolita fundida (fluoruro aluminico sódico) en un recipiente de hierro revestido de carbón o grafito conocido como "crisol". Una corriente eléctrica se pasa por el electrolito a un bajo voltaje pero con una corriente muy alta generalmente 150,000 amps. La corriente eléctrica fluye entre el ánodo (positivo) de carbono hecho del coque de petróleo y brea, y un cátodo (negativo) formado por un recubrimiento de carbón grueso o grafito del crisol.

La alúmina se descompone en aluminio y oxígeno molecular. Como el aluminio líquido es más denso que la criolita se deposita en el fondo de la cuba, de forma que queda protegido de la oxidación a altas temperaturas. El oxígeno se deposita sobre los electrodos de carbón, quemándose y produciendo el CO_2 .



2.3 Elementos aleantes del Aluminio

Aluminio y sus aleaciones:

 No se puede mostrar la imagen en este momento.

Las propiedades del aluminio dependen de un conjunto de factores, de estos, el más importante es la existencia de aleantes. Con la excepción del aluminio purísimo (99,99 % de pureza), técnicamente se utilizan sólo materiales de aluminio que contienen otros elementos. Aún en el aluminio purísimo, las impurezas (Fe y Si) determinan, en gran medida, sus propiedades mecánicas.



Los elementos aleantes principales del aluminio son: cobre (Cu), silicio (Si), magnesio (Mg), zinc (Zn) y manganeso (Mn).



En menores cantidades existen, frecuentemente, como impurezas o aditivos: hierro (Fe), cromo (Cr) y titanio (Ti). Para aleaciones especiales se adiciona: níquel (Ni), cobalto (Co), plata (Ag), litio (Li), vanadio (V), circonio (Zr), estaño (Sn), plomo (Pb), cadmio (Cd) y bismuto (Bi).

Propiedades:

- Tiene bajo módulo elástico (70 GPa), y por tanto, su resistencia a la fatiga es baja.
- El aluminio presenta una resistencia a la tracción de entre 70 a 700 MPa dependiendo de la aleación y del proceso de elaboración.
- Cristaliza en la red CCC y no sufre cambios alotrópicos, lo que le confiere una alta plasticidad y deformabilidad.
- Resistencia mecánica:



→ **Endurecimiento por deformación en frío:** Algunos grupos de aleación de aluminio sólo se pueden endurecer por deformación en frío, seguida o no de un recocido parcial o estabilización. Los estados de deformación en frío se indican por:

- H1x → Deformación en frío.
- H2x → Deformación en frío seguida de un recocido parcial.
- H3x → Deformación en frío seguida de una estabilización.

En general, este proceso acelera el curso del endurecimiento, es decir, la resistencia a la tracción y el límite elástico aumentan más rápidamente que cuando el material no se ha deformado.

→ **Formación de solución sólida por aleación:** Consiste en añadirle impurezas a un material. La impureza distorsiona a la estructura cristalina. A las dislocaciones les es más difícil moverse. La resistencia del material aumenta. El grado de endurecimiento depende de la diferencia de tamaño entre soluto y solvente; y la cantidad de soluto (elemento aleante) añadido. Aumenta la resistencia a la fluencia, a la tensión y dureza. Disminuye la ductilidad y la conductividad eléctrica. Mejora la resistencia a la termofluencia.

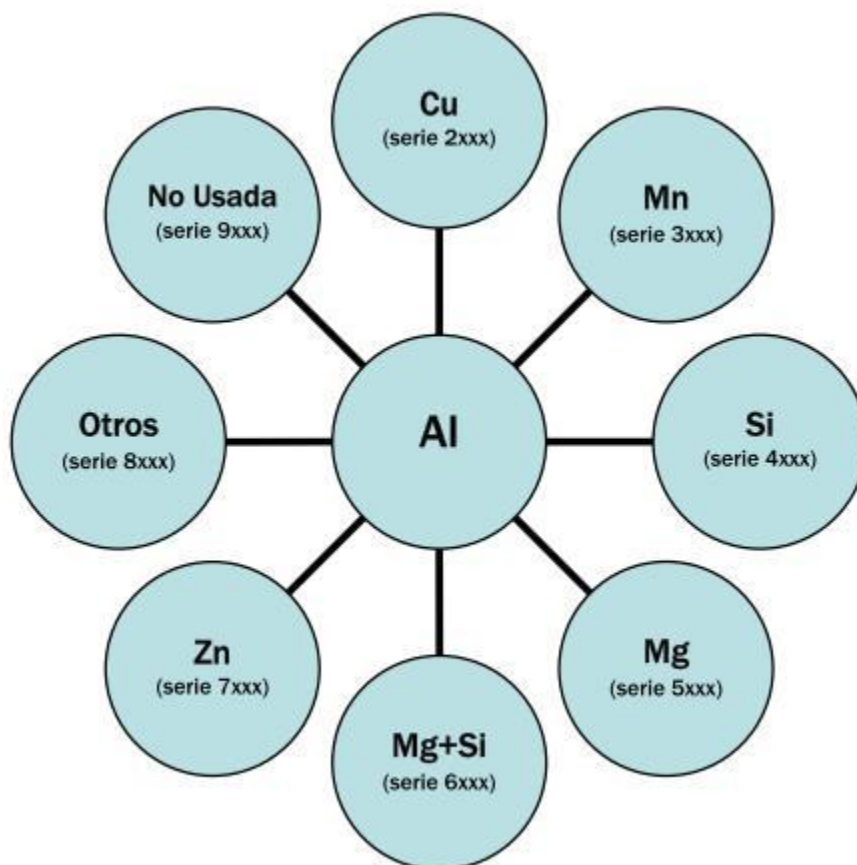
→ **Endurecimiento por precipitación:** En estos materiales, mediante un tratamiento térmico llamado bonificado, se consigue una estructura de precipitado que confiere al material las mejores características de cara a su posterior utilización en elementos estructurales.

El tratamiento de bonificado consta pues de dos etapas:

- Solubilización de los elementos endurecedores, mediante un calentamiento del material durante el tiempo preciso a temperatura adecuada, seguido de un enfriamiento a velocidad suficiente que permita retener en la red del aluminio a los diferentes elementos disueltos en ella.

- Formación de la estructura de precipitado por descomposición de la solución sólida metaestable obtenida mediante la solubilización. Esta descomposición, como se ha dicho, ocurre en ocasiones a temperatura ambiente (maduración natural) y en los casos que no pueda ocurrir, o quiera acelerarse el proceso, es necesario un calentamiento para favorecer la precipitación (maduración artificial).

En este tipo de endurecimiento el material experimenta un incremento en las propiedades mecánicas debido a un frenado en el movimiento de las dislocaciones.



Aleaciones de aluminio

2.4. Aleaciones de aluminio para forja

Aluminio sin alear



Este grupo incluye los aluminios comerciales de diferentes niveles de pureza superiores al 99,0%. Aluminio comercial(99%) y aluminio superpuro (99,99%). Se usan recocidos o en diferentes grados de acritud. El Al-comercial se caracteriza por una buena resistencia a la corrosión, soldabilidad, facilidad de conformación y aptitud para la anodización, y se utiliza en la industria química, alimentaria y criogénica. Se encuentra en el mercado en forma de hilo o de barra para trefilar.

Aplicaciones:

- Alimentación (Envasado, recipientes de cocina, papel de aluminio)
- Edificación (Recubrimientos de fachadas)
- Industria química (Cubas de almacenamiento)
- Electricidad (Cables)

Aleaciones para forja no tratables térmicamente

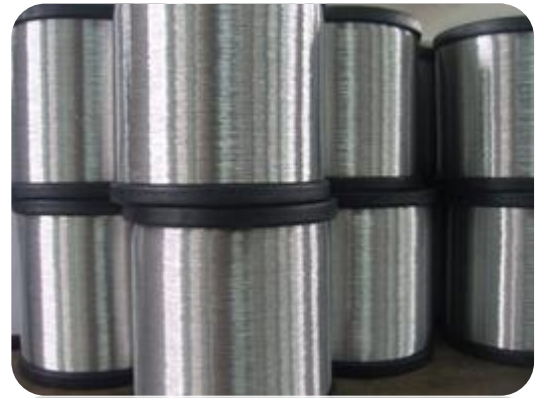
Las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente no pueden ser endurecidas por precipitación y solamente pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia. Se dividen en:

Aleaciones Al-Mn:

La adición de un pequeño porcentaje de Mn al aluminio proporciona aleaciones no bonificables, de mejor resistencia mecánica, muy buena resistencia a la corrosión, excelente soldabilidad y buena conformabilidad. Se presenta en forma de chapas, especialmente aptas para la embutición profunda (útiles de cocina), barras, perfiles, tubos, hilos y se utiliza en sustitución del aluminio comercial cuando se requieren mejores propiedades mecánicas (latas de bebida, depósitos, muebles, tejados, señales de tráfico).

Aleaciones Al-Mg:

Este grupo destaca por ofrecer la máxima resistencia a la corrosión (incluso en ambientes marinos), así como también por su soldabilidad y la aptitud por la anodización. Normalmente no se utiliza la bonificación por el poco incremento de la resistencia que reporta. El contenido de Mg influye positivamente en la resistencia, al mismo tiempo que disminuye rápidamente la ductilidad. Además presenta escasa respuesta al tratamiento térmico siendo inestables a altas temperaturas y se caracterizan por su extraordinaria ligereza, superando al Aluminio puro.

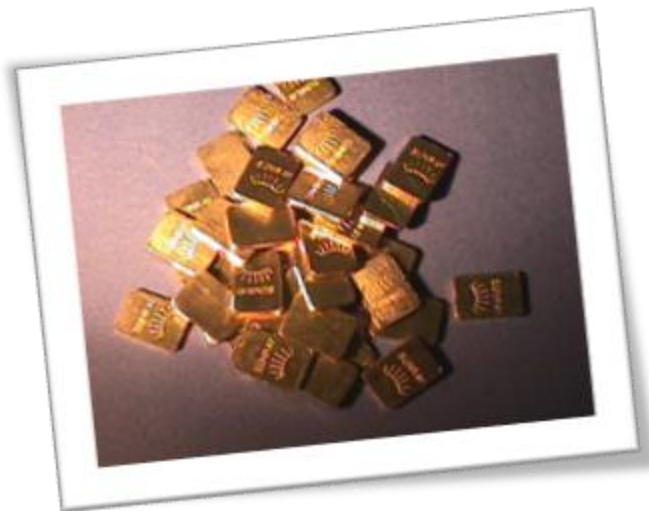


Se utiliza mayoritariamente en aeronáutica (conductos de combustible y aceite en aviones) pero también en ambientes marinos, fabricación de automóviles, vagones de ferrocarril, buques de barcos, y en la industria química.

Aleaciones para forja tratables térmicamente

Al ser tratadas térmicamente, alcanzan valores más elevados de resistencia y dureza, y también son menos resistentes a la corrosión. Las principales aleaciones de este tipo son:

Al-Cu:



Las aleaciones de este grupo se usan en general en estado de bonificación y se caracterizan por su elevada resistencia mecánica, pero también por la baja resistencia a la corrosión, la poca soldabilidad y la baja aptitud para la anodización. Se suministran en forma de barras para mecanizar o tocho para forjar en la prensa, y se utilizan en piezas de alta resistencia.

Se utilizan para fabricar piezas de alta resistencia que requieran una excelente maquinabilidad, para dimensiones pequeñas (tornillería, barras roscadas, bridas) y para piezas de dimensiones mayores.

2014 y 2024 suministrados en barras, a menudo conocidos como **duraluminios**, se utilizan en piezas que requieran elevadas características mecánicas, como los elementos estructurales y fuselajes de aviones, chasis de vehículos pesados o aplicaciones análogas.

Al-Si-Mg:

Este grupo de aleaciones, con porcentajes de Mg y Si, generalmente inferiores a 1% y bonificables, tiene unas propiedades de conformabilidad, soldabilidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y aptitud para la anodización que, sin ser ninguno de ellos extraordinario, constituyen un compromiso muy equilibrado.

La aleación 6063, es el material por excelencia de los perfiles extruidos especialmente para la construcción/carpintería (marcos de puertas, ventanas, cierres metálicos), pero su resistencia mecánica es moderada; también es un buen conductor eléctrico.

Al-Zn-Mg:

Se trata de aleaciones de resistencia media endurecibles por precipitación y fáciles de soldar. Son muy sensibles a la corrosión bajo tensiones.

Se utilizan como elementos estructurales y blindajes en vehículos militares y también en diversos componentes de la industria del transporte (vagones de ferrocarril, por ejemplo). Las variantes de alta resistencia contienen un cierto porcentaje en cobre y se usan como materiales estructurales en aplicaciones aeronáuticas. Sin embargo, la presencia del cobre disminuye notablemente de soldabilidad

Al-Li:

La aleación aluminio-litio tiene un gran interés debido a la combinación de peso ligero y gran resistencia que puede poseer dicha aleación. Por lo que es aplicada en el terreno de la aeronáutica. Además la adición de litio aumenta el límite elástico.

Sin embargo esta aleación también presenta dificultades debido a la reacción con los revestimientos refractarios del horno, a la gran velocidad de oxidación del litio, y a la consiguiente generación de grandes cantidades de escoria.

También debemos mencionar que son más caras sus aleaciones comerciales normales, por lo que se suelen forjar mediante procesos de alta definición y precisión para optimizar el empleo de material inicial y minimizar el mecanizado.

2.5 Aleaciones de Aluminio para moldeo

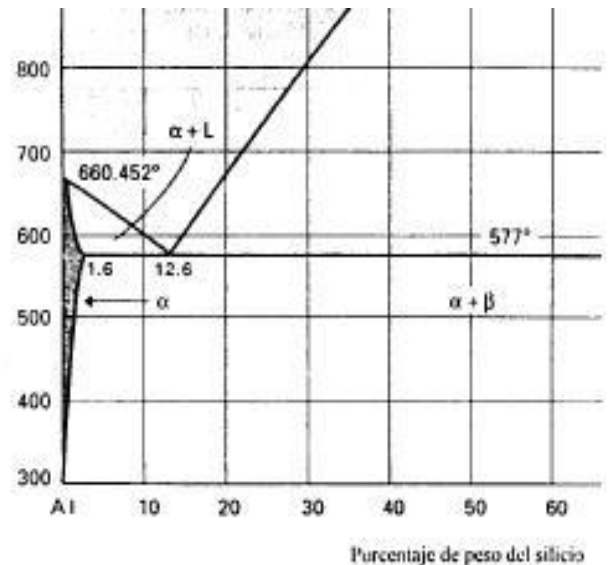
Aluminio-Silicio:

Las aleaciones de aluminio-silicio son de gran aplicación por sus excelentes cualidades para la fundición y su resistencia a la corrosión; no son quebradizas en caliente y es fácil obtener con ellas fundiciones sólidas en secciones gruesas o delgadas. Tienen bajo coeficiente de dilatación y una elevada conductividad calorífica y eléctrica, pero son difíciles de mecanizar por la naturaleza abrasiva del silicio. Tienen baja resistencia mecánica y dureza pero son de alta ductilidad. Su fluidez es muy buena.

El silicio endurece al aluminio y, sobre todo, aumenta su fluidez en la colada y su resistencia a la corrosión.

En el sistema Al-Si hay insolubilidad del Al en el Si y muy poca solubilidad del Si en el Al. Concretamente, a 577°C, el Al y el Si forman una eutéctica para el 12% de Si. Esta aleación eutéctica tiene gran interés industrial.

Las propiedades mecánicas de aleaciones aluminio-silicio pueden mejorarse añadiendo a la cuchara de colada de estas aleaciones cloruro sódico o una mezcla de fluoruro y cloruro sódico. Esta operación incorpora una pequeña cantidad de sodio, inferior al 0,01% a la aleación pero suficiente para variar la concentración eutéctica del 11,6% al 13% y bajar la temperatura eutéctica de 577°C a 570°C. Pero sobre todo



las aleaciones Al-Si modificadas con esta adición resultan con un grano extremadamente fino en lugar de las agujas o láminas en que cristaliza el silicio en las aleaciones sin modificar. Esta mejora en la estructura micrográfica se traduce en una notable mejora de las propiedades mecánicas de aleaciones modificadas, y concretamente, de su ductilidad, resistencia al choque, resistencia mecánica e incluso de

su resistencia a la corrosión.

La principal aplicación de las aleaciones aluminio-silicio son la fundición de piezas difíciles, pero buenas cualidades de moldeo, y la fabricación de piezas para la marina, por su resistencia a la corrosión. Pero no se emplean para piezas ornamentales porque ennegrecen con el tiempo.

Aluminio-Silicio-Cobre:

En este tipo de aleaciones, el porcentaje de elementos suele variar según las propiedades deseadas. El cobre contribuye principalmente al aumento de la resistencia mecánica y la facilidad de mecanizado y pulimento, mientras que el silicio mejora la colabilidad de la



aleación. Sin embargo, el cobre, hace que disminuya la resistencia a la corrosión y la fluidez.

Las aleaciones para moldeo Al-Si-Cu se funden fácilmente, se trabajan bien y tienen múltiples aplicaciones en aquellos casos en que las exigencias en resistencia mecánica y elasticidad sean del tipo medio, por ejemplo, para la

construcción de motores de combustión interna, etc.

Poseen una alta resistencia mecánica, por eso se utiliza en la construcción de motores y máquinas, en piezas difíciles, etc.

Aluminio-Silicio-Magnesio:

Mediante la adición de sólo unas pocas décimas por ciento de Mg, las aleaciones de este tipo se hacen endurecibles y alcanzan valores de resistencia considerablemente mayores. También se mejora la capacidad de mecanizado, debido a la dureza que adquieren.



Este grupo de aleaciones, con bajo porcentaje de Mg y Si, tiene unas propiedades de conformabilidad, soldabilidad, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión que, sin ser ninguno de ellos extraordinario, hace que el material esté muy equilibrado.

Este tipo de aleaciones son muy utilizadas en la industria del automóvil (llantas de aleación ligera).

2.6. Anodizado del Aluminio

Cuando el aluminio entra en contacto con el aire forma por sí solo una delgada película de óxido con un espesor más o menos regular de 0,01 micrones denominada óxido de aluminio o alúmina, la cual, tiene algunas mínimas propiedades protectoras.

El proceso de anodizado consiste en obtener de manera artificial películas de óxido de mucho más espesor y con mejores características de protección que las capas naturales, estas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos.



El **proceso** de anodizado consiste, básicamente, en la inmersión de las piezas de aluminio en una solución ácida que, por lo general, está constituida de ácido sulfúrico. Posteriormente, gracias a la aplicación de corriente, se produce una liberación de oxígeno cuyo espesor depende del tiempo que ha sido expuesto a la corriente, obteniendo un material poroso. Para finalizar el proceso, el aluminio es sumergido en agua caliente a fin de cerrar los poros de su superficie. Como se puede intuir a partir del proceso descrito, la capa de óxido que recubre al aluminio proviene de sí mismo, lo que permite que ésta se encuentre integrada a la pieza.

El **anodizado duro** es una variedad del anodizado, con corriente continua, utilizando como electrolito el ácido sulfúrico a baja temperatura del baño y las adecuadas densidades de corriente permiten obtener una capa de óxido de aluminio que tiene:

- Las características de un acero en desgaste y abrasión.
- La mejor protección contra la oxidación.
- Resistencia eléctrica superior a la de la porcelana.

3. COBRE Y SUS ALEACIONES

3.1 Introducción

El cobre está presente en la corteza terrestre principalmente en forma de minerales sulfurados como la calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4) y calcosina (Cu_2S). El contenido en cobre de estos minerales es bajo, alrededor de un 0.5% en minas a cielo abierto y hasta un 2% en minas subterráneas.

El cobre también se presenta en forma de minerales con oxígeno como carbonatos, óxidos, silicatos y sulfatos, pero en menor concentración. Según sea la mena, el proceso de extracción del cobre será diferente, así tenemos:

- 1 Extracción de cobre a partir de menas sulfuradas (piro metalurgia)
- 2 Extracción de cobre a partir de menas de óxido (hidrometalurgia)

3.2 Extracción de cobre a partir de menas sulfuradas

Alrededor del 90% del cobre que se produce en el mundo proviene de los minerales de sulfuro. La extracción tiene cuatro etapas:

1. Concentración por flotación
2. Tostación
3. Fusión de mata
4. Afino

Concentración por flotación

Las concentraciones de cobre en las menas actuales son demasiado bajas por lo que la fundición directa sería muy costosa. Ésta implicaría que se fundiesen enormes cantidades de material sin valor que conllevarían un gran gasto energético y una gran capacidad de horno. Por estas razones, hoy en día se recurre al aislamiento de los minerales de cobre en forma de un concentrado. El método más efectivo de concentración es la concentración por flotación, que requiere un proceso previo de trituración y molienda.

Los principios en los que se basa el proceso de flotación son los siguientes:

- Los minerales sulfurados normalmente se humedecen por el agua, pero pueden ser acondicionados con reactivos que los volverán repelentes al agua.
- Esta hidrofobicidad puede ser creada en minerales específicos dentro de una pulpa agua – mena.
- Los choques entre las burbujas de aire y los minerales que se han hecho hidrofóbicos conducirán a la unión entre las burbujas y dichos minerales
- Las partículas de mineral no acondicionadas no se unirán a las burbujas de aire .

Con todo esto conseguimos que los minerales de cobre se adhieran a las burbujas de aire con las cuales se van a elevar hasta la superficie de la celda de flotación. El resto de minerales (ganga) se quedan atrás y abandonan la celda a través de un sistema de descarga.

Los reactivos que se utilizan para crear las superficies hidrofóbicas consisten en moléculas heteropolares, es decir, moléculas que tienen un extremo polar cargado y un extremo no polar (hidrocarburo). Estos reactivos tienen normalmente un grupo portador de azufre en su extremo polar, el cual enlaza a los minerales de sulfuro pero ignora las superficies de los óxidos. Los reactivos de sulfuro más conocidos son los xantatos de sodio y potasio, pero también se usan otras moléculas portadoras de azufre como tionocarbonatos, ditiofosfatos y tiocarbanilida.

Tostación

La tostación es una oxidación parcial de los concentrados de sulfuro de cobre con aire y la eliminación parcial del sulfuro en forma de SO_2 . Los objetivos de la tostación son dos:

- Utilizar el calor de la tostación para secar y calentar la carga antes de ser introducida al horno de fundición.
- Aumentar la concentración de cobre en el producto de fundición, es decir, en la mata líquida.

La tostación se lleva a cabo entre 500 y 700°C, dentro de los tostadores tipo hogar o de lecho fluidificados, bajo condiciones bien controladas. El producto de la tostación es una mezcla de sulfuros, sulfatos y óxidos, cuya composición puede variarse mediante el control de la temperatura del proceso de tostación y la relación aire – concentrado.

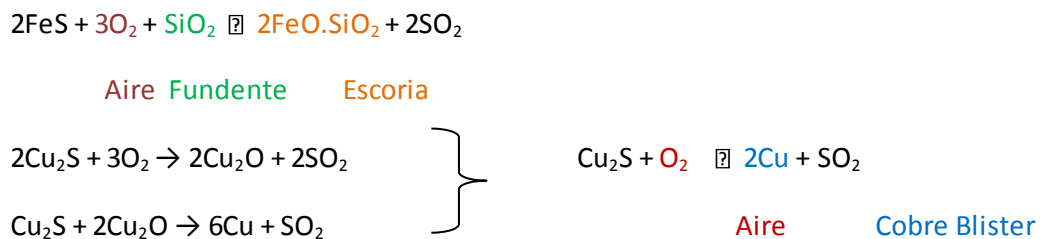
Fusión de mata

El objetivo de la fundición de mata es formar dos fases líquidas inmiscibles: una fase líquida de sulfuro (mata) que contiene todo el cobre de la carga y una fase líquida de escoria sin cobre. La mata tiene un contenido en cobre de entre un 35 a un 65%. La escoria fundida se desecha directamente o después de una etapa de recuperación de cobre. La gran desventaja de este método es la contaminación de la atmósfera con el gas SO_2 .

La fusión de mata se lleva a cabo al fundir la carga total del horno a una temperatura aproximada de 1200°C , normalmente con fundentes de sílice y carbonato de calcio. Hoy en día la fundición se realiza de forma mayoritaria en hornos de reverbero aunque todavía se utilizan altos hornos y hornos eléctricos.

La mata fundida resultante del proceso de fundición contiene cobre, hierro y azufre como componentes principales y hasta un 3% de oxígeno disuelto. Además, contiene cantidades menores de metales como As, Sb, Bi, Pb, Ni y metales preciosos.

Para eliminar el hierro, el azufre y otras impurezas, se pasa la mata por un convertidor cilíndrico Pierce –Smith, revestido con refractario básico. En este convertidor se produce la oxidación de la mata con oxígeno a una temperatura de 1200°C . Al final del proceso se obtiene un cobre metálico líquido no refinado con una pureza de entre un 98.5 a un 99.5%, denominado cobre blíster. Además de éste, también se produce la escoria y grandes volúmenes de gases calientes que contienen entre un 5 a un 15% de SO_2 . Las reacciones que se llevan a cabo son:



Afino

Finalmente, el cobre blíster se refina electroquímicamente para obtener cobre catódico de una gran pureza, superior al 99.99%.

Previamente a la refinación electroquímica es necesario llevar a cabo una refinación térmica, para evitar así la formación de ampollas de SO_2 . Estas ampollas se forman cuando solidifican pequeñas cantidades de azufre y fósforo que todavía contiene el cobre blíster en forma residual. La aparición de ampollas conllevaría a la debilitación de los ánodos y a la aparición de una superficie áspera de espesor irregular.

La refinación térmica se lleva a cabo en hornos de refinación tipo giratorio que se asemejan a los convertidores Pierce – Smith. La temperatura de operación está entre los 1130° y los 1150°C .

Una vez refinado térmicamente se realiza el afinado electrolítico del cobre. Este afinado se puede realizar mediante electro refinación de los ánodos de cobre impuro o mediante separación por electrolisis a partir de soluciones de lixiviación. El primer método es el más utilizado, ocupando alrededor del 95%.

El electro refinación consiste en la disolución electroquímica del cobre de los ánodos impuros y el depósito selectivo de este cobre disuelto en forma pura sobre cátodos de cobre. Esta técnica tiene dos objetivos:

- Eliminar las impurezas que dañan las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre, consiguiendo cobre con una pureza superior al 99.99% con menos de un 0.004% de impurezas metálicas.
- Separar las impurezas valiosas del cobre, que pueden ser recuperadas después como subproductos metálicos.

Extracción de cobre a partir de las menas de óxido: hidrometalurgia

Aunque el cobre se presenta más frecuentemente en la forma de sulfuros, también se presenta en forma oxidada como carbonatos, óxidos, silicatos y sulfatos, particularmente en África. Estos minerales oxidados, cuando están presentes en cantidad suficiente en la mena, puede ser reducidos directamente a cobre impuro en el alto horno, como se hacía en el pasado. Pero en la actualidad las menas que se explotan tienen una concentración muy baja de cobre, por lo que es necesario recurrir a otras técnicas como la lixiviación mediante ácido sulfúrico seguida por la precipitación o por la electrólisis del cobre de la solución.

3.3 Propiedades del Cobre

El cobre es un metal de transición dúctil, maleable, no magnético y de un color café rojizo brillante característico. Tiene la mayor conductividad eléctrica y térmica de todas las sustancias excepto la plata, siendo su conductividad eléctrica del 94% de ésta.

El símbolo del elemento químico Cobre es el Cu, con número atómico 29. Posee una masa atómica de 63,536.

A temperatura ambiente, se encuentra en estado sólido, con un punto de fusión de 1083° y de ebullición de 2580° C.

Su densidad es 8.93 g/cm³

El cobre ocupa el lugar 15 en abundancia en los elementos de la corteza terrestre.

Es un material que no pierde sus propiedades mecánicas al reciclarlo. Unido a la facilidad de recuperación del mismo, hace que una gran parte del cobre consumido a nivel mundial proceda del reciclaje.

Posee una buena resistencia a la mayor parte de los fenómenos de corrosión, debido a su alto potencial electroquímico.

El cobre es atacado por los álcalis y por muchos de los ácidos comunes. Es muy resistente a la corrosión causada por el aire y por el agua salada. Al estar expuesto a la atmósfera, crea una capa superficial de color verdoso, generalmente de carbonato de cobre, protegiéndolo.

Cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras, por lo que es fácil de deformar (tiene más sistemas de deslizamiento) y tiene buena conformabilidad en frío, no tanto en caliente, por el excesivo aumento del tamaño de grano. La elaboración de piezas mediante deformación del material se puede realizar a temperatura ambiente (deformación en frío) o elevando la temperatura del material por encima de la temperatura de recristalización y por debajo de la de fusión (**deformación en caliente**).

Es preferente realizar la deformación del cobre en frío ya que se obtienen unas propiedades mecánicas superiores y un mejor acabado de la pieza, además se ahorra la energía de calentar el material y las herramientas a emplear no tienen que estar preparadas para soportar altas temperaturas

El cobre es un metal muy blando y por ese motivo para aumentar su maquinabilidad se suele alejar débilmente con elementos. Las aleaciones de cobre, mucho más duras que el metal puro, presentan una mayor resistencia y por ello no pueden utilizarse en aplicaciones eléctricas, no obstante, su resistencia a la corrosión es casi tan buena como la del cobre puro y son de fácil

manejo. Las dos aleaciones más importantes son el latón, una aleación con cinc, y el bronce, una aleación con estaño.

A menudo, tanto el cinc como el estaño se funden en una misma aleación, haciendo difícil una diferenciación precisa entre el latón y el bronce. Ambos se emplean en grandes cantidades; también se usa el cobre en aleaciones con oro, plata y níquel, y es un componente importante en aleaciones como el monel, el bronce de cañón y la plata alemana o alpaca.

El cobre no es recomendable allearlo con O, Si, Bi, puesto que aumenta la fragilidad.

Puede vaciarse, estirarse, obtenerse por extrusión, devanarse, conformarse a martillo, punzonarse y soldarse con soldadura autógena, con soldadura con metal de aporte y con soldadura fuerte.

El cobre blando puede volverse más resistente por trabajo en frío pero luego puede ablandarse de nuevo por recocido. No se presta a ningún otro tipo de tratamiento térmico.

Al cobre se le considera un material blando. Posee un grado 3 en la escala de dureza de Mohs. Tiene una resistencia del alambre de cobre estirado de unos 4200 kg/cm^2 , un módulo de Young de 110-128 GPa y un módulo de elasticidad transversal de 63,4 GPa.

Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
99.99Cu	Recocido	220	69	45	Cables conductores, guías de ondas, conductores huecos, alambres de entrada y ánodos para tubos de vacío, sellos de vacío, componentes de transistores, sellados de vidrio a metal, tubos de microondas, rectificadores.
	Trabajado en frío	345	310	6	
99.9Cu, 0.04O	Recocido	220	69	45	Canalones, techados, juntas, radiadores de coche, barra de distribución, clavos, rollos de imprimir, remaches, componentes de radio.
	Trabajado en frío	345	310	6	
70Cu, 30Zn	Recocido	325	105	62	Núcleos y depósitos de radiadores, armazones de linternas, accesorios de lámparas, cerrojos, cerraduras, bisagras, componentes de munición, accesorios de fontanería, alfileres, remaches.
	Trabajado en frío	525	435	8	
60Cu, 40Zn	Recocido	370	145	45	Tuercas y pernos grandes para arquitectura, barras de soldadura, revestimientos de condensadores, intercambiadores de calor, pieceño diverso.
	Trabajado en frío	485	345	10	
99.5Cu, 1.7Be, 0.20Co	Solubilizado	410	190	60	Fuelles, diafragmas, sujeta fusibles, pernos, arandelas de seguridad, muelles, bobinas, válvulas, equipamiento de soldadura.
	Envejecido	1240	1070	4	
95Cu, 7Al, 2Fe	Recocido	550	275	40	Tuercas, pernos, partes de vigas y largueros, vasijas y cubetas, componentes estructurales, partes de máquinas, tubos condensadores y sistemas de tuberías huecas, amarres y forros protectores marinos.
	Trabajado en frío	615	415	32	
70Cu, 30Ni	Recocido	380	125	36	Relés de comunicaciones, condensadores, muelles eléctricos, evaporadores y tubos intercambiadores de calor, bornes, resistores.
	Trabajado en frío	580	525	3	

Como el cobre es uno de los mejores conductores eléctricos, tiene una aplicación muy importante en el campo eléctrico, desde alambres muy finos hasta barras de conducción instaladas en centrales hidroeléctricas. A causa de su elevada conductividad térmica (401 W/m.K), también tiene amplia aplicación en los campos de la fontanería, calefacción y aire acondicionado.

3.4 Latones

El latón, es una aleación de cobre y zinc en las que el cinc es el soluto por sustitución predominante.

Las proporciones de cobre y zinc pueden variar para crear una variedad de latones con propiedades diversas.

Su composición influye en las características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, forja, troquelado y maquinado.

En los latones industriales el porcentaje de Zn se mantiene siempre inferior al 50%.

Se utiliza para decoración debido a que su brillo le da un aspecto similar al del oro, para aplicaciones en que se requiere baja fricción, como cerraduras, válvulas, etc. Para fontanería y aplicaciones eléctricas, y extensamente en instrumentos musicales como trompetas y campanas.

En función de su porcentaje de Zn, se reconocen tres grupos principales de latones

Latones α , con porcentaje de Zn inferior a 40%.

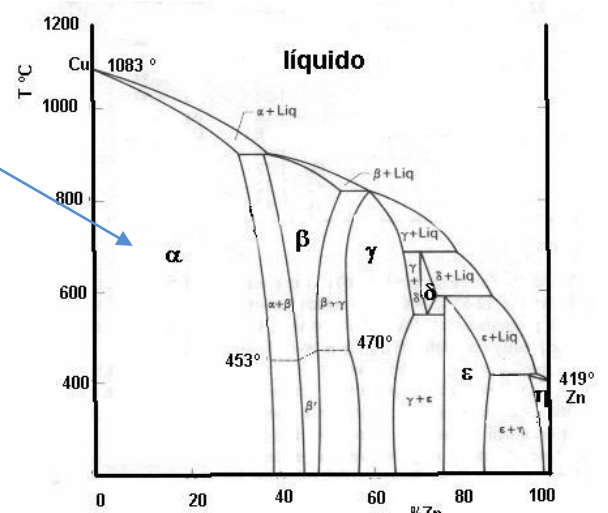
Los latones α , se caracterizan por poseer una estructura cristalina cubica centrada en las caras, por lo que es fácil deformable y son específicos para trabajar en frío.

Las propiedades varían según el contenido de Zinc.

Tienen una alta plasticidad a temperatura ambiente y se utilizan en prensado o forja, o aplicaciones similares.

Se fabrican bisutería, monedas, objetos de decoración, piezas obtenidas por emulsión profunda.

El recocido se realiza a temperatura de 425-750 °C



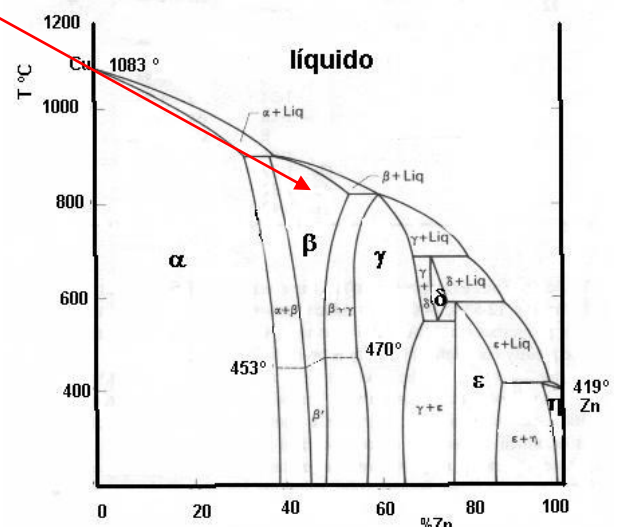
Latones β , con porcentaje de Zn 47-55 %

Se caracterizan por formar a baja temperatura una fase ordenada, dura y frágil.

Debido a su fragilidad sus aplicaciones están limitadas.

Puede utilizarse como metal de aportación en el proceso de soldadura puesto que su temperatura de fusión es baja y por tanto adecuado para el fin de estos.

Se consideran latones especiales aquellos que además del Zinc contienen Aluminio, Hierro y Manganeso. Estos se caracterizan por poseer una elevada dureza y resistencia, pero por el contrario son muy sensibles a la corrosión bajo tensiones en contacto con el agua del mar y soluciones cloradas.



Latones $\alpha+\beta$, con porcentaje $37,5 < \%Zn < 46$

Estos latones se caracterizan por ser menos dúctiles a temperatura que los latones α debido a la fragilidad que aporta la fase β .

De esto es debido que pueden deformarse en caliente mucho mejor que los latones α .

Este proceso puede aumentar en tanto en cuanto aumenta el porcentaje de Zn.

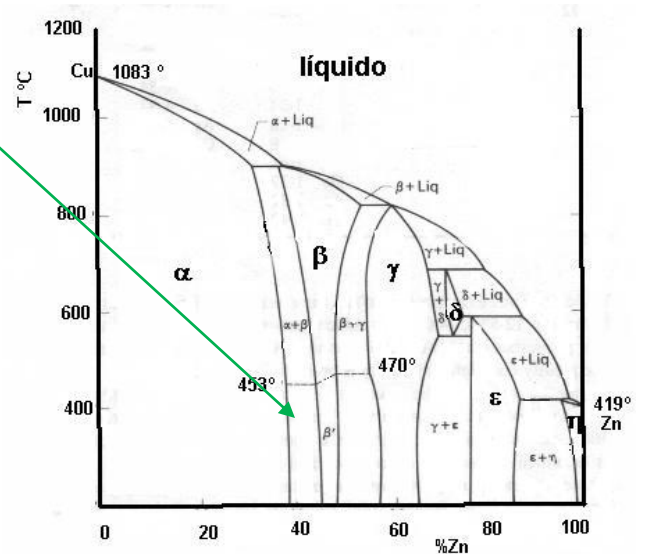
Su aplicación se destina a la realización de materiales trabajados en caliente, como puede ser el laminado, la extrusión, la forja, moldeo...

Los latones $\alpha+\beta$ aleados más importantes son tres: Sn, Pb y Ni.

El Sn mejora la resistencia a la corrosión y muy ligeramente la resistencia mecánica.

El Pb facilita el mecanizado y baja el punto de fusión. Es recomendable para la realización de tornillería.

El Ni contenido en alpaca y se utiliza para fines de decoración.



3.5 Bronces:

Bronce es toda aleación metálica de cobre y estaño en la que el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción del 3 al 20 por ciento.

El bronce fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre y da su nombre al período prehistórico conocido como Edad del bronce. Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas y utensilios, y orfebres de todas las épocas lo han utilizado en joyería, medallas y escultura. Las monedas acuñadas con aleaciones de bronce tuvieron un protagonismo relevante en el comercio y la economía mundial.

Cabe destacar entre sus aplicaciones actuales su uso en partes mecánicas resistentes al roce y a la corrosión, en instrumentos musicales de buena calidad como campanas, gongs, platillos de acompañamiento, saxofones, y en la fabricación de cuerdas de pianos, arpas y guitarras.

Propiedades del bronce

Exceptuando al acero, las aleaciones de bronce son superiores a las de hierro en casi todas las aplicaciones.

Por su elevado calor específico, el mayor de todos los sólidos, se emplea en aplicaciones de transferencia del calor. Comparación entre bronce y aceros. Aunque desarrollan pátina no se oxidan bajo la superficie, son más frágiles y tienen menor punto de fusión. Son aproximadamente un 10% más pesadas que el acero, a excepción de las compuestas por aluminio o sílice. También son menos rígidas, por lo tanto en aplicaciones elásticas como resortes acumulan menos energía que las piezas similares de acero. Resisten la corrosión, incluso la de origen marino, el umbral de fatiga metálica es menor, y son mejores conductores del calor y la electricidad. Otra característica diferencial de las aleaciones de bronce respecto al acero, es la ausencia de chispas cuando se le golpea contra superficies duras. Esta propiedad ha sido aprovechada para fabricar martillos, mazas, llaves ajustables y otras herramientas para uso en atmósferas explosivas o en presencia de gases inflamables.

Comparación entre bronce y aceros

Aunque desarrollan pátina no se oxidan bajo la superficie, son más frágiles y tienen menor punto de fusión. Son aproximadamente 10 % más pesadas que el acero, a excepción de las compuestas por aluminio o sílice. También son menos rígidas, por lo tanto en aplicaciones elásticas como resortes acumulan menos energía que las piezas similares de acero. Resisten la corrosión, incluso la de origen marino, el umbral de fatiga metálica es menor, y son mejores conductores del calor y la electricidad.[cita requerida]

Otra característica diferencial de las aleaciones de bronce respecto al acero, es la ausencia de chispas cuando se le golpea contra superficies duras. Esta propiedad ha sido aprovechada para fabricar martillos, mazas, llaves ajustables y otras herramientas para uso en atmósferas explosivas o en presencia de gases inflamables

Versatilidad

El cobre y sus aleaciones tienen una amplia variedad de usos como resultado de la versatilidad de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Téngase en cuenta, por ejemplo, la conductividad eléctrica del cobre puro, la excelente maleabilidad de los cartuchos de munición fabricados en latón, la baja fricción de aleaciones cobre-plomo, la sonoridad del bronce para campanas y la resistencia a la corrosión de la mayoría de sus aleaciones.

3.6 Aleaciones de bronce:

Tipos básicos

La aleación básica de bronce contiene aproximadamente el 88 % de cobre y el 12 % de estaño.⁵ El bronce "alfa"⁶ es la mezcla sólida de estaño en cobre. La aleación alfa de bronce con 4 a 5 % de estaño se utiliza para acuñar monedas y para fabricar resortes, turbinas, y herramientas de corte.

En muchos países se denomina incorrectamente "bronce comercial" al latón, que contiene el 90 % de cobre y el 10 % de zinc, pero no estaño. Es más duro que el cobre, y tiene una ductilidad similar. Se lo utiliza en tornillos y alambres.⁷

Bronce arsenical

La aleación de cobre con arsénico es el primer bronce utilizado por el hombre.⁸ Es una aleación blanquecina, muy dura y frágil. Se fabrica en una proporción del 70 % de cobre y el 30 % de arsénico, aunque es posible fundir bronce con porcentajes de arsénico de hasta 47,5 %. En estos casos, el resultado es un material gris brillante, fusible al rojo y no alterado por el agua hirviente.

La simple exposición al aire del bronce arsenical produce una pátina oscura. Esta circunstancia, y la alta toxicidad del arsénico la convirtieron en una aleación muy poco utilizada, especialmente a partir del descubrimiento de la alpaca, plata alemana o bronce blanco, conocida desde tiempos antiguos en China y fabricada en Alemania desde fines del siglo XVIII.⁷

Bronce sol

El denominado bronce sol (en alemán; Sonnenbronze) es una aleación utilizada en joyería, tenaz, dúctil y muy dura, que funde a temperaturas próximas a las del cobre (1.357 °C) y está constituida hasta por el 60 % de cobalto.

Una vez visto algunas aleaciones básicas del bronce vamos a exponer las aplicaciones de este en la actualidad.

3.7 Aplicaciones del bronce

Introducción

La utilización de las aleaciones de cobre y estaño en la fabricación de armas, piezas decorativas y utensilios de toda índole data de tiempos prehistóricos y determina el inicio de la denominada edad del bronce, que sucedió al período neolítico.

Se conoce como bronce a todo el conjunto de aleaciones cuyo principal componente es el cobre y en las que se incorporan otros metales, tales como el estaño, el plomo o el aluminio. La principal característica de los diferentes tipos de bronce es la variabilidad de las distintas propiedades -dureza, plasticidad, resistencia a la tracción y a la corrosión, etc.- que se registra en función de los porcentajes que contengan de cada componente. Así, el bronce de cobre con un 10% de estaño es muy resistente a los agentes corrosivos. Al añadir aluminio a la combinación disminuye esta propiedad, pero se incrementa notablemente la resistencia mecánica.

Aplicaciones y tipos

Modernamente, el bronce se utiliza para fabricar muelles de elevada resistencia mecánica, casquillos y tapones, tubos flexibles, manguitos, cojinetes, varillas para soldaduras y otras numerosas aplicaciones en metalurgia.

La adición de fósforo al bronce que contenga entre el 1,5% y el 10% de estaño da origen al bronce fosforoso, que aumenta la fluidez del metal fundido y, por tanto, facilita las tareas de colado en su elaboración.

El fósforo, además, forma un compuesto que aumenta la resistencia al desgaste y la dureza, con aplicación para fabricar engranajes y cojinetes.



El plomo se añade al bronce líquido y forma una mezcla en la que queda distribuido en pequeñas partículas, dando origen al bronce al plomo. En este caso, el metal pesado actúa como autolubricante en piezas sometidas a desgaste por deslizamiento. Dentro de los bronce que no contienen estaño, las aleaciones que tienen aluminio en lugar de estaño se denominan bronce al aluminio. Pueden contener otros elementos, como silicio, hierro y níquel, que aumentan la resistencia mecánica de la aleación. Se emplean en la manufactura de herramientas de mano que no desprenden chispas, tales como las utilizadas en refinerías. Se utilizan asimismo en la fabricación de motores de aviones, asientos y guías de válvulas, bujías de automóviles y manguitos



El bronce al manganeso, compuesto aproximadamente por un 60% de cobre, un 40% de zinc y un 3,5% de manganeso, se aplica en la fabricación de hélices de barcos. Por último, el bronce al silicio tiene hasta un 4% de este elemento, que mejora su resistencia mecánica y a la corrosión, al tiempo que facilita la soldadura; se emplea en la elaboración de accesorios eléctricos, ejes, rodets de turbinas, cadenas y, en general, en todos los procesos industriales que se desarrollan en ambientes corrosivos.

3.7 Usos artísticos

El bronce se ha utilizado en la realización de objetos artísticos desde la más remota antigüedad. De hecho, su resistencia dio lugar a que gran parte de los testimonios que de la cultura clásica han perdurado estén constituidos por este material. Prueba de ello son las estatuas del "Poseidón de Beocio" o las de los "Caballos griegos" de la basílica de San Marcos de Venecia, magníficos exponentes de la escultura griega en bronce, o la "Loba capitolina", muestra de la técnica escultórica de los etruscos, más tarde heredada por los romanos. La utilización del bronce como material básico para esculturas, de la que también se tienen testimonios de las antiguas culturas china y japonesa, alcanzó sublimes expresiones durante el Renacimiento. Entre las obras destacables pueden citarse las puertas del baptisterio de Florencia, realizadas por Lorenzo Ghiberti, el "David" de Donatello o el "Perseo" de Benvenuto Cellini. La importancia artística del bronce se ha mantenido a lo largo de los siglos hasta alcanzar la época moderna, en la que se convirtió en el medio de expresión escultórica de artistas como el francés Auguste Rodin y, posteriormente, el estadounidense Alexander Calder y el italiano Umberto Boccioni.



4. TITANIO Y SUS ALEACIONES

4.1 Introducción

El **titanio** es un elemento químico de número atómico 22 situado en el grupo 4 de la tabla periódica de los elementos y cuyo símbolo químico es **Ti**.

Es el cuarto material metálico tras Fe, Al y Mg, más abundante en la corteza terrestre; se encuentra, en forma de óxido, en la escoria de ciertos minerales de hierro y en cenizas de animales y plantas; si bien, su obtención resulta costosa, razón por la cual su uso continúa siendo limitado.

El Ti presenta una elevada facilidad para formar soluciones sólidas por inserción con otros elementos, lo que obliga a realizar cualquier calentamiento en atmósfera inerte o de vacío.

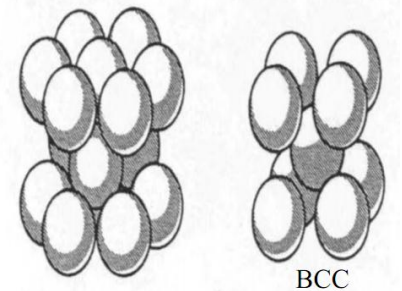
La energía consumida en su proceso de fusión es aproximadamente un 70% superior a la del Aluminio, y consiguientemente, su precio es elevado.

El metal es de color gris oscuro, de gran dureza, resistente a la corrosión y de propiedades físicas parecidas a las del acero.

Es un elemento metálico que presenta una estructura hexagonal compacta, es duro, refractario y buen conductor de la electricidad y el calor.

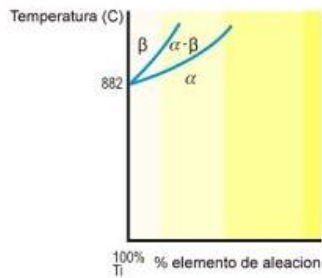
Es el único metal ligero que presenta polimorfismo, ya que en estado puro su estructura hexagonal compacta (fase α) presenta una transformación alotrópica a 882°C, pasando a una microestructura cúbica centrada en el cuerpo (fase β). En equilibrio, la estructura β es inestable a temperaturas menores a 882°C, descomponiéndose de nuevo a fase α , al enfriar el titanio por debajo de la temperatura de transición. Esta transformación ofrece la posibilidad de obtener aleaciones con microestructura de tipo α , β o α/β dependiendo de los elementos aleantes que estabilizan una u otra fase. En la tabla siguiente se muestra la influencia de los diferentes elementos de aleación en las propiedades del material mientras que en la figura se puede ver el efecto de estos elementos de aleación sobre el diagrama de equilibrio del titanio.

Hexagonal compacta

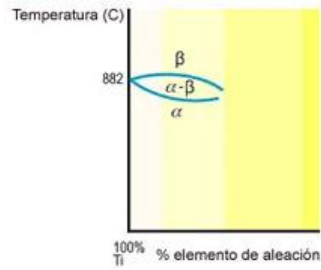


Elementos α - estabilizadores	Elementos neutros	Elementos β - estabilizadores	
		B-isomorfos	B-eutectoides
Al, Ga, O, C	Zr, Sn, Si	Mo, W, V, Ta, Nb	Cu, Mn, Cr, Fe, Co, Ni, H
Tipo de aleación			
A	$\alpha + \beta$ Casi α	Casi β	B
Mejor: Densidad Respuesta al tratamiento térmico Resistencia a la tracción Conformabilidad		Mejor: Comportamiento a la fluencia Resistencia a la corrosión Soldabilidad	

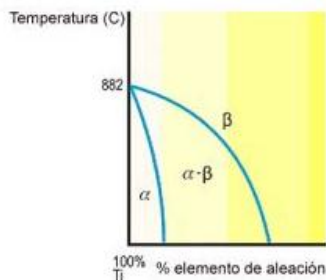
Ti con un metal α – estabilizante



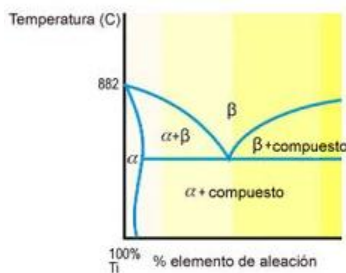
Ti con un metal neutro



Ti con un metal β – estabilizante



Ti con un metal β – estabilizante eutéctico



Aproximadamente el 95% del titanio se consume como dióxido de titanio (TiO_2), conocido como titanio blanco. Es un pigmento blanco y brillante que se utiliza en pinturas, lacas, plásticos, papel, etc. Debido a su resistencia y baja densidad y a que puede aguantar temperaturas relativamente altas, las aleaciones de titanio se emplean en la industria aeronáutica para fabricar componentes del tren de aterrizaje, las puertas anti-incendios, los álabes del compresor y los revestimientos de los motores a reacción entre otras aplicaciones. También se puede encontrar en distintos productos de consumo, como palos de golf, raquetas de tenis, bicicletas, etc. Debido a su gran resistencia a la corrosión, se puede emplear en plantas desalinizadoras y en partes de barcos que están en contacto directo con el agua de mar como pueden ser las hélices. Además, el titanio y sus aleaciones presentan una excelente biocompatibilidad.

4.2 Propiedades físicas

- **Densidad:** 4,54 g/cm³
- **Alta temperatura de fusión:** 1667°C
- **Buena resistencia a la corrosión:** hasta temperaturas cercanas a los 525°C.
- **Coefficiente de dilatación bajo**, razón por la cual:
 - a) no presenta los problemas de fragilidad de contracción de las aleaciones de Al y Mg
 - b) disminuyen los riesgos de agrietamiento tras el temple, dado que las tensiones producidas son inferiores a las que se presentan en los aceros.
- **Baja conductividad térmica**, lo que da lugar a que la disipación de calor sea difícil. Pueden originarse problemas de calentamientos locales que disminuyen la templabilidad.
- **Alta reactividad con el oxígeno**, consiguiendo una capa superficial de óxido impermeable que le protege frente a ambientes corrosivos.
- **Su resistencia a la corrosión aumenta con la pureza.** Presenta una alta resistencia a la corrosión (casi tan resistente como el platino) y cuando está puro, se tiene un metal ligero, fuerte, brillante y blanco metálico de una relativa baja densidad. Posee muy buenas propiedades mecánicas y además tiene la ventaja, frente a otros metales de propiedades mecánicas similares, de que es relativamente ligero. La resistencia a la corrosión que presenta es debida al fenómeno de pasivación que sufre (se forma un óxido que lo recubre).
- **La resistencia a la corrosión al aire puede considerarse buena hasta los 600°C**, si bien desde los 400-500°C el oxígeno empieza a disolverse intersticialmente. En ambientes reductores y fuertemente oxidantes, la **resistencia a la corrosión** no es tan buena.
- Susceptible de experimentar **corrosión por picaduras** si hay discontinuidades en la capa superficial protectora y también por contaminación superficial de hierro.
- **Biomaterial:**
 - _ Resistente frente a la corrosión
 - _ No tóxico
 - _ Biológicamente compatible con huesos y tejidos, sin inducir la formación de tejido fibroso que impida el crecimiento del hueso alrededor del metal.



•Es un **metal alotrópico**:

- Fase α , de estructura HC a temperatura ambiente
- Fase β , de estructura CC a 883°C

Razón por la cual:

- A temperatura ambiente es poco deformable
- puede tratarse térmicamente, con transformación total, dando lugar a aleaciones tipo α , tipo $\alpha + \beta$ o tipo β a temperatura ambiente.

•Su **resistencia mecánica** es equiparable a la de los aceros y 2-3 veces superior a la del aluminio.

$$R = 240 \text{ MPa y } Le = 170 \text{ MPa para Ti puro.}$$

Puede mejorarse mediante:

- formación de solución sólida
- tratamientos térmicos con transformación total o parcial de la estructura
- endurecimiento por precipitación



PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad	4510fg/m ³
Punto de fusión	1668°C
Módulo elástico	100-120GPa
Coefficiente de Poisson	0.33
Resistencia mecánica	234MPa
Límite elástico	138Mpa
Elongación	54%
Coefficiente de expansión térmica	8-10 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas del titanio dependen de su pureza. El titanio puro es muy dúctil y su resistencia a la tracción es relativamente baja. Se puede elevar su resistencia, a expensas de disminuir su plasticidad, disolviendo otros elementos en la red del titanio. El oxígeno y el nitrógeno, cuando están disueltos en el titanio, proporcionan una mayor resistencia, lo que no ocurre cuando se hallan en forma de óxidos. El orden de magnitud de la solubilidad intersticial de estos elementos en el titanio es mayor que en otros metales, lo que hace que la influencia de estos elementos en las propiedades mecánicas sea notable. Por esto se definen varios grados de titanio comercialmente puro en función del contenido de estos elementos (oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y carbono) que controlan su resistencia y fragilidad, y el hierro, que controla su resistencia a la corrosión.

4.3 Aleaciones del titanio

Los elementos de aleación del Ti producen los siguientes efectos:

- en solución sólida, aumentan su resistencia unos 60 MPa por cada 1%Al
- mejoran la posibilidad de realizar tratamientos térmicos
- empeoran la resistencia a la corrosión

Pueden formar solución sólida con grandes cantidades de soluto (aleantes tipo A), que estabilizan la fase α , ya que aumentan la temperatura de transformación $\alpha \rightarrow \beta$. Entre ellos destacan: N, O, Al ...

Pueden formar compuestos de solubilidad muy limitada (aleantes tipo B), denominados "titanuros" y que estabilizan la fase β . Entre ellos destacan: V, Mo, Cr, Fe, Ni, Cu...

Transformaciones de fase de las aleaciones de Titanio

La existencia de la transformación $\alpha \rightarrow \beta$ en el enfriamiento hace posible la obtención de distintas estructuras, dependiendo de la composición química y de la velocidad de enfriamiento.

Las más adecuadas son las aleaciones tipo $\alpha + \beta$.

Mediante temple pueden obtenerse estructuras martensíticas, aunque el endurecimiento conseguido es inferior a las del acero, dado que los átomos de soluto presentes en el Ti son sustitucionales, en lugar de intersticiales como ocurre con el C del acero, por lo que la distorsión producida es inferior.

4.4 Clasificación de las aleaciones

Las aleaciones de Ti se clasifican según su microestructura: α , $\alpha + \beta$, β .

El comportamiento mecánico de la aleación depende del comportamiento de las distintas fases:

- $\alpha \rightarrow$ poco plástica
tendencia a "textura", incluso sin deformación \rightarrow anisotropía
buen comportamiento frente a la fluencia
buen comportamiento frente a la corrosión
- $\beta \rightarrow$ buena resistencia en frío
buena conformabilidad
comportamiento mejorable mediante tratamientos térmicos

Aleaciones de Tipo α .

- Típica: Ti-5Al-2,5Sn
- Endurecimiento por solución sólida.
- Buen comportamiento frente a la fluencia y a la oxidación 300-600°C.
- Soldabilidad aceptable.
- Pueden ser templadas pero su dureza no mejora apenas.

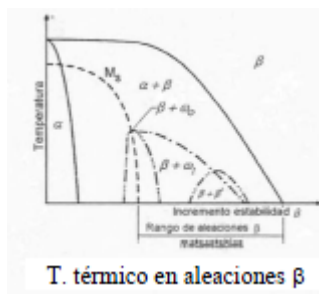
Para mejorar la forjabilidad y la resistencia a la fluencia se utilizan aleaciones **súper α** .

- Estabilizadores de la fase α y también de fase β (aprox. 2%).
- Mejoran la resistencia en frío
- Pueden aumentar su dureza por tratamiento térmico.



Aleaciones de Tipo β .

- Típica: Ti-13V-11Cr-3Al
- Estructura CC a temperatura ambiente \rightarrow conformación en frío
- Endurecimiento mayor por permitir mayor cantidad de aleantes.
- Una excesiva cantidad de aleantes puede producir segregación, además de aumentar la densidad de la aleación y encarecer el precio.
- Sueldan mal y tienden a fragilizarse en caliente.
- Muy buena Forjabilidad
- Los estabilizadores de β deben tener más de un 8% de composición en peso
- Son totalmente estables si tenemos un Molibdeno equivalente del 30% o superior



Aleaciones de Ti $\alpha + \beta$.

- Típica: Ti-6Al-4V \rightarrow en estado de forja, presenta muy buena ductilidad, tenacidad a la fractura y resistencia a la fatiga.
- Mejoran los problemas de las aleaciones α (resistencia en frío y fragilidad)
- Comportamiento superplástico a bajas velocidades de deformación a temperaturas $\approx 800^\circ\text{C}$.

4.5 Procesos tecnológicos

Fundición

La fundición de piezas de titanio se realiza cuando se trata de piezas de diseño complejo que hace difícil el forjado o mecanizado de las mismas. Hay muchas aplicaciones donde se utilizan piezas fundidas desde piezas muy voluminosas hasta piezas muy pequeñas de aplicaciones biomédicas.

Hay dos métodos principales para la fundición de piezas:

- Fundición por moldeo de grafito apisonado, recomendado para la fundición de piezas de gran tamaño por ser el procedimiento más económico porque no hay necesidad de fabricar moldes especiales.
- Fundición a la cera perdida, es el método más apropiado para fundir piezas pequeñas y de gran precisión con acabados de alta calidad.

En el desarrollo de las diferentes prótesis óseas y dentales se recurre a la fundición de los componentes en hornos muy sofisticados para obtener una gran precisión y calidad de las piezas fundidas, a partir de los moldes adecuados. Debido a la afinidad del titanio líquido por el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, así como la reactividad con los crisoles y moldes metálicos, se requiere que la fusión sea al vacío y en crisoles de grafito.

Las propiedades mecánicas de las piezas de fundición son muy similares a las de las piezas forjadas y del titanio en general. Se funden piezas de hasta 600 kg, tanto de titanio comercial puro como de las diferentes aleaciones.

La verificación de piezas fundidas se realiza mediante líquidos penetrantes, rayos X o ultrasonidos.

Mecanizado

El mecanizado de piezas de titanio en máquinas herramientas normales se realiza en condiciones parecidas a las que se utiliza para mecanizar acero o aleaciones de aluminio, y las condiciones tecnológicas del mecanizado dependerán de la dureza que tenga la aleación de titanio que se mecanice. El titanio es más elástico que el acero por lo que las piezas mal sujetas pueden tender a doblarse ante las herramientas de corte. Hay que refrigerar el mecanizado con un refrigerante adecuado teniendo en cuenta que el titanio es mal conductor térmico y por tanto difícil de refrigerar, pudiendo deteriorar el filo de corte de las herramientas a consecuencia de las altas temperaturas en la zona de corte.

Moldeo

Debido a la afinidad del titanio líquido por el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, así como la reactividad con los crisoles y moldes, se requiere fusión en vacío y crisoles de grafito

Pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia o metalurgia de polvos es un proceso de fabricación que, partiendo de polvos finos y tras su compactación para darles una forma determinada (compactado), se calientan en atmósfera controlada (sinterizado) para la obtención de la pieza.

La pulvimetalurgia del titanio se utiliza para la fabricación de piezas complejas de espesores muy pequeños, por ejemplo menores de 1 mm, donde se exijan acabados superficiales muy finos.

Forja

Para la conformación de piezas de titanio por forjado se pueden utilizar las técnicas y herramientas convencionales que se utilizan para el forjado de piezas de acero. El forjado en caliente exige controlar rigurosamente la temperatura con la que se trabaja, para obtener un control exacto de la estructura de la pieza y de sus propiedades.

Se pueden forjar piezas de cualquier aleación de titanio con estructura de grado único y con una resistencia y dureza direccionales o localizadas. Las modernas máquinas herramientas de mecanizado por Control Numérico está eliminando muchas veces el forjado de piezas cuando se trata de series reducidas porque es más económico realizar un mecanizado de desbaste general de la pieza y un posterior acabado fino que un proceso de forja

La posibilidad de la deformación en caliente si se hace a temperatura superior a la transformación alotrópica que es equivalente a la de los aceros inoxidable, puede presentar en algunos casos superelasticidad.

Ejemplo de piezas forjadas pueden ser las siguientes:

- Bielas de motores de automóviles de competición
- Prótesis e implantes médicos
- Cabezas de palos de golf
- Turbinas de turbo-compresores
- Accesorios para tuberías
- para cabeceros de cama o elementos decorativos como figuras de adorno

SOLDADURA

A la hora de afrontar la soldadura de piezas de titanio hay que tener en cuenta que si se supera la temperatura de fusión, puede sufrir una decoloración porque reacciona fácilmente en contacto con los gases atmosféricos. Esta decoloración puede suponer pérdida de ductilidad y de resistencia mecánica. Por lo tanto es muy importante que en la soldadura se proteja la zona de soldadura con gases inertes.

También perjudican la soldadura los contaminantes de las superficies a soldar, tales como óxido, polvo, limaduras y virutas, por lo que deben eliminarse por baño de decapación, mecanizado pulido o chorro de arena.

La soldadura debe limpiarse con paño de acetona o cepillo de acero inoxidable o titanio. El titanio de grado 2 y 5 poseen una buena soldabilidad aunque pierden un poco de valor de sus propiedades mecánicas con respecto al metal base.

El equipo de soldadura con arco de gas inerte para titanio (TIG, MIG) es similar a los equipos utilizados para soldar acero, aunque se requiere una mejor protección del gas inerte. En caso de piezas críticas donde la protección gaseosa sea difícil puede ser necesario realizar la soldadura en una cámara de soldadura.

Para la verificación de piezas soldadas se puede recurrir a los métodos tradicionales de rayos X, ultrasonidos o líquidos penetrantes.

Los procesos de soldadura que admite el titanio son:

- Fricción.
- Soldadura con rayo de electrones.
- Soldadura por rayo láser.
- Soldadura por plasma.
- Soldadura por puntos
- Soldadura por arco con electrodo consumible o no.
- Procesos por fusión, control con atmósfera inerte o en vacío. No fundentes.

4.6 Tratamientos Térmicos

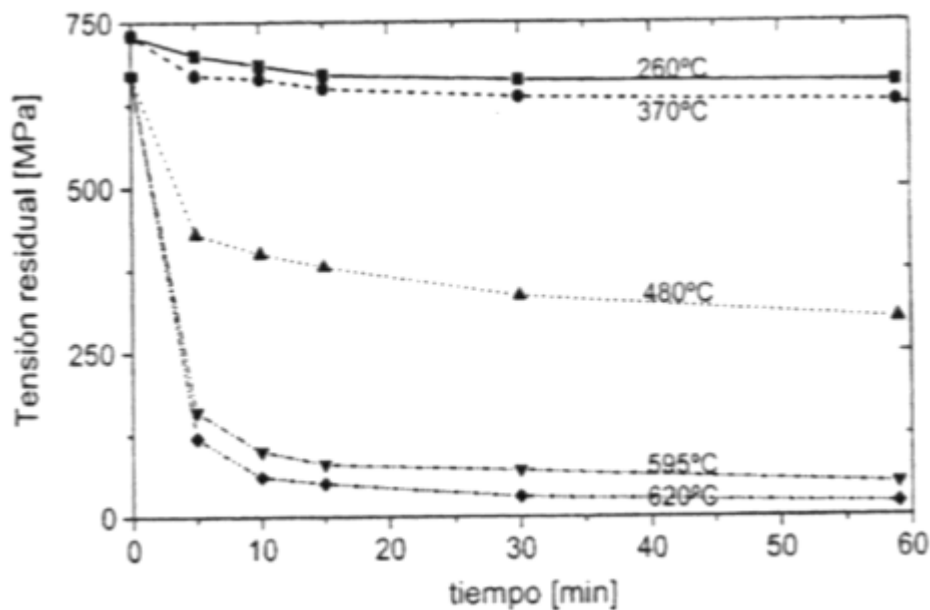
Reducir las tensiones residuales producidas en el proceso de fabricación.

Conseguir una adecuada combinación de ductilidad, maquinabilidad, estabilidad dimensional y estructural.

Incrementar resistencia por medio de procesos de revenido y recocido.

Optimizar propiedades particulares como la resistencia a la fractura, la resistencia a la fatiga o la resistencia a la fluencia a alta temperatura.

Recocido contra Acritud



Recocido

- Mill-annealing
- Doble recocido
- Recocido de recristalización
- Recocido β

Revenido

Se calienta la estructura obtenida por enfriamiento rápido a una alta temperatura (550°C en aleaciones α/β), a las que las martensitas de la estructura sufren diversas transformaciones (revenido) al igual que la fase β retenida, obteniéndose con ello una alta resistencia.

4.7 Aplicaciones

Aplicaciones biomédicas: titanio quirúrgico

El titanio es un metal compatible con los tejidos del organismo humano que toleran su presencia sin reacciones alérgicas del sistema inmunitario. Esta propiedad de compatibilidad del titanio unido a sus cualidades mecánicas de dureza, ligereza y resistencia han hecho posible una gran cantidad de aplicaciones de gran utilidad para aplicaciones médicas, como prótesis de cadera y rodilla, tornillos óseos, placas antitrauma e implantes dentales, componentes para la fabricación de válvulas cardíacas y marcapasos, gafas, material quirúrgico tales como bisturís, tijeras, etc.



La aleación de titanio más empleada en este campo contiene aluminio y vanadio según la composición: $[[Ti_6Al_4V]]$. El aluminio incrementa la temperatura de la transformación entre las fases alfa y beta. El vanadio disminuye esa temperatura. La aleación puede ser bien soldada. Tiene alta tenacidad.

Las razones para considerar el material ideal para implantes endoóseos son:

- El titanio es inerte, la cubierta de óxido en contacto con los tejidos es insoluble, por lo cual no se liberan iones que pudieran reaccionar con las moléculas orgánicas.
- El titanio en los tejidos vivos representa una superficie sobre la que el hueso crece y se adhiere al metal, formando un anclaje anquilótico, también llamado osteointegración.

Esta reacción normalmente sólo se presenta en los materiales llamados bioactivos y es la mejor base para los implantes dentales funcionales.

-Posee buenas propiedades mecánicas, su fuerza de tensión es muy semejante a la del acero inoxidable utilizado en las prótesis quirúrgicas que reciben carga. Es mucho más fuerte que la dentina o cualquier cortical ósea, permitiendo a los implantes soportar cargas pesadas.

-Este metal es suave y maleable lo cual ayuda a absorber el choque de carga.

Industria energética

El titanio es muy utilizado en la construcción de sistemas de intercambio térmico en las centrales térmicas eléctricas (y también en las centrales nucleares), debido principalmente a sus características de resistencia mecánica (lo que hace que los haces tubulares que constituyen esos intercambiadores sean muy resistentes a las vibraciones y que los espesores de los tubos puedan ser menores, facilitando el intercambio de calor) y químicas (el titanio, a semejanza del cobre, genera una capa inoxidable sobre su superficie, lo que lo hace mucho más resistente a los ataques químicos: Determinadas aleaciones de titanio se utilizan para fabricar componentes de las industrias de proceso tales como bombas, depósitos, reactores químicos y columnas de fraccionamiento en centrales que utilizan agua de mar como refrigerante. También se emplea en las unidades de desulfuración de gases que permiten reducir las emisiones de dióxido de azufre e hipoclorito, el ácido nítrico, los ácidos crómicos, los cloruros metálicos, los sulfuros o los ácidos orgánicos.

Industria automovilística

Un sector nuevo se ha incorporado a la fabricación de componentes de titanio, donde las empresas automovilísticas están incorporando componentes de titanio en los vehículos que fabrican, con el fin de aligerar el peso de los mismos, así por ejemplo ya existen muelles y bielas de titanio. Especialmente en el caso de los muelles se mejora el módulo de Young y una mejor calidad de la suspensión.

Industria militar

El titanio se emplea en la industria militar como material de blindaje, en la carrocería de vehículos ligeros, en la construcción de submarinos nucleares y en la fabricación de misiles.



Industria aeronáutica y espacial

Debido a su fuerza, baja densidad y el que puede soportar temperaturas relativamente altas, las aleaciones de titanio se emplean en aviones y cohetes espaciales. El titanio y sus aleaciones se aplican en la construcción aeronáutica básicamente para construir forjados estructurales de los aviones, discos de ventilación, álabes y palas de turbinas.

Construcción naval

La propiedad que tiene el titanio de ser resistente a la corrosión permite que algunas de sus aleaciones sean muy utilizadas en construcción naval donde se fabrican hélices y ejes de

timón, cascos de cámaras de presión submarina, componentes de botes salvavidas y plataformas petrolíferas, así como intercambiadores de calor, condensadores y conducciones en centrales que utilizan agua de mar como refrigerante, porque el contacto con el agua salada no le afecta.

Industria relojera

Los relojes deportivos que requieren un material resistente a menudo usan el titanio, un metal fuerte, blanco. Los relojes de pulsera de titanio son de peso ligero, 30 por ciento más fuertes que los de acero y resisten la corrosión. Generalmente tienen una capa protectora para hacerlos resistentes a los rayones. Se fabrican las cajas de titanio e incluso las correas de sujeción.



Joyería

Metal semiprecioso en el ámbito de la joyería y de la bisutería. Así es posible encontrar pulseras, pendientes, anillos, etc., fabricados en este metal. Para mejorar el aspecto superficial del titanio se le somete a diferentes tipos de procesos que refuerzan su belleza.

Instrumentos deportivos

Con titanio se producen actualmente distintos productos de consumo deportivo como palos de golf, bicicletas, cañas de pescar, etc.

Decoración

También se han empleado láminas delgadas de titanio para recubrir algunos edificios, como por ejemplo el Museo Guggenheim de Bilbao.



5. MAGNESIO Y SUS ALEACIONES

5.1 Introducción

El Magnesio es un metal muy activo que se encuentra en abundancia tanto en los depósitos sólidos como en las soluciones de aguas superficiales. Los minerales más comunes que se encuentran en la corteza de la tierra son los carbonatos: dolomita ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) y magnesita (MgCO_3). El mineral oxidado brucita ($\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$) es algo más raro, al igual que los cloruros: carnalita ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), pero sin duda, el mayor depósito de magnesio se encuentra en los océanos del planeta. El contenido en magnesio de los océanos es del 0.13%, menor que el de los depósitos minerales antes mencionados. Sin embargo, el suministro es prácticamente ilimitado y la uniformidad del contenido de magnesio permite llevar a cabo procedimientos estandarizados para su extracción. Se puede decir que el agua de mar es la principal fuente de magnesio.

El magnesio es el metal más activo de la serie electroquímica entre los empleados en aplicaciones estructurales. Su baja densidad (1.7g/cm^3) lo hace muy útil en determinadas aplicaciones. Expuesto al agua, en presencia o ausencia de O_2 , se pasiva. La resistencia a la corrosión depende de la pureza del metal aún más que en el caso del Al. El Mg (puro) se corroe en agua de mar a la velocidad de 0.25 mm/año , que es alrededor de dos veces la velocidad para el hierro, pero el Mg comercial se corroe a velocidad de 100 a 500 veces mayor, con visible formación de H_2 por descomposición (reducción) del agua. Las impurezas del Mg comercial, principales responsables de su mayor velocidad de ataque, son el Fe y en menor grado el Ni y Cu. Su efecto se hace muy marcado cuando se rebasan una concentración crítica denominada límite de tolerancia. Este límite es para el Fe 0.017%, y para el Ni y Cu 0.0005% y 0.1% peso, respectivamente. Las adiciones al metal de Mn y Zn elevan estos límites a valores más altos. Por todo esto, tiene especial importancia su protección contra la corrosión, ya que además, uno de los mercados más importantes es la industria del automóvil donde se utiliza en bridas, radiadores, cubiertas de válvulas y engranajes de distribución, bastidores de cajas de transmisión y embragues, etc. Además tiene diversas aplicaciones en la industria aeronáutica (piezas de caja de cambios), la industria electrónica (carcasas de ordenadores, cámaras de fotos y móviles) y en equipos deportivos.

Normalmente el magnesio se emplea aleado con otros elementos, siendo las aleaciones de magnesio las más empleadas en esta industria.

5.2 Propiedades

- Muy baja densidad (1.7 g/cm³).
- Baja resistencia mecánica.
- Altas propiedades específicas debido a su baja densidad.
- Bajo módulo elástico (45GPa).
- Baja temperatura de fusión (651°C).
- Baja resistencia a la fatiga.
- Baja resistencia al desgaste.
- Difícil de deformar a temperatura ambiente.
- Se endurece por deformación aumentando la temperatura. Cuando está aleado se endurece por tratamiento térmico.
- Estructura hexagonal compacta.

En cuanto a su resistencia a la corrosión son:

- Resistentes a la exposición atmosférica. Las aleaciones deben ser liberadas de tensiones, evitando la aplicación posterior de tensiones elevadas para eliminar el riesgo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en atmósferas húmedas.
- Resistente a los álcalis.
- Poco resistentes a las aguas que contienen trazas de iones metálicos pesados.
- Susceptible a la corrosión marina.

5.3 Obtención del Magnesio.

El magnesio se obtiene por dos métodos diferentes. Uno de ellos consiste en reducir el mineral en hornos eléctricos con carburo de calcio u otros reductores. En el otro, el metal se obtiene en dos fases: cloruración del mineral (magnesita, dolomita o giobertita) y electrólisis a 700°C del cloruro fundido. El metal se acumula en la superficie del baño y el cloro desprendido se recoge y se aprovecha en la fase de cloruración.

5.4 Propiedades mecánicas.

El magnesio puro tiene poca resistencia mecánica y plasticidad, su poca plasticidad es debida a que su red es hexagonal y posee pocos planos de deslizamiento. Las bajas propiedades mecánicas excluye la posibilidad de utilizarlo en estado puro como material estructural, pero aleado y tratado térmicamente puede mejorar sus propiedades mecánicas. Como el más liviano metal estructural disponible, la combinación de baja densidad y buena resistencia mecánica de las aleaciones de magnesio resulta en una alta relación resistencia–peso. Sobre esta base, es comparable con la mayoría de los materiales estructurales comunes.

Entre los aleantes más comunes el aluminio y el zinc se introducen para elevar la resistencia mecánica, el manganeso para elevar la resistencia a la corrosión y afinar el tamaño de grano, para esto último se pueden utilizar el circonio y los metales de las tierras raras, el berilio se utiliza para disminuir la tendencia a la inflamación durante la colada.

Debido a su bajo módulo de elasticidad, las aleaciones de magnesio pueden absorber energía elásticamente. Combinado con tensiones moderadas, esto provee excelente resistencia al rayado y alta capacidad de amortiguamiento. El magnesio aleado posee buena resistencia a la fatiga y se comporta particularmente bien en aplicaciones que involucran un gran número de ciclos de tensiones relativamente bajas. Sin embargo, el metal es sensible a la concentración de tensiones, por lo que deberían evitarse muescas, aristas agudas y cambios abruptos de sección.

Las partes de magnesio son generalmente utilizadas a temperaturas que varían desde la ambiente hasta los 175°C. Algunas aleaciones pueden ser usadas en ambientes de servicio de hasta 370°C por breves exposiciones. A temperaturas elevadas se oxida intensamente e incluso se inflama espontáneamente. Las piezas fundidas tienen una resistencia compresiva prácticamente igual a la tensión de fluencia a la tracción, mientras que en las aleaciones para forja la resistencia a la compresión es considerablemente menor que la fluencia de tracción. Las aleaciones para forja poseen un mayor alargamiento a la rotura, una mayor tensión de rotura y una mayor resistencia a la fatiga.

A pesar de una amplia variación de la dureza con los distintos aleantes, la resistencia a la abrasión varía sólo en un 15 a 20%. Para proteger lugares o zonas de la pieza expuestas a gran roce, se suelen colocar insertos de acero, bronce, o materiales no metálicos. Pueden utilizarse para bujes de poca carga, bajas velocidades, bajas temperaturas y buena lubricación.

En estas aleaciones al disminuir la temperatura aumenta la tensión de rotura, tensión de fluencia, y dureza, al tiempo que disminuye la ductilidad. El aumento de la temperatura tiene un efecto adverso sobre la tensión de rotura y de fluencia, mientras que con la aleación magnesio–aluminio–zinc disminuye el módulo elástico, efecto que se atenúa en aleaciones con torio.

5.5 Elementos Aleantes.

Los elementos aleantes más comunes en las aleaciones de magnesio son los siguientes:

- Aluminio: Contribuye a mejorar la resistencia a corrosión. La mayoría de las aleaciones MgAl contienen entre el 8-9% de aluminio con pequeñas cantidades de zinc y manganeso. Tienen buenas características de moldeo y son idóneas para temperaturas entre 110-120°C. Para temperaturas más altas, entre 150-170°C, se emplea un menor contenido en aluminio y silicio (4%Al y 0.8% Si) dando mejores resultados en cuanto a resistencia a fluencia, a cambio de un pequeño sacrificio en cuanto a resistencia a corrosión.

-Manganeso: en pequeñas cantidades ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión. El aluminio es usado con otros aleantes como el aluminio, que confieren resistencia a la aleación. Actualmente, las aleaciones Magnesio-Aluminio-Manganeso, son tan resistentes como las aleaciones Magnesio-Aluminio-Zinc, pero son considerablemente más dúctiles.

-Zinc: Se suele emplear junto con el aluminio mejorando la resistencia. La cantidad debe ser limitada para evitar el agrietamiento durante la solidificación.

-Zirconio: Ayuda a refinar el grano, lo que repercute en la ductilidad pero con incrementos de resistencia muy bajos.

-Itrio: Tiene una solubilidad relativamente alta en el magnesio (12.4%) y se añade junto a otras tierras raras para aumentar la resistencia a fluencia a temperaturas por encima de los 250-300°C.

-Tierras raras: Se añaden en pequeñas cantidades, siendo algunas de estas el cerio, lantano, neodimio y praseodimio, que contribuyen a mejorar la resistencia a la termofluencia por encima de los 250°C. La adición de estas tierras raras disminuye la fragilidad en aleaciones que contienen cinc.

-Torio: Contribuye a mejorar la resistencia a la termofluencia hasta los 350°C. Evita la microporosidad y la fragilidad, mejorando la ductilidad. Mejora las propiedades de moldeo.

-Plata: Son poco significativas comercialmente, pero la adición de éste elemento a aleaciones de magnesio-tierras raras-zirconio incrementa su resistencia.

5.6 Aplicaciones.

Aleación ZE41A-T5

La principal característica de estas aleaciones es que proporcionan una adecuada resistencia mecánica para aplicaciones donde el peso de la pieza es un factor fundamental. Una de las más empleadas en la fabricación de caja de cambios de helicópteros, componentes de aeronaves y equipo militar en general, es la aleación ZE41A-T5, comercialmente conocida como "ZR5".

Las propiedades óptimas para esta aleación, cuya composición nominal se muestra en la Tabla 9.5, se obtienen en la condición T5, después de 2 horas a 330°C seguidas por 10 a 16 horas a 170-180°C. Propiedades satisfactorias se obtienen calentando entre 1 y 6 horas a temperaturas del orden de 325 a 360°C. En ambos casos no se requiere de enfriamiento en agua.

Composición Química RZ5 (o ZE41A-T5) y algunas de sus propiedades físicas.

Elemento	Contenido Porcentual	Propiedad	Valo
Zn	3,5-5,0	Densidad	1.84gr/cm ³
Tierras Raras	0,8-1,7	Módulo de elasticidad	44GPa
Zr	0,4-1,0	Razón de Poisson	0.35
Mg	Balance	Dureza Brinell	55-70

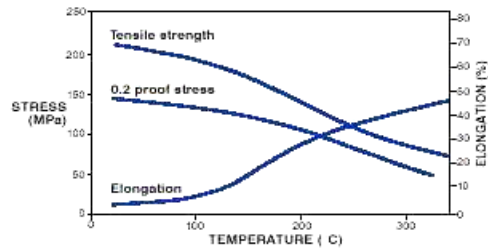


Aleación WE-43A-T6

Es una aleación de alta resistencia dentro de las de magnesio, de excelente resistencia a la corrosión y que además puede ser empleada a elevadas temperaturas, pudiendo estar expuesta por largos periodos de tiempo a temperaturas del orden de 250°C.

Propiedades físicas

Elemento	Contenido Porcentual	Propiedad	Valor
Y	3,7-4,3	Densidad	1.84gr/cm ³
Tierras Raras	2,4-4-4	Módulo de elasticidad	44x10 ³ MPa
Zr	0,4 min	Razón de Poisson	0.27
Mg	Balance	Dureza Vickers	85-105



6. NÍQUEL Y SUS ALEACIONES

6.1 Propiedades

- El níquel es un metal de transición de color blanco plateado, conductor de la electricidad y del calor, dúctil y maleable, por lo que se puede laminar, pulir y forjar fácilmente, y presenta cierto ferromagnetismo.
- Debido a su gran resistencia a la corrosión y dureza, el níquel constituye el material ideal para revestir las piezas sometidas a corrosión y desgaste, generalmente mediante el proceso de electrodeposición.
- Se encuentra en distintos minerales, en meteoritos (aleado con hierro) y, en principio, hay níquel en el interior de la Tierra.
- El metal y alguna de sus aleaciones, como el metal Monel, se utilizan para manejar el flúor y algunos fluoruros debido a que reacciona con dificultad con éstos productos.
- Los elementos de aleación que corrientemente se adicionan al níquel son el cobre, el hierro, el cromo, el silicio, el molibdeno, el manganeso y el aluminio.
- Aproximadamente el 65% del níquel consumido se emplea en la fabricación de acero inoxidable austenítico y otro 12% en superaleaciones de níquel. El restante 23% se reparte entre otras aleaciones, baterías recargables, catálisis, acuñación de moneda, recubrimientos metálicos y fundición.
- Masa atómica: 58,71 g/mol
- Estructura Cristalina: CCC
- Densidad: 8,9 g/cm³ (duro)
- Módulo de elasticidad: 204 GPa
- Resistencia a la tracción: 490 MPa
- Temperatura de fusión: 1458°C
- Punto de ebullición: 2730°C
- Precio elevado

6.2 Obtención del Níquel

El níquel ocupa el lugar número 22 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Como hemos comentado anteriormente, el níquel se puede encontrar en los meteoritos aleado con hierro, pero también lo podemos obtener de minerales como la niquelina, la garnierita, la millerita, la pentlandita o la pirrotina, siendo las dos últimas las principales menas del níquel.

Proceso: Las menas de níquel contienen generalmente impurezas, sobre todo de cobre. Las menas de sulfuros, como las de pentlandita y pirrotina niquelífera se suelen fundir en altos hornos y se envían en forma de matas de sulfuro de cobre y níquel a las refinerías, en donde se extrae el níquel mediante procesos diversos.

En el proceso electrolítico, el níquel se deposita en forma de metal puro, una vez que el cobre ha sido extraído por deposición a un voltaje distinto y con un electrolito diferente.

En el proceso de Mond, el cobre se extrae por disolución en ácido sulfúrico diluido, y el residuo de níquel se reduce a níquel metálico impuro. Al hacer pasar monóxido de carbono por el níquel impuro se forma carbonilo de níquel (Ni(CO)₄), un gas volátil. Este gas calentado a 200 °C se descompone, depositándose el níquel metálico puro.

6.3 Níquel sin alear

El níquel como metal se encuentra en muchas formas de productos y es designado como Níquel 200 o Níquel 201. El Níquel 200 es el más usado, por ejemplo en aplicaciones de temperatura ambiente, en equipos de elaboración de comida, recipientes químicos, equipos de tratamientos corrosivos, tuberías, componentes electromagnéticos, componentes aeroespaciales y de misiles...

El Níquel 201 tiene un contenido mucho menor de trazas de carbono que el 200 y es por eso más apropiado para aplicaciones de elevadas temperaturas. El bajo contenido de carbono evita que la elevada temperatura, presión y la corrosión lo quiebre. (Las utilidades son similares a las del Níquel 200.)

El Níquel 205 tiene bajo contenido de carbono pero contiene una cierta cantidad de trazas de Magnesio. (También de usos similares al Níquel 200.)

El Níquel 270 es una de las aleaciones más puras, tiene una pureza del 99.98% en peso de Níquel. (También de usos similares al Níquel 200)



6.4 Aleaciones de níquel o superaleaciones base níquel:

Definición y propiedades.

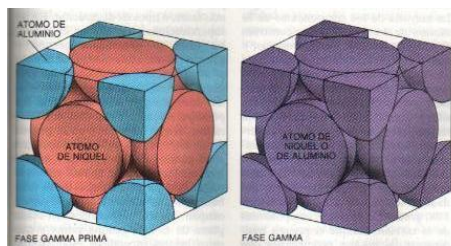
Las superaleaciones contienen grandes cantidades de elementos de aleación con el fin de producir una combinación de alta resistencia a altas temperaturas, a la corrosión, a las vibraciones y a la termofluencia (alta resistencia mecánica a altas temperaturas) a temperaturas superiores a los 1000°C.

Las superaleaciones de níquel presentan un buen comportamiento hasta los 1000°C aproximadamente. Para temperaturas mayores se suelen emplear superaleaciones de cobalto.

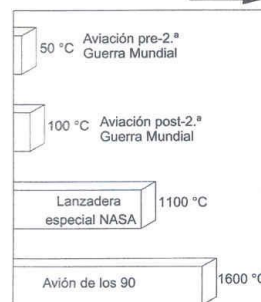
Estructura cristalina.

Las superaleaciones de níquel presentan una microestructura peculiar, causante de sus excelentes propiedades, con una distribución en dos fases, gamma (γ) y gamma prima (γ').

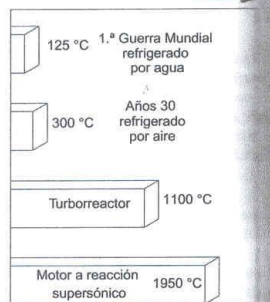
- Fase gamma: solución sólida centrada en las caras que actúa como matriz.
- Fase gamma prima: dispersión de precipitados ordenados intermetálicos, responsable de la gran resistencia de las superaleaciones. Las fórmulas estequiométricas de esta fase son: Ni_3Al , Ni_3Ti o $Ni_3(AlTi)$



Evolución de la T.^o fuselaje en aviación



Evolución de la T.^o motor en aviación



Aplicaciones de las superaleaciones de níquel.

Debido a sus propiedades, estas aleaciones son empleadas para la construcción de turbinas de gas (álabes), turbo reactores de avión, toberas y cámaras de combustión, reactores químicos, generadores y prensas de extrusión.

Procesado de superaleaciones de níquel.

Una superaleación de níquel, normalmente se fabrica fundiendo una pieza de níquel y agregando cromo y pequeñas cantidades de otros elementos, como el aluminio o el titanio, para formar la fase gamma prima. El cromo protege el producto final de la corrosión, mientras que otros metales como titanio y wolframio, incrementan la dureza. Después la mezcla líquida se enfría, apareciendo una masa de fase gamma de níquel-aluminio.

Cuando la aleación experimenta un enfriamiento posterior ya en estado sólido, se precipitan pequeños cubos de fase gamma prima dentro de la matriz de fase gamma. El tamaño final de las partículas de gamma prima se controla variando la velocidad de enfriamiento del material.

La primera superaleación de níquel fue la Nimonic 80, endurecible por precipitación, desarrollada en el año 1941 en Gran Bretaña. Es una solución sólida de níquel con 20% Cr, 2.25 % Ti, y 1% de Al; siendo estos dos últimos metales útiles para la formación de precipitados de gamma prima.

A principios de los años sesenta, se descubrió también otra nueva técnica de fabricación de piezas metálicas; por medio del efecto superplástico. Ciertos metales son susceptibles de experimentar deformaciones de su longitud inicial del orden del mil por ciento sin romperse, después de haber conseguido afinar mucho el tamaño de grano. La razón de este comportamiento radica en que los granos muy pequeños se deforman lentamente y deslizan unos respecto a otros sin perder su mutua cohesión. Así, los materiales superplásticos se pueden forjar en formas complejas, eliminando muchas etapas de mecanizado y de terminación.

Después, las piezas así deformadas se tratan térmicamente, se enfrían rápidamente y se envejecen, para conseguir una microestructura más resistente y estable a elevada temperatura que la ofrecida por granos pequeños de la estructura superplástica. Los materiales fabricados superplásticamente son menos costosos de mecanizar.

Recientemente ha aparecido una nueva técnica de fabricación, la solidificación rápida, gracias a la cual los metales fundidos se enfrían a velocidades de hasta un millón de grados por segundo. Estas aleaciones así formadas tienden a ser bastante homogéneas y presentan de salida alta resistencia mecánica y altos puntos de fusión.

Tan importantes como las propias aleaciones son las nuevas técnicas de procesado de metales. Las técnicas de procesado posibilitan que la metalurgia saque el máximo provecho de los nuevos conocimientos microestructurales. Estas técnicas permiten fabricar las aleaciones tradicionales de maneras hasta ahora desconocidas, y facilitan la creación de nuevos metales que jamás se hubieran obtenido con las técnicas históricas.

Una de las técnicas más importantes de procesado es la solidificación direccional. El concepto de solidificación direccional se inició con los trabajos realizados, en 1960, por técnicos de la General Electric. Con ellos demostraron que la resistencia a la termofluencia de ciertas aleaciones de níquel puede aumentar drásticamente si en el momento de la obtención de estas aleaciones, se opera de modo que los límites de los granos se orienten paralelamente a un esfuerzo aplicado uniaxialmente, tal como sería el caso de la fuerza centrífuga existente en los álabes de una turbina y debida a la elevada velocidad de rotación. Las muestras ofrecen menor tendencia a deformarse o a agrietarse si los límites de los granos no son perpendiculares al esfuerzo principal.

Procesos de endurecimiento empleados en estas aleaciones:

- **Endurecimiento por solución sólida:** Grandes adiciones de Cr, Mo y W, pequeñas adiciones de Ta, Zr, Nb y B proporcionan el endurecimiento por solución sólida. Estos efectos son bastante estables, actuando los bordes de grano como frenos en el avance de las dislocaciones, lo que provoca la resistencia a la termofluencia.
- **Endurecimiento por dispersión de carburos:** Todas las superaleaciones contienen pequeñas cantidades de carbono, que en combinación con otros elementos aleantes produce una red de finas partículas de carburo muy estables. Estos carburos, tales como TiC, BC, ZrC, TaC, etc., poseen una extraordinaria dureza.
- **Endurecimiento por precipitación:** Algunas superaleaciones de níquel que contienen Al y Ti forman precipitados endurecedores, coherentes con la matriz, del tipo gamma prima (Ni_3Al , Ni_3Ti , $Ni_3(AlTi)$) durante el envejecimiento, que aumentan la resistencia de la aleación, sobre todo a altas temperaturas.

6.5 Superaleaciones de níquel más empleadas:

Aleaciones Homogéneas:

- **Hastelloy D** (Ni, 10% Si, 3% Cu). Es una aleación para moldeo, fuerte, tenaz y extremadamente dura. Tiene una excelente resistencia a la corrosión al ácido sulfúrico. Difícil mecanización. Se emplea para evaporadores, reactores, canalizaciones y accesorios en la industria química.
- **Hastelloy A** (57% Ni, 20% Mo, 20% Fe) y **Hastelloy B** (62% Ni, 28% Mo, 5% Fe). Forman carburos globulares en una matriz de solución sólida. Ninguna responde al proceso de envejecimiento. Gran resistencia a la corrosión por ácido clorhídrico, fosforito y otros ácidos no oxidantes. Se emplean en la industria química para manejar, transportar y almacenar ácidos y otros materiales corrosivos.
- **Inconel** (76% Ni, 16% Cr, 8% Fe). Combina la resistencia a la corrosión, resistencia mecánica y tenacidad características del Ni, con la resistencia a la oxidación a altas temperaturas, típica del Cr. Resiste la fatiga térmica sin hacerse frágil. Se utiliza en escapes y calentadores de motores de avión, en hornos y recipientes para tratamientos de nitruración y en tubos de protección de termopares.
- **Nichrome** (60% Ni, 16% Cr, 24% Fe) para resistencias de tostadores, cafeteras, planchas, secadores de pelo, calentadores eléctricos y reóstatos para equipos electrónicos.

Aleaciones Envejecibles:

- **Nimonic 90** (53%Ni, 20%Cr, 18%Co, 2.5%Ti, 1.5%Al, 1.5%Fe). Principalmente utilizada por su resistencia a la fluencia, su alta tenacidad y estabilidad a temperaturas elevadas. Es la aleación básica para los motores a reacción.

Otras superaleaciones:

- **Chromel A** (80% Ni, 20% Cr). Se emplea como elemento eléctrico de calefacción para aparatos caseros y hornos industriales.

- **Illium B** (50%Ni, 28%Cr, 8.5%Mo, 5.5%Cu) y **el Illium G** (56%Ni, 22.5%Cr, 6.5%Mo, 6.5%Cu) proporcionan superior resistencia a la corrosión en aleaciones de fundición maquinables de alta resistencia. Se utilizan en cojinetes de impulso y rotatorios y las piezas de bombas y válvulas en las que se requiere alta dureza a medios corrosivos. Fueron diseñados principalmente como materiales resistentes a los ácidos sulfúricos y nítricos.
- **Incoloy** se caracterizan por una buena resistencia a la corrosión en ambientes acuosos y por su excelente resistencia a la oxidación en atmósferas a altas temperaturas. Sus aplicaciones incluyen hornos y equipos de tratamiento térmico, generadores de vapor, etc.

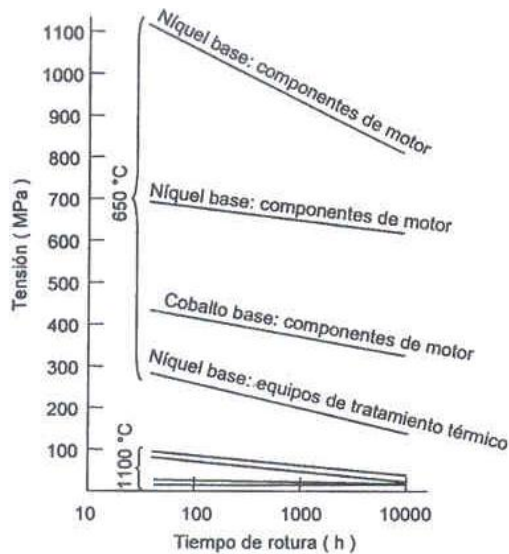


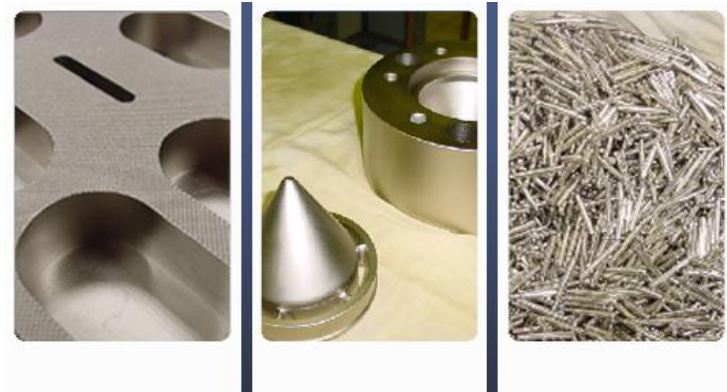
Figura 13.34. Comportamiento de la tensión hasta rotura de superaleaciones a 650 y 1100°C

6.6 Monel:

Cuando se le agrega cobre al níquel, la resistencia máxima se obtiene cerca del 60% en composición de níquel. Varias aleaciones llamadas Monel, con aproximadamente esta composición, se utilizan por su resistencia mecánica a la corrosión en agua salada y a temperaturas elevadas. Algunos de los Monel contienen pequeñas cantidades de aluminio y titanio. Estas aleaciones muestran una respuesta al endurecimiento por envejecimiento mediante la precipitación de γ' . Los precipitados resisten el sobre envejecimiento a temperaturas hasta de 425°C.

Es posible obtener varias propiedades especiales en aleaciones de níquel, por ejemplo, para producir imanes permanentes, en virtud de su comportamiento ferromagnético. Una aleación de Ni-50% Ti tiene el efecto de memoria de la forma. Una Ni-36% Fe (Invar) prácticamente no efectúa expansión alguna al calentarse, siendo aprovechado este efecto para producir materiales compuestos bimetálicos.

6.7 Aplicaciones del níquel y sus aleaciones:



7. OTROS ELEMENTOS

7.1 ESTAÑO

Veamos algunos datos curiosos de este material y sus propiedades antes de entrar en las aleaciones de este.

7.1.1 Datos curiosos:

-Es un metal bastante escaso en la corteza terrestre. Suele encontrarse concentrado en minas, aunque la riqueza suele ser bastante baja (del orden del 0,02%).

-El mineral de estaño más explotado es la casiterita (SnO_2).

7.1.2 Propiedades:

-Densidad: 7,28 kg/dm³.

-Punto de fusión: 231 °C.

-Resistividad: 0,115 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

-Resistencia a la tracción: 5 kg/mm².

-Alargamiento: 40%.



7.1.3 Características:

-El estaño puro tiene un color muy brillante.

-A temperatura ambiente se oxida perdiendo el brillo exterior, es muy maleable y blando, y pueden obtenerse hojas de papel de estaño de algunas décimas de milímetro de espesor.

-En caliente es frágil y quebradizo.

-Por debajo de -18°C empieza a descomponerse y a convertirse en un polvo gris. A este proceso se le conoce como enfermedad o peste del estaño.

-Cuando se dobla se oye un crujido denominado grito del estaño.

7.1.4 Obtención del estaño:

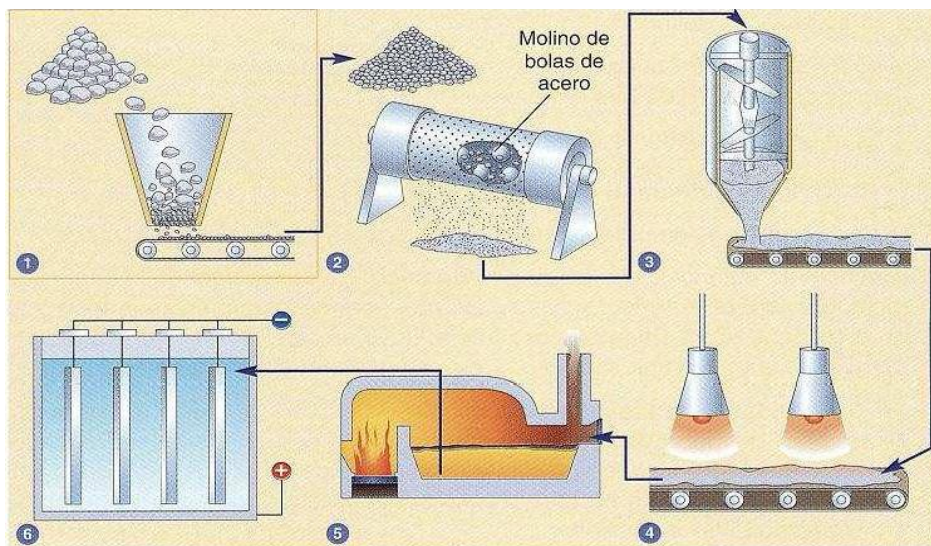
La casiterita se tritura (1) y muele (2) en molinos adecuados.

Se introduce en una cuba con agua (3) en la que se agita. Por decantación, el mineral de estaño (que es más pesado), se va al fondo y se separa de la ganga.

Se introduce en un horno (4), donde se oxidan los posibles sulfures de estaño que hay en el mineral y se transforman en óxidos.

La mena de estaño, en forma de óxido, se introduce en un horno de reverbero (5) donde se produce la reducción (transformación de óxido de estaño a estaño), depositándose el estaño en la parte inferior y la escoria en la superior.

Finalmente, para obtener un estaño con porcentaje del 99% es necesario someterlo a un proceso electrolítico (6).



7.1.5 Aleaciones

Las más importantes son:

-Bronce. Es una aleación de cobre y estaño.

-Soldaduras blandas. Son aleaciones de plomo y estaño con proporciones de estaño entre el 25 y 90%.

-Aleaciones de bajo punto de fusión. Las más importantes son:

Darcet (25 % Sn + 25 % Pb + 50 % Bi), que funde a los 97 °C.

Cerrolow (8,3% Sn + 22,6% Pb + 44,7% Bi + 5,3% Cd + 19,1 % In), que funde a los 47 °C.

-Una de las aplicaciones más importantes del estaño es la fabricación de hojalata, que consiste en recubrir una chapa de acero con dos capas muy finas de estaño puro. El estaño protege al acero contra la oxidación

7.2 PLOMO

7.2 1 Introducción

El plomo tiene un punto de fusión bajo y sus aleaciones son muy usadas en la industria.

Debido a su poca resistencia mecánica, la ductilidad del plomo es relativamente mala, tiene un límite de elasticidad bajo y un coeficiente de dilatación térmica elevado.

Si bien las impurezas presentes en el plomo varían y son pequeñas en cada calidad, son importantes químicamente y obligan a clasificar el plomo para diversos usos:

-Se llama plomo químico al plomo no desplutado producido por minerales del sudeste de Missouri. Éste plomo contiene 0.04 a 0.08 % de cobre, 0.002 a 0.020 % de plata y menos de 0.005 % de bismuto.

-El plomo cúprico, antimonioso, el plomo ácido, y el plomo telurioso se usan también en la industria.

-Las propiedades del plomo telurioso, comparadas con las del plomo regular, tienen el grano más fino.

-El plomo antimonioso tiene mejores propiedades mecánicas, pero a mayores temperaturas esto disminuye y por encima de los 120°C sucede lo contrario.

7.2.2 El plomo y sus aleaciones.

El plomo es el principal elemento del llamado "terne" que tiene una composición de 10 a 25 % de estaño y 90 a 75 % de plomo.

Para muchas aplicaciones el contenido de estaño en las aleaciones de revestimiento puede reducirse hasta no ser mayor de 2.5 a 5 %. Cuando se necesita un revestimiento duro y resistente se añade antimonio.

-Aleaciones para la industria de cables: el plomo que contiene algún cobre y el plomo antimonioso al 1 % son los principales metales usados para recubrir los cables empleados para la transmisión de corriente eléctrica y para comunicación.

-Otra aleación con buenas propiedades es un plomo con 0.04 % de calcio. El calcio obra como el antimonio, aumentando la resistencia. Otra aleación contiene 0.15 % de arsénico, 0.10 % de estaño, y 0.10 % de bismuto, el resto de plomo.

-Aleaciones para tubos compresibles: estos tubos pueden estar hechos de una sola aleación o estar formados por dos capas metálicas. En el primer caso se usa una aleación que contiene de 2 a 3 % de antimonio y 97 a 98 % de plomo y si se quiere un acabado brillante se usa una aleación de plomo y estaño con poco estaño. El estaño es preferible para envasar ciertos productos y también por su aspecto, pero en virtud de su precio elevado es conveniente usar una aleación de plomo y estaño en capas. El revestimiento de estaño se puede hacer en una o dos caras.

7.3 WOLFRAMIO



7 3 1 Introducción

El wolframio, también llamado tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es **W**.

Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. Es de color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos. Se usa en los filamentos de las lámparas incandescentes, en electrodos no consumibles de soldaduras, en resistencias eléctricas, y aleado con el acero, en la fabricación de aceros especiales.

Su variedad de carburo de wolframio sinterizado se emplea para fabricar herramientas de corte. Esta variedad absorbe más del 60% de la demanda mundial de wolframio.

7 3 2 Obtención del wolframio.

Para extraer el elemento de su mena, se funde ésta con carbonato de sodio obteniéndose wolframato de sodio, Na_2WO_4 . El wolframato de sodio soluble se extrae después con agua caliente y se trata con ácido clorhídrico para conseguir ácido volfrámico, H_2WO_4 . Este último compuesto, una vez lavado y secado, forma el óxido WO_3 , que se reduce con hidrógeno en un horno eléctrico. El fino polvo obtenido se recalienta en moldes en una atmósfera de hidrógeno, y se prensa en forma de barras que se enrollan y martillean a alta temperatura para hacerlas compactas y dúctiles.

No se encuentra nunca libre en la naturaleza, sino en forma de sales combinado con otros elementos, principalmente como la scheelita (CaWO_4) y la wolframita ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$), que son sus minerales más importantes. El wolframio natural es una mezcla de cinco isótopos estables.

El wolframio se extrae de varios minerales wolfrámicos como wolframita ((Fe,Mn)WO₄), la scheelita (CaWO₄), la cuproschelita (CuWO₄), ferberita (FeWO₄), la hübnerita (MnWO₄) y la stolzita (PbWO₄). Estos minerales se extraen y se utilizan para producir cerca de 37.400 toneladas de concentrados de tungsteno por año. El tungsteno se extrae de sus minas en varias etapas. El mineral se convierte posteriormente en trióxido de wolframio (WO₃), que se calienta con hidrógeno o carbono para producir wolframio en polvo.³⁰ Se puede utilizar en ese estado o prensado en barras macizas.

El wolframio también puede ser extraído por reducción con hidrógeno.

7.3.3 Características

Propiedades físicas

En su forma natural, el wolframio es un metal gris acero que es a menudo frágil y difícil de trabajar, pero si es puro, se puede trabajar con facilidad. Se trabaja por forjado, trefilado, extrusión y sinterización. De todos los metales en forma pura, el wolframio tiene el más alto punto de fusión (3.410 °C, 6.170 °F), menor presión de vapor (a temperaturas superiores a 1.650 °C, 3.002 °F) y la mayor resistencia a tracción. Además, tiene el coeficiente de dilatación térmica más bajo de cualquier metal puro. La expansión térmica es baja, su punto de fusión es alto y la fuerza se debe a fuertes enlaces covalentes que se forman entre los átomos de wolframio en el orbital 5d. Cabe señalarse que la aleación de pequeñas cantidades con el acero aumenta su resistencia.

Propiedades químicas

El wolframio resiste las reacciones redox, los ácidos y álcalis. El estado más común del wolframio es +6, pero presenta todos los estados de oxidación, desde -2 hasta +6. Normalmente se combina con el oxígeno para formar el óxido wolfrámico amarillo (WO₃) que se disuelve en soluciones de alcalino acuoso para formar iones de wolframio (WO₄²⁻).

Los carburos de wolframio (W₂C y WC) se producen por el calentamiento en polvo de carbón y son algunos de los carburos más duros, con un punto de fusión de 2.770 °C para WC y 2.780 °C para el W₂C, el WC es un conductor eléctrico eficiente, pero el W₂C no, el carburo se comporta de manera similar al mismo elemento sin alear, y es resistente al ataque químico, aunque reacciona fuertemente con el cloro para formar hexacloruro de wolframio (WCl₆).

Las soluciones acuosas se caracterizan por la formación de ácido heteropolíácido y aniones de polioxometalato en condiciones neutras y ácidas, además produce la acidificación del anión del metatungstato muy soluble, después de lo cual se alcanza el equilibrio. Muchos aniones de polioxometalato existen en otras especies metaestables, la inclusión de un átomo de diferentes características, como el fósforo, en lugar de dos hidrógenos centrales, en el metatungstato produce una gran variedad de ácidos heteropolíácidos, como el ácido fosfotúngstico.

Usos

En estado puro se utiliza en la fabricación de filamentos para lámparas eléctricas, resistencias para hornos eléctricos con atmósfera reductoras o neutras, contactos eléctricos para los distribuidores de automóvil, ánodos para tubos de rayos X y de televisión.

Tiene usos importantes en aleaciones para herramientas de corte a elevada velocidad (W_2C), en la fabricación de bujías y en la preparación de barnices (WO_3) y mordientes en tintorería, en las puntas de los bolígrafos y en la producción de aleaciones de acero duras y resistentes.

Los wolframatos de calcio y magnesio se utilizan en la fabricación de tubos fluorescentes.

El carburo de wolframio, estable a temperaturas del orden de $500\text{ }^\circ\text{C}$, también se usa como lubricante seco.

Para la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas): consiste en usarlo de electrodo no fusible (que no se funde), para hacer de arco eléctrico entre la pieza y la máquina, ya que soporta $3.410\text{ }^\circ\text{C}$ cuando es puro (se usa para soldar aluminio o magnesio, en corriente alterna). En este caso, el electrodo lleva un distintivo de color verde. Asimismo, si se alea con torio (al 2%), soporta los $4.000\text{ }^\circ\text{C}$ y su uso alcanza la soldadura de aceros inoxidable, cobre y titanio, entre otros, en corriente continua, en cuyo caso la cinta pintada es de color rojo. También se dan aleaciones con otros elementos químicos, como el circonio, el lantano, etc.

Desde la Segunda Guerra Mundial se usó para blindar la punta de los proyectiles anti-tanque, como en la munición AP, y en la coraza de los blindados.

También se usa para la fabricación de dardos, concretamente en los barriles de los dardos, en lizado para la fabricación de joyas como brazaletes, anillos y relojes.

7.4 CINC



7.4.1 Introducción

El cinc es un metal usado por el ser humano desde la prehistoria. Es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo **Zn** situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Hoy, es el cuarto metal más usado en el mundo. Los usos más importantes de este metal son la galvanización de acero, la fabricación de piezas de latón, de piezas fundidas, y la acumulación de energía. Por otro lado, los compuestos de cinc se usan para fabricar componentes electrónicos e ingredientes para productos de cosmética. El cinc es uno de los metales más reciclados. El cinc metálico es un material blanco azulado que tiene muchas aplicaciones industriales. El cinc es uno de los elementos de transición del sistema periódico; su número atómico es 30.

Cristaliza en el sistema hexagonal, es extremadamente frágil a temperaturas ordinarias, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150 °C, y se lamina fácilmente al pasarlo entre rodillos calientes. Ocupa el lugar 24 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de cinc (ZnO) en el mineral cincita y como silicato de cinc ($2ZnOSiO_2 \cdot 2H_2O$) en la hemimorfita. También se encuentra como carbonato de cinc ($ZnCO_3$) en el mineral esmitsonita, como óxido mixto de hierro y cinc ($Zn(FeO_2)O_2$) en la franklinita, y como sulfuro de cinc (ZnS) en la esfalerita, o blenda de cinc. Las minas utilizadas más comúnmente como fuente de cinc son la smithsonita y la esfalerita.

7.4.2 Obtención del cinc.

Los principales minerales de cinc son la blenda (ZnS), la smithsonita (carbonato de cinc, ZnCO₃), y la calamina (silicato de cinc). El cinc se puede obtener por tostación de sus minerales, produciendo el óxido y por la subsiguiente reducción del dicho óxido con carbón o hulla. Otro método consiste en tostar los concentrados de cinc para obtener el óxido, el cual es lixiviado con ácido sulfúrico. El cinc obtenido por destilación contiene pequeñas cantidades de hierro, arsénico, cadmio y plomo, y es conocido en metalurgia como peltre. Las impurezas insolubles (tal como Pb, Fe y Ag) se extraen por filtración. Las impurezas solubles tal como el cobre se precipitan y el cinc metal se recupera de la solución por electrodeposición. Al final, el cinc de los cátodos se funde para producir lingotes, aleaciones o polvos, etc. El cinc electrolítico es puro y tiene cualidades superiores como, por ejemplo, una mayor resistencia a la corrosión. Hay también otros métodos para extraer el cinc, incluyendo alternativas para reducir las emisiones de SO₂.

El más importante productor de cinc metálico es China, seguida por Canadá, Japón, Estados Unidos, España y Holanda. La producción mundial de cinc, primaria y secundaria totalizadas, alcanzó 7,74 millones de toneladas en 1997. En el mismo año, las reservas mundiales de cinc fueron estimadas en cerca de 190 millones de toneladas.

7.4.3 Aplicaciones

El cinc se usa principalmente como capa protectora o galvanizado para el hierro y el acero, y como componente de distintas aleaciones, especialmente del latón. También se utiliza en las placas de las pilas (baterías) eléctricas secas, y en las fundiciones a troquel. El óxido de cinc, conocido como cinc blanco, se usa como pigmento en pintura. También se utiliza como relleno en la industria del caucho y como pomada antiséptica en medicina. El cloruro de cinc se usa para preservar la madera y como fluido soldador. El sulfuro de cinc es útil en aplicaciones relacionadas con la electroluminiscencia, la fotoconductividad, la semiconductividad y otros usos electrónicos; se utiliza en los tubos de las pantallas de televisión y en los recubrimientos fluorescentes.

Principales aplicaciones del cinc:

Protección contra la corrosión en acero mediante el cinc

La mayoría de los métodos de protección del acero consisten en colocar una película de material resistente a la corrosión entre el acero y el medio ambiente. Una de las ventajas de los revestimientos metálicos aíslan el acero de la atmósfera ofreciendo elevada resistencia al desgaste. Una característica importante de la protección del acero con revestimientos de cinc es que esta no se ve afectada cuando se dan pequeñas fallas en la continuidad de la película protectora. Además el cinc se corroe con una velocidad sensiblemente menor, esto es de 1/10 a 1/14 de la velocidad de corrosión del metal base (acero)

Aleaciones de cinc para fundición a presión

Las aleaciones de cinc industrialmente usadas para coladas bajo presión son llamadas "zamac". Son aleaciones de cinc con aluminio, cobre y magnesio. De todas las aleaciones no ferrosas para colar a presión, las aleaciones de cinc son las que poseen mejor área de aplicación, debido a sus particulares propiedades físicas, mecánicas y de fundido, además tiene una gran capacidad para ser revestidas mediante electrodeposición o con pinturas.

Sus bajos puntos de fusión (aproximadamente 385°C) confieren al molde larga vida., permitiendo la producción de grandes series de piezas fundidas. La gran fluidez de esas aleaciones facilita la obtención de piezas de compleja forma y paredes finas. También pueden ser usadas para fundición por gravedad en moldes fijos.

Composición química

En las aleaciones tipo zamac, el metal base es el zinc, con porcentajes de aluminio que van desde 3.5% hasta 6 %, cobre (0.75% - 1.6%), magnesio (0.0% - 0.065), con trazas de elementos máximas permitidas de hierro 0.1%, plomo 0.005%, estaño 0.003, cadmio 0.004%.

Los elementos de aleación presentan los siguientes efectos.

Aluminio

Es el elemento adicionado en mayor proporción . Aumenta sensiblemente la dureza y resistencia de la aleación, así como su fluidez, permitiendo la obtención de piezas fundidas de formas complicadas. Otra ventaja de la adición de este elemento es la disminución de los efectos corrosivos del zinc líquido sobre el acero de la máquina y las herramientas de inyección.

Si el porcentaje del aluminio es superior al 4.5%, la aleación se aproxima a su eutéctico (5% de aluminio) reduciéndose su resistencia al impacto. En esas condiciones la aleación es frágil, pudiendo agrietarse durante las operaciones de endurecimiento o conformación. Por otro lado, para porcentajes inferiores al 3.5 %, la aleación pierde resistencia y dureza, descendiendo también su fundibilidad, lo que hace difícil la obtención de piezas complicadas y delgadas.

Magnesio

A pesar de encontrarse en porcentajes relativamente pequeños, este metal tiene gran influencia en las propiedades del zinc para colar bajo presión. Siendo el magnesio más electronegativo que el zinc, inhibe la corrosión intergranular de la aleación. Y asociándose con el eutéctico del plomo, cadmio y estaño en los contornos de grano, reduce la diferencia de potencial entre el zinc y el eutéctico. Es aconsejable mantener la composición del magnesio por debajo de 0.06% pues este metal tiende a provocar fragilidad en caliente en las piezas fundidas.

Cobre

La adición del cobre aumenta la resistencia a la corrosión, la resistencia mecánica y la dureza de la aleación. Sin embargo la presencia del cobre por encima del 1.25% vuelve inestable la aleación, al hacerla vulnerable al envejecimiento, reduciendo notablemente su resistencia al impacto. Porcentajes por encima del 0.6% provocan desde ya el fenómeno de precipitación, el cual afecta la estabilidad dimensional de la pieza.

Aleaciones dúctiles de cobre

Existen varias aleaciones a base de zinc que admiten conformabilidad, soldabilidad y poseen resistencia a la corrosión, se componen de pequeñas porciones de aleantes, como plomo (0.1 - 0.5%) cadmio (0.5 - 0.45%) cobre (0.85 - 1.25%) y magnesio (0.006 - 0,016%) con presencia en bajas concentraciones de impurezas tales como hierro, estaño y aluminio. Las aleaciones convencionales de cinc poseen baja resistencia a fluencia. Se han desarrollado aleaciones de cinc-cobre-titanio que poseen mejor comportamiento a la fluencia, permitiendo su uso en aplicaciones estructurales de mediano desempeño.

Las principales aplicaciones de las aleaciones dúctiles de cinc son baterías secas, placas fotográficas, placas litográficas, y elementos de construcciones civiles (canaletas, tajados, etc.)

Latones

Los latones son aleaciones de cobre y zinc con un porcentaje de zinc que varía entre el 5% y el 50 %, en ocasiones con adición de otros metales. El cobre mantiene en solución considerables cantidades de cinc, llegando a tener a temperatura ambiente hasta 37% de este metal. Los latones con porcentajes cercanos al 37% en cinc, generalmente denominados latones alfa, son monofásicos y son aptos para trabajo en frío y para la fabricación de pequeñas piezas fundidas. Los latones con contenidos de cinc entre 37 y 45% de cinc, denominados latones alfa-beta, son bifásicos debido a la precipitación de otra fase, también constituida como solución sólida. Los latones bifásicos con un contenido entre 40 % y 45% de cinc son más adecuados para la fabricación de piezas por los procesos de fundición, forja y extrusión. Los latones con contenidos entre 45 y 50% son latones monofásicos beta. Los latones poseen colores entre rojo cobrizo a un amarillo típico, dependiendo de la cantidad de cinc u otros elementos presente, como el níquel que le confiere un color plateado a la aleación.

Los latones poseen diversos empleos gracias a su alta conformabilidad, resistencia a la corrosión, apariencia y su relativamente alta conductividad eléctrica y térmica.

Las propiedades de los latones son variadas y dependen considerablemente del porcentaje de cinc, en consecuencia tiene una amplia gama de aplicaciones debido a la variedad de propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y procesos de fabricación.

Por otro lado, a medida que aumenta el porcentaje en cinc disminuye la resistencia a la corrosión en ciertos ambientes agresivos, facilitándose la corrosión preferencial del cinc.