

Introducción:

¿ Por qué elijo el aluminio para un trabajo sobre propiedades mecánicas de los materiales?

El aluminio es un metal que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de los metales no féreos, de ahí su elevado uso en la industria.

Dentro del ciclo vital del aluminio, éste se encuentra actualmete en la etapa de madurez, es decir su producción está estabilizada desde hace un par de décadas, aunque en la industria de la automoción su uso es cada vez mayor. Esta aparente contradicción se debe a que está siendo sustituido por nuevos materiales, como los polímeros o los materiales compuestos, en aplicaciones en las que hasta ahora se había utilizado el aluminio. Esto mismo ocurre en mayor medida con los metales ferrosos, donde su producción sí ha disminuido, al verse sustituidos por los nuevos materiales o por el propio aluminio, es el caso de los automóviles o motocicletas, donde cada día aparecen más motos con bastidores de aluminio y coches con suspensiones, partes del chasis y carrocería fabricados con aluminio.

El aluminio, cuando se habla de aluminio se tienen en cuenta todas sus aleaciones, satisface como ningún otro metal las actuales demandas que se piden a un material estructural como son:

La ligereza, la densidad del aluminio (2,70 g/cm) es realmente baja comparada con la del hierro (7,90 g/cm).

La buena resistencia mecánica de algunas de sus aleaciones, incluso a altas temperaturas, lo que hace que esté legando a sustituir a aleaciones de titanio en el mundo aeronáutico, donde la ligereza unido a la resistencia mecánica son factores importantísimos.

Muy buena resistencia a la corrosión gracias a la película de alúmina, que se forma en su superficie de forma espontánea y lo protege de la corrosión.

Una propiedad cada vez más en alza como es la reciclabilidad donde el aluminio destaca especialmente, ya que si bien el aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, el proceso de obtención del aluminio requiere una alta cantidad de energía en comparación con otros metales como puede ser el acero, pero esta cantidad de energía se reduce enormemente en el proceso de producción secundaria (reciclaje) para el caso del aluminio, provocando que la industria lo tenga muy en cuenta a la hora de ahorrar dinero en forma de energía.

Como propiedades físicas del aluminio caben resaltar, su alta conductividad térmica y eléctrica, esta última le hace adecuado para muchas aplicaciones dentro de la industria eléctrica, su baja temperatura de fusión unido a su elevada temperatura de ebullición hacen al aluminio muy idóneo para la fundición. El aluminio cristaliza en la red FCC (ó CCC) y no sufre cambios alotrópicos, lo que le confiere una alta plasticidad, aunque las propiedades mecánicas varían enormemente según sean los elementos aleantes y los tratamientos termomecánicos a los que se haya sometido el aluminio.

Aleantes y clasificación de las aleaciones del aluminio:

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).

La clasificación del aluminio y sus aleaciones se divide en dos grandes grupos bien diferenciados, estos dos grupos son: forja y fundición. Esta división se debe a los diferentes procesos de conformado que puede sufrir el aluminio y sus aleaciones.

Dentro del grupo de aleaciones de aluminio forjado encontramos otra división clara, que es la del grupo de las tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las no tratables térmicamente solo pueden ser trabajadas en frío con el fin de aumentar su resistencia.

A continuación aparecen dos cuadros con los grupos básicos para las aleaciones de forja y fundición, además hay unas designaciones para especificar el grado de endurecimiento que no serán comentadas por ser demasiado específicas y no venir al caso en el tema de este trabajo.

Conviene señalar que, dentro de las aleaciones para forja, los grupos principales de las no tratables térmicamente son : 1xxx, 3xxx y 5xxx. Dentro de las tratables térmicamente los grupos principales son : 2xxx, 6xxx y 7xxx. En esta última división, se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas, los grupos 2xxx y 7xxx, por lo que son las aleaciones más indicadas para este trabajo. Al final de este, se hará una mención especial a estos dos grupos y sus características mecánicas.

A continuación se adjunta un cuadro con aleaciones de aluminio para forja y fundición con sus composiciones químicas y propiedades mecánicas más típicas. Especial mención, como se comentaba antes, a las aleaciones 2024 y 7075 que son muy utilizadas en situaciones que requieren máxima resistencia mecánica junto con ligereza.

Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. A continuación se da un resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio no sólo sometido a esfuerzo continuo sino también, oscilante y por golpe.

Dureza: la mayoría de las veces se da en los materiales de aluminio la dureza Brinell, a causa de la sencillez de su determinación. Los valores de la dureza Brinell se extienden desde HB=15 para aluminio purísimo blando hasta casi HB=110 para AlZnMgCu 1,5 endurecido térmicamente, es decir, aleación 7075. Los valores de la dureza determinados por otros métodos, como el Vickers o el de Knoop, apenas tienen significado práctico en este metal. De vez en cuando se utiliza la microdureza, una variante del método Vickers, para determinar la dureza de capas anodizadas.

Resistencia en el ensayo de tracción: los importantísimos valores característicos que se obtienen en el ensayo de tracción para juzgar las propiedades resistentes de los materiales metálicos en general, son aplicables a los materiales de aluminio. Generalmente estos valores son el límite elástico 0,2%, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento a la rotura, así como la estricción de ruptura.

En general, la resistencia aumenta con el aumento en elementos de aleación. Los dominios de la resistencia en cada aleación surgen, ante todo, como consecuencia de los aumentos de resistencia que se consiguen por deformación en frío o endurecimiento por tratamiento térmico. Los distintos elementos de aleación actúan de

modo muy diferente en cuanto al aumento de resistencia. A continuación se muestran dos gráficos que resumen la resistencia a la tracción de las aleaciones de aluminio, tanto para forja como para fundición.

Al aumentar la resistencia, aumenta el límite 0,2% más deprisa que la resistencia a la tracción, independientemente del mecanismo que motive el aumento de la resistencia. Este aumento se nota especialmente cuando el aumento de resistencia tiene lugar por deformación en frío. En general no se desean altas relaciones entre los límites elásticos (límite 0,2% y resistencia máxima) ya que expresan un comportamiento relativamente quebradizo del material, razón fundamental por la que no se puede aumentar de forma arbitraria la resistencia de un material metálico. A continuación se muestra un gráfico con un ejemplo de esta relación para diferentes aleaciones de aluminio para forja:

Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión: en los materiales aluminicos se puede admitir que el valor del límite de aplastamiento 0,2% (parámetro de la resistencia a la compresión) es igual al valor del límite elástico 0,2% de tracción. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento 0,2% tienen importancia principalmente en las piezas sometidas a compresión tales como cojinetes de fricción.

La resistencia a la flexión en las aleaciones de aluminio se tiene en cuenta para las de fundición, en aquellos casos en que, al realizar el ensayo de tracción no es posible determinar el límite elástico con suficiente exactitud a causa de su pequeño valor.

La resistencia al cizallamiento es importante para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte y para determinadas construcciones. No existen valores normalizados. Generalmente está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción.

Casi nunca se determina la resistencia a la torsión, si se considera una distribución lineal de tensiones, puede considerársela igual a la resistencia al cizallamiento.

Propiedades resistentes a temperaturas elevadas: al aumentar la temperatura, disminuyen la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza, en tanto que, en general, aumenta el alargamiento de rotura y la estricción de rotura. El factor tiempo juega un papel esencial en la determinación de valores de resistencia para altas temperaturas. Esta influencia se exterioriza de dos maneras:

Cambios de estado. Bajo la influencia de temperaturas elevadas se pueden producir modificaciones permanentes en la estructura de los materiales que han experimentado endurecimiento por deformación en frío, estas traen consigo una disminución de la resistencia mecánica.

Procesos de fluencia. A temperaturas elevadas el material puede experimentar deformaciones lentas bajo la acción de cargas en reposo, aumentando la velocidad en el cambio de forma con el incremento de la temperatura y de la tensión. Al mismo tiempo pueden surgir tensiones por debajo de la resistencia a la tracción o del límite elástico 0,2%.

En la figura hay ejemplos de los diversos valores obtenidos de la dependencia entre la temperatura y el tiempo.

Características de resistencia a bajas temperaturas: el comportamiento de los metales a bajas temperaturas depende fundamentalmente de la estructura de su red cristalina. El aluminio con su red FCC (ó CCC) tiene la misma estructura que el cobre, el níquel o los aceros austeníticos, por eso no se presentan nunca en las aleaciones de aluminio a temperaturas bajas las complicaciones (rápido descenso de la resiliencia, entre otras) que tienen lugar en los metales BCC, sobretudo en los aceros ferríticos.

En las dos primeras figuras se representan la variación de la resistencia a la tracción, del límite 0,2% y del alargamiento de rotura del aluminio puro a bajas temperaturas. En las siguientes tres figuras se representa la

influencia de la temperatura hasta -196°C , sobre las propiedades resistentes de algunas aleaciones AlMg y AlMgMn en estado blando.

Resistencia a la fatiga: la fatiga depende de una serie de factores. Además de la composición, estado y procedimiento de obtención del material, hay que considerar la clase y frecuencia de las solicitaciones y, especialmente, la configuración de los elementos constructivos (distribución de fuerzas, tensiones máximas, superficie). La denominación "resistencia a la fatiga" se utiliza como concepto genérico para todos los casos de solicitud alternativas.

Para el aluminio el límite de ciclos de carga está fijado en 10. Los ensayos se hacen casi siempre con 5 10 ciclos. Los resultados de los ensayos de fatiga alternativa presentan siempre una dispersión que no se disminuye aunque se utilicen métodos más precisos de medición. Se deben, principalmente, a contingencias casuales que intervienen al originarse la primera fisura y prosiguen en las fases iniciales de su expansión.

Influencia del material. La resistencia a la fatiga se aumenta mediante la formación de soluciones cristalinas, la conformación en frío y el endurecimiento. En las aleaciones de aluminio para laminación y forja existe una clara diferencia entre las no endurecibles y las endurecibles. Esto se manifiesta en el siguiente gráfico, donde la aleación AlMg es la no endurecible térmicamente y la AlZnMgCu es la endurecible térmicamente.

Influencia de la sollicitación. Al juzgar los valores de la resistencia a la fatiga se ha de tener en cuenta el tipo de sollicitación (tracción, compresión, flexión alternativa o rotativa)y, ante todo, la posición de la tensión media o la relación de tensiones respectivamente. Además, se ha de observar atentamente si se da la amplitud de resistencia a la fatiga o a la máxima tensión superior.

Además de los anteriores factores, también influyen en la resistencia a la fatiga, los máximos de tensión o efectos de entalladura, el estado superficial y del ambiente, la soldadura y la temperatura.

Mecánica de la rotura. Tenacidad: el comportamiento en cuanto a la resistencia a la rotura de un material es importante. En los elementos de construcción se presupone que existen siempre fisuras de un determinado tamaño y que se dimensionan los elementos de tal modo que estas fisuras no sobrepasan una magnitud crítica , dentro de un período de vida previsto y sobre todo, que no aumenten de modo inestable. La carga puede ser monótona estática u oscilante. También se puede tener en cuenta la carga de fluencia (método más apropiado para los materiales de aluminio) o las grietas de corrosión bajo tensión.

El valor característico utilizado con más frecuencia es el de la tenacidad a las fisuras K , definido para el estado de tensiones uniforme como la concentración de tensiones crítica en la punta de la fisura, que ocasiona la continuación del crecimiento de la misma. Los valores altos de K significan alta tenacidad, siendo favorables, cuando también son elevados los valores de resistencia a la tracción y el límite elástico.

Entre los valores de resistencia habituales obtenidos del ensayo de tracción y la tenacidad a las fisuras no existe, en general, ninguna dependencia. Desde el punto de vista cualitativo, la tenacidad a las fisuras desciende al aumentar la resistencia. El objetivo de la investigación de los materiales es desarrollar los que tengan más resistencia y al mismo tiempo mayor tenacidad a la rotura.

El siguiente gráfico da una visión aproximada del intervalo de los valores de K para diversos materiales de aluminio en función del límite elástico.

Resistencia al desgaste: la resistencia a la abrasión o al desgaste de los materiales de aluminio es particularmente baja en el rozamiento en seco. No existe relación entre dureza y resistencia mecánica por un lado y resistencia a la abrasión por el otro.

Los materiales de aluminio sometidos a rozamiento, en determinadas circunstancias de funcionamiento,

muestran un comportamiento aceptable como prueban las numerosas aplicaciones que tienen en cojinetes de fricción y émbolos. Debe mencionarse también que el desgaste se puede reducir drásticamente por un tratamiento superficial apropiado.

Influencia de los tratamientos térmicos y mecánicos en las propiedades mecánicas:

Deformación en frío: la resistencia a la tracción, el límite elástico 0,2% y la dureza aumentan por deformación en frío, mientras que el alargamiento a la rotura y la estricción a la rotura, disminuyen. El curso típico, en función del grado de deformación, lo muestra la siguiente figura:

Se reconoce en ella que el límite elástico 0,2% sube con la deformación en frío más fuertemente que la resistencia a la tracción, aproximándose cada vez más a esta de modo que se llega casi a una rotura por fragilidad sin deformación, lo que supone que la deformación en frío tiene sus limitaciones. El comportamiento en cuanto al aumento de resistencia por deformación en frío depende de la composición. También juegan un papel importante el estado de la estructura antes de la deformación y el tipo de deformación, la velocidad y la temperatura de trabajo.

Mediante la deformación en frío se pueden modificar también otras características como la conductividad eléctrica, que disminuye muy poco. La influencia de una deformación en frío sobre la resistencia a la corrosión es escasa.

Ablandamiento: mediante recocido a elevadas temperaturas se elimina la acritud en los metales deformados en frío, lo que supone, que el aumento de la resistencia conseguida con la deformación en frío, se puede aminorar en mayor o menor medida. Una eliminación total de la acritud hasta conseguir el estado inicial se produce cuando el recocido se realiza a temperaturas por encima del umbral de la recristalización. A temperaturas por debajo de este umbral aparece solamente una eliminación parcial del ablandamiento (regeneración). La siguiente figura muestra una curva típica de ablandamiento basada en el curso de la curva de resistencia a la tracción, del límite elástico 0,2% y del alargamiento a la rotura para AlMg3 como función de la temperatura de recocido para una duración constante de recocido. Bajo estas circunstancias se supone que comienza la recristalización a unos 240 °C. El curso exacto de la curva de ablandamiento depende, además del material, muy fuertemente del nivel de la deformación en frío sufrida. Otras magnitudes que influyen son: el tiempo de recocido, la velocidad de calentamiento y el estado de la estructura antes de la conformación, es decir, los tratamientos térmicos y mecánicos sufridos, a los que se le puede añadir el procedimiento de fundición que se haya seguido en el material de partida.

Recocido de ablandamiento, estabilización: el recocido de ablandamiento sirve para transformar materiales a un estado de resistencia muy baja y alto alargamiento. Se realiza de ordinario para facilitar trabajos de conformación o para hacerlos posible. En los materiales endurecidos en frío, el recocido de ablandamiento consiste en un recocido de recristalización, habiendo de tenerse en cuenta el tamaño de grano, la duración del recocido, el nivel del grado de deformación en frío y los recocidos intermedios.

Normalizado: el normalizado sirve para la eliminación de tensiones propias, que pueden surgir debido a un rápido enfriamiento de las piezas al colarlas, por enfriamiento rápido después del proceso de endurecimiento o por trabajo mecánico. Debido a las tensiones propias, pueden producirse deformaciones en las piezas.

Las temperaturas a aplicar en el normalizado térmico son relativamente bajas, ya que de otro modo hay que contar con una merma de la resistencia mecánica no tolerable.

El tratamiento de normalizado es tanto más activo cuando más alta es la temperatura y más largo el tiempo de recocido, aunque deben tenerse en cuenta las posibles modificaciones permanentes de las propiedades del material. El normalizado debe realizarse siempre antes de mecanizar la pieza o al menos antes de la última operación, debido a que está ligada a una deformación permanente.

Recocido total, homogeneización: con los recocidos totales se pretende conseguir una eliminación de las tensiones propias del producto fundido, un equilibrio de los granos segregados y una disolución de los constituyentes estructurales eutécticos en los bordes de los mismos. Además el recocido total sirve con frecuencia para conseguir una disgregación regular de elementos disueltos en estado de sobresaturación, especialmente Mn y Fe, que influyen sobre el comportamiento en la recristalización y en la conformabilidad en caliente. Finalmente en las aleaciones endurecibles se consigue disolver los elementos de aleación que provocan el endurecimiento. Estos se depositan de nuevo, en el siguiente enfriamiento, que no suele ser rápido. Además si se realiza correctamente el proceso, la distribución tiene lugar de tal forma que, mediante un temple posterior, la disolución tiene lugar de forma rápida y total.

El recocido total puede colaborar, por lo tanto, a la disminución de las fuerzas necesarias para la conformación en caliente, a una tendencia hacia el ablandamiento uniforme y recocido de ablandamiento y a un mejoramiento de la conformabilidad en frío.

Endurecimiento por precipitación: es el tratamiento térmico más importante que se aplica a las aleaciones de aluminio. Este tratamiento eleva notablemente la resistencia mecánica de las aleaciones de aluminio endurecibles por tratamiento térmico.

El endurecimiento por precipitación tiene lugar, fundamentalmente en tres fases:

1. Por calentamiento a temperatura elevada se disuelven en la solución sólida de aluminio la mayor parte de los componentes de la aleación, que provocan el endurecimiento (recocido de disolución).
2. Por enfriamiento rápido, la solución sólida, enriquecida en estos componentes de la aleación se transforma, en primer lugar, en un estado sobresaturado (temple).
3. Por permanencia, a la temperatura ambiente o a una temperatura más elevada, se producen precipitaciones de la solución sólida sobresaturada, que provocan un aumento de la resistencia a la tracción, del límite elástico 0,2% y de la dureza (envejecimiento o maduración).