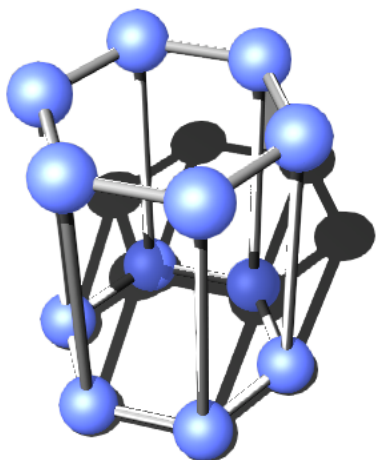




El Magnesio y sus Aleaciones

Historia :

En 1808, Sir Humphrey Davy descubrió la producción de magnesio por reducción electrolítica de su óxido, usando un cátodo de mercurio para formar amalgamas. Davy fue el primero que produjo magnesio. Sin embargo durante muchos años el metal fue una curiosidad del laboratorio. En 1886, se emprendió en Alemania la fabricación de magnesio por electrólisis del cloruro de magnesio fundido y hasta 1915 fue Alemania el único productor de magnesio. Cuando escaseó el magnesio en los Estados Unidos a consecuencia del bloqueo de Alemania por Inglaterra en 1915 y el precio del magnesio subió, tres productores iniciaron la fabricación y así inició la industria del magnesio en los Estados Unidos. Después otras compañías intentaron producir magnesio pero en 1920 sólo quedaban 2 productores la Dow Chemical Company y la American Magnesium Corporation. En 1927 dejó de producir magnesio esta última y la Dow Chemical Company continuó sus operaciones como el único productor de magnesio en los Estados Unidos hasta el año de 1941.

Tanto estas dos empresas productoras de magnesio usaban el método electrolítico, pero con diferentes electrolitos. La primera usaba una mezcla fundida de fluoruro de magnesio, fluoruro de bario y fluoruro de sodio a la que se añadía magnesita o dolomita calcinadas. Este procedimiento se caracteriza por un rendimiento bajo en corriente y energía. El procedimiento Dow tal como se aplica en Michigan trataba salmuera bombeada de pozos profundos para obtener un material que correspondía aproximadamente al 94% de cloruro de magnesio, 1 % de óxido de magnesio y 2% de agua el resto eran impurezas. Este material se introducía en una celda electrolítica llena de una mezcla de sales fundidas que comprendían aproximadamente el 25% de cloruro de magnesio el 15% de cloruro de calcio, el 60% de cloruro de sodio la temperatura se mantenía entre 700 y 750 grados por calentamiento con gas.

Durante el periodo 1915–1941 se hicieron muchas tentativas para elaborar procedimientos nuevos de producción del magnesio, especialmente en Europa. Por la urgente necesidad de magnesio creada por la amenaza de la segunda guerra mundial algunos de esos procedimientos fueron empleados a gran escala en Inglaterra, Canadá, Estados Unidos con fondos privados y de los gobiernos. En los Estados Unidos la Dow Chemical Company puso en marcha una planta en Texas que utilizaba como materia prima el agua de mar. En esta instalación se le agregaba cal al agua de mar para precipitar hidróxido de magnesio, que a su vez era convertido en cloruro de magnesio y después electrolizado en un baño de sales fundidas. También en 1941 construyó una fábrica que empezó a producir magnesio por el procedimiento carbotérmico inventado por un científico austriaco. En 1943 había trece fábricas más trabajando bajo la dirección de 11 compañías, seis de

esas fabricas empleaban el método electrolítico, el resto de las fabricas empleaban magnesita calcinada que se cloraba para convertirla en cloruro de magnesio, utilizando el método empleado en Alemania.

Descripción General del Magnesio :

El magnesio es un metal blanco brillante relativamente blando. Es uno de los elementos más abundantes (23000 ppm en la corteza terrestre). Como polvo, es extremadamente reactivo pero como sólido se oxida lentamente al aire y reacciona lentamente en el agua. No se encuentra naturalmente sino combinado con minerales como la magnesita (MgCO_3) y la dolomita (el carbonato doble de magnesio y calcio). Como otros elementos de las series 1 y 2 de la tabla periódica, puede obtenerse por electrólisis del haluro fundido o también por reducción del óxido de magnesio mediante ferrosilicio.

Sus aplicaciones incluyen el uso como desoxidante para el cobre, el latón y aleaciones de níquel. También se añade a varias aleaciones de aluminio. Es la base de aleaciones duras y ligeras utilizadas en la industria automóvil y aeronáutica (motores). Se han investigado aleaciones con zirconio y torio para la construcción de aviones. El magnesio puro puede utilizarse como electrodo "sacrificado" para proteger otros metales.

El magnesio forma compuestos bivalentes, siendo el más importante el carbonato de magnesio (MgCO_3), que se forma por la reacción de una sal de magnesio con carbonato de sodio y se utiliza como material refractario y aislante. El cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), que se forma por la reacción de carbonato u óxido de magnesio con ácido clorhídrico, se usa como material de relleno en los tejidos de algodón y lana, en la fabricación de papel y de cementos y cerámicas. Otros compuestos son el citrato de magnesio ($\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), que se forma por la reacción de carbonato de magnesio con ácido cítrico y se usa en medicina y en bebidas efervescentes; el hidróxido de magnesio, ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), formado por la reacción de una sal de magnesio con hidróxido de sodio, y utilizado en medicina como laxante, "leche de magnesia", y en el refinado de azúcar; sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), llamado sal de Epsom y el óxido de magnesio (MgO), llamado magnesia o magnesia calcinada, que se prepara calcinando magnesio con oxígeno o calentando carbonato de magnesio, y que se utiliza como material refractario y aislante, en cosméticos, como material de relleno en la fabricación de papel y como laxante antiácido suave.

Las aleaciones de magnesio presentan una gran resistencia a la tracción. Cuando el peso es un factor a considerar, el metal se utiliza aleado con aluminio o cobre en fundiciones para piezas de aviones; en miembros artificiales, aspiradoras e instrumentos ópticos, y en productos como esquís, carretillas, cortadoras de césped y muebles para exterior. El metal sin alea se utiliza en flashes fotográficos, bombas incendiarias y señales luminosas, como desoxidante en la fundición de metales y como *afinador de vacío*, una sustancia que consigue la evacuación final en los tubos de vacío.

La producción mundial estimada de magnesio en 1989 fue de 350.000 toneladas.

El magnesio, Mg, numero atómico 12, peso atómico 24.32 esta en el grupo II del sistema periódico. El magnesio en sus diversos compuestos esta muy diseminado en la naturaleza , sus principales minerales son la dolomita la magnesita y la carnalita. El magnesio se produce por la reducción térmica del oxido de carbón, ferrosilicio u otros reductores o por la electrólisis del cloruro de magnesio en mezclas de sales fundidas.

El magnesio metálico tiene un color blanco plata, tiene de densidad aproximadamente 1.74, es el material metálico estructural mas ligero,. Para las aplicaciones de ingeniería se alea con uno o varios elementos de un grupo que comprende el cinc, aluminio, manganeso, circonio, y el cerio para producir algunas de las aleaciones que tienen las mas elevadas razones de resistencia peso, entre los materiales metálicos estructurales. Las características más notables que hacen que las aleaciones de magnesio ofrezcan interés comercial son su poco peso, la facilidad con que se trabaja y la adaptabilidad a muchos procesos de fabricación y montaje. Otras características que hacen que el magnesio sea muy requerido son su buena conductividad térmica y eléctrica.

No presentan ningún peligro de toxicidad conocido. Las aleaciones de magnesio se encuentran en el comercio en casi todas las formas usuales para los metales entre ellas las siguientes :lingote, piezas fundidas en arena , moldes permanentes y en matrices , piezas forjadas ,barras, varillas , tubos formas específicas de extrusión, planchas y laminas.

Los usos potenciales importantes del magnesio en operaciones no estructurales son las adiciones metalúrgicas a las aleaciones de níquel, cinc, aluminio, la adición a la fundición de hierro, el uso químico en la producción de metales.

Propiedades Atómicas		
Distribución de los Isótopos Naturales	N de masa.	%
	24	78,99
	25	10,00
	26	11,01
Estructura Electrónica	Ne 3s ²	
Estructura cristalina	Hexagonal compacto	
Función de Trabajo Foto-eléctrico (eV)	3,66	
Número Atómico	12	
Peso Atómico (amu)	24,305	
Potencial de Ionización	N.	eV
	1	7,65
	2	15,03
	3	80,1
	4	109
	5	141
	6	187
Radio Atómico – Goldschmidt (nm)	0,160	
Sección trans. de Absorción de Neutrones Térm (Barns)	0,064	
Valencias indicadas	2	

Propiedades Eléctricas	
Fuerza Electromotriz Térmica contra el Platino (mV)	+0,44
Resistividad Eléctrica @20C (μOhmcm)	4,2
Coeficiente de Temperatura @0–100C (K ⁻¹)	0,00425

Propiedades Físicas	
Densidad @20C (g cm ⁻³)	1,74
Punto de Ebullición (C)	1090
Punto de Fusión (C)	649

Propiedades Mecánicas			
Estado del Material	Blando	Duro	Policristalino
Dureza – Vickers	30–35	35–45	
Límite Elástico (MPa)	69	100	
Módulo Volumétrico (GPa)			35,6
Módulo de Tracción (GPa)			44,7
Relación de Poisson			0,291
Resistencia a la Tracción (MPa)	185	232	

Propiedades Térmicas	
Calor Específico @ 25C (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1020
Calor Latente de Evaporación (J g ⁻¹)	5254
Calor Latente de Fusión (J g ⁻¹)	362
Coeficiente de Expansión Térmica @0–100C (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	26,0
Conductividad Térmica, @0–100C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	156

Es uno de los elementos químicos más importantes, tanto por su abundancia (es el octavo constituyente de la corteza terrestre, y el tercero de los que contiene el agua del mar en disolución) como por sus aplicaciones. Se halla presente en la dolomía, la carnalita, el amianto, la espuma de mar o sepiolita, la giobertita, y como cloruros o sulfatos en el agua de mar.



Obtención :

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 (magnesia, dolomía 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.

Sistema de Producción :

Se conocen varios procedimientos para producir magnesio a gran escala por electrólisis o por reducción

térmica. Actualmente, para alimentar las celdas los procedimientos electrolíticos utilizan cloruro magnésico anhidro algo hidratado. Los procedimientos de reducción térmica se caracterizan por el agente reductor, que puede ser carburo de calcio, aluminio, ferrosilicio o carbón.

Procedimiento Dow

El método más económico y más importante para producir magnesio, el cual utiliza agua de mar como la materia prima más importante, el agua de mar debe estar tibia, limpia y no debe estar diluida.

Los pasos por los cuales se efectúa la extracción del magnesio son:

Decantación:

El agua de mar pasa por una compuerta la cual deja pasar el agua, en este punto tiene una estratificación del agua de alta densidad, y del agua de baja densidad. Se añade al agua de mar cloro en cantidad que deje por lo menos 5 p.p.m. de halógeno libre residual para impedir el desarrollo de algas marinas. Después se produce cal con conchas de ostras, la cal es convertida en lechada en un apagador rotatorio. El hidróxido de calcio es sedimentado en tanques, de los cuales se extrae una lechada rica, mientras el líquido claro que queda vuelve a someter al ciclo. La lechada se mezcla con un poco de sosa cáustica y se diluye para facilitar el control, la mezcla de sosa cáustica y cal se agita con agua de mar en el depósito flocurador.

Filtración:

Esta operación se realiza en filtros moore, conectados a un colector central de succión, cada filtro se hace descender a un pozo lleno de lechada y durante dos horas permanece ahí y se recoge el hidróxido de magnesio. Después de sacar el cesto del pozo se lleva por medio de una grúa hasta tanques de vaciamiento, en los cuales se separa lavando las hojas del filtro con aire a presión.

Neutralización:

Este paso comienza con la disolución de lechada, que en este momento contiene aproximadamente el 25% de hidróxido de magnesio en peso, para transformarla en una lechada bombeable. Esto se realiza en homogeneizadores por agitación con una solución de cloruro de magnesio que vuelve al ciclo. La lechada resultante con una consistencia de crema, se bombea a los neutralizadores equipados con agitadores de hélice recubiertos con caucho. En el primer tanque se añade 75% del ácido necesario y todo el hidróxido de magnesio. La neutralización se completa en el segundo tanque.

Evaporación:

Esta operación se realiza la eliminación casi completa del agua de la solución del cloruro de magnesio al 15%, por evaporación y reducción en la solubilidad del cloruro de sodio. Este paso se efectúa en cuatro unidades de evaporación sumergidas del tipo de combustión colocadas en serie. Cada unidad está en comunicación con una torre de enfriamiento equipada con un precipitador electrostático. El paso siguiente es otra evaporación que se lleva a cabo en calderas de ebullición.

Secamiento:

Para eliminar el agua en exceso de la permitida para alimentar las cubas electrolíticas se calienta el líquido, de 50% de cloruro de magnesio a 170°C en tuberías de monel, pulverizando en ellas seis veces su peso de sólido previamente secado en una mezcladora rotatoria. El material se almacena o se usa directamente en las celdas electrolíticas, que son equipo auxiliar de los secaderos, hace pasar los gases de escape cargados de polvo por separadores calientes de ciclón para recuperar el cloruro de magnesio.

Electrólisis:

Se realiza en celdas electrolíticas Dow. Las celdas en trabajo están llenas de una mezcla de sales fundidas, que consta de 25% de cloruro de magnesio, 15% de cloruro de calcio, 60% de cloruro de sodio. El agua residual es evaporada al fundirse el material por el calor del baño. Sin ninguna dificultad puede añadirse material de alimentación que contenga de 10 al 20 % de agua a un baño que este a 700°C , la adición se hace lenta y uniformemente.

Por electrólisis se puede producir magnesio fundido y cloro gaseoso. El magnesio sube hasta la punta del electrolito y es dirigido por placas de hierro hacia los pozos colectores situados en la parte delantera de la celda, y el metal se saca a mano de los pozos en lingotes.

Corrosión :

El magnesio, a diferencia del aluminio, no se usa mucho en forma no aleada para construcciones. En consecuencia, es la resistencia a la corrosión de las aleaciones de magnesio la que suele interesar.

Pruebas de magnesio indicaron frecuentemente que algunas aleaciones de magnesio resistían mal el ataque por el agua de mar, un estudio reveló que pequeñas cantidades de hierro, cobre, níquel, eran causa de la mala resistencia a la corrosión en el agua de mar.

Resistencia a la Corrosión :

Un problema con el magnesio ha sido su carencia de suficiente resistencia a la corrosión para muchas aplicaciones, particularmente las aleaciones usadas para colada inyectada y colada en molde de arena. Expuesto a ambientes no salitrosos se le genera una capa gris que no altera notablemente las propiedades mecánicas, pero si se acumulan sustancias externas sobre la superficie, que retengan la humedad, se producirá picado y corrosión generalizada.

El problema ha sido resuelto por los dos mayores suministradores, Dow y AMAX; ambos han desarrollado la aleación de alta pureza AZ91 para colada inyectada, y ambos ofrecen un grado de colabilidad en molde de arena. Se dice que estas aleaciones de alta pureza son 100 veces más resistentes a la corrosión que las aleaciones de magnesio corrientes, y más resistentes al agua salada que la aleación de aluminio 380 por colada inyectada, o que el acero laminado, probado de acuerdo a las normas ASTM B117. La investigación en metalurgia de magnesio ha evidenciado que la habilidad del magnesio para resistir corrosión en un ambiente salitroso depende fuertemente del mantenimiento de las impurezas (hierro, níquel, cobre) bajo sus límites máximos durante toda la operación de producción.

La aleación de magnesio de alta pureza ya ha reemplazado otros metales así como un número de plásticos en una variedad de componentes de automóviles y camiones livianos. Ejemplos incluyen cubiertas de válvulas y engranajes de distribución, bridas, bastidores de cajas de transmisión y embragues, radiadores, accesos de lámparas, carcasas de motores de limpiaparabrisas, y varias partes de reguladores interiores.

En cuanto a la corrosión galvánica, el magnesio posee el más elevado potencial de electronegatividad de los metales estructurales y en consecuencia una gran tendencia a polarizarse anódicamente en soluciones salinas,. En función de prevenir este problema, deben tomarse las siguientes medidas: el metal a unirse no debe ser muy disímil, poseer tratamientos protectores adecuados, utilizar algún dispositivo que incremente la resistencia, o inhibir la celda galvánica químicamente. El aluminio de altísima pureza (99%) es compatible galvánicamente con el magnesio, pero pequeñas cantidades de impureza (0,02%), hierro o cobre, disminuyen la compatibilidad.

Debido a las características mencionadas es usualmente utilizado para protección catódica de otras piezas

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 mas 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 ultimo 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 la curva de fatiga se observa que esta se torna paralela al eje entre los 10 y 100 millones de ciclos. El trabajado en frío de las zonas superficiales proclives a fallar por fatiga genera tensiones de compresión residuales que ayudan a mejorar la resistencia a la fatiga.

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.

Especificaciones :

Las aleaciones de magnesio son designadas por un sistema establecido por la A.S.T.M. (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales), que cubre tanto composiciones químicas como durezas.

Las primeras dos letras de la designación identifican los dos elementos aleantes presentes en mayor cantidad. Las letras son ordenadas en forma decreciente según porcentajes, o alfabéticamente si los elementos se encuentran en igual proporción. Las letras son seguidas de sus respectivos porcentajes redondeados a números

enteros, seguidos por una letra final de serie. Esta letra de serie indica alguna variación en composición de algún constituyente aleante menor, o impurezas.

Las letras que designan los constituyentes aleantes más comunes son:

- A Aluminio
- E Tierras raras
- H Torio
- K Circonio
- L Litio
- M Manganeseo
- Q Plata
- S Silicio
- Z Zinc

Por ejemplo, la aleación de magnesio AZ31B contiene 3% de aluminio (código de letra A) y 1% de zinc (código de letra Z).

Soldabilidad y Uniones :

Las aleaciones de magnesio son soldables por soldadura de arco con atmósfera protegida de gas inerte y también por soldadura eléctrica de punto.

Las propiedades mecánicas de las soldaduras por arco no difieren en gran medida de las del material soldado, manteniendo aproximadamente un 90% de la resistencia mecánica. Sin embargo, las aleaciones de magnesio–aluminio–zinc son proclives a la corrosión por tensión en las zonas linderas a las soldadas. Para evitarlo, se deben relajar las tensiones mediante un posterior calentamiento y enfriamiento al aire (sin agitar). Las soldaduras de punto son buenas para las tensiones estáticas, pero las propiedades a la fatiga son menores que en juntas soldadas por arco o remachadas.

Otros métodos usados para uniones de aleaciones de magnesio son remachado y adhesivos. Fijaciones mecánicas pueden ser usadas en magnesio, manteniendo las concentraciones de tensiones en un mínimo seguro. Para el remachado se utilizan métodos convencionales, pero sólo los remaches dúctiles de aluminio deberían usarse, preferiblemente aleación 5056–H32, para minimizar la posibilidad de falla por corrosión galvánica. Las juntas por pegado se han transformado en una técnica muy utilizada, las características de fatiga son mejores que en las otras uniones, y las probabilidades de falla debido a concentración de tensiones son minimizadas. Este tipo de junta puede utilizar menores espesores pudiendo lograrse estructuras más livianas; también forma una capa que rellena el espacio entre las mismas formando una aislación entre cualquier tipo de materiales disímiles.

Fabricación :

Las aleaciones de magnesio son muy fáciles de mecanizar, pueden ser conformados y fabricados por la mayoría de los procesos de trabajado de metales. A temperatura ambiente, el magnesio se endurece por trabajado rápidamente, reduciendo la conformabilidad en frío; de este modo, el conformado en frío está limitado a deformación moderada o curvado por rodillo de gran radio.

Las fundiciones de las aleaciones de magnesio son dimensionalmente estables hasta aproximadamente los 95°C. Algunas fundiciones de aleación magnesio–aluminio–zinc pueden experimentar envejecimiento permanente si se usan por encima de esta temperatura por largos períodos. Las coladas de molde permanente (permanent mold–casting) son tan resistentes como las de molde de arena (sand–casting), y pueden proporcionar tolerancias dimensionales más ajustadas, con mejor terminación superficial. Las aplicaciones

típicas de la colada por gravedad son componentes de motores de aviación y llantas de vehículos de competición.

El diseño de partes de magnesio por colada inyectada sigue los mismos principios establecidos para otros metales. Las máximas propiedades mecánicas en una aleación típica son desarrolladas en un rango de espesor de pared entre 1,9 y 3,8 mm. Carcasas de herramientas a motor y sierras de dientes articulados, palancas, mandos y bastidores autoportantes son aplicaciones típicas de la colada inyectada.

El magnesio es fácil de trabajar en caliente, por lo que usualmente requiere menos etapas de forjado que otros metales. Curvado, calado y terminado son usualmente las únicas operaciones que se necesitan. Una típica aplicación del forjado de magnesio son los anillos de acoplamiento en fuselajes de misiles.

Las formas usuales de extrusión incluyen perfiles redondos, cuadrados, rectangulares y hexagonales; ángulos, vigas y canales; y una variedad de tubos. Ejemplos de extrusiones de magnesio son bastidores de carga y estructurales para cubiertas militares.

Aleaciones :

El magnesio, como la mayoría de los otros metales, es relativamente débil y blando en su estado elemental, pero se alea eficazmente con el aluminio, cinc, manganeso, estaño, circonio y cerio para producir aleaciones muy útiles como materiales de ingeniería. Casi todas las aleaciones de magnesio que han tenido éxito en la práctica llevan aluminio, cinc y manganeso, pero se usan en cantidades crecientes aleaciones que contienen circonio con cinc o elementos de las tierras raras, en especial el cerio.

El sistema que la A.S.T.M. adoptó para designar los metales ligeros y las aleaciones se está usando en las últimas especificaciones publicadas por la A.S.T.M. para las aleaciones de magnesio.

Aunque las aleaciones de magnesio fundidas se caracterizan por una resistencia a la tracción y una resistencia a la compresión aproximadamente iguales, la resistencia a la compresión de la mayoría de las aleaciones de magnesio estiradas es inferior a la resistencia a tracción.

Las piezas fundidas en arena de aleaciones de magnesio se han producido en gran variedad de tamaños y formas.

Casi todas las aleaciones comerciales de magnesio pueden ser estiradas por extrusión en una variedad casi ilimitada de formas.

Especificaciones de los productos de magnesio

Propiedades mecánicas de aleaciones de magnesio Dow.

Propiedades físicas de las aleaciones de magnesio

Composición nominal. % Propiedades Físicas

El magnesio es el material ideal para aplicaciones donde la ligereza del componente sea prioritaria, ya que tiene la densidad más baja de todos los metales estructurales. La estructura del magnesio es HCP. Como es casi tan ligero como el plástico, el magnesio ofrece la ventaja de una mayor resistencia y rigidez, junto con una, durabilidad, disipación de calor y plena capacidad de reciclaje inherentes.

Hay que tomar precauciones especiales al realizar el mecanizado debido a las limitaciones de fluencia de las aleaciones de magnesio. Es importante tener en consideración los efectos causados por el medio ambiente y conocer que con el transcurso del tiempo y/o a temperaturas elevadas se produce un cambio en la estructura metalúrgica de la aleación que afecta a sus propiedades mecánicas. Este efecto de envejecimiento surge del hecho de que las piezas fundidas se producen en condiciones de solidificación rápida que no permiten que la aleación alcance el equilibrio (de hecho, las reacciones entre los componentes de la aleación no se han completado). La mejor aleación para una aplicación específica de alta temperatura no puede seleccionarse en base a la resistencia de corto plazo en condiciones normales de funcionamiento.

Como la fluencia es un aspecto importante a tomar en consideración en las piezas de magnesio para uso a altas temperaturas, deben conocerse los esfuerzos y los tiempos de funcionamiento tanto para las condiciones extremas como las normales. Por lo tanto, los límites de esfuerzo, tiempo, y deformación permisible durante el funcionamiento, a una temperatura dada, determinan la mejor aleación para cada aplicación.

Estas aleaciones presentan una excelente capacidad de amortiguación y atenuación de vibraciones en comparación con las aleaciones de aluminio para piezas fundidas a presión.

Fluencia del magnesio

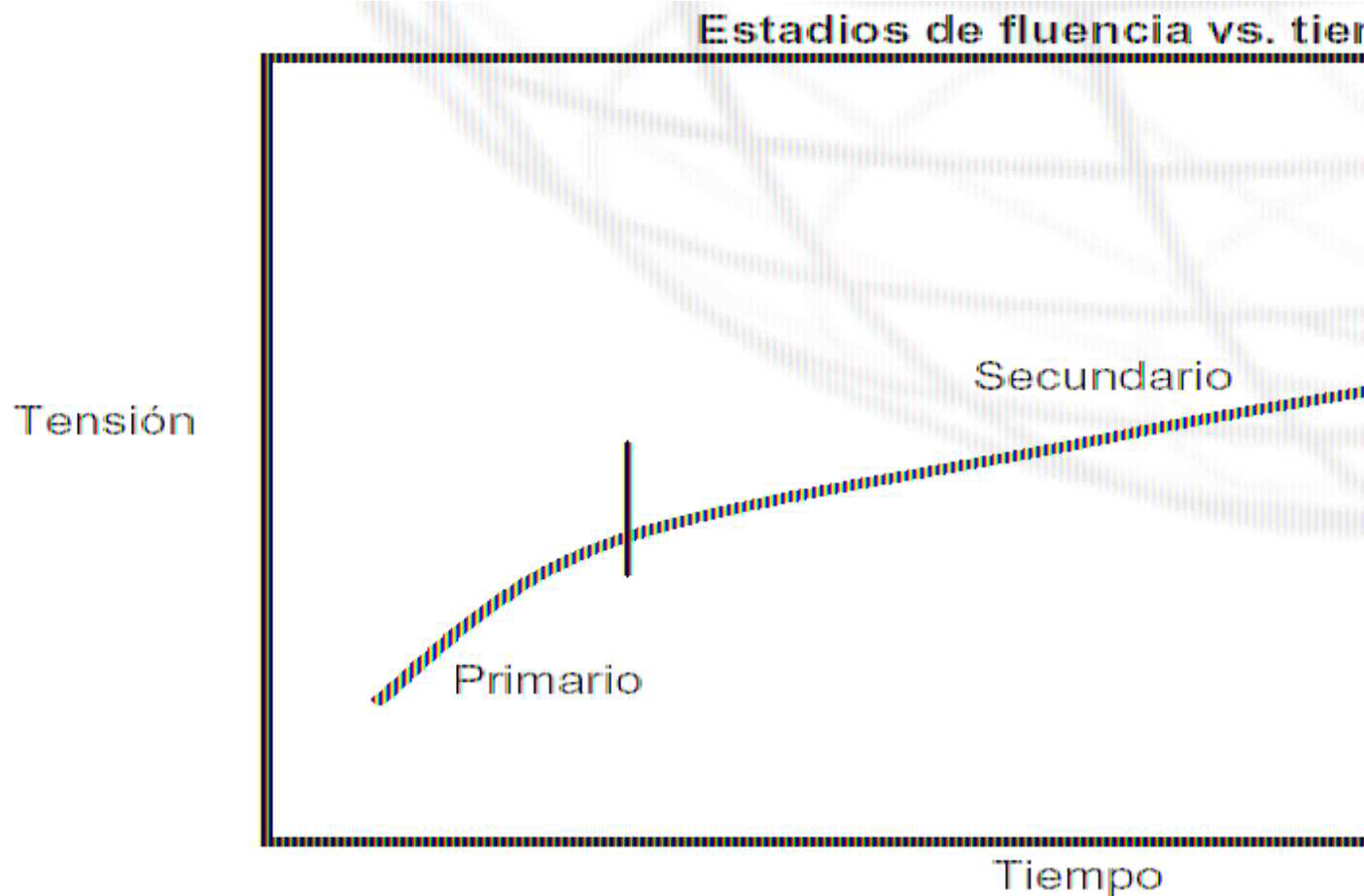
La fluencia (alargamiento bajo carga) se define como el esfuerzo, dependiente del tiempo, que se produce bajo una carga dada. Por lo general, hay tres etapas bien definidas de fluencia:

Primaria – el esfuerzo de fluencia que se produce a velocidad de fluencia en disminución

Secundaria – el esfuerzo de fluencia que presenta una velocidad mínima y casi constante

Terciaria – el esfuerzo de fluencia que presenta una alta velocidad que, por lo general, conlleva a la ruptura.

Estadios



La fluencia de la aleación de magnesio para piezas fundidas a presión más comúnmente utilizada, la AZ91, a temperatura ambiente y

a bajos esfuerzos se describe bien mediante la relación:

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n$$

Donde $\dot{\epsilon}$ es la velocidad de fluencia en estado estable, A es una constante, y el exponente de esfuerzo n es igual a 4,6. La AZ91 se utiliza poco a altas temperaturas debido a que pierde mucha de su resistencia por encima de aproximadamente 120° C (250° F).

Los esfuerzos para mejorar la resistencia a la fluencia de las aleaciones de magnesio para fundición a presión, a temperaturas mayores de 120° C han traído como resultado la introducción de aleaciones que contienen silicio o metales de tierras raras.

Aleación de magnesio AZ91D (normativa americana) ó UNE 38-513-75

La aleación AZ91D es la aleación de magnesio para piezas fundidas a presión más ampliamente utilizada. Esta aleación de alta pureza tiene una excelente combinación de propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y colabilidad. La resistencia a la corrosión se logra mediante el cumplimiento de límites muy estrictos con relación a tres impurezas metálicas: hierro, cobre y níquel. Éstos están limitados a niveles muy bajos lo que hace necesario que se utilice magnesio primario en la producción de esta aleación.

Composición Aleación Mg AZ91D	
ELEMENTOS	%

Aluminio	8.3–9.7
Manganeso A	0.15–0.5
Zinc	0.35–1.0
Silicio	0.1 Max
Cobre	0.03 Max
Níquel	0.002 Max
Hierro A	0.005 Max
Otros Metales	0.02 Max/cu
Magnesio	El resto

A Si no se consigue el límite mínimo de manganeso

o el límite máximo de hierro, entonces el ratio hierro/manganeso

no deberá exceder 0.032.

Consecuencias de exceder los límites de impurezas:

- La resistencia a la corrosión decrece cuando crece el contenido de Fe, Cu o Ni.
- Un contenido superior al 0.5% Si disminuye la elongación.
- Si el contenido de Fe excede el 0.005%, el ratio Fe–Mn no excederá 0.032 y la resistencia a la corrosión descenderá rápidamente.

Aleación de magnesio AM60A

La aleación de magnesio AM60A se utiliza en aplicaciones que requieren un buen alargamiento, tenacidad y resistencia a los impactos, combinados con una resistencia razonablemente buena y una excelente resistencia a la corrosión. La mayor ductilidad que presenta esta aleación es consecuencia de su bajo contenido de aluminio. Sin embargo, esto también trae como resultado una disminución de su resistencia y una menor colabilidad.

Características de las aleaciones de magnesio

El más ligero de los metales estructurales

Es 1.5 más ligeras que el aluminio y 4.3 veces que el acero

Buena rigidez y relación resistencia–peso

Alta conductividad, tanto eléctrica como térmica y buena resistencia altas temperaturas de trabajo.

Fácil de mecanizar ; los costes de energía son más bajos y la velocidad del proceso es mayor que la del aluminio.

Ventajas económicas en comparación con los plásticos y aluminio

Anteriormente el magnesio era mucho más caro que el aluminio. Esto condujo a que fuera usado exclusivamente en industrias de alta inversión (espacial, defensa,) pero actualmente su precio ha disminuido considerablemente y puede competir con el aluminio a nivel unitario específico.

Alta precisión dimensional y estabilidad

Buena resistencia a la corrosión y a la fatiga

Buenas características de acabado

Presenta también poca deformación residual.

Plena capacidad de reciclaje

CARACTERÍSTICA	Aleación de Mg para fundición a presión		
		AZ91D	AM60A
Resistencia a defectos producidos por enfriamiento A	2	3 G	
Estanqueidad bajo presión	2	1 G	
Resistencia a la ruptura en caliente B	2	2 G	
Facilidad y calidad para el mecanizado C	1	1 G	
Facilidad y calidad para aplicación de galvanoplastia D	2	2 G	
Tratamiento de superficie E	2	1 G	
Capacidad para llenar el molde	1	2	
Antiadherencia al molde	1	1	
Resistencia a la corrosión	1	1	
Facilidad y calidad para el pulido	2	2	
Recubrimiento químico de óxido protector	2	1	
Resistencia a altas temperaturas F	4	3	

Escala relativa: 1 = la más conveniente, 5 = la menos conveniente.

A Resistencia a los defectos en frío. La capacidad de una aleación de resistir la formación de defectos causados por el enfriamiento tales como derivaciones por enfriamiento, grietas por enfriamiento, remolinos, etc.

B Resistencia a la ruptura en caliente. Capacidad de una aleación de resistir las tensiones que se generan durante la contracción, cuando se enfría pasando por el cambio de temperatura en que es frágil en caliente.

C Facilidad y calidad para el mecanizado. Clasificación compuesta basada en la facilidad de corte, características de las virutas, calidad del acabado y duración de las herramientas.

D Facilidad y calidad para aplicación de galvanoplastia. Capacidad de una pieza fundida de aceptar y retener un recubrimiento galvanoplástico aplicado mediante métodos estándar.

E Tratamiento de superficie. Capacidad de las piezas fundidas de ser limpiadas con soluciones ácidas estándar y de ser acondicionadas para una mejor adhesión de la pintura.

F Resistencia a altas temperaturas. Clasificación basada en la resistencia a la fluencia a altas temperaturas.

G Experiencia limitada, sólo como orientación.

Varios grupos automovilísticos como Volkswagen AG y el MRI (Magnesium Research Institute) están llevando a cabo un programa de investigación para la obtención de nuevas aleaciones tipo MRI 15XX que mantengan sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión a más altas temperaturas. También se pretende mantener los mismos sistemas de conformado por fundición con estas nuevas aleaciones y los mismos diseños de las piezas que con las aleaciones convencionales como la AZ91D. Mostramos algunos gráficos comparando diferentes propiedades entre la AZ91D y las nuevas aleaciones tipo MRI 15XX.

Table 1: Ambient temperature properties of new alloys compared to conventional alloys

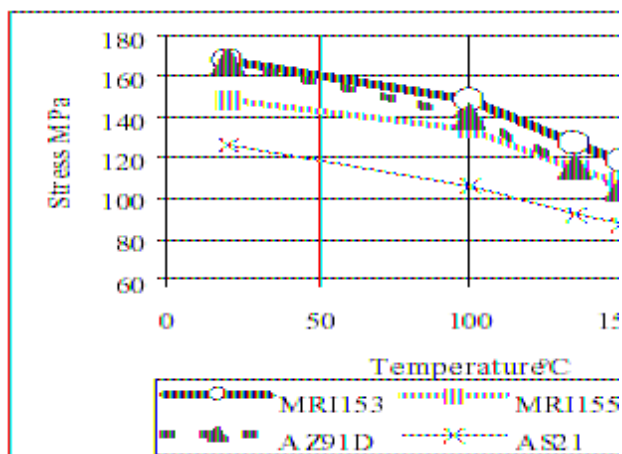
Alloy	TYS [MPa]	UTS [MPa]	E [%]	Impact strength* [J]	Corrosion rate** mg/cm ² /day
MRI 151	175±4	277±6	7.5±0.5	7±2	0.12
MRI 153	168±5	251±6	5.8±0.9	9±4	0.09
MRI 155	148±3	265±8	12.8±1.6	15±4	0.13
AZ91D	167±3	277±6	7.0±0.5	8±2	0.11
AS21	126±3	237±3	16±3	14±3	0.34

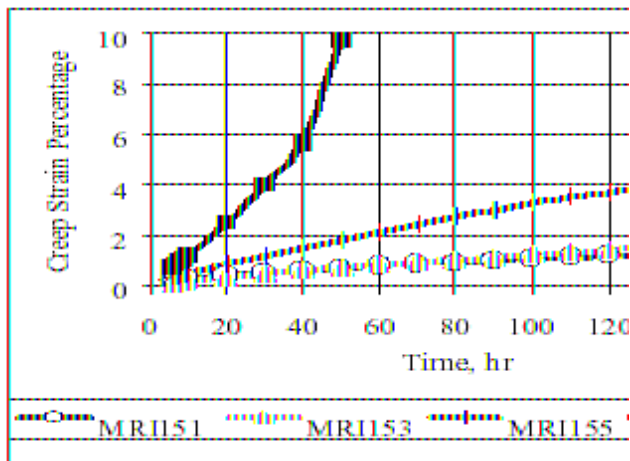
*-unnotched samples

** - 100 hr salt spray test according to ASTM Standard B-117

Table II Creep behavior of new alloys

Alloy	Stress exponent	Activation energy [KJ/mol]
	135°C, 85-110 MPa	90 MPa, 130- 150°C
MRI 151	7	175
MRI 153	7.6	181
MRI 155	8.9	166
AS21	19.5	168





Acabados y Usos :

La aplicabilidad de procedimientos de fabricación primaria y secundaria a las aleaciones de magnesio, unida a la posibilidad de emplear todos los procedimientos de vaciado, hace que esas aleaciones se encuentren en el comercio e casi tosa las formas comunes a otros metales y otra aleaciones empleadas en Ingeniería.

Casi todas las operaciones de fusión del magnesio exigen el uso de fundentes para impedir la oxidación excesiva. Los fundentes obran como agentes de limpieza y eliminan del metal los óxidos y otras impurezas.

La extrusión se usa para producir barras, perfiles estructurales, tubos y formas especiales.

Las piezas de magnesio forjadas suelen hacerse por medio de operaciones de forja de prensa, aunque se hacen también algunas piezas forjadas con martillo. Las temperaturas de forjado son aproximadamente las mismas que se emplean para extrusión.

Se ha extendido mucho la producción de piezas fundidas en arena con aleaciones de magnesio. Es necesario adoptar algunas precauciones especiales en la fundición con moldes de arena verde para impedir una reacción excesiva con el oxígeno del aire y la humedad.

El remachado es el método más frecuentemente usado para unir piezas hechas con láminas o por extrusión. Sin embargo, los remaches no se hacen con aleaciones de magnesio, porque éstas se endurecen rápidamente por el trabajo mecánico y al endurecerse se hacen quebradizas.

Acabados

Las piezas y las estructuras hechas con aleaciones de magnesio suelen acabarse por procedimientos que implican la limpieza, el acondicionamiento de la superficie, tratamientos químicos o electroquímico y pintura. También se aplica en algún grado la galvanostegia.

Usos

El magnesio no aleado se usa en la industria metalúrgica como desoxidante para metales y aleaciones como níquel, plata, mónel, latón y bronce.

En las aleaciones con base de níquel, el magnesio se combina también con azufre y así mejora la maleabilidad.

El magnesio aleado con aluminio forma algunas aleaciones de aluminio más resistentes.

Combinado con el níquel u otros metales, el magnesio se añade a la fundición de hierro gris para producir hierro colado dúctil.

Sus propiedades pirotécnicas, cuando está en forma de polvo, hacen que sea apropiado para señales marinas y e ferrocarriles.

El magnesio se usa también en síntesis orgánicas y en el procedimiento Kroll para producir titanio.

Las aplicaciones especiales del magnesio en el campo de la metalurgia y en el de la Química son importantes; pero la mayor parte del magnesio usado actualmente está en forma de aleaciones.

Conclusiones

El estar enterados de que el magnesio es un metal moderadamente duro, argénteo y que se fabrica rápidamente por todos los métodos estándar, nos hace caer en la cuenta de que es uno de los metales no ferrosos más importantes y el más ligero de los metales estructurales.

Al realizar este trabajo de investigación pudimos notar también que el magnesio es un fuerte agente oxidante y que el oxígeno y la humedad lo pueden dañar considerablemente; su conductividad eléctrica es similar a la del aluminio, por lo que al alearse crean materiales de muy alta calidad.

Aunque este metal se usa mucho en la industria hay que tener en cuenta que no se disuelve en agua, pero es soluble en ácidos por lo que es inflamable y el riesgo de trabajarlo es bastante alto, ya que, puede producir incendios y sólo se pueden apagar con arena o talco, al utilizarlo, será necesario tomar las medidas de seguridad necesarias.

Este metal ha sido y será uno de los más necesarios en la industria, siendo así que ha causado conflictos entre países el caso es entre Estados Unidos y Alemania que por querer alcanzar la mayor producción de magnesio se enfrentaron varias veces, ganando los norte americanos y obteniendo uno de los métodos más eficientes para extraer el magnesio.

Cabe mencionar que el magnesio es el constituyente atómico característico de la clorofila.

Anexo

Aspectos Económicos :

Las cifras de producción de magnesio no son muy impresionantes cuando se comparan con estadísticas de la producción de hierro, aluminio y otros metales. Sin embargo, es muy importante la consideración de que el magnesio es el metal del que se dispone con más abundancia en todo el mundo. No sólo se encuentra abundante y universalmente en forma de minerales de alta calidad, sino que existe también en el mar en cantidad aproximada de 1'300,000 toneladas por kilómetro cúbico. Todo el magnesio producido hasta 1950 hubiera podido extraerse de menos de medio kilómetro cúbico de agua del mar. El mar por sí solo es un depósito infinito de magnesio.

Cifras en toneladas

*Cifra calculada, incluida en el total.

El magnesio es más barato por unidad de volumen que ningún otro metal estructural, salvo el hierro.

30

