

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 458 559**

51 Int. Cl.:

**C22C 23/06** (2006.01)

**C22F 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2004 E 04819458 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2014 EP 1688509**

54 Título: **Aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza, y método para la producción de la misma**

30 Prioridad:

**26.11.2003 JP 2003395905**

**29.03.2004 JP 2004096344**

**30.09.2004 JP 2004287912**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**06.05.2014**

73 Titular/es:

**KAWAMURA, YOSHIHITO (100.0%)  
7-A-302, SHIN-NABE 2-CHOME, KUMAMOTO-SHI  
KUMAMOTO 8620928, JP**

72 Inventor/es:

**KAWAMURA, YOSHIHITO y  
YAMASAKI, M.**

74 Agente/Representante:

**LLAGOSTERA SOTO, María Del Carmen**

**ES 2 458 559 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## **Descripción**

### **Ámbito de la Invención**

La presente invención se refiere a un producto de aleación de magnesio de alta dureza y alta resistencia y un método de producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta dureza y alta resistencia y posteriormente trabajado plásticamente.

### **Antecedentes de la Invención**

Una aleación de magnesio se ha convertido en algo de uso común como material de la carcasa de un teléfono móvil o una pieza de un automóvil debido a su reciclabilidad.

Para estas utilizaciones, se requiere que la aleación de magnesio tenga unas altas propiedades de resistencia y dureza. De esta manera, se ha estudiado un método de producción de una aleación de magnesio de alta dureza de muchas formas, desde el aspecto del material y desde el aspecto de su fabricación.

Desde el aspecto de la fabricación, como resultado de los avances en nanocrystalización, se ha desarrollado un método metalúrgico de polvo de solidificación rápida (un método RS-P/M) para obtener una aleación de magnesio que tenga una resistencia de alrededor de 400 MPa, es decir aproximadamente dos veces la de un material de fundición.

Como aleaciones de magnesio, son ampliamente conocidas las aleaciones basadas en Mg-Al, basadas en Mg-Al-Zn, basadas en Mg-Th-Zn, basadas en Mg-Th-Zn-Zr, basadas en Mg-Zn-Zr, o basadas en Mg-Zn-Zr-RE (elemento raro en la Tierra). Cuando una aleación de magnesio que presenta la composición anteriormente mencionada es producida por un método de fundición, no puede obtenerse una resistencia suficiente. Por otro lado, cuando una aleación de magnesio que tiene la composición anteriormente

mencionada se produce mediante el método RS-P/M, puede conseguirse una resistencia superior a la del método de fundición; sin embargo, la resistencia sigue siendo insuficiente. Como alternativa, la resistencia es suficiente, mientras que la dureza (una ductilidad) resulta insuficiente. Por lo tanto, resulta problemático utilizar una aleación  
5 de magnesio producida por el método RS-P/M para aplicaciones que requieren una alta resistencia y una alta dureza.

Para una aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza, se ha propuesto utilizar aleaciones basadas en Mg-Zn-RE (elemento raro en la Tierra) (por ejemplo, en referencia a la Literatura de Patentes 1, 2 y 3).

10 Asimismo, en la Literatura de Patentes 4 se describe una aleación que contiene Mg, un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 2% de Y, y una aleación que contiene Mg, un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 3% de Y, que se produce mediante un método de enfriamiento líquido. La aleación consigue obtener unas altas propiedades de resistencia creando una estructura de cristal de  
15 granulación fina mediante el enfriamiento.

Como alternativa, en la Literatura No de Patentes 1 se describe una aleación de magnesio, que se produce de una forma tal que un producto de fundición de una aleación que contiene Mg, un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 2% de Y se extrusiona a un índice de extrusión de 4 y a una temperatura de 420°C, y  
20 a continuación se somete a un trabajo ECAE 16 veces. La idea de la Literatura No de Patentes 1 se deriva de la idea de la invención que se describe en la Literatura de Patentes 4, en la cual se forma una estructura de cristal de granulación fina mediante enfriamiento con el fin de obtener unas altas propiedades de resistencia. Por lo tanto, en

esta Literatura No de Patentes se realiza un trabajo ECAE 16 veces con el fin de conseguir una estructura de cristal de granulación fina.

Literatura de Patentes 1: Patente Número 3238516 (Fig. 1).

Literatura de Patentes 2: Patente Número 2807374.

- 5 Literatura de Patentes 3: Solicitud de Patente Japonesa Publicada 2002-256370 (Reivindicaciones y Realizaciones).

Literatura de Patentes 4: WO02/066696 (PCT/JP01/00533).

Literatura No de Patentes 1: Material Transactions, Vol. 44, no. 4 (2003), páginas 463 a 467.

- 10 E. Abe et al. "Long-period ordered structure in a high-strength nanocrystalline Mg-1 at% Zn-2 at% Y alloy studied by atomic-resolution Z-contrast STEM", Acta Materialia, no. 50, 2002, páginas 3845-3857, describe una masa de aleación de  $Mg_{97}Zn_1Y_2$  nanocrystalina preparada mediante extrusión caliente de polvos de solidificación rápida.

Descripción de la Invención

- 15 Problemas que se resuelven mediante la Invención

Sin embargo, en un material basado convencionalmente en Mg-Zn-RE, se obtiene una aleación de magnesio de alta resistencia, mediante, por ejemplo, tratamiento térmico de un material de aleación amorfo para formar una estructura de granulación fina. En este caso, en función de una idea preconcebida en la cual añadir una cantidad sustancial de zinc y elemento raro en la Tierra es un requisito para obtener el material de aleación amorfo, se ha utilizado una aleación de magnesio que contiene una cantidad

20

relativamente grande de zinc y de elemento raro en la Tierra.

Las Literaturas de Patentes 1 y 2 describen que puede obtenerse una aleación de alta resistencia y alta dureza. Sin embargo, en la práctica, no existen aleaciones que tengan una resistencia y una dureza suficientes para ponerlas en uso práctico. Y actualmente, 5 las aplicaciones de aleación de magnesio se han expandido, de manera que una aleación con una resistencia y una dureza convencionales resulta insuficiente para dichas aplicaciones. Por lo tanto, se requiere una aleación de magnesio con una resistencia mayor y una dureza mayor.

La Literatura No de Patentes 1 presenta un problema de incremento de costes de 10 producción, ya que se realiza un trabajo ECAE 16 veces después de un proceso de extrusión a un ritmo de extrusión de 4. E incluso, a pesar del tiempo y el esfuerzo que conlleva, el trabajo ECAE se realiza para conseguir una cantidad total de tensión de 16 o más, la aleación obtenida puede tener una elasticidad del orden de 200MPa, mostrando una resistencia insuficiente.

15 La presente invención ha sido concebida a la vista de los problemas anteriormente mencionados. Uno de los objetos de la presente invención es proporcionar un producto de aleación de magnesio trabajado plásticamente de alta resistencia y alta dureza que tenga una resistencia y una dureza a un nivel suficiente para que la aleación sea utilizada en la práctica en aplicaciones expandidas de una aleación de magnesio y un 20 método para producir una fundición y un producto trabajado plásticamente a continuación.

#### Forma de Solucionar los Problemas

Con el fin de solucionar los problemas mencionados anteriormente, se proporciona un

producto trabajado plásticamente de acuerdo con la reivindicación 1.

El producto trabajado plásticamente tiene una fase de magnesio estructurada en hcp y se produce sometiendo el producto de fundición a un trabajo plástico.

Por ejemplo, el producto trabajado plásticamente tiene una fase de magnesio  
5 estructurada en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente.

Un producto trabajado plásticamente puede ser producido sometiendo el producto de fundición de aleación de magnesio a un trabajo plástico y un tratamiento térmico, en que el producto trabajado plásticamente tiene una fase de magnesio estructurada en hcp  
10 y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente.

La fase de magnesio estructurada en hcp tiene un tamaño medio de partícula de 2  $\mu\text{m}$  o más. Y la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente un diámetro medio de partículas de 0.2  $\mu\text{m}$  o más, y tiene un número  
15 aleatorio de borde de los granos existente en el grano de cristal del mismo, en el cual el grano de cristal definido por el borde de grano aleatorio tiene preferiblemente un tamaño medio de partícula de 0.05  $\mu\text{m}$  o más.

La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente al menos una densidad de dislocación por lo menos inferior a diez en relación con la fase  
20 de magnesio estructurado en hcp.

La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente un grano de cristal con una fracción de volumen del 5% o más.

El producto trabajado plásticamente puede contener por lo menos un tipo de precipitación seleccionado entre el grupo que consta de un compuesto de Mg y elemento raro en la Tierra, un compuesto de Mg y Zn, un compuesto de Zn y elemento raro en la Tierra y un compuesto de Mg, Zn y elemento raro en la Tierra.

- 5 El por lo menos un tipo de precipitación puede tener una fracción de volumen total mayor que 0 hasta un 40% o menos.

El trabajo plástico se lleva a cabo preferiblemente mediante por lo menos un proceso entre un enrollado, una extrusión, un trabajo ECAE, un laminado, un forjado, un prensado, un enrollado formado, un doblado, un trabajo FSW y un trabajo cíclico de estos trabajos.

10

La cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es preferiblemente de 15 o menos.

La cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es más preferiblemente de 10 o menos.

- 15 En el producto de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener "c" porcentaje atómico, en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, en que "c" cumple las expresiones (4) y (5) siguientes:

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

20 y

$$(5) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0.$$

En el producto de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener “c” porcentaje atómico, en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, en que “c” cumple las expresiones (4) y (5) o (5) y (6) siguientes:

$$(4) \quad 0 \leq c < 2.0;$$

$$(5) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

y

$$(6) \quad c/b \leq 1.5.$$

10 En el producto de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener “c” porcentaje atómico, en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, en que “c” y “d” cumplen las expresiones (4) a (6) o (6) y (7) siguientes:

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

$$(5) \quad 0 \leq d < 2.0;$$

$$(6) \quad 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0;$$

y

(7)  $d/b \leq 1.5..$

Las reivindicaciones 11-18 describen un método para producir una fundición de aleación de magnesio y a continuación un producto trabajado plásticamente.

5 La fase de magnesio estructurado en hcp tiene un tamaño medio de partículas de 2  $\mu\text{m}$  o más.

La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente por lo menos una densidad de dislocación inferior a un 10% en relación con la fase de magnesio estructurado en hcp.

10 La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente un grano de cristal con una fracción de volumen de 5% o más.

El producto trabajado plásticamente puede contener por lo menos un tipo de precipitación seleccionado entre el grupo que consta de un compuesto de Mg y elemento raro en la Tierra, un compuesto de Mg y Zn, un compuesto de Zn y elemento raro en la Tierra y un compuesto de Mg, Zn y elemento raro en la Tierra.

15 El por lo menos un tipo de precipitación puede tener una fracción de volumen total mayor que 0 hasta un 40% o menos.

20 El trabajo plástico se lleva a cabo preferiblemente mediante por lo menos un proceso entre un enrollado, una extrusión, un trabajo ECAE, un laminado, un forjado, un prensado, un enrollado formado, un doblado, un trabajo FSW y un trabajo cíclico de estos trabajos.

La cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es preferiblemente de

15 o menos.

La cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es más preferiblemente de 10 o menos.

En el producto de aleación de magnesio trabajado plásticamente de alta resistencia y alta dureza de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener un porcentaje atómico de más del 0% hasta un porcentaje atómico del 2.5% o menos. En una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado del grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, In, Ir, Li, Pd, Sb y V. La intención también proporciona un método para producir una fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y un producto plástico fabricado posteriormente de acuerdo con la reivindicación 11.

El producto trabajado plásticamente de aleación de magnesio tiene una fase de magnesio estructurada en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

De acuerdo con el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de la presente invención, el trabajo de plástico para el producto de fundición de aleación de magnesio puede mejorar la dureza y proporcionar resistencia al producto trabajado plásticamente después del trabajo de plástico en comparación con el producto de fundición antes del trabajo de plástico.

Asimismo, el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención puede comprender preferiblemente una fase para someter el

producto de fundición de aleación de magnesio a un tratamiento térmico homogeneizado entre la fase para preparar el producto de fundición de aleación de magnesio y la fase para producir el trabajo trabajado plásticamente. En este caso, el tratamiento térmico homogeneizado se realiza preferiblemente bajo unas condiciones de temperatura de entre 400°C y 550°C, y un período de tratamiento de 1 minuto a 1500 minutos.

Asimismo, el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención puede comprender también una fase para someter el producto trabajado plásticamente a un tratamiento térmico después de la fase para producir el producto trabajado plásticamente. En este caso, el tratamiento térmico se realiza preferiblemente bajo unas condiciones de temperatura de entre 150°C y 450°C, y un período de tratamiento de 1 minuto a 1500 minutos.

En el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener un porcentaje atómico "c" en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, donde "c" cumple las siguientes expresiones (4) y (5):

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

20 y

$$(5) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0.$$

En el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta

resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener un porcentaje atómico “c” en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, donde “c” cumple las siguientes expresiones (4) y (5) o (5) y (6):

$$(4) \quad 0 \leq c < 2.0;$$

5

$$(5) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

y

$$(6) \quad c/b \leq 1.5.$$

En el método para producir un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente trabajado plásticamente de acuerdo con la presente invención, el Mg puede contener un porcentaje atómico “c” en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, y un porcentaje atómico “d” en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado del grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, donde “c” y “d” cumplen las siguientes expresiones (4) a (5) o (6) y (7):

10

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

$$(5) \quad 0 \leq d < 2.0;$$

15

$$(6) \quad 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0;$$

y

(7)  $d/b \leq 1.5$ .

En el método de acuerdo con la presente invención, Mg puede contener un porcentaje atómico de más del 0% a un porcentaje atómico del 2.5% o menos, en una cantidad total, de por lo menos un elemento seleccionado dentro del grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, In, Ir, Li, Pd, Sb y V.

En el método de la presente invención, el trabajo de plástico puede ser llevado a cabo por al menos un proceso entre un enrollado, una extrusión, un trabajo ECAE, un laminado, un forjado, un prensado, un enrollado en forma, un doblado, un trabajo FSW y un trabajo cíclico de estos trabajos. En otras palabras, el trabajo de plástico puede ser llevado a cabo por un proceso o en combinaciones de dichos procesos.

En el método de la presente invención, la cantidad total de tensión cuando se lleva a cabo el trabajo de plástico es preferiblemente de 15 o menos, más preferiblemente de 10 o menos, Y una cantidad de tensión por cada uno de los trabajos de plástico está preferiblemente entre 0.002 y 4.6.

La cantidad total de tensión significa una cantidad total de tensión que no es cancelada por un tratamiento térmico como el recocido. En otras palabras, una cantidad de tensión que es cancelada por un tratamiento térmico durante un proceso de producción no está contenida en la cantidad total de tensión.

El método de la presente invención puede comprender también una fase para tratar térmicamente el producto trabajado plásticamente después de la fase para producir el producto trabajado plásticamente. Como resultado, el producto trabajado plásticamente

puede mejorar su dureza y proporcionar resistencia en comparación con el producto antes del tratamiento térmico.

En el método de la presente invención, el tratamiento térmico se realiza preferiblemente bajo unas condiciones de temperatura de entre 200°C y menos de 500°C, y un período  
5 de tratamiento de entre 10 minutos y menos de 24 horas.

Asimismo, en el método de la presente invención, la aleación de magnesio, después de ser sometida al trabajo de plástico tiene una fase estructurada en hcp preferiblemente con una densidad de dislocación superior en menos de diez a la fase de magnesio de estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

#### 10 Efecto de la Invención

Tal como se ha mencionado anteriormente, la presente invención puede proporcionar un producto de aleación de magnesio trabajado plásticamente de alta resistencia y alta dureza con una resistencia y una dureza que se encuentren a un nivel suficiente para que la aleación pueda utilizarse en la práctica para aplicaciones expandidas de una aleación  
15 de magnesio.

#### Descripción Detallada de la Realización de la Invención

A continuación se describirán realizaciones preferentes de la presente invención.

Los inventores, volviendo a los orígenes, han estudiado la resistencia y la dureza de una aleación binaria de magnesio en la primera fase. A continuación, el estudio se amplía a  
20 una aleación de magnesio multi-elemento. Como resultado, se descubre que una aleación de magnesio que tiene unas propiedades de resistencia y dureza suficientes es una aleación de magnesio basada en Mg-Zn-Y. Además, también se descubre que

cuando una aleación de magnesio contiene Zn e Y en una cantidad pequeña como un porcentaje atómico del 5.0% o menos, respectivamente, al contrario que en la técnica convencional, pueden obtenerse unas propiedades de alta resistencia y alta dureza no convencionales.

- 5 Además, se comprueba que someter una aleación de fundición, que forma una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración, a un trabajo de plástico o a un tratamiento térmico después de un tratamiento de plástico puede proporcionar una aleación de magnesio de alta resistencia, alta ductilidad y alta dureza. Además, también puede conseguirse una composición de aleación capaz de formar una estructura de
- 10 apilamiento ordenado de larga duración y que proporcione unas propiedades de alta resistencia, alta ductilidad y alta dureza sometiéndola a un tratamiento de plástico o a un tratamiento térmico después de un tratamiento de plástico.

- Además, también se ha comprobado que produciendo un producto de fundición en forma de chip cortando una aleación de fundición, que forma una estructura de
- 15 apilamiento ordenado de larga duración, y sometiendo a continuación el producto de fundición en forma de chip a un trabajo de plástico o a un tratamiento térmico después de un trabajo de plástico, se puede obtener una aleación de magnesio con una mayor resistencia, una mayor ductilidad y una mayor dureza en comparación con una carcasa que no contenga la fase de corte en un producto de fundición en forma de chip. Además,
- 20 puede encontrarse una composición de magnesio que puede formar una estructura de apilamiento ordenado de larga duración y proporcionar unas propiedades de alta resistencia, alta ductilidad y alta dureza después de someter un producto de fundición en forma de chip a un trabajo de plástico o a un tratamiento térmico después de un trabajo de plástico.

Un trabajo de plástico para un metal que tenga una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración permite flexionar o doblar por lo menos una parte de la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración. Como resultado, se puede obtener una alta dureza, una alta ductilidad y una alta dureza.

- 5 La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración flexionada o curvada tiene unos límites de granulación aleatorios. Se cree que los límites de granulación aleatorios refuerzan la aleación de magnesio y eliminan el descenso de los límites de granulación, lo cual tiene como resultado la obtención de unas altas propiedades de resistencia a altas temperaturas.
- 10 Y es probable que una dislocación de alta densidad de una fase de magnesio estructurado en hcp refuerce una aleación de magnesio; mientras que una dislocación de baja densidad de una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración mejora la ductilidad y la resistencia de la aleación de magnesio. Además, la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente una
- 15 densidad de dislocación por lo menos inferior a diez en relación con la fase de magnesio estructurado en hcp.

(Realización 1)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la primera realización de la presente invención es una aleación ternaria o más, que contiene esencialmente Mg, Zn e Y.

- 20 Una variedad de composición de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización se muestra en la Fig. 8 en una variedad limitada por una línea de H-I-C-D-E-H. Cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b", "a" y "b" cumplen las expresiones siguientes

(1) a (3):

$$(1) 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) 0.5 < b < 5.0;$$

y

$$(3) \frac{2}{3}a - \frac{5}{6} \leq b.$$

- 5 Una variedad de composición preferible de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización se muestra en la Fig. 8 en una variedad limitada por una línea de F-G-C-D-E-F. Cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b", "a" y "b" cumplen las expresiones siguientes (1) a (4):

$$(1) 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) 0.5 < b < 5.0;$$

10

$$(3) \frac{2}{3}a - \frac{5}{6} \leq b;$$

y

$$(4) 0.75 \leq b.$$

- Una variedad de composición más preferible de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización se muestra en la Fig. 8 en una variedad limitada por una línea de A-B-C-D-  
 15 E-A. Cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b", "a" y "b" cumplen las

expresiones siguientes (1) a (3):

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0;$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0;$$

y

$$(3) \quad 0.5a \leq b.$$

- 5 Cuando un contenido de Zn excede de un porcentaje atómico del 5%, la dureza (o la ductilidad) tiende a reducirse particularmente. Y cuando un contenido total de Y excede de un porcentaje atómico del 5%, la resistencia (o la ductilidad) tiende a reducirse particularmente.

10 Cuando un contenido de Zn es menor de un porcentaje atómico del 0.5% o un contenido de Y es menor de un porcentaje atómico del 1.0%, por lo menos una de entre la resistencia o la dureza se deteriora. Por consiguiente, el límite inferior del contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico del 0.5% y el límite inferior de contenido de Y se establece en un porcentaje atómico del 1.0%.

15 Cuando un contenido de Zn es de un porcentaje atómico entre el 0.5 y el 1.5%, se incrementan notablemente la resistencia y la dureza. En el caso de un contenido de Zn de aproximadamente un porcentaje atómico del 0.5%, aunque la resistencia tiende a reducirse cuando se reduce el contenido de un elemento raro en la Tierra, la resistencia y la dureza pueden mantenerse en un nivel superior al de una aleación convencional. Por lo tanto, en una aleación de magnesio de acuerdo con la realización, el contenido de  
20 Zn se establece en un margen de entre un porcentaje atómico del 0.5% y un porcentaje

atómico del 5.0%.

En una aleación de magnesio basada en Mg-Zn-Y de acuerdo con la presente invención, el residuo distinto de Zn y del elemento raro en la Tierra dentro del margen indicado anteriormente es magnesio; sin embargo, la aleación de magnesio puede contener  
5 impurezas de un contenido tal que las características de la aleación no se ven afectadas.

(Realización 2)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la segunda realización de la presente invención es una aleación cuaternaria o superior que contiene esencialmente Mg, Zn e Y, y el cuarto elemento es uno o dos elementos seleccionados dentro del grupo que  
10 consta de Yb, Tb, Sm y Nd.

En una variedad de composición de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones  
15 siguientes (1) a (5):

$$(1) \quad 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) \quad 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \quad 2/3a - 5/6 \leq b;$$

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

y

$$(5) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0.$$

En una variedad de composición preferente de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones siguientes (1) a (6):

$$(1) \quad 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) \quad 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \quad 2/3a - 5/6 \leq b;$$

$$(4) \quad 0.75 \leq b;$$

$$(5) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

y

$$(6) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0.$$

En una variedad de composición más preferente de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones siguientes (1) a (5):

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0;$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0;$$

$$(3) 0.5a \leq b;$$

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0;$$

y

$$(5) 0.2 \leq b+c \leq 6.0.$$

Los motivos para establecer un contenido de Zn de un porcentaje atómico del 5% o  
 5 menos, establecer un contenido de Y en un porcentaje atómico del 5% o menos,  
 establecer un contenido de Zn en un porcentaje atómico del 0.5% o menos y establecer  
 un contenido de Y en un porcentaje atómico del 1.0% o más son los mismos que en la  
 Realización 1. En esta realización, se establece un límite superior de un contenido del  
 cuarto elemento en un porcentaje atómico del 3.0% porque el cuarto elemento tiene un  
 10 límite de solubilidad sólida reducido. Además, el motivo por el cual contiene el cuarto  
 elemento es debido a los efectos para formar una estructura de grano fino y para  
 precipitar un compuesto intermetálico.

La aleación de magnesio de base Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización puede  
 contener impurezas de un contenido tal que las características de la aleación no se ven  
 15 afectadas.

(Realización 3)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la tercera realización de la presente invención  
 es una aleación cuaternaria o una aleación superior que contiene esencialmente Mg, ZN

e Y, y el cuarto elemento es uno, o dos, o más elementos seleccionados de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd. Mm (metal misch) es una mezcla o una aleación de una serie de elementos raros en la Tierra que consta principalmente de Ce y La, y es un residuo generado mediante el refinado y la extracción del elemento raro en la Tierra útil, como por ejemplo Sm y Nd, a partir de ore mineral. Su composición depende de la composición del ore mineral antes de su refinado.

En una variedad de composición de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones siguientes (1) a (5), o (1) a (3), (5) y (6):

$$(1) \quad 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) \quad 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \quad 2/3a - 5/6 \leq b;$$

$$(4) \quad 0 \leq c < 2.0;$$

$$(5) \quad 0.2 \leq b + c \leq 6.0;$$

y

$$(6) \quad c/b \leq 1.5.$$

15 En una variedad de composición preferente de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un

contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones siguientes (1) a (6), o, (1) a (4), (6) y (7):

$$(1) \quad 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) \quad 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \quad 2/3a - 5/6 \leq b;$$

$$(4) \quad 0.75 \leq b;$$

$$(5) \quad 0 \leq c < 2.0;$$

$$(6) \quad 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

5 y

$$(7) \quad c/b \leq 1.5.$$

En una variedad de composición más preferente de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b" y un contenido total de uno o dos o más elementos adicionales se establece en "c", "a", "b" y "c" cumplen las expresiones siguientes (1) a (5), o (1) a (3), (5) y (6):

10

$$(1) 0.5 \leq a \leq 5.0;$$

$$(2) 1.0 \leq b \leq 5.0;$$

$$(3) 0.5a \leq b;$$

$$(4) 0 \leq c < 2.0;$$

$$(5) 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

y

$$(6) c/b \leq 1.5.$$

La expresión (6) se define porque el efecto para formar una fase de estructura de  
 5 apilamiento ordenado de larga duración se debilita si  $c/b$  es superior a 1.5 y la aleación  
 de magnesio incrementa su peso.

Los motivos para establecer un contenido de Zn de un porcentaje atómico del 5% o  
 menos, establecer un contenido total de uno o más elementos raros en la Tierra en un  
 porcentaje atómico de 5% o menos, establecer un contenido de Zn en un porcentaje  
 10 atómico del 0.5% o menos y establecer un contenido de uno o más elementos raros en  
 la Tierra en un porcentaje atómico del 1.0% o más son los mismos que en la Realización  
 1. En esta realización, se establece un límite superior de un contenido del cuarto  
 elemento en un porcentaje atómico del 2.0% porque el cuarto elemento tiene un límite  
 de solubilidad sólida reducido. Además, el motivo por el cual contiene el cuarto  
 15 elemento es debido a los efectos para formar una estructura de grano fino y para  
 precipitar un compuesto intermetálico.

La aleación de magnesio de base Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización puede

contener impurezas de un contenido tal que las características de la aleación no se ven afectadas.

(Realización 4)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la cuarta realización de la presente invención es una aleación quinaría o una aleación superior que contiene esencialmente Mg, ZN e Y, y el cuarto elemento es uno, o dos, o más elementos seleccionados de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd y el quinto elemento es uno o más elementos seleccionados de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd.

En una variedad de composición de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico "a" y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico "b", un contenido total de uno o dos o más cuartos elementos se establece en "c", y un contenido total de uno o dos o más quintos elementos se establece en "d", "a", "b", "c" y "d" cumplen las expresiones siguientes (1) a (6), o (1) a (3), (6) y (7):

$$(1) 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \frac{2}{3}a - \frac{5}{6} \leq b;$$

15

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0;$$

$$(5) 0 \leq d < 2.0;$$

$$(6) 0.2 \leq b + c + d \leq 6.0;$$

$$(7) d/b \leq 1.5.$$

En una variedad de composición preferible de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico “a” y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico “b”, un contenido total de uno o dos o más cuartos elementos se establece en “c”, y un contenido total de uno o dos o más quintos elementos se establece en “d”, “a”, “b”, “c” y “d” cumplen las expresiones siguientes (1) a (7), o (1) a (3), (7) y (8):

$$(1) \quad 0.5 \leq a < 5.0;$$

$$(2) \quad 0.5 < b < 5.0;$$

$$(3) \quad 2/3a - 5/6 \leq b;$$

$$(4) \quad 0.75 \leq b;$$

$$(5) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

$$(6) \quad 0 \leq d < 2.0;$$

$$(7) \quad 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0;$$

y

$$(8) \quad d/b \leq 1.5.$$

10 En una variedad de composición más preferible de la aleación Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización, cuando un contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico “a” y un contenido de Y se establece en un porcentaje atómico “b”, un contenido total de uno o dos o más cuartos elementos se establece en “c”, y un contenido total de uno o dos o más quintos elementos se establece en “d”, “a”, “b”, “c” y “d” cumplen las expresiones

siguientes (1) a (6), o (1) a (3), (6) y (7):

$$(1) \quad 0.5 \leq a \leq 5.0;$$

$$(2) \quad 1.0 \leq b \leq 5.0;$$

$$(3) \quad 0.5a \leq b;$$

$$(4) \quad 0 \leq c \leq 3.0;$$

$$(5) \quad 0 \leq d < 2.0;$$

$$(6) \quad 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0;$$

y

5

$$(7) \quad d/b \leq 1.5.$$

La expresión (7) se define porque el efecto para formar una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración se debilita si  $c/b$  es superior a 1.5 y la aleación de magnesio incrementa su peso.

En esta realización, los motivos para establecer un contenido total de Zn, de Y, del cuarto elemento y del quinto elemento se establezcan en un porcentaje atómico de 6.0% o menos es debido al incremento de peso, a los costes de fabricación y a la dureza reducida si el contenido supera un porcentaje atómico del 6.0%. Y el motivo por el que el contenido de Zn se establece en un porcentaje atómico del 0.5% o más y la cantidad total de Y, del cuarto elemento y del quinto elemento se establece en un porcentaje atómico del 1.0% o es porque su resistencia se deteriora si la concentración de estos

10

15

elementos es baja. Y el motivo por el cual contiene el cuarto y el quinto elementos es debido a los efectos para formar una estructura de grano fino y para precipitar un compuesto intermetálico.

La aleación de magnesio de base Mg-Zn-Y de acuerdo con la realización puede  
5 contener impurezas de un contenido tal que las características de la aleación no se ven afectadas.

#### (Realización 5)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la quinta realización de la presente invención es una aleación de magnesio que tiene cualquier composición de las aleaciones de  
10 magnesio descritas en la Realizaciones 1 a 4, a las cuales se añade Me. Me es por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, In, Ir, Li, Pd, Sb y V. Un contenido de Me se establece en un porcentaje atómico por encima del 0% y un porcentaje atómico del 2.5% o menos. Una adición de Me puede mejorar las características  
15 distintas de la resistencia y la dureza que se mantienen altas. Por ejemplo, se mejora la resistencia a la corrosión y un efecto para formar una estructura de cristal de granos finos.

#### Realización 6

Se describirá un método para producir una aleación de magnesio de acuerdo con la sexta  
20 realización de la presente invención.

Una aleación de magnesio con cualquiera de las composiciones de las aleaciones de magnesio de acuerdo con las Realizaciones 1 a 5 se fundió y se revistió para preparar un

producto de fundición de aleación de magnesio. Un índice de refrigeración en la fundición fue de 1000K/seg. o menos, más preferiblemente 100K/seg. o menos. El proceso de fundición puede emplear diferentes procesos, como el proceso de fundición de alta presión, un proceso de fundición en láminas, un proceso de oscilación de fundición, un proceso de fundición continua, un proceso de thixofundición, un proceso de fundición a presión, y similares. Asimismo, el producto de fundición de la aleación de magnesio puede ser cortado en una forma determinada para su empleo.

A continuación, el producto de fundición de aleación de magnesio puede ser sometido a un tratamiento térmico homogeneizado. En este caso, una temperatura de calentamiento es preferiblemente de entre 400°C y 550°C, y el período de tratamiento es preferiblemente de 1 minuto a 1500 minutos (o 24 horas).

A continuación, se trabajó plásticamente el producto de fundición de aleación de magnesio. Como método de trabajo del plástico, puede utilizarse una extrusión, un método de trabajo ECAE (Extrusión Angular de Canal Igual), un bobinado, un laminado, un forjado, un prensado, un bobinado formado, un doblado, un trabajo de FAW (Soldadura Removida por Fricción), un trabajo cíclico de los mismos o similares.

Cuando el método de trabajo de plástico es una extrusión, se establece una temperatura de extrusión preferiblemente a entre 250°C y 500°C, y una tasa de reducción de una sección transversal debida a la extrusión se establece preferiblemente al 5% o más.

El trabajo ECAE se realiza de manera que una muestra es rotada cada 90° en la dirección longitudinal de la misma a cada paso para introducir una tensión en la misma de manera uniforme. Específicamente, se utiliza una matriz de formado con un poro formado de una sección transversal en forma de L, y el producto de fundición de la

aleación de magnesio como material de formado es vertido por la fuerza en el poro de formado. Y el producto de fundición de aleación de magnesio se aplica con presión en una parte en la cual el poro de formado en forma de L se curva a 90° en la misma para obtener un compacto excelente en resistencia y dureza. El número de pasadas del trabajo ECAE se establece preferiblemente entre 1 y 8, más preferiblemente entre 3 y 5. Una temperatura del trabajo ECAE se establece preferiblemente entre 250°C y 500°C.

- Cuando el método de trabajo plástico es una extrusión, la temperatura de extrusión se establece preferiblemente entre 250°C y 500°C y una reducción de bobinado se establece preferiblemente en un 5% o más.
- 10 Cuando el método de trabajo plástico es un laminado, la temperatura de laminado se establece preferiblemente entre 250°C y 500°C y el índice de reducción de una sección transversal se establece preferiblemente en un 5% o más.

Cuando el método de trabajo plástico es un forjado, la temperatura de forjado se establece preferiblemente entre 250°C y 500°C y el índice de proceso se establece preferiblemente en un 5% o más.

El trabajo de plástico para el producto de fundición de aleación de magnesio se lleva a cabo de manera que una cantidad de tensión por cada trabajo es preferiblemente de entre 0.002 y 4.6, y una cantidad total de tensión es preferiblemente de 15 o menos. Más preferiblemente, una cantidad de tensión por cada trabajo es preferiblemente de entre 0.002 y 4.6, y una cantidad total de tensión es preferiblemente de 10 o menos. El motivo por el que una cantidad total de tensión se establece en 15 o menos, y preferiblemente en 10 o menos, es porque la resistencia de una aleación de magnesio no se incrementa aumentando la cantidad total de tensión y los costes de fabricación se incrementan con

el aumento de la cantidad total de tensión.

En el trabajo ECAE, una cantidad de tensión por cada trabajo es de entre 0.95 y 1.15.

Por tanto, cuando se realiza el trabajo ECAE 16 veces, se aumenta la cantidad total de tensión hasta 15.2 (0.95 x 16). Cuando el trabajo ECAE se lleva a cabo 8 veces, la

5 cantidad total de tensión se aumenta la cantidad total de tensión hasta 7.6 (0.95 x 16).

En la extrusión, la cantidad de tensión por cada trabajo es de 0.92; 1.39; 2.30; 2.995; 3.91; 4.61 y 6.90 en el caso de un índice de extrusión de 2.5; 4; 10; 20; 50; 100 y 1000.

El anteriormente mencionado producto trabajado plásticamente producido sometiendo el producto de fundición de aleación de magnesio a un trabajo plástico tiene una

10 estructura de cristal de una fase de magnesio estructurada en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente. Y la fase

de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene un grano de cristal con una fracción de volumen del 5% o más (preferiblemente 10% o más). Y la fase de

magnesio estructurada en hcp tiene un tamaño medio de partícula de 2  $\mu\text{m}$  o más, y la

15 fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene preferiblemente un diámetro medio de partículas de 0.2  $\mu\text{m}$  o más. La fase de estructura de apilamiento

ordenado de larga duración tiene un número aleatorio de borde de los granos existente en el grano de cristal del mismo. Y el grano de cristal definido por el límite de grano

aleatorio tiene preferiblemente un tamaño medio de partícula de 0.05  $\mu\text{m}$  o más.

20 Aunque la densidad de dislocación es grande en el borde de los granos aleatorio, la densidad de dislocación es pequeña en partes distintas del borde de los granos aleatorio

en la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración. Por consiguiente, la fase de magnesio estructurado en hcp tiene al menos una densidad de dislocación por lo

menos inferior a diez en relación con las partes distintas de los bordes de los granos de la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

Por lo menos una parte de la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración se flexiona o se curva. Y el producto trabajado plásticamente puede contener por lo menos un tipo de precipitación seleccionado entre el grupo que consta de un  
5 compuesto de Mg y elemento raro en la Tierra, un compuesto de Mg y Zn, un compuesto de Zn y elemento raro en la Tierra y un compuesto de Mg, Zn y elemento raro en la Tierra. La precipitación preferiblemente tiene una fracción de volumen total mayor que 0 hasta un 40% o menos. El producto trabajado plásticamente sometido al  
10 trabajo plástico se mejora en la dureza Vickers y la elasticidad en comparación con el producto de fundición antes del trabajo plástico.

El producto trabajado plásticamente después de someterlo al trabajo plástico puede ser sometido a un tratamiento térmico. El tratamiento térmico se realiza preferiblemente a una temperatura de entre 200°C o más y menos de 500°C, y un período de tratamiento  
15 de entre 10 minutos y 1500 minutos (o 24 horas). El motivo por el cual la temperatura de calentamiento se establece por debajo de 500°C es que la cantidad de tensión aplicada por el trabajo plástico se cancela si la temperatura es de 500°C o más.

El producto trabajado plásticamente sujeto al tratamiento térmico es mejorado en la dureza Vickers y la elasticidad en comparación con el anterior al tratamiento térmico. El  
20 producto trabajado plásticamente después del tratamiento térmico, en relación con el de antes del tratamiento térmico tiene una estructura de cristal de una fase de magnesio estructurado en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado a temperatura ambiente de larga duración. Y la estructura de apilamiento ordenado de larga duración

tiene un grano de cristal con una fracción de volumen del 5 o más (preferiblemente 10% o más). Y la fase de magnesio estructurado en hcp tiene un diámetro medio de partícula de 2  $\mu\text{m}$  o más, y la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene un diámetro medio de partícula de 0.2  $\mu\text{m}$  o más. La fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración tiene un número aleatorio de borde de los granos en el grano de cristal del mismo. Asimismo, el grano de cristal definido por el límite de grano tiene un diámetro medio de partícula de 0.05  $\mu\text{m}$  o más. Aunque la densidad de dislocación es grande en los límites de grano aleatorio, la densidad de dislocación es pequeña en partes distintas de los límites de grano aleatorio en la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración. Por consiguiente, una fase de magnesio estructurada en hcp tiene una densidad de dislocación superior en menos de un diez por ciento a la de partes distintas de los bordes de los granos de la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

Por lo menos una parte de la fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración está flexionada o curvada. Además, el producto trabajado plásticamente puede contener por lo menos un tipo de precipitación seleccionado de entre el grupo que consta de un compuesto de Mg y un elemento raro en la Tierra, un compuesto de Mg y Zn, un compuesto de Zn y un elemento raro en la Tierra y un compuesto de Mg, Zn y un elemento raro en la Tierra. La precipitación tiene preferiblemente una fracción de volumen total de entre más de 0 y un 40% o menos.

De acuerdo con las Realizaciones 1 a 6, puede proporcionarse una aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza con una resistencia y una dureza que se encuentren a un nivel para que la aleación sea utilizada en la práctica en aplicaciones expandidas de una aleación de magnesio, por ejemplo una aleación de alta tecnología que requiera una alta

resistencia y una alta dureza, así como un método para producir la misma.

(Realización 11)

Una aleación de magnesio de acuerdo con la séptima realización de la presente invención es una aleación de magnesio que tiene cualquier composición de las  
5 aleaciones de magnesio descritas en la Realizaciones 7 a 11 a las cuales se añade Me. Me es por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, Ir, Li, Pd, Sb y V. Un contenido de Me se establece en un porcentaje atómico por encima del 0% y un porcentaje atómico del 2.5% o menos. Una adición de Me puede mejorar las  
10 características distintas de la resistencia y la dureza que se mantienen altas. Por ejemplo, se mejora la resistencia a la corrosión y un efecto para formar una estructura de cristal de granos finos.

Ejemplo

A continuación, se describen ejemplos preferentes de la presente invención.

15 En el Ejemplo 1, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Y.

En el Ejemplo 2, se utiliza una aleación cuaternaria que contiene un 96.5% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn, un 1% de porcentaje  
20 atómico de Y y un 1.5% de porcentaje atómico de Gd. La aleación de magnesio de acuerdo con el Ejemplo 2 es una aleación a la cual se añaden en combinación un elemento raro en el Tierra, que forma una estructura de apilamiento ordenado de larga

duración, y otro elemento raro en la Tierra, que no forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

En el Ejemplo 3, se utiliza una aleación cuaternaria que contiene un 97.5% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn, un 2% de porcentaje atómico de Y y un 0.5% de porcentaje atómico de La.

En el Ejemplo 4, se utiliza una aleación cuaternaria que contiene un 97.5% de porcentaje atómico de Mg, un 0.5% de porcentaje atómico de Zn, un 1.5% de porcentaje atómico de Y y un 0.5% de porcentaje atómico de Yb.

Cada una de las aleaciones de magnesio de acuerdo con los Ejemplos 3 y 4 es una aleación a la cual se añaden en combinación un elemento raro en el Tierra, que forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración, y otro elemento raro en la Tierra, que no forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

En el Ejemplo 5, se utiliza una aleación cuaternaria que contiene un 96.5% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn, un 1.5% de porcentaje atómico de Y y un 1% de porcentaje atómico de Gd.

En el Ejemplo 6, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 96% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 3% de porcentaje atómico de Y.

En el Ejemplo Comparativo 1, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de La.

En el Ejemplo Comparativo 2, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de

porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Yb.

En el Ejemplo Comparativo 3, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Ce.

En el Ejemplo Comparativo 4, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Pr.

En el Ejemplo Comparativo 5, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Nd.

En el Ejemplo Comparativo 6, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Sm.

En el Ejemplo Comparativo 7, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Eu.

En el Ejemplo Comparativo 8, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje atómico de Tm.

En el Ejemplo Comparativo 9, se utiliza una aleación ternaria que contiene un 97% de porcentaje atómico de Mg, un 1% de porcentaje atómico de Zn y un 2% de porcentaje

atómico de Lu.

Como ejemplo de referencia, se utiliza una aleación binaria que contiene un 98% de porcentaje atómico de Mg y un 2% de porcentaje atómico de Y.

(Estructura del Material de fundición)

- 5 En primer lugar, se prepararon lingotes con composiciones de acuerdo con los Ejemplos 1 a 6, Ejemplos Comparativos 1 a 9 y el ejemplo de referencia mediante fundido de alta frecuencia bajo un entorno de gas Ar. A continuación se cortó una muestra de 10 mm de diámetro y 60 mm de longitud de cada uno de los lingotes. Asimismo, se observó una estructura de cada una de las muestras de fundición utilizando SEM y XRD. Las
- 10 fotografías de las estructuras observadas se muestran en las Fig. 1 a 7.

La Fig. 1 son fotografías que muestran estructuras de cristal de acuerdo con el Ejemplo 1 y los Ejemplos Comparativos 1 y 2.

La Fig. 3 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de acuerdo con el Ejemplo 2.

- 15 La Fig. 4 son fotografías que muestran estructuras de cristal de acuerdo con los Ejemplos 3 y 4.

La Fig. 5 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de acuerdo con el Ejemplo 5.

- La Fig. 6 son fotografías que muestran estructuras de cristal de acuerdo con los
- 20 Ejemplos Comparativos 3 a 9.

La Fig. 7 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de acuerdo con el

Ejemplo de Referencia.

La Fig. 10 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de acuerdo con el Ejemplo 6.

Tal como se muestra en la Fig. 1 y las Fig. 3 a 5, las aleaciones de magnesio de acuerdo con los Ejemplos 1 a 6 tienen un cristal de estructura de apilamiento ordenado de larga duración formado en su interior. Por el contrario, tal como se muestra en la Fig. 1 y la Fig. 6 y 7, las aleaciones de magnesio de acuerdo con los Ejemplos Comparativos 1 a 9 y el Ejemplo de Referencia no tienen un cristal de estructura de apilamiento ordenado de larga duración formado en su interior.

10 A partir de la observación de los Ejemplos 1 a 6 y los Ejemplos Comparativos 1 a 9, se confirman los hechos siguientes.

En la aleación de fundición ternaria Mg-Zn-RE, se forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración en la misma si RE es Y; sin embargo, no se forma si RE es La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd o Yb. Gd es ligeramente diferente de La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu e Yb en su comportamiento. Por lo tanto, aunque no se forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración si Gd se añade solo (Zn se añade necesariamente)), cuando Gd se añade junto con Y que es un elemento para formar una estructura de apilamiento ordenado de larga duración, se forma una estructura de apilamiento ordenado de larga duración si la cantidad que se añade es de un porcentaje atómico del 2.5% (en referencia a los Ejemplos 2 y 5).

Y cuando cualquiera de entre Yb, Tb, Sm, Nd y Gd se añade a una aleación de Mg-Zn-Y en una cantidad añadida del 5.0% de porcentaje atómico o menos, no se inhibe una formación de una estructura de apilamiento ordenado de larga duración. Cuando se

añade cualquiera de entre La, Ce, Pr, Eu y Mm a una aleación de Mg-Zn-Y en una cantidad añadida del 5.0% de porcentaje atómico o menos, no se inhibe una formación de una estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

El material de fundición de acuerdo con el Ejemplo Comparativo 1 tiene un diámetro de  
5 partícula de aproximadamente entre 10 y 30  $\mu\text{m}$ , el material de fundición de acuerdo con el Ejemplo Comparativo 2 tiene un diámetro de partícula de aproximadamente entre 30 y 100  $\mu\text{m}$ , y el material de fundición de acuerdo con el Ejemplo 1 tiene un diámetro de partícula de aproximadamente entre 20 y 60  $\mu\text{m}$ . A partir de la observación de estos materiales de fundición, se forma una gran cantidad de cristalización en el borde de los  
10 granos. Asimismo, a partir de la observación de una estructura de cristal del material de fundición de acuerdo con el Ejemplo Comparativo 2, se forma una fina precipitación en su partícula.

(Dureza Vickers del Material de Fundición)

Cada uno de los materiales de fundición de acuerdo con el Ejemplo 1 y los Ejemplos  
15 Comparativos 1 y 2 fue evaluado en Dureza Vickers de acuerdo con un test de dureza Vickers. Como resultado, el material de fundición del Ejemplo Comparativo tiene una dureza Vickers de 75 Hv, el material de fundición del Ejemplo Comparativo 2 tiene una dureza Vickers de 69 Hv y el material de fundición del Ejemplo 1 tiene una dureza Vickers de 79 Hv.

20 (Trabajo ECAE)

Cada uno de los materiales de fundición del Ejemplo 1 y de los Ejemplos Comparativos 1 y 2 fue sometido a un trabajo ECAE a 400°C. EL trabajo ECAE fue realizado de manera que la muestra se giraba cada 90° en dirección longitudinal de la misma a cada

pasada para introducir tensión en la misma de manera uniforme. El número de pasadas fue de 4 y 8. Y el ratio de trabajo fue constante de 2 mm /seg.

(Dureza Vickers del Material Trabajado mediante ECAE)

Cada uno de los materiales de fundición sometidos al trabajo ECAE fue evaluado en dureza Vickers de acuerdo con un test de dureza Vickers. Como resultado de cuatro veces el trabajo ECAE, el material de fundición del Ejemplo Comparativo 2 tiene una dureza Vickers de 76 Hv. Por el contrario, el material de fundición del Ejemplo 1 tiene una dureza Vickers de 96 Hv. Por lo tanto, cada uno de los materiales de fundición sometidos al trabajo ECAE mejora su dureza Vickers en un 10 – 20% en relación a antes del trabajo ECAE. El material de fundición sometido al trabajo ECAE 8 veces muestra poca diferencia en dureza en relación con el material de fundición sometido al trabajo ECAE 4 veces.

(Estructura del Cristal del Material Trabajado ECAE)

La composición de cada una de las muestras de fundición sometidas al trabajo ECAE fue observada utilizando SEM y XRD. En los materiales de fundición de los Ejemplos Comparativos 1 y 2, la cristalización formada en los bordes de los granos se descompone en el orden de varias micras para ser dispersados de manera uniforme en los mismos. Por el contrario, en los materiales de fundición del Ejemplo 1, la cristalización formada en los bordes de los granos no se descompone y es aplicada con cizallamiento mientras que la matriz y la consistencia se mantienen. El material de fundición sometido al trabajo ECAE 8 veces muestra poca diferencia en su estructura en relación con el material de fundición sometido al trabajo ECAE 4 veces.

(Resistencia a la Tensión del Material Trabajado mediante ECAE)

Los materiales de fundición trabajados mediante ECAE fueron evaluados en su resistencia a la tensión de acuerdo con un test de resistencia a la tensión. El test de resistencia a la tensión fue realizado bajo un índice de tensión inicial de  $5 \times 10^{-4}$ /seg. en la dirección paralela a una dirección de presión. En un caso de 4 veces el trabajo ECAE, los materiales de fundición de acuerdo con los Ejemplos Comparativos 1 y 2 tienen una elasticidad de 200 MPa o menos y una expansión de entre un 2 y un 3%. Por el contrario, los materiales de fundición de acuerdo con el Ejemplo 1 tienen una elasticidad de 260 MPa y una expansión del 15%. Ello muestra un rendimiento excelente en comparación con un material de fundición que tiene una elasticidad de 100 MPa bajo un límite de elasticidad de 0.2% y una expansión del 4%.

La Fig. 12 es un gráfico que muestra la relación de un número de pasadas de trabajo ECAE, una elasticidad ( $\sigma_y$ ), un límite de elasticidad ( $\sigma_{UTS}$ ) y una expansión (%) cuando el material de fundición del Ejemplo 1 fue sometido al trabajo ECAE a 375°C.

La Fig. 13 es un gráfico que muestra la relación de un número de pasadas de trabajo ECAE, una elasticidad ( $\sigma_y$ ), un límite de elasticidad ( $\sigma_{UTS}$ ) y una expansión (%) cuando el material de fundición del Ejemplo 1 fue sometido al trabajo ECAE a 400°C.

Las Fig. 12 y 13 muestran que cuando el número de pasadas del trabajo ECAE se aumenta con el fin de aumentar una cantidad de tensión, la resistencia de la aleación de magnesio no aumenta.

#### 20 (Tratamiento Térmico del Material Trabajado mediante ECAE)

El material de fundición sometido al trabajo ECAE 4 veces se mantuvo a una temperatura constante de 225°C y a continuación se evaluó la relación entre el período de retención y el cambio en la dureza. Como resultado, en el material de fundición del

Ejemplo 1, el tratamiento térmico de 225°C mejora aún más la dureza de manera que la elasticidad de acuerdo con un test de resistencia puede aumentar hasta 300 MPa.

5 Cuando la temperatura de tratamiento del trabajo ECAE para el material de fundición del Ejemplo 1 desciende hasta 375°C (es decir, cuando el material de fundición del Ejemplo 1 se somete al trabajo ECAE 4 veces a una temperatura de 375°C, y no 400°C), el producto trabajado mediante ECAE del Ejemplo 1 tiene una elasticidad de 300 MPa y una expansión del 12%. Asimismo, un tratamiento térmico del material de fundición trabajado mediante ECAE a 225°C puede mejorar la elasticidad de acuerdo con un test de resistencia hasta 320 MPa.

10 (Extrusión de la Aleación de Fundición del Ejemplo 6)

La aleación de fundición del Ejemplo 6 es una aleación ternaria que contiene un porcentaje atómico del 96% de Mg, un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 3% de Y, que tiene una estructura de apilamiento ordenado de larga duración. La aleación de fundición fue extrusionada a unas condiciones de temperatura de 300°C, un índice de reducción de sección transversal del 90% y una velocidad de extrusión de 2.5 mm/seg. La aleación de magnesio extrusionado resultante tiene una elasticidad de 420 MPa y una expansión del 2% a temperatura ambiente.

(Propiedades de las Aleaciones de Fundición Extrusionadas de los Ejemplos 6 a 42 y Ejemplos Comparativos 10 a 15)

20 Se prepararon los materiales de fundición con las composiciones que se muestran en la Tabla 1. Asimismo, se extrusionaron los materiales de fundición a las temperaturas de extrusión y los ratios de extrusión que se muestran en la Tabla 1. Los materiales de fundición extrusionados fueron evaluados en una prueba de tensión del 2% (elasticidad),

una resistencia a la tensión y a la expansión de acuerdo con un test de tensión a las temperaturas que se muestran en la Tabla 1. Las mediciones se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1

**TABLA 1**

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN EXTRUSIONADA BASADA EN Mg-Zn-Y

	COMPOSICIÓN (en %)	TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	RATIO DE EXTRUSIÓN	TEMPERA- TURA (°C)	PRUEBA DE ELASTICIDAD DEL 2% (MPa)	ELASTICIDAD (MPa)	EXPAN- SIÓN (%)
EJEMPLO 7	Mg-1Zn-2.5Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	339	403	8
EJEMPLO 6	Mg-1Zn-3Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	335	408	8
EJEMPLO 8	Mg-1Zn-3.5Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	356	430	7.5
EJEMPLO 9	Mg-1.5Zn-1.25Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	340	364	9
EJEMPLO 10	Mg-1.5Zn-2Y	400	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	365	396	5
EJEMPLO 11	Mg-2Zn-2Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	389	423	5
EJEMPLO 12	↓	400	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	326	361	4
EJEMPLO 13	Mg-2Zn-2Y-0.2Zr	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	405	465	8.5
EJEMPLO 14	↓	400	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	425	471	8.5
EJEMPLO 15	↓	400	2.5	TEMPERATURA- AMBIENTE	345	406	4.87
EJEMPLO 16	↓	450	2.5	TEMPERATURA- AMBIENTE	356	406	6.5
EJEMPLO 17	Mg-2Zn-2Y-2Al	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	366	380	8.5
EJEMPLO 18	Mg-2Zn-2Y-1.3Ca	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	411	450	3
EJEMPLO 19	Mg-2Zn-2Y-0.5Ag	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	388	438	9
EJEMPLO 20	Mg-2Zn-2Y-1Si	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	396	433	6.5
EJEMPLO 21	Mg-2Zn-3.5Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	360	446	9.5
EJEMPLO 22	Mg-2.5Zn-1.5Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	343	361	7
EJEMPLO 23	Mg-2.5Zn-2Y	350	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	385	415	3.7
EJEMPLO 24	↓	400	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	345	369	6
EJEMPLO 25	Mg-2.5Zn-3.5Y	450	10	TEMPERATURA- AMBIENTE	360	442	9

TABLA 1 – CONTINUACIÓN

EJEMPLO 26	Mg-2.5Zn-4Y	450	10	TEMPERATURA AMBIENTE	370	450	6
EJEMPLO 27	↓	450	10	200	286	385	18.1
EJEMPLO 28	Mg-3Zn-3Y	450	10	TEMPERATURA AMBIENTE	430	487	7.5
EJEMPLO 29	↓	450	10	200	287	351	21.1
EJEMPLO 30	Mg-3Zn-3.5Y	450	10	TEMPERATURA AMBIENTE	440	492	6
EJEMPLO 31	Mg-3.5Zn-3Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	425	490	7.5
EJEMPLO 32	Mg-3.5Zn-4.5Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	404	491	3.5
EJEMPLO 33	Mg-4.5Zn-3Y	450	10	TEMPERATURA AMBIENTE	342	363	7.5
EJEMPLO 34	Mg-1Zn-2Y	350	2.5	TEMPERATURA AMBIENTE	273	325	0.5
EJEMPLO 35	Mg-0.5Zn-2Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	310	350	6
EJEMPLO 36	↓	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	270	300	2
EJEMPLO 37	↓	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	365	396	5
EJEMPLO 38	Mg-1Zn-1Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	360	390	2
EJEMPLO 39	↓	↓	10	TEMPERATURA AMBIENTE	373	384	4
EJEMPLO 40	Mg-1Zn-1.5Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	367	380	1.3
EJEMPLO 41	Mg-1Zn-2Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	375	420	4
EJEMPLO 42	↓	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	330	385	7
EJEMPLO COMPARATIVO 10	Mg-2Zn-2Y	350	1	TEMPERATURA AMBIENTE	80	104	1.5
EJEMPLO COMPARATIVO 11	Mg-4Zn-1Y	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	260	325	9.8
EJEMPLO COMPARATIVO 12	Mg-1Zn-0.5Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	320	340	0.5
EJEMPLO COMPARATIVO 13	PURE Mg	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE		45	35
EJEMPLO COMPARATIVO 14	Mg-1Zn	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE		67	50
EJEMPLO COMPARATIVO 15	Mg-2Y	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE		210	15

La Tabla 1 muestra los resultados del test de tensión a temperatura ambiente de los materiales de fundición de la aleación de Mg-Zn-Y preparados cambiando las cantidades añadidas de Z e Y, a los cuales se sometió a extrusión a unos ratios de temperatura y extrusión que se muestran en la Tabla 1 y a una velocidad de extrusión de  
 5 2.5 mm/seg.

La Fig. 11 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de un material de fundición de una aleación de magnesio que tiene una composición del Ejemplo 30.

A partir de los resultados de los Ejemplos 17 a 20, añadir el cuarto elemento puede mejorar la resistencia o la expansión, o tanto la resistencia como la expansión, en  
 10 comparación con la aleación ternaria.

Desde el punto de vista de poner una aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza en uso práctico, una aleación de magnesio que tenga poca expansión y una resistencia suficiente es aplicable para su utilización; una aleación de magnesio que tenga poca resistencia y una expansión suficiente también es aplicable para su  
 15 utilización. Por lo tanto, cuando la resistencia (MPa) se establece en S y la expansión (%) se establece en d, resulta preferible una aleación de magnesio que cumpla las expresiones (1) y (2) siguientes para aplicaciones prácticas:

$$S > -15d + 435 \quad (1)$$

$$S \geq 325 \quad (2)$$

A partir de la medición de la Tabla 1, en la Fig. 2 se muestra un espectro de  
 20 composición de una aleación de Mg-Zn-Y que cumple las expresiones (1) y (2).

Un espectro de composición de una aleación de Mg-Zn-Y que cumple las expresiones (1) y (2) es un espectro limitado por una línea de K-L-C-D-E-F-G-H-K sin una línea de G-H-K-L-C-D-E-F en la Fig. 2.

Un espectro de composición preferible de una aleación de Mg-Zn-Y que cumple las expresiones (1) y (2) es un espectro limitado por una línea de I-J-C-D-E-F-G-H-I sin una línea de G-H-I-J-C-D-E-F en la Fig. 2.

Un espectro de composición más preferible de una aleación de Mg-Zn-Y que cumple las expresiones (1) y (2) es un espectro limitado por una línea de A-B-C-D-E-F-G-H-A sin una línea de G-H-A-B-C-D-E-F.

10 En la Fig. 2, un punto I muestra un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 0.75% de Y, un punto K muestra un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 0.5% de Y, un punto K muestra un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 0.5% de Y, un punto L muestra un porcentaje atómico del 5/3 de Zn y un porcentaje atómico del 0.5% de Y, un punto J muestra un porcentaje atómico del 2% de Zn y un porcentaje atómico de 0-75% de Y, un punto C muestra un porcentaje atómico del 5% de Zn y un porcentaje atómico del 3% de Y, un punto D muestra un porcentaje atómico del 5% de Zn y un porcentaje atómico del 5% de Y, un punto E muestra un porcentaje atómico del 2.5% de Zn y un porcentaje atómico del 5% de Y, un punto F muestra un porcentaje atómico del 0.5% de Zn y un porcentaje atómico del 3.5% de Y, un punto G muestra un porcentaje atómico del 0.5% de Zn y un porcentaje atómico del 2% de Y, y un punto H muestra un porcentaje atómico del 1% de Zn y un porcentaje atómico del 2% de Y.

(Propiedades de la Aleación de Fundición Extrusionada de los Ejemplos 43 a 62)

Cada uno de los lingotes de las aleaciones de Mg-Zn-Y que se muestran en la Tabla 2 fueron fundidos utilizando un horno de fundición de alta frecuencia en un entorno de gas Ar, y a continuación fueron cortados en una serie de productos de fundición en forma de virutas. Asimismo, después de cargar los productos de fundición en forma de virutas en un recipiente de cobre, el recipiente que contenía las virutas del producto de fundición fue sometido a una desgasificación térmica de vacío a 150°C y sellado. A continuación, el recipiente que contenía los productos de fundición en forma de virutas fue extrusionado a unas temperaturas de extrusión y unos ratios de extrusión que se muestran en la Tabla 2. A continuación, los materiales extrusionados resultantes fueron evaluados en un 0.2% de prueba de resistencia (elasticidad), una resistencia a la tensión y una expansión mediante un test de tensión a las temperaturas que se muestran en la Fig. 2. Asimismo, se evaluó la dureza (dureza de Vickers) de cada uno de los materiales extrusionados. Las mediciones aparecen en la Tabla 2.

**TABLA 2**

VIRUTAS DE ALEACIÓN DE Mg-Zn-Y											
	COMPOSICIÓN (% ATÓMICO)			TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)	RATIO DE EXTRUSIÓN	TEMPERATURA (°C)	PRUEBA DE ELASTICIDAD DEL 2% (MPa)	ELASTICIDAD (MPa)	EXPANSIÓN (%)	DUREZA (Hv)	
	Mg	Zn	Y								
EJEMPLO 43	97.5	1	1.5	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	450	483	1	113	
EJEMPLO 44	97.5	1	1.5	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	390	420	6	108	
EJEMPLO 45	97	1	2	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	442	464	5	105	
EJEMPLO 46	97	1	2	350	10	150	427	435	4.5		
EJEMPLO 47	97	1	2	350	10	200	367	377	12		
EJEMPLO 48	97	1	2	350	10	250	215	235	55		
EJEMPLO 49	97	1	2	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	400	406	10	112	
EJEMPLO 50	96.5	1	2.5	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	373	401	13	105	
EJEMPLO 51	96.5	1	2.5	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	371	394	14	105	
EJEMPLO 52	96	1	3	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	400	424	6.5	115	
EJEMPLO 53	96	1	3	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	375	417	8	113	
EJEMPLO 54	96	1	3	350	5	TEMPERATURA AMBIENTE	440	452	0.5	122	
EJEMPLO 55	96	1	3	350	15	TEMPERATURA AMBIENTE	362	408	45	113	
EJEMPLO 56	97.5	0.5	2	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	332	355	10		

**TABLA 2**  
(continuación)

VIRIJAS DE ALEACIÓN DE Mg-Zn-Y										
	COMPOSICIÓN (% ATÓMICO)			TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN (°C)	RATIO DE EXTRUSIÓN	TEMPERATURA (°C)	PRUEBA DE ELASTICIDAD DEL 2% (MPa)	ELASTICIDAD (MPa) <sup>-1</sup>	EXPANSIÓN (%)	DUREZA (Hv)
	Mg	Zn	Y							
EJEMPLO 57	975	0.5	2	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	330	360	11	103
EJEMPLO 58	96.5	1.5	2	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	490	500	3	
EJEMPLO 59	965	1.5	2	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	445	455	7	112
EJEMPLO 60	96	2	2	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	497	500	4	114
EJEMPLO 61	96	2	2	400	10	TEMPERATURA AMBIENTE	433	450	9	103
EJEMPLO 62	93	3.5	3.5	350	10	TEMPERATURA AMBIENTE	513	539	2.3	103

La tabla 2 muestra los resultados del test de tensión y de un test de dureza a temperatura ambiente de los materiales de fundición de la aleación de Mg-Zn-Y preparados cambiando las cantidades añadidas de Z e Y, que fueron sometidos a una extrusión a una temperatura y un ratio de extrusión que se muestran en la Tabla 1, y a una velocidad de extrusión de 2.5 mm/seg. para su solidificación.

A partir de las mediciones de los Ejemplos 46 a 48, la resistencia a altas temperaturas de 200°C es mayor que la de la aleación de fundición trabajada con plástico de fundición.

La Fig. 1 son fotografías que muestran las estructuras de cristal de los materiales de fundición del Ejemplo 1 y los Ejemplos Comparativos 1 y 2.

10 La Fig. 2 es una vista que muestra el espectro de composición de una aleación de magnesio preferiblemente adecuada para su utilización práctica.

La Fig. 3 son fotografías que muestran estructuras de cristal de los materiales de fundición de acuerdo con los Ejemplos 2 a 4.

La Fig. 4 son fotografías que muestran estructuras de cristal de los materiales de fundición de acuerdo con los Ejemplos 5 y 6.

La Fig. 5 son fotografías que muestran estructuras de cristal de los materiales de fundición de acuerdo con los Ejemplos 7 a 9.

La Fig. 6 son fotografías que muestran estructuras de cristal de los materiales de fundición de acuerdo con los Ejemplos Comparativos 3 a 9.

20 La Fig. 7 es una fotografía que muestra estructuras de cristal del Ejemplo de Referencia.

La Fig. 8 es una vista que muestra un espectro de composición de una aleación de magnesio de acuerdo con la primera realización de la presente invención.

La Fig. 9 es una vista que muestra un espectro de composición de una aleación de magnesio de acuerdo con la séptima realización de la presente invención.

La Fig. 10 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de un material de fundición del Ejemplo 10.

- 5 La Fig. 11 es una fotografía que muestra una estructura de cristal de un material de fundición del Ejemplo 26.

La Fig. 12 es un gráfico que muestra la relación de un número de pasadas de trabajo ECAE, una elasticidad ( $\sigma_y$ ), un límite de elasticidad ( $\sigma_{UTS}$ ) y una expansión (%) cuando el material de fundición del Ejemplo 1 fue sometido al trabajo ECAE a 375°C.

- 10 La Fig. 13 es un gráfico que muestra la relación de un número de pasadas de trabajo ECAE, una elasticidad ( $\sigma_y$ ), un límite de elasticidad ( $\sigma_{UTS}$ ) y una expansión (%) cuando el material de fundición del Ejemplo 1 fue sometido al trabajo ECAE a 400°C.

## Reivindicaciones

1. Un producto trabajado plásticamente que se produce sometiendo un producto de fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza que tiene una fase de magnesio estructurada en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración y que contiene un porcentaje atómico “a” de Zn, un porcentaje atómico “b” de Y y un residuo de Mg, caracterizado porque “a” y “b” cumplen las expresiones siguientes (1) a (3) de un trabajo plástico, en que la fase de magnesio estructurado en hcp de dicho producto trabajado plásticamente tiene un tamaño medio de partícula de 2  $\mu\text{m}$  o más:

$$(1) 0.5 \leq a < 5.0,$$

$$(2) 0.5 < b < 5.0,$$

$$(3) 2/3a - 5/6 \leq b;$$

y opcionalmente contiene un porcentaje atómico de entre más de un 0% y un 2.5% o menos, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, In, Ir, Li, Pd, Sb y V;

- 15 y que opcionalmente contiene un porcentaje atómico “c”, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, donde “c” cumple las siguientes expresiones (4) y (5):

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0,$$

$$(5) 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

o que opcionalmente contiene un porcentaje atómico "c", en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, donde "c" cumple las siguientes expresiones (4') y (5') o (5') y (6'):

$$(4') 0 \leq c < 2.0,$$

$$(5') 0.2 \leq b+c \leq 6.0,$$

$$(6') c/b \leq 1.5;$$

5 o que opcionalmente contiene un porcentaje atómico "c", en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd y un porcentaje atómico "d" en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, , donde "c" y "d" cumplen las siguientes expresiones (4'') a (6'') o (6'') y (7''):

$$(4'') 0 \leq c \leq 3.0,$$

$$(5'') 0 \leq d < 2.0,$$

$$(6'') 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0,$$

$$(7'') d/b \leq 1.5.$$

10

2. El producto trabajado plásticamente de la reivindicación 1 que tiene una fase de magnesio estructurado en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente.

3. El producto trabajado plásticamente de la reivindicación 1 o 2, en que dicho  
15 producto trabajado plásticamente después de ser sometido a un tratamiento

térmico tiene una fase de magnesio estructurado en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente.

4. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3, en que dicha fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente tiene por lo menos una densidad de dislocación de menos de un diez por ciento que dicha fase de magnesio estructurada en hcp.
5. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en que dicha fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente tiene un grano de cristal con una fracción de volumen del 5% o más.
6. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 5, en que el producto trabajado plásticamente contiene por lo menos un tipo de precipitación seleccionado de entre el grupo que consta de un compuesto de Mg y elemento raro en la Tierra, un compuesto de Mg y Zn, un compuesto de Zn y elemento raro en la Tierra y un compuesto de Mg, Zn y elemento raro en la Tierra.
7. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con la reivindicación 6, en que el por lo menos un tipo de precipitación puede tener una fracción de volumen total mayor que 0 hasta un 40% o menos.
8. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 7, en que dicho trabajo plástico se lleva a cabo preferiblemente mediante por lo menos un proceso entre un enrollado, una extrusión, un trabajo ECAE, un laminado, un forjado, un prensado, un enrollado formado, un doblado, un trabajo

FSW y un trabajo cíclico de estos trabajos.

9. El producto trabajado plásticamente de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 8, en que la cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es preferiblemente de 15 o menos.
- 5 10. El producto trabajado plásticamente de las reivindicaciones 1 a 9, en que la cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es más preferiblemente de 10 o menos.
11. Un método para producir una fundición de aleación de magnesio de alta resistencia y alta dureza y posteriormente un producto trabajado plásticamente que comprende:
- 10 una fase para preparar un producto de fundición de aleación de magnesio con una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración y que comprende un porcentaje atómico "a" de Zn, un porcentaje atómico "b" de Y y un residuo de Mg, en que "a" y "b" cumplen las expresiones siguientes (1) a (3),
- 15 en que el índice de refrigeración en la fundición es de 100K/seg. o menos:

$$(1) 0.5 \leq a < 5.0,$$

$$(2) 0.5 < b < 5.0,$$

$$(3) \frac{2}{3}a - \frac{5}{6} \leq b;$$

y que opcionalmente contiene un porcentaje atómico de entre más de un 0% y un 2.5% o menos, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Al, Th, Ca, Si, Mn, Zr, Ti, Hf, Nb, Ag, Sr, Sc, B, C, Sn, Au, Ba, Ge, Bi, Ga, In, Ir, Li, Pd, Sb y V;

20

y que opcionalmente contiene un porcentaje atómico “c”, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd, donde “c” cumple las siguientes expresiones (4) y (5):

$$(4) 0 \leq c \leq 3.0,$$

$$(5) 0.2 \leq b+c \leq 6.0;$$

5 o que opcionalmente contiene un porcentaje atómico “c”, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, donde “c” cumple las siguientes expresiones (4’) y (5’) o (5’) y (6’):

$$(4') 0 \leq c < 2.0,$$

$$(5') 0.2 \leq b+c \leq 6.0,$$

$$(6') c/b \leq 1.5;$$

10 o que opcionalmente contiene un porcentaje atómico “c”, en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de Yb, Tb, Sm y Nd y un porcentaje atómico “d” en una cantidad total de por lo menos un elemento seleccionado de entre el grupo que consta de La, Ce, Pr, Eu, Mm y Gd, , donde “c” y “d” cumplen las siguientes expresiones (4”) a (6”) o (6”) y  
15 (7”):

$$(4'') 0 \leq c \leq 3.0,$$

$$(5'') 0 \leq d < 2.0,$$

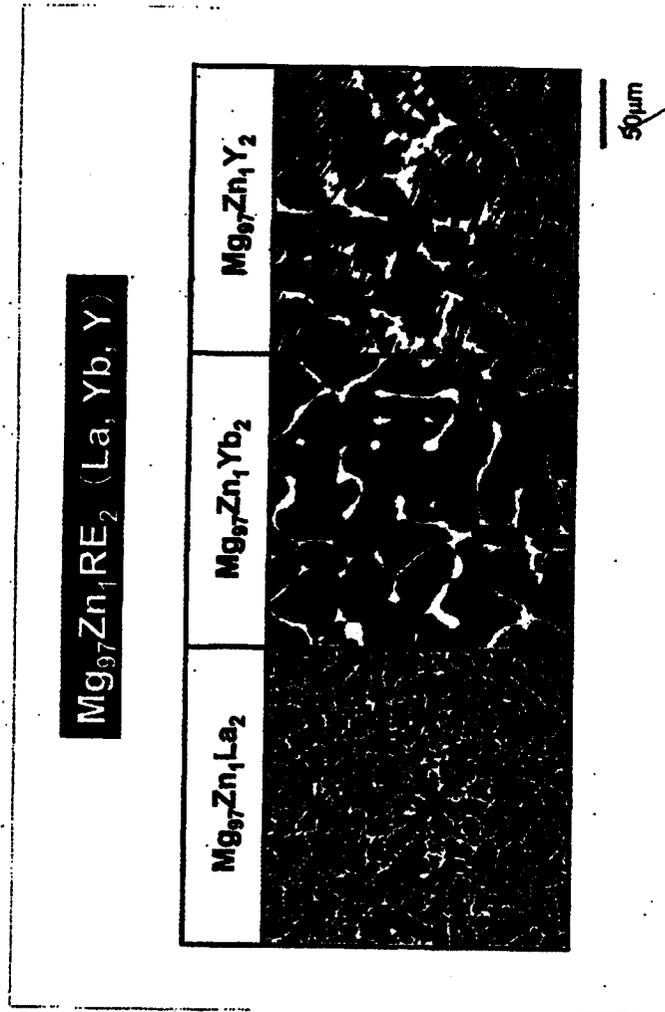
$$(6'') 0.2 \leq b+c+d \leq 6.0,$$

$$(7'') d/b \leq 1.5;$$

12. El método de acuerdo con la reivindicación 11 en que dicho producto de fundición de aleación de magnesio tiene una fase de magnesio estructurado en hcp y una fase de estructura de apilamiento ordenado de larga duración a temperatura ambiente.
- 5
13. El método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en que dicho trabajo plástico se lleva a cabo preferiblemente mediante por lo menos un proceso entre un enrollado, una extrusión, un trabajo ECAE, un laminado, un forjado, un prensado, un enrollado formado, un doblado, un trabajo FSW y un trabajo cíclico de estos trabajos.
- 10
14. El método de acuerdo con la reivindicaciones 11 a 13, en que la cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es de 15 o menos.
15. El método de acuerdo con la reivindicaciones 11 a 13, en que la cantidad total de tensión cuando se realiza el trabajo plástico es de 10 o menos.
- 15
16. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, que también comprende una fase para tratar térmicamente el producto trabajado plásticamente después de la fase para producir el producto trabajado plásticamente.

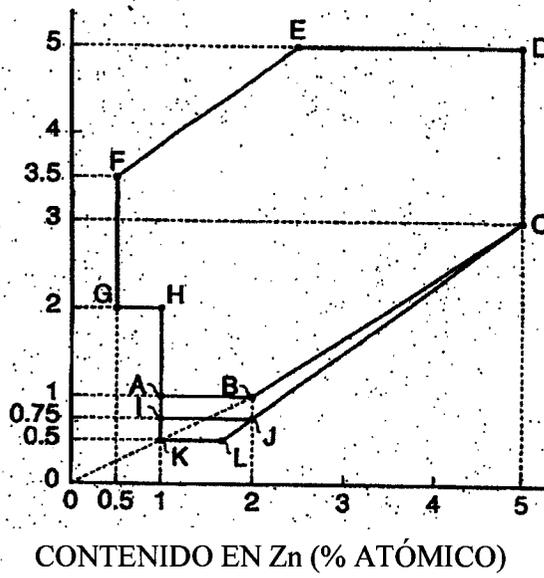
17. El método de acuerdo con la reivindicación 16, en que dicho tratamiento térmico se realiza preferiblemente bajo unas condiciones de temperatura de entre 200°C y menos de 500°C, y un período de tratamiento de entre 10 minutos y menos de 24 horas.
- 5 18. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, en que dicha aleación de magnesio, después de ser sometida al trabajo de plástico tiene una fase estructurada en hcp preferiblemente con una densidad de dislocación superior en menos de diez un diez por ciento a la fase de magnesio de estructura de apilamiento ordenado de larga duración.

FIG. 1



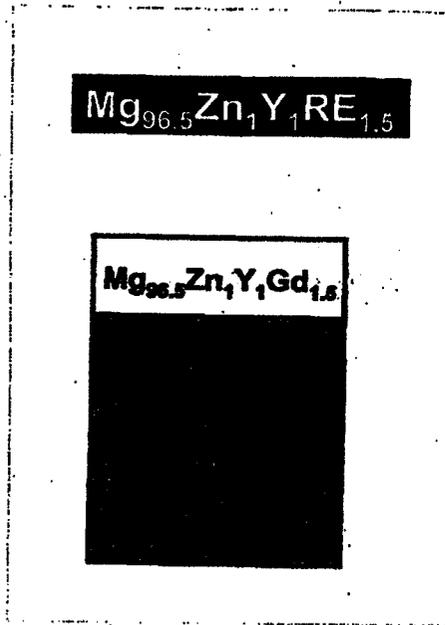
**FIG. 2**

CONTENIDO EN Y  
(% ATÓMICO)

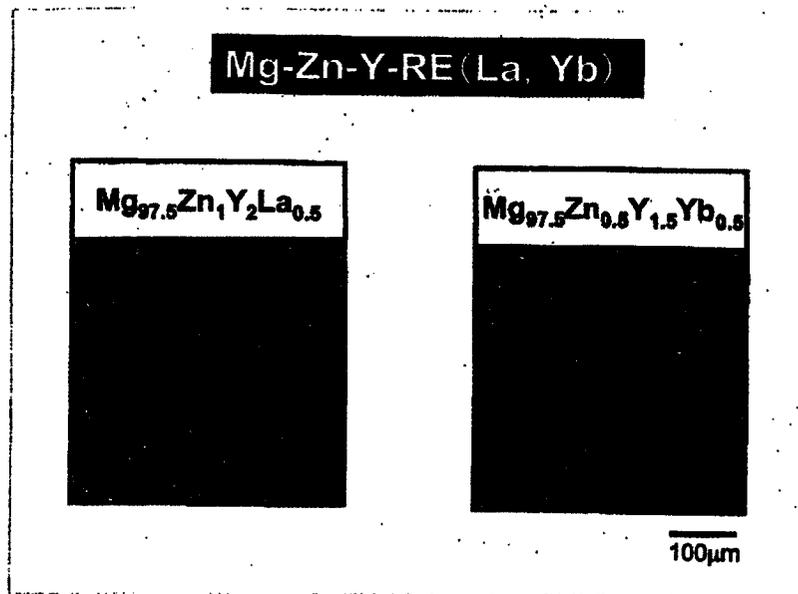


CONTENIDO EN Zn (% ATÓMICO)

**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**

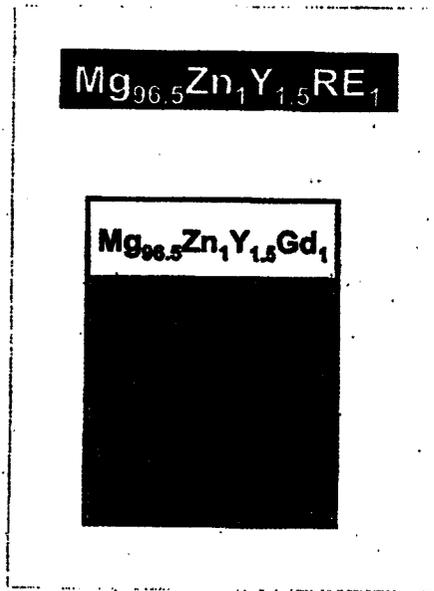
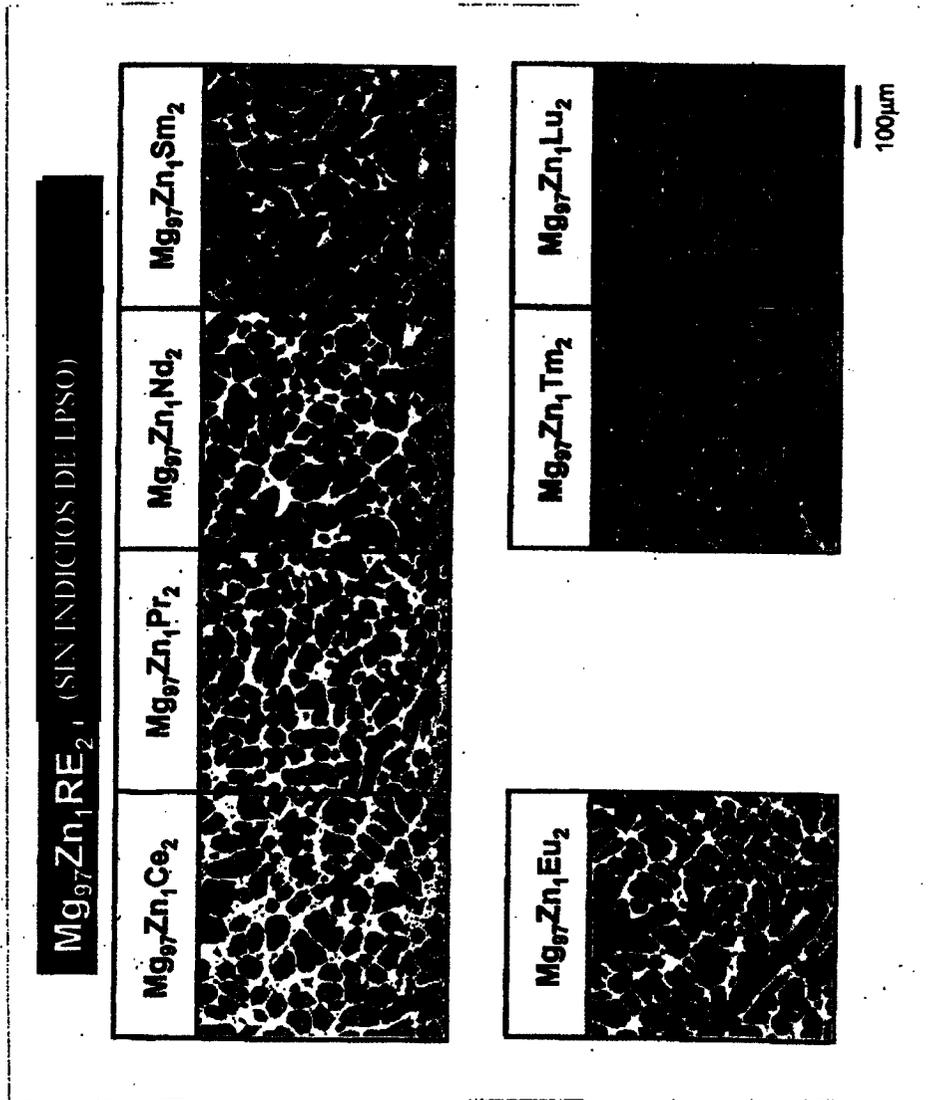
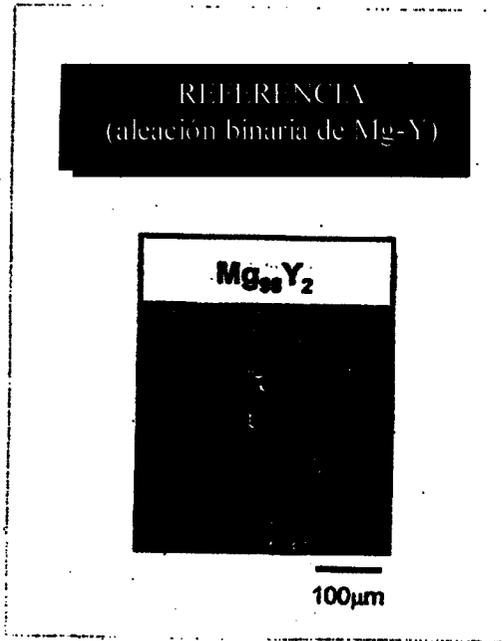


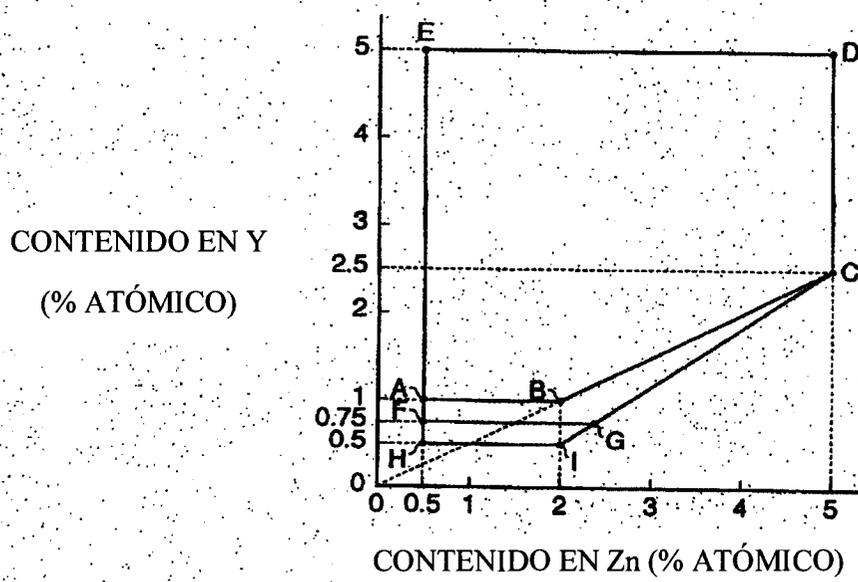
FIG. 6



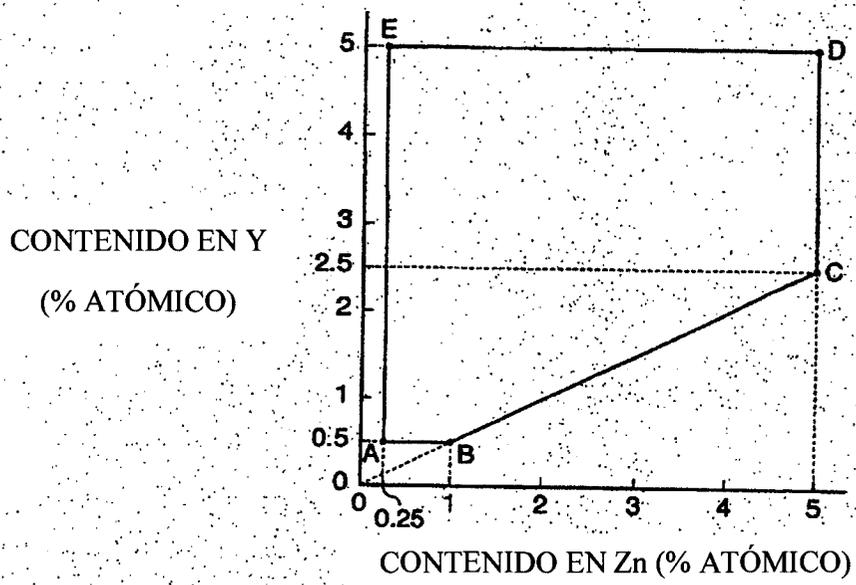
**FIG. 7**



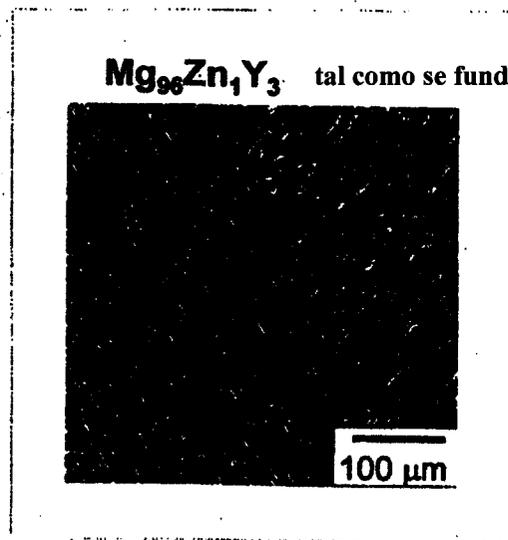
**FIG. 8**



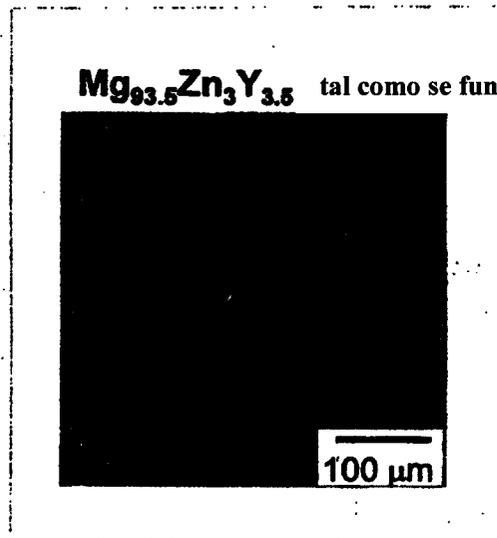
**FIG. 9**



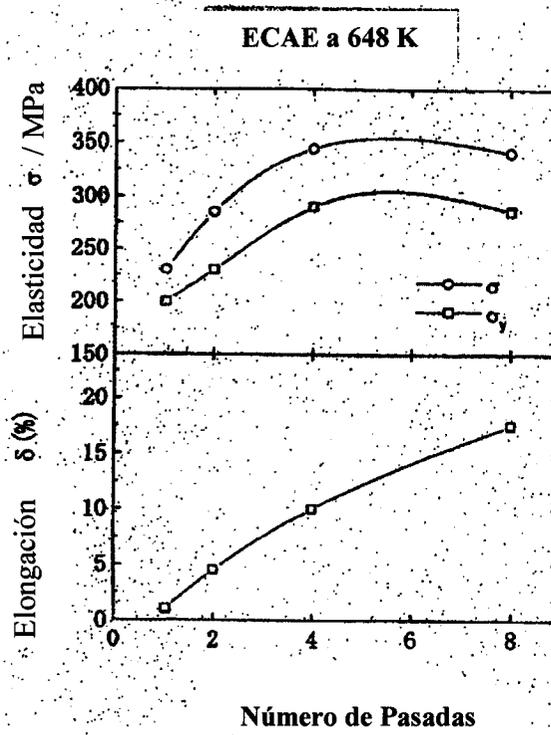
**FIG. 10**



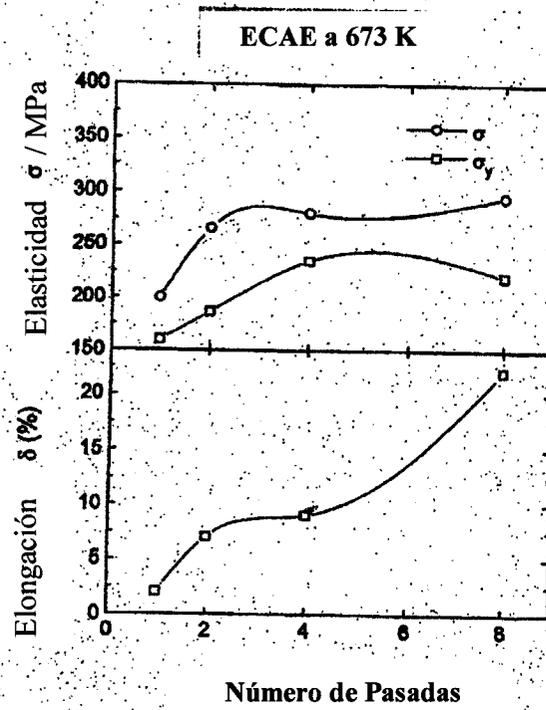
**FIG. 11**



**FIG. 12**



**FIG. 13**



## REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es solamente para facilitar la lectura. No forma parte del documento de Patente Europea. Aunque se ha tenido un cuidado extremado a la hora de recopilar las referencias, no pueden descartarse errores u omisiones, y la EPO declina cualquier responsabilidad a este respecto.

### Documentos de patente citados en la descripción

- WO 3238516 A [0008]
- WO 2807374 A [0008]
- JP 2002256370 A [0008]
- WO 02066696 A [0008]
- JP 1000533 W [0008]

### Documentos no de patente citados en la descripción

- *Material Transactions*, 2003, vol. 44 (4), 463-467 [0008]
- E. ABE et al. Long-period ordered structure in a high-strength nanocrystalline Mg-1 at% Zn-2 at% Y alloy studied by atomic-resolution Z-contrast STEM. *Acta Materialia*, 2002, vol. 50, 3845-3857 [0009]