

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 005**

51 Int. Cl.:

C22C 1/03 (2006.01)

C22C 23/02 (2006.01)

B22D 27/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2011 E 11152825 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 2481822**

54 Título: **Aleación basada en magnesio-aluminio con refinador de grano**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.09.2013

73 Titular/es:

**HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
ZENTRUM FÜR MATERIAL- UND
KÜSTENFORSCHUNG GMBH (100.0%)
Max-Planck-Strasse 1
21502 Geesthacht, DE**

72 Inventor/es:

**HUANG, YUANDING;
PENG, QIUMING;
HORT, NORBERT y
KAINER, KARL ULRICH**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 424 005 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

Aleación basada en magnesio-aluminio con refinador de grano

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a aleaciones basadas en magnesio-aluminio que tienen un tamaño de grano pequeño y a un método para su producción. Las aleaciones son particularmente útiles en aplicaciones de piezas coladas.

10 Los desarrollos de las aleaciones de magnesio han estado tradicionalmente impulsados por las necesidades de la industria aeroespacial de materiales ligeros de peso para operar bajo condiciones cada vez más exigentes. Las aleaciones de magnesio han sido siempre atractivas para los diseñadores debido a su baja densidad, únicamente dos tercios de la del aluminio. Este ha sido el principal factor en el uso extendido de piezas coladas y de productos forjados de aleaciones de magnesio.

15 Una necesidad más en los últimos años ha sido la de un superior comportamiento frente a la corrosión, y se han hecho demostraciones de espectaculares mejoras en nuevas aleaciones de magnesio. Las mejoras en propiedades mecánicas y en resistencia a la corrosión han conducido a un mayor interés por las aleaciones de magnesio para aplicaciones aeroespaciales y en especialidades.

Antecedentes de invención

20 La idoneidad de las aleaciones de magnesio se mejora, por lo general, con un pequeño tamaño de grano. Un pequeño tamaño de grano representa, por lo general, unas propiedades mecánicas mejoradas y una uniformidad estructural de las aleaciones de magnesio que dan como resultado una mejor capacidad de trabajarlas mecánicamente, buena resistencia al rasgado en caliente y una superior capacidad de extrusión. Se producen numerosos componentes por extrusión, laminado o forja, a partir de tochos colados. Por eso, un pequeño tamaño de grano de las aleaciones de magnesio en la pieza colada es importante, no solo para el comportamiento en servicio de los productos acabados de colar, sino también para los componentes que son necesarios para llevar a cabo el tratamiento secundario.

30 De manera general, las aleaciones de magnesio se pueden clasificar en dos amplios grupos: aleaciones de magnesio que llevan aluminio, y que están exentas de aluminio. Las aleaciones exentas de aluminio se refieren principalmente a las que contienen cinc o grano refinado por circonio, tales como ZE41, ZK60, WE43 y EZ33. En estas aleaciones, los tamaños de grano se pueden controlar y reducir añadiendo circonio. La capacidad excepcional de refinado de grano del circonio funciona en aleaciones que llevan aluminio, como por ejemplo AM59, AM60, y AZ91, ya que el aluminio y el circonio pueden interactuar fácilmente para formar fases intermetálicas estables que, por desgracia, son ineficaces como formadoras de núcleos para los granos de magnesio. Por lo tanto, es todavía deseable un refinador de grano adecuado para las aleaciones de magnesio-aluminio.

Estado de la técnica

40 Se han explorado diversas propuestas para disminuir el tamaño de grano de las aleaciones de magnesio-aluminio, como, por ejemplo, en los documentos CN 101774013, CN 101135013 y CN 1410566.

45 En el método de sobrecalentamiento, las aleaciones de magnesio se calientan alrededor de 150 a 250°C por encima de su punto de fusión, se mantienen a esa temperatura durante 5 a 15 minutos, y luego se enfrían rápidamente a la temperatura de colada. Se sugirió que el mecanismo del refinado de grano era una nucleación heterogénea mediante un compuesto de Al-Mn-Fe. Se han observado algunas características básicas durante el método de sobrecalentamiento. En primer lugar, se requiere un intervalo específico de temperatura por encima de la temperatura de fluidez para maximizar el efecto de refinado del grano. En segundo lugar, el enfriamiento rápido desde la temperatura de sobrecalentamiento a la temperatura de fluidez, y el corto tiempo de mantenimiento son también requisitos cruciales para producir granos finos. Debido a la alta temperatura, los costes de energía de este método son comparativamente alto, y está también el gasto implicado en evitar la oxidación de la masa fundida y en los procedimientos de mantenimiento y comprobación de la cuchara de colada.

55 La inoculación de carbono es otra propuesta principal y eficaz de refinado de grano desarrollado hasta la fecha para las aleaciones basadas en magnesio-aluminio. El paso clave de este procedimiento es la introducción de carbono en el magnesio fundido. Se dice que el mecanismo de refinado de grano es una nucleación heterogénea por el carburo de aluminio (Al_4C_3) producido mediante el carbono del compuesto que reacciona con el aluminio en la masa fundida. En los procedimientos comerciales, se añadía C_7Cl_6 como un refinador de grano, pero esto ya no está permitido porque produce gases nocivos. También se investigó el carbono inorgánico, como el grafito, el carbono y la cera, como refinador de grano. Sin embargo, sus efectos sobre el refinado de grano son limitados.

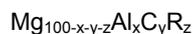
En el método Elfinal se añade cloruro férrico a la masa fundida a alrededor de 760°C, y la masa fundida se mantiene a esa temperatura durante 30 a 60 minutos, dando lugar a la formación de un compuesto de Al-Mn-Fe que se dijo que producía el refinado del grano. Se ha informado que con el fin de obtener un efecto de refinado pronunciado, el contenido de manganeso tiene que estar por encima de un valor crítico. El problema de este método es el deterioro de la resistencia a la corrosión originado por un efecto pila, localizado, del Fe y Mn.

Los métodos anteriores están descritos, por ejemplo por Lee et al., en Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 31A, 2000, páginas 2805 - 2906.

En resumen, todavía no hay propuestas satisfactorias para refinar el grano de las aleaciones de magnesio-aluminio que se acaban de colar. Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un método mejorado de refinado de grano de aleaciones basadas en magnesio-aluminio.

Resumen de la invención

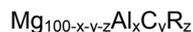
En un primer aspecto, la presente invención proporciona una aleación de magnesio-aluminio que comprende un refinador de grano, teniendo el refinador de grano la fórmula química:



en la que R es un elemento seleccionado del grupo consistente en silicio, calcio, o estroncio, x es de 10 a 50% en átomos, y es de 10 a 35% en átomos, y z es de 1 a 20% en átomos, a condición de que $x + y + z$ sea inferior a 100% en átomos. Preferiblemente, x es de 20 a 50% en átomos.

La aleación de magnesio-aluminio comprende, preferiblemente, el refinador de grano en una cantidad añadida de 0,1 a 2% en peso, del peso inicial de la aleación. La aleación de magnesio-aluminio puede ser cualquier aleación convencional que comprenda magnesio y aluminio. Preferiblemente, la aleación de magnesio-aluminio se selecciona del grupo consistente en aleaciones de magnesio-aluminio-cinc y aleaciones de magnesio-aluminio-manganeso, más preferiblemente, la aleación se selecciona del grupo consistente en AM50, AM60, AM201, AZ10, AZ31, AZ63, AZ80 y AZ91.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para producir una aleación de magnesio-aluminio que tenga grano fino, que comprende fundir una aleación que comprenda magnesio y aluminio bajo una atmósfera de gas protector, añadir a la aleación de magnesio-aluminio fundida un refinador de grano que tenga la fórmula química:



en la que R es un elemento seleccionado del grupo consistente en silicio, calcio, o estroncio, x es de 10 a 50% en átomos, y es de 10 a 35% en átomos, y z es de 1 a 20% en átomos, a condición de que $x + y + z$ sea inferior a 100% en átomos, y dejar que solidifique la aleación.

La aleación de magnesio-aluminio comprende, preferiblemente, el refinador de grano en una cantidad añadida de 0,1 a 2% en peso, del peso inicial de la aleación. La aleación de magnesio-aluminio puede ser cualquier aleación convencional que comprenda magnesio y aluminio. Preferiblemente, la aleación de magnesio-aluminio se selecciona del grupo consistente en aleaciones de magnesio-aluminio-cinc y aleaciones de magnesio-aluminio-manganeso, más preferiblemente, la aleación se selecciona del grupo consistente en AM50, AM60, AM201, AZ10, AZ31, AZ63, AZ80 y AZ91, AE44, AE42, AJ53, AS41 y AS42.

Preferiblemente, la aleación de magnesio-aluminio fundida, que comprende el refinador de grano, se cuela antes de dejar que solidifique la aleación. Preferiblemente, el gas protector comprende un gas inerte tal como un gas noble, por ejemplo helio o argón. Más preferiblemente el gas protector es una mezcla de argón y SF₆.

El refinador de grano se prepara, preferiblemente, mediante molienda de alta energía, que es un método eficaz para preparar el refinador de grano deseado, que tiene, comparativamente, un punto de fusión alto, por reacción en fase sólida.

El refinador de grano se puede añadir a la masa fundida de la aleación de magnesio-aluminio de un modo similar al circonio en las aleaciones de magnesio exentas de aluminio. Después, el refinador preparado se añade a la masa fundida de las aleaciones de magnesio como nucleantes.

Al preparar el refinador de grano mediante molienda de alta energía, se deberán observar preferiblemente los siguientes parámetros de tratamiento:

Preferiblemente, la velocidad de molienda estará entre 600 y 1300 rpm, más preferiblemente entre 800 y 1100 rpm.

5 Durante la molienda, la atmósfera de gas protector se renueva, preferiblemente, de manera continua o intermitentemente, con el fin de evitar la oxidación del magnesio y/o el aluminio durante el proceso de molienda. Si la atmósfera de gas protector se renueva de forma intermitente, la renovación de la atmósfera preferiblemente tiene lugar al menos 3 veces, más preferiblemente al menos 5 veces durante el proceso de molienda.

10 Preferiblemente, durante el proceso de molienda, se usa una bola de molienda hecha de óxido de circonio o de acero de alta resistencia, con el fin de disminuir los efectos nocivos causados por el hierro. En un molino de bolas, la relación de bola respecto al polvo está entre 5:1 y 10:1, más preferiblemente entre 6:1 y 8:1. El tiempo de molienda se elige preferiblemente para que esté entre 4 horas y 8 horas, más preferiblemente entre 5 horas y 7 horas. El tiempo de reposo antes de comenzar el proceso de molienda se elige, preferiblemente, para que esté entre 1 hora y 4 horas, más preferiblemente entre 1 hora y 3 horas.

15 Al preparar el refinador de grano mediante molienda de alta energía, los materiales se usarán, preferiblemente, en forma de polvos. Los tamaños de partícula de los materiales usados para preparar el refinador de grano mediante molienda de alta energía están, preferiblemente, entre 10 μm y 400 μm , más preferiblemente entre 250 μm y 350 μm . Los materiales usados para preparar el refinador de grano tienen, preferiblemente, una pureza del 99% al 99,999%, más preferiblemente entre 99,9% y 99,99%.

20 Se prefiere que el refinador de grano esté molido a una tamaño de partícula entre 0,1 nm y 50 nm, más preferiblemente entre 0,1 nm y 10 nm.

25 El refinador de grano según la presente invención es particularmente eficaz para aleaciones de magnesio-aluminio coladas. Esto incluye, por ejemplo, aleaciones basada en magnesio-aluminio coladas por gravedad, aleaciones basadas en magnesio-aluminio coladas en coquilla, aleaciones basadas en magnesio-aluminio coladas en estado semisólido, aleaciones basadas en magnesio-aluminio reocoladas y aleaciones basadas en magnesio-aluminio coladas de manera continua.

30 En el método para producir una aleación de magnesio-aluminio que tenga grano fino, la temperatura de la aleación fundida es, preferiblemente, de 720°C o más alta, para evitar la segregación de las nanopartículas del refinador de grano. Cuanto más elevada sea la temperatura, más corto es el tiempo que tarda en conseguir el refinado de grano. Sin embargo, ya que una temperatura demasiado elevada puede dar como resultado la ignición del material fundido, es preferible una temperatura de la masa fundida entre 720°C y 760°C, muy preferiblemente alrededor de 750°C.

35 El contenido de refinador de grano, añadido a las aleaciones basadas en magnesio-aluminio coladas, está, preferiblemente, entre el 0,15 y el 2% en peso, más preferiblemente entre el 0,5 y el 1,5% en peso. Cuando el contenido de su adición está por debajo del 0,1% en peso, el efecto del refinado de grano puede no ser suficiente. Cuando el contenido de su adición es superior al 2% en peso, el refinador residual de grano puede influir en las propiedades de las aleaciones de magnesio.

40 La masa fundida preferiblemente se agita con el fin de obtener aleaciones homogéneamente distribuidas. Las velocidades de agitación están, preferiblemente, entre 150 rpm y 300 rpm, más preferiblemente entre 150 y 250 rpm. El tiempo de agitación está, preferiblemente, entre 10 minutos y 60 minutos, más preferiblemente entre 20 minutos y 40 minutos.

45 El tiempo de reposo después de la adición del refinador de grano es beneficioso para el refinado de grano de las aleaciones basadas en magnesio-aluminio coladas. El tiempo de reposo estará, preferiblemente, entre 10 minutos y 90 minutos, más preferiblemente entre 30 minutos y 60 minutos.

50 Ahora se describirán ejemplos de la presente invención. Sin embargo, se comprenderá que la invención no se limita a los ejemplos descritos en adelante.

Breve descripción de las figuras

55 Las Figuras 1(a) – (c) son microestructuras ópticas que muestran la eficacia del refinado de grano de los polvos, tal y como se reciben, cuando se añaden a una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio, a 750°C. La Figura 1(a) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio. La Figura 1(b) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio que contiene 1%, en peso, del refinador de grano $\text{Mg}_{0,3}\text{Al}_{0,4}\text{C}_{0,15}\text{Ca}_{0,15}$, con un tiempo de molienda de 20 horas. El tiempo de agitación es de 30 minutos durante la fusión. La Figura 1(c) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio que contiene 1%, en peso, del refinador de grano $\text{Mg}_{0,3}\text{Al}_{0,4}\text{C}_{0,15}\text{RE}_{0,15}$ con un tiempo de molienda de 20 horas. El tiempo de agitación es de 30 minutos durante la fusión.

65 La Figura 2 son microestructuras ópticas que muestran la eficacia del refinado de grano de los polvos, tal y como se reciben, cuando se añaden a una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio, a 750°C. La Figura 2(a) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio que contiene 0,5%, en peso, del refinador de grano

Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}, con un tiempo de molienda de 20 horas. La Figura 2(b) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio que contiene 0,8%, en peso, del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}, con un tiempo de molienda de 20 horas. La Figura 2(c) es una aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio que contiene 1%, en peso, del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}, con un tiempo de molienda de 20 horas.

5 La Figura 3 muestra la relación entre el tamaño medio de grano de las aleaciones de magnesio-3%, en peso, de aluminio, y el contenido de refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}, con un tiempo de molienda de 20 horas. Se obtiene el grano más pequeño al añadir 1,5%, en peso, de refinador de grano.

10 La Figura 4 muestra la relación entre el tamaño medio de grano de las aleaciones de magnesio-3%, en peso, de aluminio, y el tiempo de molienda del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}. El contenido de Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15} es del 1,0%, en peso. Se observa el tamaño de grano más pequeño en la aleación cuando el refinador de grano se molió durante 20 horas.

15 La Figura 5 el tamaño medio de grano de aleaciones de magnesio-3%, en peso, de aluminio añadiendo diferentes contenidos del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}, con un tiempo de molienda de 20 horas.

Ejemplo 1

20 Preparación del refinador de grano

En este ejemplo, en la Tabla 1, se muestran las composiciones comparativas del polvo antes de la molienda, en las que la unidad es “% en átomos”.

25

TABLA 1

| Composiciones | Mg | Al | C | RE |
|-------------------------|----|----|----|----|
| Antes de la molienda | 30 | 40 | 15 | 15 |
| Molida durante 5 horas | 28 | 42 | 16 | 14 |
| Molida durante 10 horas | 27 | 43 | 15 | 15 |
| Molida durante 15 horas | 26 | 43 | 15 | 16 |
| Molida durante 20 horas | 26 | 43 | 14 | 17 |

30 Se usó un caldero cilíndrico de acero para preparar el refinador de grano. Con el fin de evitar que los polvos se oxidaran a altas temperaturas durante el proceso de molienda, se usó argón puro para limpiar la atmósfera durante 5 veces. La velocidad de molienda fue de 1000 rpm. Se seleccionó una bola de óxido de circonio, y la relación de la bola respecto al polvo fue de 8:1. El tiempo de molienda fue de 5 – 20 horas (véase la Tabla 1). Con el fin de mantener la reacción entre los diferentes polvos de una manera continua, el tiempo de reposo entre dos moliendas fue de 2 horas. Durante el proceso de molienda, no se abrió la cubierta del crisol. Las composiciones de las muestras después de molidas durante tiempos diferentes están relacionadas en la Tabla 1.

35 Procedimiento de refinado de la aleación de magnesio-aluminio:

40 En este ejemplo, se seleccionó la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio para investigar el papel del nuevo refinador de grano. En el crisol de acero, se fundieron, a 750°C, 700 gramos de magnesio puro precalentado a 400°C. Se usó un gas mixto de SF₆ y argón como gas protector. Se añadieron, a la masa fundida, 300 gramos de aluminio puro precalentado. Luego, se emplearon 15 minutos en agitar la masa fundida. Se añadieron al líquido refinadores de grano con un tamaño inferior a 20 nm. La adición de refinadores de grano a la masa fundida se repitió tres veces. Después de añadir el refinador de grano, la masa fundida se agitó durante 30 minutos más. Luego, las aleaciones se colaron después de reposar durante 30 minutos. Se usó un microscopio óptico para observar la morfología del grano de las aleaciones coladas. Se midió, en cada caso, el tamaño medio de grano.

45 Las Figuras 1(a) – (c) son microestructuras ópticas que muestran la capacidad de refinado de grano de los polvos, tal y como se reciben, después de que se añadan a la aleación de magnesio- 3%, en peso, de aluminio a 750°C. Se puede hallar que el tamaño de grano disminuye con la adición de diferentes refinadores de grano.

50 La Figura 2 son microestructuras ópticas que muestran la eficacia del refinado de grano, tal y como se recibe, después de que se añadan a la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio a 750°C. El tamaño de grano se reduce al aumentar el contenido de refinadores de grano. Los valores detallados se muestran en la Figura 3. El valor más pequeño del tamaño de grano se obtiene al añadir 1,5%, en peso, de refinador de grano. El tamaño medio de grano más pequeño es de 67 µm.

55 La Figura 4 muestra la relación entre el tamaño medio de grano de las aleaciones de magnesio-3%, en peso, de aluminio y el tiempo de molienda del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}RE_{0,15}. El tamaño de grano más pequeño se observa en la aleación añadiendo el refinador de grano con un tiempo de molienda de 20 horas.

Ejemplo 2

Preparación del refinador de grano:

- 5 En este ejemplo, en la Tabla 2, se muestran las composiciones del polvo antes de la molienda, en las que la unidad es “% en átomos”.

TABLA 2

| Composiciones | Mg | Al | C | Ca |
|-------------------------|----|----|----|----|
| Antes de la molienda | 30 | 40 | 15 | 15 |
| Molida durante 5 horas | 28 | 42 | 15 | 15 |
| Molida durante 10 horas | 27 | 43 | 15 | 15 |
| Molida durante 15 horas | 26 | 43 | 15 | 15 |
| Molida durante 20 horas | 26 | 43 | 14 | 16 |

- 10 Se usó un caldero cilíndrico de acero para preparar el refinador de grano. Con el fin de evitar que los polvos se oxidaran a altas temperaturas durante el proceso de molienda, se usó argón puro para limpiar la atmósfera durante 5 veces. La velocidad de molienda fue de 1000 rpm. Se seleccionó una bola de óxido de circonio, y la relación de la bola respecto al polvo fue de 8:1. El tiempo de molienda fue de 5 – 20 horas (véase la Tabla 2). Con el fin de mantener la reacción entre los diferentes polvos de una manera continua, el tiempo de reposo entre dos moliendas fue de 2 horas. Durante el proceso de molienda, no se abrió la cubierta del crisol. Las composiciones de las muestras después de molidas durante tiempos diferentes están relacionadas en la Tabla 2.

Procedimiento de refino de la aleación de magnesio-aluminio:

- 20 En este ejemplo, se seleccionó la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio para investigar el papel del nuevo refinador de grano. En el crisol de acero, se fundieron, a 750°C, 700 gramos de magnesio puro precalentado a 400°C. Se usó un gas mixto de SF₆ y argón como gas protector. Se añadieron, a la masa fundida, 300 gramos de aluminio puro precalentado. Luego, se emplearon 15 minutos en agitar el líquido. Se añadieron al líquido refinadores de grano con un tamaño inferior a 20 nm. La adición de refinadores de grano a la masa fundida se repitió tres veces.
- 25 Después de añadir el refinador de grano, la masa fundida se agitó durante 30 minutos más. Luego, las aleaciones se colaron después de reposar durante 30 minutos. Se usó un microscopio óptico para observar la morfología de los granos de las aleaciones coladas. Se midió, en cada caso, el tamaño medio de grano.

- 30 En la Figura 1(b) se muestra la microestructura típica de la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio, con la adición del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}Ca_{0,15}. Comparada con la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio, el grano está en gran medida refinado después de la adición de este refinador. La Figura 5 muestra el tamaño medio de grano como una función del contenido del refinador de grano Mg_{0,3}Al_{0,4}C_{0,15}Ca_{0,15} añadido a la aleación de magnesio-3%, en peso, de aluminio. El tamaño de grano disminuye al aumentar el contenido de refinador. Después de añadir más del 1%, en peso, de refinadores, el tamaño de grano tiende a ser estable.

35

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un refinador de grano para usar en una aleación de magnesio-aluminio, que tiene la fórmula química:
- $$\text{Mg}_{100-x-y-z}\text{Al}_x\text{C}_y\text{R}_z$$
- 10 en la que R es un elemento seleccionado del grupo consistente en silicio, calcio, o estroncio, x es de 10 a 50% en átomos, y es de 10 a 35% en átomos, y z es de 1 a 20% en átomos, a condición de que $x + y + z$ sea inferior a 100% en átomos.
- 15 2. Un método para producir una aleación de magnesio-aluminio que tenga grano fino, que comprende fundir una aleación que comprenda magnesio y aluminio, bajo una atmósfera de gas protector, añadir a la aleación de magnesio-aluminio fundida un refinador de grano según la reivindicación 1, y dejar que la aleación solidifique.
- 20 3. El método de la reivindicación 2, en el que la aleación de magnesio-aluminio fundida que comprende el refinador de grano se cuele antes de dejar que la aleación solidifique.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que el gas protector comprende argón.
5. El método de la reivindicación 4, en el que el gas protector comprende, además, SF₆.
- 25 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el refinador de grano se usa en forma de polvo molido que tiene un tamaño de partícula inferior a 50 nm.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en el que la aleación de magnesio-aluminio fundida se agita entre 10 minutos y 60 minutos, después de añadir el refinador de grano.
- 30 8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, en el que la aleación de magnesio-aluminio se selecciona del grupo consistente en aleaciones de magnesio-aluminio-cinc y aleaciones de magnesio-aluminio-manganeso.
- 35 9. El método de la reivindicación 8, en el que la aleación de magnesio-aluminio se selecciona del grupo consistente en AM50, AM60, AM201, AZ10, AZ31, AZ63, AZ80, AZ91, AE44, AE42, AJ53, AS41 y AS42.

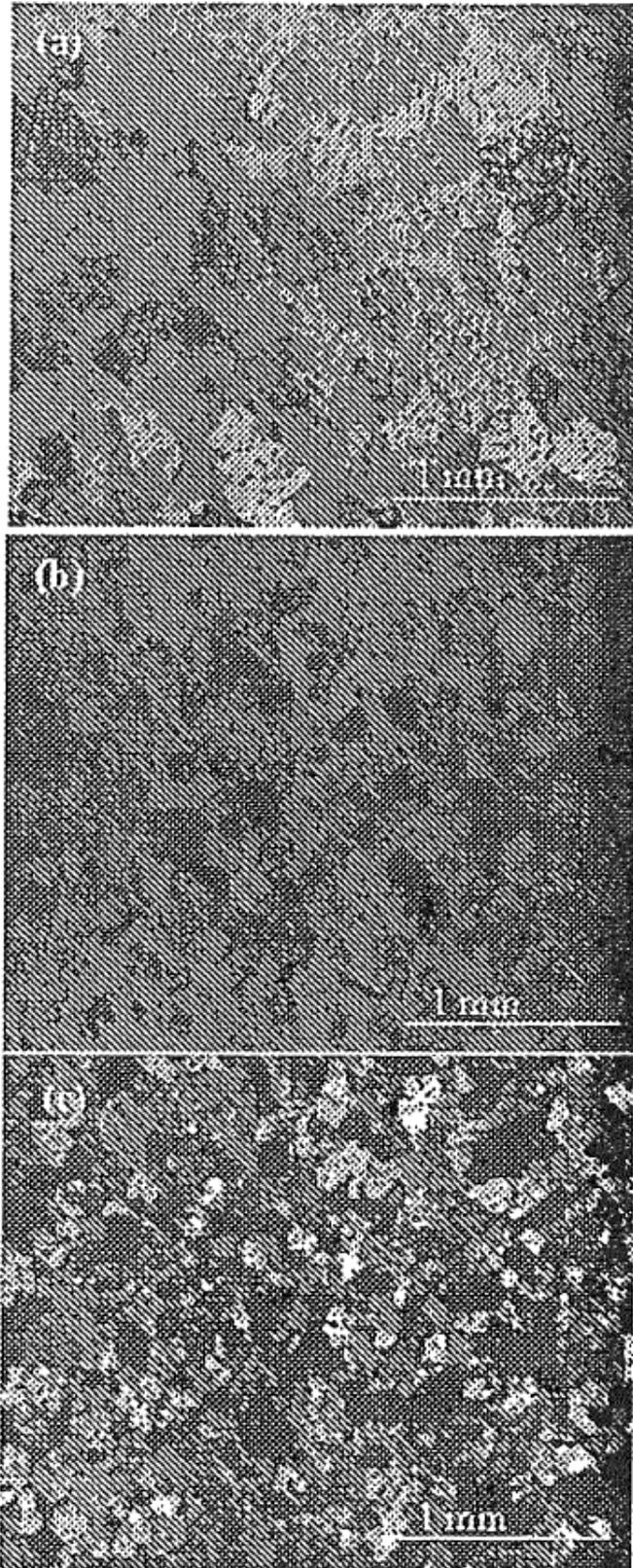


FIG. 1

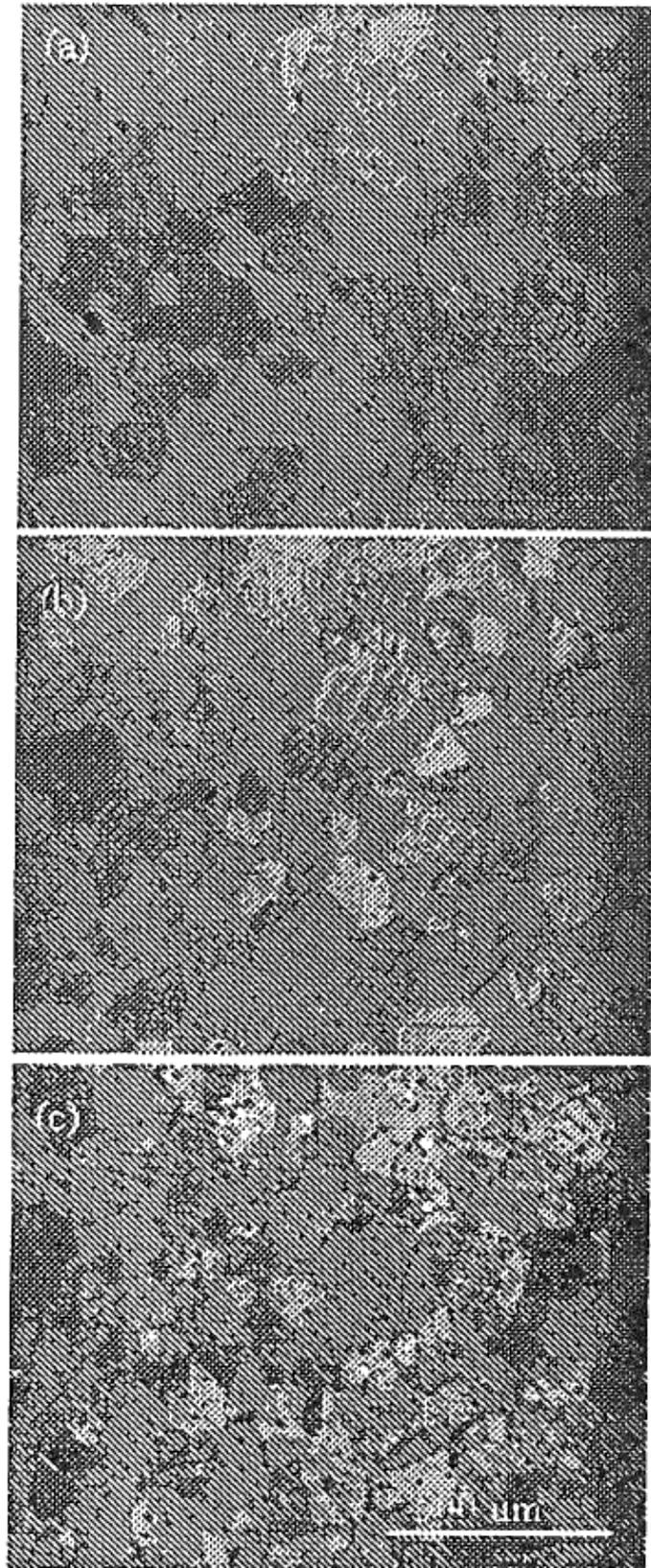


FIG. 2

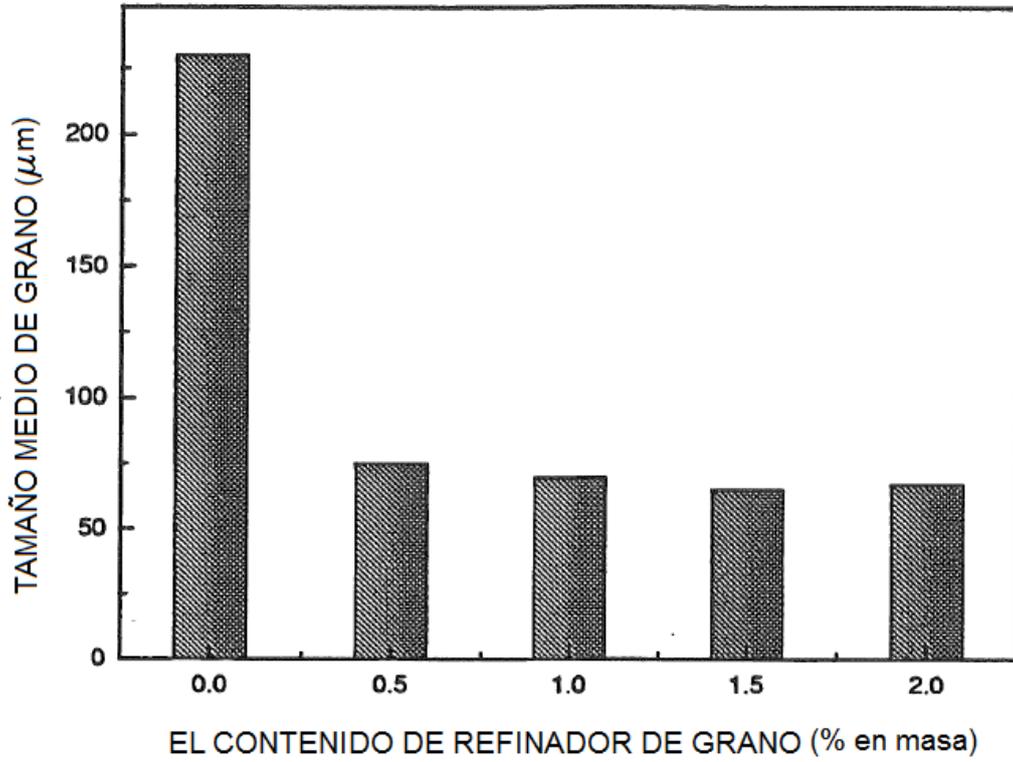


FIG. 3

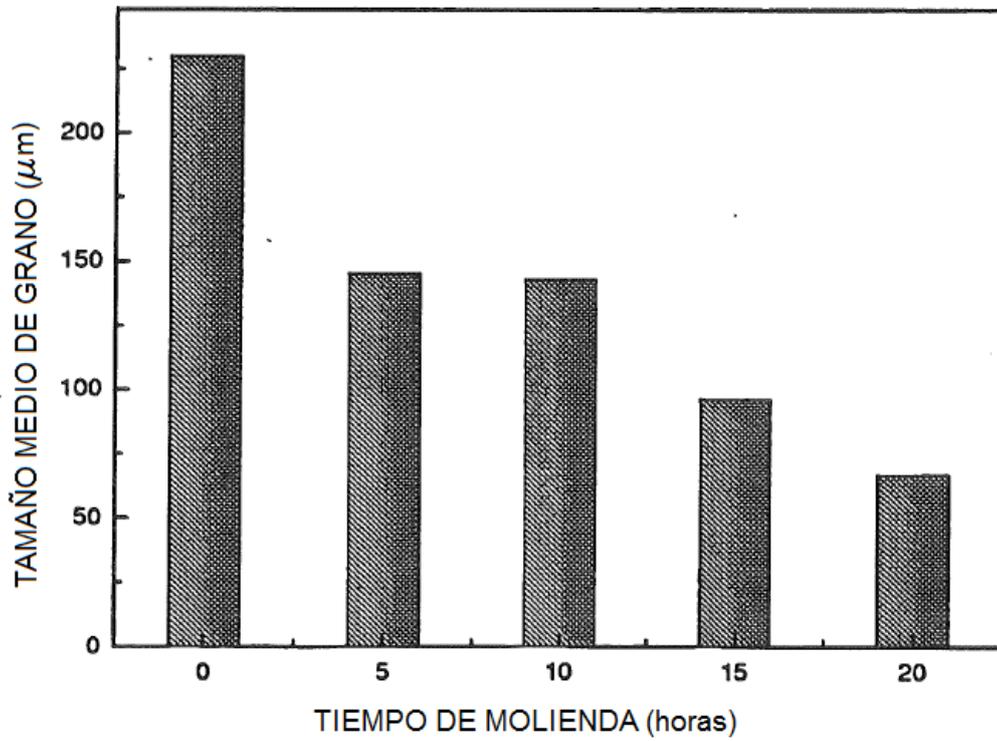


FIG. 4

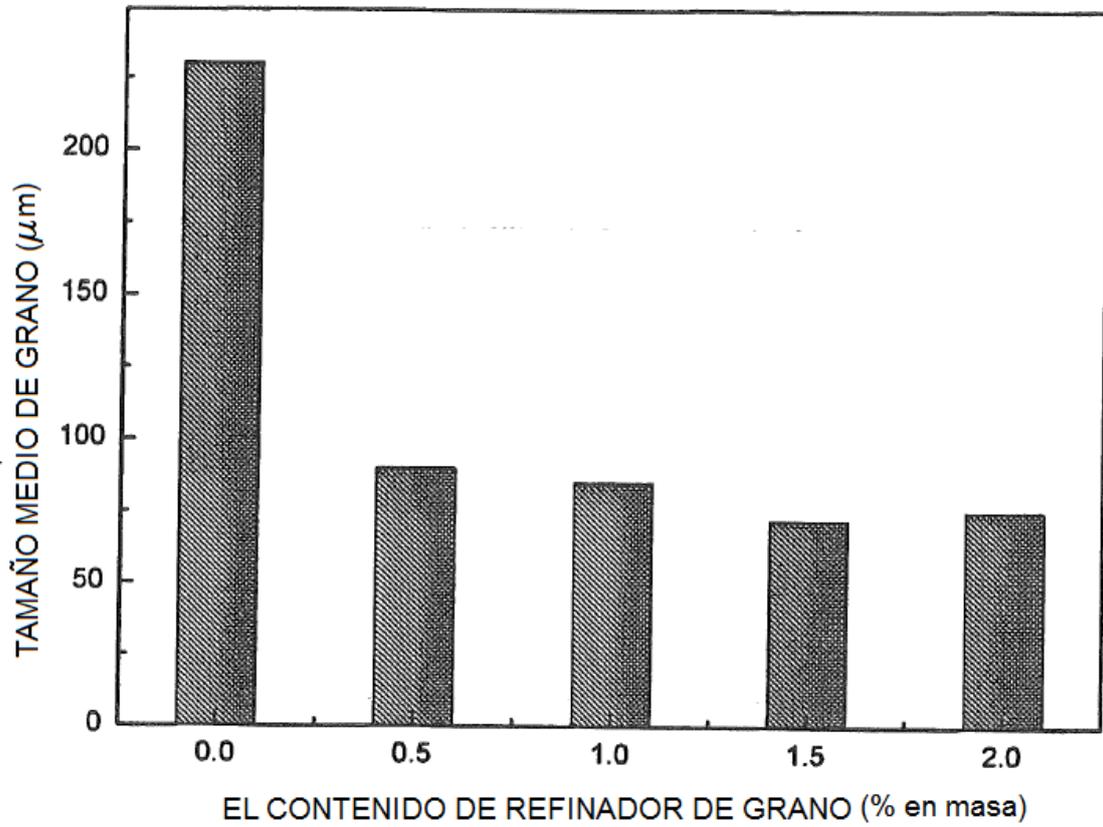


FIG. 5