



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 310 341**

51 Int. Cl.:
F02F 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05719757 .6**

96 Fecha de presentación : **23.02.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1723332**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.11.2006**

54 Título: **Componente de motor y método para producirlo.**

30 Prioridad: **27.02.2004 JP 2004-54582**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.01.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.01.2009

73 Titular/es: **Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha**
2500 Shingai
Iwata-shi, Shizuoka 438-8501, JP

72 Inventor/es: **Kurita, Hirotaka;**
Yamagata, Hiroshi y
Koike, Toshikatsu

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 310 341 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).

ES 2 310 341 T3

DESCRIPCIÓN

Componente de motor y método para producirlo.

5 La presente invención se refiere a un componente de motor, por ejemplo un bloque de cilindro o un pistón, y un método para producir un componente de deslizamiento para un motor. Más en concreto, la presente invención se refiere a un componente de motor compuesto de una aleación de aluminio que incluye silicio, y un método para producirlo. La presente invención también se refiere a un motor y un vehículo automóvil que incorporan tal componente de motor.

10 En los últimos años, en un intento de reducir el peso de los motores, se ha tendido a usar una aleación de aluminio para bloques de cilindro. Dado que un bloque de cilindro tiene que tener una alta resistencia y alta resistencia a la abrasión, cabe esperar que las aleaciones de aluminio que contienen una gran cantidad de silicio sean aleaciones de aluminio prometedoras para bloques de cilindro.

15 En general, una aleación de aluminio que contiene gran cantidad de silicio es difícil de fundir, dificultando así producción en serie basada en la fundición a presión. Consiguientemente, los autores de la presente invención han propuesto una técnica de fundición a alta presión que permite la producción en serie de bloques de cilindro usando tales aleaciones de aluminio (véase el folleto de WO 2004/002658). Esta técnica hace posible producir en serie bloques de cilindro que tienen suficiente resistencia a la abrasión y resistencia para uso práctico.

20 Sin embargo, dependiendo de las revoluciones concebibles del motor y las condiciones concebibles bajo las que se puede usar un motor, un bloque de cilindro puede cumplir incluso requisitos de mayor resistencia a la abrasión y resistencia. Por ejemplo, en el caso de una motocicleta, su motor opera a 7.000 rpm o más, de modo que hay requisitos bastante altos de resistencia a la abrasión y de resistencia del bloque de cilindro.

25 GB 2294471 A así como GB 2302695 A se refieren a un revestimiento de cilindro y un método de producir tal revestimiento de cilindro. Se describe formar granos diminutos de silicio cristalino primario usando un método de pulverización con una tasa de enfriamiento de 10^5 K/s, respectivamente 10^3 K/s.

30 US 3333579 se refiere a aleaciones a base de aluminio con alto contenido de silicio conteniendo hasta 20% en peso de silicio. Mediante la adición de sodio y una mezcla de fósforo en polvo en condición fundida, se crean tamaños de partícula de silicio en la condición fundida de entre 10 y 40 μm .

35 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un componente de motor con excelente resistencia a la abrasión y resistencia, así como un método para producir un componente de deslizamiento para un motor.

Según la presente invención, dicho objetivo se logra con un componente de motor que tiene la combinación de características de la reivindicación independiente 1.

40 En una realización preferida, el componente de motor que tiene dicha estructura es un bloque de cilindro, donde la pluralidad de granos de silicio cristalino primario están expuestos en una superficie de un agujero de pared de cilindro.

45 Preferiblemente, la pluralidad de granos de silicio cristalino tienen una distribución de tamaño de grano que tiene al menos dos picos, incluyendo un primer pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente 1 μm y no más de aproximadamente 7,5 μm y un segundo pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm . Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones antes descritas.

50 En una realización preferida, en cualquier región rectangular arbitraria de la superficie de deslizamiento que tiene un tamaño aproximado de 800 μm x 1000 μm , el número de regiones circulares que tienen un diámetro de aproximadamente 50 μm y que no contienen granos de silicio cristalino de un tamaño de grano de cristal de aproximadamente 0,1 μm o más es igual o menor que cinco.

55 En una realización preferida, la aleación de aluminio contiene: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio; no menos de aproximadamente 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio; y no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre.

60 En una realización preferida, la superficie de deslizamiento tiene una dureza Rockwell (HRB) de no menos de aproximadamente 60 y no más de aproximadamente 80.

Un motor según una realización preferida de la presente invención incluye el componente de motor que tiene dicha estructura. Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones descritas anteriormente.

65 Un bloque de cilindro según una realización preferida de la presente invención es un bloque de cilindro compuesto de una aleación de aluminio conteniendo: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio; no menos de 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio; y no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre, incluyendo el bloque

ES 2 310 341 T3

de cilindro una pluralidad de granos de silicio cristalino primario situados en una superficie de deslizamiento dispuesta de manera que entre en contacto con un pistón, y una pluralidad de granos de silicio eutéctico dispuestos entre la pluralidad de granos de silicio cristalino primario, donde la pluralidad de granos de silicio cristalino primario tienen un tamaño de grano de cristal medio de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$, y la pluralidad de granos de silicio eutéctico tienen un tamaño de grano de cristal medio de no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$; la aleación de aluminio contiene: no menos de aproximadamente 50 ppm en peso y no más de aproximadamente 200 ppm en peso de fósforo; y no más de aproximadamente 0,01% en peso de calcio; y la superficie de deslizamiento tiene una dureza Rockwell (HRB) de no menos de aproximadamente 60 y no más de aproximadamente 80. Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones descritas anteriormente.

Alternativamente, el bloque de cilindro según una realización preferida de la presente invención es un bloque de cilindro compuesto de una aleación de aluminio conteniendo: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio; no menos de aproximadamente 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio; y no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre, incluyendo el bloque de cilindro una pluralidad de granos de silicio cristalino formados en una superficie de deslizamiento que entra en contacto con un pistón, donde la pluralidad de granos de silicio cristalino tienen una distribución de tamaño de grano que tiene al menos dos picos; los al menos dos picos incluyen un primer pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$ y un segundo pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$; en cualquier región rectangular arbitraria de la superficie de deslizamiento dimensionada aproximadamente $800\ \mu\text{m} \times 1000\ \mu\text{m}$, el número de regiones circulares que tienen un diámetro de aproximadamente 50 y no contienen granos de silicio cristalino de un tamaño de grano de cristal de aproximadamente 0,1 o más es igual o menor que cinco; la aleación de aluminio contiene: no menos de aproximadamente 50 ppm en peso y no más de aproximadamente 200 ppm en peso de fósforo; y no más de aproximadamente 0,01% en peso de calcio; y la superficie de deslizamiento tiene una dureza Rockwell (HRB) de no menos de aproximadamente 60 y no más de aproximadamente 80. Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones descritas anteriormente.

Alternativamente, el motor según una realización preferida de la presente invención incluye el bloque de cilindro que tiene dicha estructura; y un pistón que tiene una superficie de deslizamiento cuya dureza superficial es más alta que la de la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro. Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones descritas anteriormente.

Un vehículo automóvil según otra realización preferida de la presente invención incluye el motor que tiene dicha estructura. Con esta estructura única, se logran las ventajas y soluciones descritas anteriormente.

Además, según la presente invención, dicho objetivo se logra con un método para producir un componente de deslizamiento para un motor incluyendo los pasos de la reivindicación independiente 9. Realizaciones preferidas de la presente invención se exponen en las reivindicaciones secundarias.

En lo que sigue, la presente invención se explica con más detalle por medio de sus realizaciones en unión con los dibujos acompañantes, donde:

La figura 1 es una vista en perspectiva que representa esquemáticamente un bloque de cilindro 100 según una realización preferida.

La figura 2 es una vista esquemática ampliada de una superficie de deslizamiento del bloque de cilindro 100.

Las figuras 3A, 3B, y 3C son diagramas para explicar la relación entre un tamaño de grano de cristal medio de granos de silicio cristalino primario y la resistencia a la abrasión de un bloque de cilindro.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para producir el bloque de cilindro 100.

La figura 5 es un diagrama esquemático que representa un aparato de fundición a alta presión usado para colada del bloque de cilindro 100.

Las figuras 6A y 6B son fotografías de microscopio metalúrgico de una superficie de deslizamiento de un bloque de cilindro comparativo, que se fundió usando un molde de arena.

Las figuras 7A y 7B son fotografías de microscopio metalúrgico de una superficie de deslizamiento de un bloque de cilindro prototipo, que se fundió mediante fundición a alta presión.

La figura 8 es un gráfico que representa una distribución de tamaño de grano de granos de silicio cristalino formada en la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro comparativo.

La figura 9 es un gráfico que representa una distribución de tamaño de grano de granos de silicio cristalino formada en la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro prototipo.

ES 2 310 341 T3

La figura 10 es una fotografía ampliada de la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro comparativo después de someterse a una prueba de abrasión.

5 La figura 11 es una fotografía ampliada de la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro prototipo después de someterse a una prueba de abrasión.

La figura 12 es una fotografía que representa un grano de silicio cristalino que resulta gigantesco debido a que el efecto de micronización del fósforo es impedido por el calcio.

10 La figura 13 es una vista en sección transversal que representa esquemáticamente un mecanismo de cómo se puede retener lubricante en cavidades de aceite en la superficie de deslizamiento.

15 Las figuras 14A a 14E son fotografías de microscopio metalúrgico que representan una superficie de deslizamiento de un bloque de cilindro, habiéndose fundido los bloques de cilindro en condiciones de tasa de enfriamiento respectivamente diferentes.

La figura 15 es un gráfico que representa una relación entre temperatura y tiempo después de iniciarse un proceso de colada.

20 La figura 16 es una vista en sección transversal que representa esquemáticamente un motor 150 que tiene el bloque de cilindro 100.

25 Y la figura 17 es una vista lateral que representa esquemáticamente una motocicleta que tiene el motor 150 representado en la figura 16.

Los inventores han realizado un estudio detallado de la relación entre el modo o estilo de granos de silicio cristalino en una superficie de deslizamiento (es decir, una superficie que entra en contacto con un pistón) de un bloque de cilindro y la resistencia a la abrasión y la resistencia del bloque de cilindro. Como resultado, los inventores han descubierto que la resistencia a la abrasión y la resistencia se pueden mejorar en gran medida estableciendo el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino de manera que caiga dentro de un rango específico, y/o asegurando que los granos de silicio cristalino tengan una distribución específica de tamaño de grano. La presente invención se ha desarrollado en base a la información de este descubrimiento.

35 Además, los inventores también han investigado las condiciones para producir bloques de cilindro, y así han llegado a un método de producción preferible que permite formar granos de silicio cristalino en la superficie de deslizamiento en dicho modo o estilo preferible.

40 A continuación, se describirán realizaciones preferidas de la presente invención con referencia a los dibujos. Aunque la descripción siguiente se referirá principalmente a un bloque de cilindro como un ejemplo, la presente invención no se limita a ello. La presente invención se puede aplicar adecuadamente a un componente de deslizamiento para un motor, siendo el componente de deslizamiento un componente (por ejemplo, un bloque de cilindro o un pistón) de una cámara de combustión de un motor de combustión interna, y un método para producirlo.

45 La figura 1 representa un bloque de cilindro 100 según la presente realización preferida. El bloque de cilindro 100 se hace de una aleación de aluminio que contiene silicio.

50 Como se representa en la figura 1, el bloque de cilindro 100 incluye preferiblemente una porción de pared (denominada una "pared de agujero de cilindro") 103 que define el agujero de cilindro 102, y una porción de pared (denominada una "pared exterior de bloque de cilindro") 104 que rodea el agujero de pared de cilindro 103 y define el contorno exterior del bloque de cilindro 100. Entre el agujero de pared de cilindro 103 y el bloque de pared de cilindro exterior 104 se ha dispuesto una camisa de agua 105 para retener un refrigerante.

55 La superficie 101 del agujero de pared de cilindro 103 que mira al agujero de cilindro 102 define una superficie de deslizamiento que entra en contacto con un pistón. La superficie de deslizamiento 101 se representa ampliada en la figura 2.

60 Como se representa en la figura 2, el bloque de cilindro 100 incluye una pluralidad de granos de silicio cristalino 1011 y 1012, que se han formado y están situados en la superficie de deslizamiento 101. Estos granos de silicio cristalino 1011 y 1012 están dispersados en una matriz 1013 de solución sólida que contiene aluminio.

65 Los granos de silicio cristalino que son los primeros en cristalizar con una masa fundida de una aleación de aluminio que tiene una composición hipereutéctica conteniendo una gran cantidad de silicio, se denominan "granos de silicio cristalino primario". Los granos de silicio cristalino que cristalizan entonces se denominan "granos de silicio eutéctico". Entre los granos de silicio cristalino 1011 y 1012 representados en la figura 2, los granos de silicio cristalino relativamente grandes 1011 son los granos de silicio cristalino primario. Los granos de silicio cristalino relativamente pequeños 1012 formados entre los granos de silicio cristalino primario son los granos de silicio eutéctico.

ES 2 310 341 T3

Los granos de silicio eutéctico 1012 son típicamente cristales en forma de aguja como se representa en la figura 2; sin embargo, no todo grano de silicio cristalino eutéctico 1012 es un cristal en forma de aguja. Realmente, es probable que algunos granos de silicio eutéctico 1012 sean cristales granulares. Los granos de silicio cristalino primario 1011 se componen principalmente de cristales granulares, mientras que los granos de silicio eutéctico 1012 se componen principalmente de cristales en forma de aguja.

Los inventores han hallado experimentalmente que la resistencia a la abrasión y la resistencia del bloque de cilindro 100 se puede mejorar en gran medida estableciendo el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 de manera que esté dentro de un rango de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$. Los resultados experimentales detallados se describirán más tarde. Por ahora, la razón por la que se puede lograr una mejora considerable de la resistencia a la abrasión y la resistencia estableciendo dicho rango de tamaño de grano de cristal medio se describirá con referencia a las figuras 3A a 3C.

Si el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 excede de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$, como se representa en el lado izquierdo de la figura 3A, el número de granos de silicio cristalino primario 1011 por unidad de área de la superficie de deslizamiento 101 es pequeño. Por lo tanto, se impone una carga grande a cada grano de silicio cristalino primario 1011 durante la operación del motor, de modo que, como se representa en el lado derecho de la figura 3A, los granos de silicio cristalino primario 1011 pueden ser destruidos posiblemente. Si se destruyen los granos de silicio cristalino primario 1011, se romperá una película de lubricante formada en la superficie de deslizamiento 101, permitiendo así que un aro de pistón o pistón entren en contacto directo con la matriz 1013 de la superficie de deslizamiento 101, dando lugar a rayas. Además, los residuos de los granos de silicio cristalino primario destruidos 1011 actuarán como granos abrasivos, produciendo así una abrasión considerable de la superficie de deslizamiento 101.

Si el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 es menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$, como se representa en el lado izquierdo de la figura 3B, solamente una pequeña porción de cada grano de silicio cristalino primario 1011 queda soterrada en la matriz 1013. Por lo tanto, como se representa en el lado derecho de la figura 3B, los granos de silicio cristalino primario 1011 se pueden quitar fácilmente durante la operación del motor. Tales granos de silicio cristalino primario dispersados 1011 actuarán como granos abrasivos debido a su alta dureza, produciendo así considerable abrasión de la superficie de deslizamiento 101. Además, la porción de cada grano de silicio cristalino primario 1011 que sube por encima de la matriz 1013 también es pequeña en este caso, de modo que se reducirá el grosor de la película lubricante a retener en la superficie de deslizamiento 101. Como resultado, la rotura de la película lubricante se puede producir fácilmente, dando lugar así a rayado.

Por otra parte, si el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 no es menos de $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$, como se representa en el lado izquierdo de la figura 3C, hay un número adecuado de granos de silicio cristalino primario 1011 por unidad de área de la superficie de deslizamiento 101. Por lo tanto, la carga en cada grano de silicio cristalino primario 1011 durante la operación del motor es relativamente pequeña de modo que, como se representa en el lado derecho de la figura 3C, se evite la destrucción de los granos de silicio cristalino primario 1011. Además, en este caso, la porción de cada grano de silicio cristalino primario 1011 que sube por encima de la matriz 1013 tiene una altura suficiente, lo que hace posible la retención de una cantidad suficiente de lubricante. Así, una película lubricante que tiene un grosor suficiente se puede retener en la superficie de deslizamiento 101, por lo que la rotura de la película lubricante, y por lo tanto la generación de rayas, se puede evitar. Dado que la porción de cada grano de silicio cristalino primario 1011 soterrada en la matriz 1013 es suficientemente grande, se evita que salgan los granos de silicio cristalino primario 1011. Por lo tanto, la abrasión de la superficie de deslizamiento 101 debido a granos de silicio cristalino primario dispersado se puede evitar.

Además, los inventores estudiaron cómo los granos de silicio eutéctico 1012 refuerzan la matriz 1013 descubriendo que, micronizando los granos de silicio eutéctico 1012, es posible mejorar la resistencia a la abrasión y la resistencia del bloque de cilindro 100. Específicamente, se puede obtener una mejora de la resistencia a la abrasión y la resistencia asegurando que los granos de silicio eutéctico 1012 tengan un tamaño de grano de cristal medio de no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$.

Además, los inventores también han examinado la distribución de tamaño de grano de la pluralidad de granos de silicio cristalino formados en la superficie de deslizamiento 101, descubriendo que se puede obtener una mejora considerable en la resistencia a la abrasión y la resistencia del bloque de cilindro 100 asegurando que la pluralidad de granos de silicio cristalino tienen una distribución de tamaño de grano de tal manera que existe un pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$ y existe otro pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$.

Con el bloque de cilindro 100 de la presente realización preferida, como se ha descrito anteriormente, los granos de silicio cristalino formados en la superficie de deslizamiento 101 logran una alta resistencia a la abrasión, en un grado tal que es como si se formase una capa antiabrasión en la superficie interior del agujero de pared de cilindro 103. Esta "capa antiabrasión" también mejora la resistencia del agujero de pared de cilindro 103.

Hay una técnica conocida para mejorar la resistencia a la abrasión de un bloque de cilindro que implica colocar un manguito cilíndrico dentro del agujero de cilindro. Sin embargo, con tal técnica, es difícil asegurar un contacto

ES 2 310 341 T3

completo entre el manguito cilíndrico y el bloque de cilindro propiamente dicho, dando lugar así a una conductividad térmica deteriorada. Además, el grosor del manguito cilíndrico propiamente dicho aumenta el grosor general del agujero de pared de cilindro, deteriorando así la operación de enfriamiento.

5 Por otra parte, según el bloque de cilindro 100 de la presente realización preferida, se ha formado una capa anti-abrasión, que también sirve para proporcionar una mejor resistencia, integralmente con el agujero de pared de cilindro 103. Como resultado, se evita el deterioro de la conductividad térmica, y se puede reducir el grosor del agujero de pared de cilindro 103 propiamente dicho, produciendo así una mejor operación de enfriamiento. Además, la mejor
10 operación de enfriamiento del bloque de cilindro 100 permite un aumento de la cantidad de mezcla de gas (que en el caso de inyección directa es aire) que se puede introducir en el cilindro, por lo que se puede mejorar la potencia de salida del motor.

A continuación se describirá un método de producción que puede ser usado adecuadamente para la producción del bloque de cilindro 100 con referencia a la figura 4. La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para
15 producir el bloque de cilindro de la presente realización preferida.

En primer lugar se prepara una aleación de aluminio conteniendo silicio (paso S1). Para asegurar una suficiente resistencia a la abrasión y resistencia del bloque de cilindro 100, es preferible usar una aleación de aluminio que contiene: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio; no menos de aproximadamente 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio; y no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre. La aleación de aluminio puede ser producida a partir de una masa virgen de aluminio, o de una masa recuperada de aleación de aluminio.

A continuación, la aleación de aluminio preparada se calienta y funde en un horno de fusión, por lo que se forma una masa fundida (paso S2). Entonces, para evitar que quede silicio sin fundir en la masa fundida, la masa fundida se calienta a una temperatura predeterminada o más alta. Una vez que la aleación de aluminio está completamente fundida, la masa fundida se mantiene a una temperatura reducida con el fin de evitar la oxidación y absorción de gas. Es preferible añadir fósforo al lingote o masa fundida, a aproximadamente 100 ppm en peso, antes de la fusión. Si la aleación de aluminio contiene no menos de aproximadamente 50 ppm en peso y no más de aproximadamente 200 ppm
30 en peso de fósforo, es posible reducir la tendencia de los granos de silicio cristalino a ser gigantescos, permitiendo así una dispersión uniforme de los granos de silicio cristalino dentro de la aleación.

A continuación se lleva a cabo la colada usando la aleación de aluminio fundido (paso S3). En otros términos, la masa fundida se enfría dentro de un molde para formar una pieza moldeada. Este paso de formación de la pieza moldeada se lleva a cabo de tal manera que la zona de la superficie de deslizamiento se enfríe a una tasa de enfriamiento de no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s. La estructura específica de un aparato de fusión a usar en este paso se describirá más tarde.

A continuación, el bloque de cilindro 100 sacado del molde se somete a uno de los tratamientos térmicos comúnmente conocidos como "T5", "T6", y "T7" (paso S4). Un tratamiento T5 es un tratamiento en el que la pieza moldeada se enfría rápidamente (con agua o análogos) inmediatamente después de salir del molde, y a continuación se somete a envejecimiento artificial a una temperatura predeterminada durante un período de tiempo predeterminado para obtener mejores propiedades mecánicas y estabilidad dimensional, seguido de enfriamiento por aire. Un tratamiento T6 es un tratamiento en el que la pieza moldeada se somete a un tratamiento de solución a una temperatura predeterminada durante un período predeterminado después de salir del molde, posteriormente se enfría con agua, y a continuación se somete a envejecimiento artificial a una temperatura predeterminada durante un período de tiempo predeterminado, seguido de enfriamiento por aire. Un tratamiento T7 es un tratamiento para producir un grado de envejecimiento más fuerte que en el tratamiento T6; aunque el tratamiento T7 puede asegurar mejor estabilidad dimensional que el tratamiento T6, la dureza resultante será menor que la obtenida del tratamiento T6.

A continuación, se realiza un maquinado predeterminado del bloque de cilindro 100 (paso S5). Específicamente, una superficie que contacta con una culata de cilindro, una superficie que contacta con un cárter, y la superficie interior del agujero de pared de cilindro 103 se pulen, giran, etc.

A continuación, la superficie interior (es decir, una superficie que define la superficie de deslizamiento 101) del agujero de pared de cilindro 103 se somete a un proceso de esmerilado (paso S6), por el que se termina el bloque de cilindro 100. Un proceso de esmerilado puede ser realizado, por ejemplo, en tres pasos de esmerilado basto, esmerilado medio, y esmerilado de acabado.

Como se ha descrito anteriormente, según el método de producción de la presente realización preferida, el paso de formación de la pieza moldeada se realiza de tal manera que la zona de la superficie de deslizamiento se enfríe a una tasa de enfriamiento de no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s. Por lo tanto, como se puede ver en un bloque de cilindro prototipo según una realización preferida que se describe más adelante, el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 formados en la superficie de deslizamiento 101 se puede confinar dentro del rango de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm . Además, como también se ve en el prototipo descrito más adelante, se asegura que el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio eutéctico 1012 formados entre los granos de silicio cristalino primario 1011 sea igual o

ES 2 310 341 T3

menor de aproximadamente $7,5 \mu\text{m}$. Así, según el método de producción de la presente realización preferida, se puede producir un bloque de cilindro 100 que tiene excelente resistencia a la abrasión y resistencia.

5 Como el paso de tratamiento térmico, es especialmente preferible realizar un tratamiento T6. Además, es preferible que el paso de tratamiento térmico (paso de tratamiento T6) incluya: un paso de someter la pieza moldeada a un tratamiento térmico a una temperatura de no menos de aproximadamente 450°C y no más de aproximadamente 520°C durante no menos de aproximadamente tres horas y no más de aproximadamente cinco horas, y realizar posteriormente un enfriamiento líquido (primer paso de tratamiento térmico); y un paso posterior de someter la pieza moldeada a un tratamiento térmico a una temperatura de no menos de aproximadamente 180°C y no más de aproximadamente 220°C durante no menos de aproximadamente tres horas y no más de aproximadamente cinco horas (segundo paso de tratamiento térmico).

15 El primer paso de tratamiento térmico permite descomponer cualquier compuesto de aluminio y cobre que exista dentro de la aleación, de modo el que los átomos de cobre se dispersen dentro de la matriz 1013, y el segundo paso posterior de tratamiento térmico permite que estos átomos de cobre se unan dentro de la matriz 1013. Este estado de cohesión también se denomina un estado de precipitación coherente. Efectuando dicha precipitación coherente de átomos de cobre dentro de la matriz 1013, se mejora la resistencia de la matriz 1013 que retiene los granos de silicio cristalino 1011 y 1012. Dado que el primer paso de tratamiento térmico permite dispersar los granos de silicio eutéctico en forma de aguja 1012 dentro de la matriz 1013, se mejora la fuerza de soporte (es decir, una fuerza que soporta los granos de silicio cristalino) de la matriz 1013, por lo que también se puede lograr un efecto de evitar la extracción de los granos de silicio cristalino.

20 Ahora se describirá un aparato de fundición a usar para el proceso de colada (paso S3 en la figura 4). La figura 5 representa un aparato de fundición a alta presión usado para el proceso de colada. El aparato de fundición a alta presión representado en la figura 5 incluye un troquel 1 y una cubierta 14 que cubre todo el troquel 1.

30 El troquel 1 se compone de un troquel estacionario 2 que permanece fijo, y un troquel móvil 3 que tiene porciones móviles. El troquel móvil 3 incluye un troquel base 4 y un troquel deslizante 5. Estos troqueles se hacen de un material que se selecciona con consideración a la eficiencia de enfriamiento; por ejemplo, estos troqueles se pueden formar de una aleación de hierro (por ejemplo, JIS-SKD61) a la que se añaden silicio y vanadio aproximadamente a 1%.

35 En primer lugar, la estructura de troquel se describe. El troquel deslizante 5 se divide en cuatro porciones a 90° , de tal manera que cada porción dividida tenga un cilindro 6 (solamente dos de tales cilindros 6 se representan en la figura 5). Por la acción del cilindro 6, cada porción dividida del troquel deslizante 5 desliza a lo largo de una dirección indicada por la flecha A en la figura 5, sobre una superficie 30 del troquel base 4 que mira al troquel deslizante 5 (es decir, la superficie de apoyo con el troquel deslizante 5), con el fin de formar una cavidad 7 correspondiente al bloque de cilindro en una porción central al tiempo de colada.

40 En la porción central de la cavidad 7 se ha previsto una porción de formación de agujero de cilindro 7a para formar un agujero de cilindro. En el aparato de fundición a alta presión ilustrado, la porción de formación de agujero de cilindro 7a se ha formado de manera que sea integral con el troquel base 4; en la colada, su punta 7b contacta con una superficie del troquel estacionario 2 que mira al troquel móvil 3, como se representa. Dentro de la cavidad 7 se ha dispuesto un núcleo 7c para formar una camisa de agua. El núcleo 7c se ha formado por separado del troquel base 4, y así se puede extraer de él.

45 El troquel base 4 está provisto de un pasador de extrusión 8. Por cada disparo se extrusiona una pieza moldeada por el pasador de extrusión 8, abriéndose el troquel deslizante 5, por lo que la pieza moldeada se cada del troquel 1.

50 A continuación, se describirá un sistema de alimentación de masa fundida. El troquel estacionario 2 está provisto de un manguito de inyección 9. Dentro del manguito de inyección 9 alterna una punta de pistón 11 que está dispuesta en el extremo de punta de una varilla 10. Se ha formado una entrada de alimentación de masa fundida 12 en el manguito de inyección 9. Mientras la punta de pistón 11 está en una posición original (es decir, "detrás" o a la derecha (como se representa en la figura 5) de la entrada de alimentación de masa fundida 12), se inyecta un disparo de masa fundida a través de la entrada de alimentación de masa fundida 12. Delante de la entrada de alimentación de masa fundida 12 se ha dispuesto un sensor de punta 13. El sensor de punta 13 detecta el paso de la punta de pistón 11 por la entrada de alimentación de masa fundida 12. Cuando la punta de pistón 11 extrusiona la masa fundida, la cavidad 7 se llena de la masa fundida.

60 La cubierta 14 incluye un primer elemento de cubierta 14a para acomodar el troquel estacionario 2 y un segundo elemento de cubierta 14b para acomodar el troquel móvil 3. Con el fin de mantener la estanqueidad dentro de la cubierta 14, un elemento de sellado 15, tal como una junta tórica, está montado en una superficie 32 del primer elemento de cubierta 14a que contacta con el segundo elemento de cubierta 14b. También se monta un elemento de sellado 15, tal como una junta tórica, en cualquier intersticio entre la cubierta 14 y cada uno del cilindro 6, el pasador de extrusión 8, y el manguito de inyección 9 que penetran a través de la cubierta 14. Una válvula de escape 16 para exponer el interior de la cubierta 14 a la atmósfera está dispuesta en el segundo elemento de cubierta 14b. Alternativamente, la válvula de escape 16 se puede disponer en el primer elemento de cubierta 14a.

ES 2 310 341 T3

En el troquel estacionario 2 se ha formado un paso de ventilación 17 que comunica con la cavidad 7. Dentro del paso de ventilación 17 se ha dispuesto una válvula de encendido/apagado 18, formándose un paso de derivación 17a con el fin de evitar la porción donde se dispone la válvula de encendido/apagado 18. El paso de derivación 17a se ha previsto con el fin de permitir que el paso de ventilación 17 comunique con el exterior del troquel 1 cuando se realiza aspiración de vacío en el troquel 1 en la colada (es decir, en el estado representado en la figura 5). El paso de derivación 17a y el paso de ventilación 17 se cierran o abren cuando la válvula de encendido/apagado 18 se mueve en la dirección superior o inferior en la figura 5. La válvula de encendido/apagado 18 es energizado con un muelle de modo que el paso permanezca normalmente abierto. Alternativamente, el paso de ventilación 17 se puede formar en el troquel móvil 3.

La válvula de encendido/apagado 18 es una válvula de tipo táctil de metal, por ejemplo. Una vez que la cavidad 7 se haya llenado con masa fundida, la masa fundida excedente subirá por el paso de ventilación 17 hasta que la masa fundida toque la válvula de encendido/apagado 18 con el fin de empujar hacia arriba la válvula de encendido/apagado 18. Como resultado, el paso de derivación 17a se cierra conjuntamente con el paso de ventilación 17, evitando así que la masa fundida salga del troquel 1.

En lugar de dicha válvula del tipo táctil de metal, se puede usar alternativamente una válvula que detecta la posición de la punta de pistón 11 y cierra el paso de ventilación 17, con un accionador, cuando se termina un disparo de masa fundida.

Alternativamente, se puede usar una estructura de salida de enfriamiento para evitar que la masa fundida salga. En una estructura de salida de enfriamiento se forma un paso fino alargado en forma de zigzag de manera que comunique con la cavidad 7. La masa fundida que rebose de la cavidad 7 se puede solidificar a mitad de camino a través de este paso, por lo que se evita que la masa fundida salga del troquel 1.

Con el fin de minimizar la cantidad de aire que se dispersa a la pieza moldeada, hay que colocar el interior de la cavidad 7 en un estado descomprimido antes de alimentar la masa fundida. A la cubierta 14 (o más específicamente, el primer elemento de cubierta 14a en este ejemplo) están conectados uno o más (es decir, dos en este ejemplo) conductos de vacío 20 que comunican con un depósito de vacío 19. El depósito de vacío 19 se mantiene a una presión predeterminada de vacío por una bomba de vacío 21. Una válvula de solenoide 20a instalada en cada conducto de vacío 20 es controlada por un dispositivo de control 22 de manera que se abra o cierre. Específicamente, el dispositivo de control 22 controla la apertura/cierre según el tiempo de inicio/fin de la descompresión de la cavidad 7, en base a una señal de detección de una posición de carrera de la punta de pistón 11, una señal de temporizador con relación al tiempo de carrera, o análogos.

Aunque la presente realización preferida ilustra un ejemplo donde la cubierta 14 cubre todo el troquel 1, la cubierta 14 puede cubrir alternativamente solamente una porción del troquel 1. Por ejemplo, una periferia exterior del troquel 1 se puede cubrir de forma anular, a lo largo de las periferias 30a y 31a, respectivamente, de la superficie de apoyo 30 del troquel base 4 con el troquel deslizante 5 y la superficie de apoyo 31 del troquel deslizante 5 con el troquel estacionario 2. Se puede prever alternativamente una cubierta conformada con el fin de cubrir el cilindro 6 para mover el troquel deslizante 5.

Así, según el aparato de fundición a alta presión de la presente realización preferida, la cubierta 14 se dispone de manera que cubra el troquel 1, y el interior de la cubierta 14 se rarifique. La colada se realiza descomprimiendo así el interior de la cavidad 7. Por lo tanto, incluso en el caso donde el troquel deslizante 5 está dividido en gran número de porciones, todavía es posible realizar una aspiración de vacío para todo el troquel 1, sin tener que realizar el sellado del troquel 1 propiamente dicho. Dado que una aspiración de vacío para la cavidad 7 también se lleva a cabo desde el interspacio entre las superficies de apoyo 30 y 31, se puede lograr un alto grado de vacío, permitiendo así una extracción de gas más fiable del interior del troquel 1. Dado que el elemento de sellado 15 entre el primer elemento de cubierta 14a y el segundo elemento de cubierta 14b está montado en una posición distante del troquel 1, que en sí mismo se limita a subir a una temperatura alta, la influencia térmica del troquel 1 es pequeña. Así, se evita el deterioro del elemento de sellado 15, y se mejora la durabilidad.

Una unidad de regulación de cantidad de flujo de agua refrigerante 60 controla el enfriamiento del troquel 1 durante el proceso de colada. El enfriamiento del troquel 1 se lleva a cabo dejando que fluya agua refrigerante a través de un paso de agua refrigerante 60a, que se forma en el troquel base 4. Específicamente, con el tiempo de la inyección a alta velocidad por la punta de pistón 11, se abre una válvula (no representada) para dejar que fluya agua refrigerante durante un cierto período de tiempo (por ejemplo, un período de tiempo hasta que el troquel se abra y se saque la pieza moldeada).

La unidad de regulación de cantidad de flujo de agua refrigerante 60 en la presente realización preferida también es capaz de controlar la tasa de enfriamiento de la porción de formación de agujero de cilindro 7a del troquel 1. En la presente realización preferida, el paso de agua refrigerante 60a se extiende al interior de la porción de formación de agujero de cilindro 7a, haciendo así posible controlar la tasa de enfriamiento de la porción de formación de agujero de cilindro 7a controlando la cantidad de agua refrigerante. Por lo tanto, es posible enfriar la zona de la superficie de deslizamiento de la pieza moldeada (es decir, una porción de la masa fundida situada cerca de la superficie de deslizamiento) a una tasa de enfriamiento deseada.

ES 2 310 341 T3

Como ya se ha descrito, enfriando la zona de la superficie de deslizamiento a una tasa de enfriamiento de no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s, se asegura que el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario 1011 caiga dentro del rango de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm , y que el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio eutéctico 1012 sea igual o menor que aproximadamente 7,5 μm .

El control de la tasa de enfriamiento se puede realizar, como se representa en la figura 5, por ejemplo, detectando la temperatura de la proximidad de la superficie de deslizamiento con un sensor de temperatura 61 que está colocado dentro de la porción de formación de agujero de cilindro 7a del troquel base 4, y ajustando la cantidad de flujo del agua refrigerante de manera que sea igual a una tasa de enfriamiento deseada supervisando al mismo tiempo la temperatura real mediante la gestión de temperatura con una grabadora de datos 62. Si la tasa de enfriamiento es demasiado rápida, los granos de silicio cristalino no crecerán a un tamaño de grano que pueda dar suficiente resistencia a la abrasión. Por lo tanto, el enfriamiento se lleva a cabo preferiblemente de tal manera que inicialmente se utilice una tasa de enfriamiento relativamente lenta, y se usa una tasa de enfriamiento más rápida para detener el crecimiento inmediatamente antes de que los granos de silicio cristalino sean gigantescos.

Antes de comenzar la colada, el troquel deslizante 5 se coloca en una posición predeterminada, y a continuación el troquel móvil 3 se apoya contra el troquel estacionario 2 para cerrar el troquel, por lo que se forma la cavidad 7. Entonces, el interior de la cubierta 14 se sella al apoyar el primer elemento de cubierta 14a contra el segundo elemento de cubierta 14b, con el elemento de sellado 15 interpuesto entremedio. Realizando así el paso de cierre de troquel (de contactar el troquel estacionario 2 y el troquel móvil 3 para formar la cavidad 7) simultáneamente con el paso de sellado (cubrir el troquel 1 con la cubierta 14 para efectuar el sellado), el tiempo del ciclo de colada se puede reducir. Obsérvese, sin embargo, que estos pasos no se tienen que realizar simultáneamente. Alternativamente, el troquel estacionario 2 y el troquel móvil 3 se pueden cerrar primero conjuntamente para formar la cavidad 7, y a continuación el troquel 1 se puede cubrir con la cubierta 14 para efectuar el sellado.

Ahora se describirá la operación del aparato de fundición a alta presión representado en la figura 5 en orden cronológico (del tiempo t0 al tiempo t6).

Tiempo t0: la punta de pistón 11 está en su posición original ("detrás de" la entrada de alimentación de masa fundida 12), y la entrada de alimentación de masa fundida 12 está abierta. El interior del troquel 1 se expone a la atmósfera mediante la entrada de alimentación de masa fundida 12. En este estado, se inyecta un disparo de aleación de aluminio fundido al manguito de inyección 9 desde la entrada de alimentación de masa fundida 12. Después de inyectar la masa fundida, la punta de pistón 11 se desplaza hacia adelante a velocidad lenta, empujando así hacia adelante la masa fundida en el manguito de inyección 9.

Tiempo t1: el sensor de punta 13 detecta la punta de pistón 11. Dado que la punta de pistón 11 está situada delante de la entrada de alimentación de masa fundida 12 en este estado, el interior de la cubierta 14 se sella de manera completamente estanca al aire. En este punto, la válvula de solenoide 20a se mueve para rarificar el interior de la cubierta 14.

Dicha evacuación se realiza de modo que la evacuación de un espacio 33 entre el troquel 1 y la cubierta 14 y la evacuación de la cavidad 7 tengan lugar simultáneamente. Por lo tanto, se lleva a cabo un paso de descompresión eficiente, por lo que el tiempo del ciclo de colada se reduce.

Obsérvese que un recorrido de evacuación de la cavidad 7 puede ser distinto de un recorrido de evacuación del espacio 33 entre el troquel 1 y la cubierta 14, de tal manera que las dos evacuaciones se realizan en tiempos diferentes. Por ejemplo, si el espacio 33 entre el troquel 1 y la cubierta 14 se rarifica antes de la cavidad 7, el agente de liberación de líquido que puede haber entrado y adherido a los interspacios tales como la superficie de apoyo del troquel 1 y la superficie del troquel deslizante 5 que mira a la superficie de deslizamiento, puede ser aspirado directamente hacia el espacio 33, sin ser aspirado a la cavidad 7. Por lo tanto, se evita que el agente de liberación excedente fluya a la cavidad 7 y se mezcle con la masa fundida, por lo que se pueden evitar defectos tales como pequeños agujeros.

Mediante la evacuación descrita anteriormente, el interior de la cavidad 7 del troquel 1 se descomprime, por lo que el grado de vacío se incrementa gradualmente. La punta de pistón 11 sigue desplazándose hacia adelante a velocidad lenta, empujando la masa fundida hacia la cavidad 7. Si la evacuación se inicia después de que la punta de pistón 11 ha pasado por la entrada de alimentación de masa fundida 12, se evita que se aspire aire atmosférico al troquel 1 mediante la entrada de alimentación de masa fundida 12. Como resultado, la aparición de pequeños agujeros se puede evitar con mayor certeza, y se evita que la superficie de la masa fundida sea enfriada localmente por el aire atmosférico, de modo que se pueda obtener un artículo fundido de calidad uniforme y estable.

Tiempo t2: la velocidad de avance de la punta de pistón 11 se conmuta de lenta a rápida cuando la masa fundida ha alcanzado la entrada de la cavidad 7, después de lo que la masa fundida es suministrada rápidamente a la cavidad 7.

Tiempo t3: la cavidad 7 se llena completamente con la masa fundida, por lo que se termina la inyección. Dado que entonces la masa fundida empuja hacia arriba la válvula de encendido/apagado 18 del paso de ventilación 17, se evita que la masa fundida salga del paso de ventilación 17. Al tiempo que se realiza una inyección a alta velocidad con la punta de pistón 11, puede fluir agua refrigerante a través del paso de agua refrigerante 60a que está dispuesto dentro de

ES 2 310 341 T3

la porción de formación de agujero de cilindro 7a, de modo que la zona de una porción de la masa fundida que será la superficie de deslizamiento (es decir, la superficie que mira al agujero de cilindro) se enfríe a una tasa de enfriamiento de no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s.

5 Tiempo t4: la bomba de vacío 21 se para, y se termina la descompresión mediante evacuación. En este punto, el interior de la cubierta 14 todavía está en un estado descomprimido.

10 Tiempo t5: la válvula de escape 16 se abre para exponer el interior de la cubierta 14 a la atmósfera. Cuando fluye aire atmosférico a través de la válvula de escape 16, la presión de aire dentro de la cubierta 14 está más próxima a la presión atmosférica con el transcurso del tiempo.

Tiempo t6: la presión de aire dentro de la cubierta 14 vuelve completamente a la presión atmosférica. En este punto, el troquel 1 se abre, y se saca la pieza moldeada (artículo fundido).

15 Usando el método de producción antes descrito, el bloque de cilindro 100 representado en la figura 2 era realmente un prototipo, y se evaluó su resistencia a la abrasión y resistencia. Porciones de los resultados se exponen a continuación. Como la aleación de aluminio se utilizó una aleación de aluminio de una composición expuesta en la tabla 1.

20 TABLA 1

Si	Cu	Mg
20% en peso	2,5% en peso	0,5% en peso
Fe	P	Al
0,5% en peso	200 ppm en peso	Resto

30 Como silicio, se utilizó silicio de alta pureza. El contenido de calcio en la aleación de aluminio era igual o inferior a aproximadamente 0,01% en peso. Como un método de extracción de escoria al tiempo de la fusión, solamente se realizó burbujeo de gas argón, y el contenido de sodio en la aleación de aluminio era igual o inferior a aproximadamente 0,1% en peso. Asegurando que el calcio y contenido de sodio sean iguales o inferiores a aproximadamente 0,01% en peso y aproximadamente 0,1% en peso, respectivamente, el efecto de micronización de grano de silicio cristalino del fósforo se puede conservar, y se puede obtener una estructura metalográfica que tiene excelente resistencia a la abrasión.

40 Usando la aleación de aluminio de dicha composición, la colada se realizó con el aparato de fundición a alta presión representado en la figura 5. El enfriamiento de la porción de formación de agujero de cilindro 7a se realizó dejando fluir agua refrigerante a través del paso de agua refrigerante 60a detectando al mismo tiempo la temperatura con el sensor de temperatura 61, de modo que la tasa de enfriamiento no era menos de aproximadamente 25°C/s y no más de aproximadamente 30°C/s, hasta que la temperatura llegó al rango de no menos de aproximadamente 400°C y no más de aproximadamente 500°C. El bloque de cilindro que se sacó del troquel 1 se sometió a un tratamiento térmico (tratamiento de solución) a aproximadamente 490°C durante aproximadamente 4 horas, posteriormente se enfrió con agua, y además se sometió a un tratamiento térmico (proceso de envejecimiento) a aproximadamente 200°C durante aproximadamente 4 horas. A continuación, se realizó un proceso de esmerilado para el bloque de cilindro.

50 Para comparación, también se realizó colada usando una aleación de aluminio de la misma composición, por un molde de arena y sin enfriar la porción de formación de agujero de cilindro. Después de la colada en molde de arena, se llevó a cabo un tratamiento de solución, un proceso de envejecimiento, y un proceso de esmerilado similares a los realizados con el prototipo.

55 Con respecto a los bloques de cilindro prototipo y comparativo resultantes, se observaron sus superficies de deslizamiento con un microscopio metalúrgico. Las figuras 6A y 6B y las figuras 7A y 7B muestran fotografías de microscopio metalúrgico de las respectivas superficies de deslizamiento. Las figuras 6A y 6B muestran la superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo, que se fundió con un molde de arena. Las figuras 7A y 7B muestran la superficie de deslizamiento 101 del prototipo, que se fundió por fundición a alta presión. Obsérvese que se han añadido números de referencia en la figura 6A y la figura 7A, y círculos con un diámetro de aproximadamente 50 μm se representan en la figura 6A.

60 Según se ve en las figuras 6A y 6B, en la superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo hay gran número de granos de silicio cristalino primario 2011 con tamaños de grano de más de aproximadamente 50 μm . Por otra parte, según se ve en las figuras 7A y 7B, los granos de silicio cristalino primario 1011 en la superficie de deslizamiento 101 del prototipo tienen tamaños de grano de aproximadamente 50 μm o menos, indicando así que, en comparación con el ejemplo comparativo, los granos diminutos de silicio cristalino primario 1011 están distribuidos uniformemente.

ES 2 310 341 T3

Además, se puede ver que los granos de silicio eutéctico 1012 (que tienen principalmente forma de aguja, siendo granulares solamente algunos) que se han formado en la superficie de deslizamiento 101 del prototipo, son más finos que los granos de silicio eutéctico 2012 (la mayoría de los cuales tienen forma de aguja) que se han formado en la superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo.

Con respecto al ejemplo comparativo y al prototipo se calculó un tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino. El “tamaño de grano” en el sentido en que se usa aquí es el diámetro de un círculo correspondiente. Los datos de superficie de una zona deseada se introdujeron en un ordenador, y un tamaño de grano de cristal medio se calculó usando software disponible comercialmente (win ROOF de Mitani Corporation).

Los granos de silicio cristalino primario 2011 en la superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo tenían un tamaño de grano de cristal medio de aproximadamente $60\ \mu\text{m}$ o más. Por otra parte, los granos de silicio cristalino primario 1011 en la superficie de deslizamiento 101 del prototipo tenían un tamaño de grano medio de aproximadamente $24\ \mu\text{m}$. Además, los granos de silicio eutéctico 1012 en la superficie de deslizamiento 101 del prototipo tenían un tamaño de grano de cristal medio de aproximadamente $6,4\ \mu\text{m}$.

La superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo tenían una relación de ausencia (definida como una relación del área de una solución sólida de aluminio 2013 conteniendo cobre y análogos al área general de la superficie de deslizamiento 201) de aproximadamente 15%. Por otra parte, la superficie de deslizamiento 101 del prototipo tenía una relación de ausencia (definida como una relación del área de una solución sólida de aluminio 1013 conteniendo cobre y análogos al área general de la superficie de deslizamiento 101) de aproximadamente 35%.

Con respecto al ejemplo comparativo y al prototipo, en una región rectangular arbitraria de la superficie de deslizamiento que tiene una zona de aproximadamente $800\ \mu\text{m} \times 1000\ \mu\text{m}$, el número de regiones circulares con un diámetro de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$ que no contenían granos de silicio cristalino de un tamaño de grano de cristal de aproximadamente $0,1\ \mu\text{m}$ o más se contó por inspección visual. Se confirmó que este número era cinco o menos para el prototipo. Por otra parte, hay muchas de tales regiones circulares en el ejemplo comparativo, como es claro por la figura 6A. Así, se puede ver que los granos de silicio cristalino en la superficie de deslizamiento están dispersados más uniformemente en el prototipo que en el ejemplo comparativo.

Con respecto al ejemplo comparativo y al prototipo, se examinó la distribución de tamaño de grano de los granos de silicio cristalino en la superficie de deslizamiento. Los resultados se representan en las figuras 8 y 9. La figura 8 es un gráfico para el ejemplo comparativo, que se fundió con un molde de arena. La figura 9 es un gráfico para el prototipo, que se fundió por fundición a alta presión.

Como se puede ver por la figura 8, los granos de silicio cristalino que se han formado en la superficie de deslizamiento 201 del ejemplo comparativo tienen una distribución de tamaño de grano tal que existe un pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $15\ \mu\text{m}$ y existe otro pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $51\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $63\ \mu\text{m}$. Los granos de silicio cristalino cuyos tamaños de grano de cristal caen dentro del rango de no menos de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $15\ \mu\text{m}$ son granos de silicio eutéctico, mientras que los granos de silicio cristalino cuyos tamaños de grano de cristal caen dentro del rango de no menos de aproximadamente $51\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $63\ \mu\text{m}$ son granos de silicio cristalino primario.

Por otra parte, como se puede ver por la figura 9, los granos de silicio cristalino que se han formado en la superficie de deslizamiento 101 del prototipo, tienen una distribución de tamaño de grano tal que existe un pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$ y existe un pico en el rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$. Los granos de silicio cristalino cuyos tamaños de grano de cristal caen dentro del rango de no menos de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$ son granos de silicio eutéctico, mientras que los granos de silicio cristalino cuyos tamaños de grano de cristal caen dentro del rango de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$ son granos de silicio cristalino primario. A partir de estos resultados se puede ver también que en el prototipo se forman granos de silicio cristalino más pequeños que en el ejemplo comparativo. A propósito, la dureza Rockwell (HRB) medida de la superficie de deslizamiento 101 del prototipo era aproximadamente 70.

A continuación se montó un motor (o específicamente, un motor de gasolina de 4 tiempos de tipo refrigerado por agua) usando cada uno de los bloques de cilindro prototipo y comparativo, y los motores se sometieron a una prueba de abrasión. La superficie de deslizamiento de un pistón a introducir en el agujero de cilindro estaba chapada en hierro a un grosor de aproximadamente $15\ \mu\text{m}$. El motor operó a aproximadamente 9.000 rpm durante aproximadamente 10 horas.

La figura 10 representa una fotografía ampliada de la superficie de deslizamiento 201 del bloque de cilindro comparativo 200 después de someterse a una prueba de abrasión. Como se representa en la figura 10, quedaron rayas prominentes 203 en la superficie de deslizamiento 201, en toda la región debajo de un punto muerto superior 206 del aro de pistón, indicativas de la pobre durabilidad del bloque de cilindro comparativo 200.

ES 2 310 341 T3

La figura 11 representa una fotografía ampliada de la superficie de deslizamiento 101 del bloque de cilindro prototipo 100 después de someterse a una prueba de abrasión. Como se representa en la figura 11, no quedaron rayas en la superficie de deslizamiento 101 en la región debajo de un punto muerto superior 106 del aro de pistón, lo que indica la excelente durabilidad del bloque de cilindro prototipo 100.

Como se puede ver incluso por los resultados anteriores solamente, en el caso de colada en molde de arena, no se lleva a cabo enfriamiento particular de la porción de formación de agujero de cilindro, y no se controla la tasa de enfriamiento de la zona de la superficie de deslizamiento, de modo que los granos de silicio cristalino que se forman en la superficie de deslizamiento son gigantes, disminuyendo así la durabilidad del bloque de cilindro. Esto también es verdadero con respecto a la colada a presión convencional usando un troquel. En un paso de producción en serie usando colada a presión, es probable que quede calor en la porción de formación de agujero de cilindro del troquel, permitiendo así que los granos de silicio cristalino sean gigantes. Por otra parte, en el método de producción de la presente realización preferida, la tasa de enfriamiento de la zona de la superficie de deslizamiento se controla de manera que esté dentro de un rango predeterminado. Por lo tanto, se forman granos de silicio cristalino de un tamaño de grano de cristal medio preferible (o una distribución de tamaño de grano preferible) en la superficie de deslizamiento, por lo que la resistencia a la abrasión y la resistencia del bloque de cilindro se pueden mejorar en gran medida.

Desde el punto de vista de evitar que los granos de silicio cristalino sean gigantes, como ya se ha descrito, también es preferible prescribir que el contenido de calcio sea igual o inferior a aproximadamente 0,01% en peso. El calcio en la aleación de aluminio forma un compuesto con fósforo, que deberá funcionar como un agente micronizante para los granos de silicio cristalino, y así mina el efecto de micronización del fósforo. Por lo tanto, como se representa en la figura 12, los granos de silicio cristalino primario pueden ser gigantes cuando la aleación de aluminio contiene más de aproximadamente 0,01% en peso de calcio. Por otra parte, si el contenido de calcio es igual o inferior a aproximadamente 0,01% en peso, el efecto de micronización de grano de silicio cristalino introducido por el fósforo se puede obtener con mayor seguridad.

Además, si se dispersan granos diminutos de silicio cristalino uniformemente en la superficie de deslizamiento, las cavidades de aceite a formar entre los granos de silicio cristalino también son pequeñas, permitiendo así asegurar la retención de un lubricante en las cavidades de aceite, dando lugar a mejor lubricidad y mejor resistencia a la abrasión. Como se muestra esquemáticamente en la figura 13, en la superficie de deslizamiento 101, granos de silicio cristalino 1010 sobresalen de la solución sólida de aluminio (matriz) 1013 conteniendo cobre y análogos, permitiendo así que se retenga lubricante 1015 en las indentaciones 1014 entre los granos de silicio cristalino 1010. Dejando que granos diminutos de silicio cristalino se dispersen uniformemente y asegurando que el diámetro de las indentaciones 1014 sea del rango de no menos de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$, se habilita una retención más segura de lubricante debido a tensión superficial, produciendo así una mejor lubricidad y resistencia a la abrasión.

A continuación, con el fin de conocer la relación entre la tasa de enfriamiento de la zona de la superficie de deslizamiento y el tamaño de grano de cristal medio y resistencia a la abrasión de los granos de silicio cristalino, se produjeron múltiples bloques de cilindro en las mismas condiciones que las de prototipo antes descrito, variando al mismo tiempo la tasa de enfriamiento de la zona de la superficie de deslizamiento.

Se montó un motor usando cada uno de la pluralidad de bloques de cilindro así producidos, y se realizó una prueba de abrasión. Como resultado, se confirmó que apenas se producen rayas en los bloques de cilindro colados bajo la condición de que la tasa de enfriamiento era no inferior a aproximadamente 4°C/s y no superior a aproximadamente 50°C/s , lo que indica así buena resistencia a la abrasión.

Además, con respecto a los bloques de cilindro colados en la condición de que la tasa de enfriamiento no era menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s , la superficie de deslizamiento se observó con un microscopio metalúrgico. Como resultado, se confirmó que el tamaño de grano de cristal medio del grano de silicio cristalino primario en la superficie de deslizamiento no era menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$, y que los granos de silicio eutéctico tenían un tamaño de grano de cristal medio de no más de aproximadamente $7,5\ \mu\text{m}$. La dureza Rockwell (HRB) de la superficie de deslizamiento era del rango de no menos de aproximadamente 60 y no más de aproximadamente 80.

Las figuras 14A a 14E muestran cambios en el tamaño de grano de cristal medio de los granos de silicio cristalino primario y la relación de ausencia cuando se varió la tasa de enfriamiento. Como se representa en la figura 14A, cuando la tasa de enfriamiento era igual o menor que aproximadamente 1°C/s , el tamaño de grano de cristal medio era de hasta aproximadamente 56,5 indicativo del tamaño girante de los granos de silicio cristalino primario. Por otra parte, cuando la tasa de enfriamiento era no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s , como se representa en las figuras 14B a 14E, los granos de silicio cristalino primario tenían un tamaño de grano de cristal medio en el rango de no menos de aproximadamente $12\ \mu\text{m}$ y no más de aproximadamente $50\ \mu\text{m}$.

Además, se montó un motor usando un bloque de cilindro colado en la condición de que la tasa de enfriamiento de la superficie de deslizamiento era más rápida de aproximadamente 50°C/s , y se realizó una prueba de abrasión, que reveló rayas en toda la superficie de deslizamiento. La superficie de deslizamiento se observó con un microscopio metalúrgico, que reveló que los granos de silicio cristalino primario tenían un tamaño de grano de cristal medio de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ o menos. No se observaron granos de silicio eutéctico.

ES 2 310 341 T3

Realmente, la tasa de enfriamiento no permanece constante desde el inicio hasta el final del proceso de colada. La figura 15 representa una relación entre temperatura y tiempo después de comenzar un proceso de colada. En la presente memoria descriptiva, la tasa de enfriamiento en el proceso de colada se define como $(T_0 - T_3)/(t_3 - t_0)$, en base a una temperatura de alimentación de masa fundida T_0 , una temperatura de extracción T_3 , un tiempo de inicio de colada t_0 , y un tiempo de extracción t_3 . La tabla 2 siguiente presenta una relación ejemplar entre la tasa de enfriamiento y la temperatura de alimentación de masa fundida, la temperatura de salida, y el tiempo de ciclo.

TABLA 2

Temperatura de la alimentación de masa fundida (°C)	Temperatura de salida (°C)	Tiempo de ciclo (s)	Tasa de enfriamiento (°C /s)
750	500	10	25
750	500	60	4
750	300	10	45
750	300	60	8
800	500	10	30
800	500	60	5
800	300	10	50
800	300	60	8

El tamaño de los granos de silicio cristalino primario se determina como $(T_1 - T_2)/(t_2 - t_1)$, en base a una temperatura de inicio de solidificación T_1 , una temperatura eutéctica T_2 , un tiempo de inicio de solidificación t_1 , y un tiempo t_2 en el que se alcanza la temperatura eutéctica. Por otra parte, el tamaño de los granos de silicio eutéctico se determina como $t_2' - t_2$, en base a un tiempo t_2' en el que termina la cristalización de los granos de silicio eutéctico. En general, cuando aumenta el tamaño de los granos de silicio cristalino primario, el tamaño de los granos de silicio eutéctico también aumenta; cuando el tamaño de los granos de silicio cristalino primario disminuye, el tamaño de los granos de silicio eutéctico también disminuye.

Como se ha descrito anteriormente, el bloque de cilindro de varias realizaciones preferidas tiene excelente resistencia a la abrasión y resistencia, y por lo tanto se usa adecuadamente para varios motores incluyendo motores para vehículos automóviles. En particular, el bloque de cilindro se usa adecuadamente para un motor que opera a un alto número de revoluciones, por ejemplo, un motor de una motocicleta, y puede mejorar en gran medida la durabilidad del motor.

La figura 16 representa un motor ejemplar 150 que incorpora el bloque de cilindro 100 de una realización preferida. El motor 150 incluye un cárter 110, el bloque de cilindro 100, y una culata de cilindro 130.

En el cárter 110 se aloja un cigüeñal 111. El cigüeñal 111 incluye una muñequilla 112 y un brazo de cigüeñal 113.

Encima del cárter 110 se ha dispuesto el bloque de cilindro 100. Se ha introducido un pistón 122 en el agujero de cilindro del bloque de cilindro 100. La superficie de deslizamiento del pistón 122 está chapada en hierro, y tiene una dureza superficial mayor que la de la superficie de deslizamiento 101 del bloque de cilindro 100. Obsérvese que la superficie de deslizamiento del pistón 122 puede estar recubierta con un lubricante sólido. En este caso, la superficie de deslizamiento del pistón 122 puede tener una dureza superficial inferior a la de la superficie de deslizamiento del bloque de cilindro 100. La opción sobre cuál de la superficie de deslizamiento del pistón 122 y la superficie de deslizamiento 101 del bloque de cilindro 100 deberá tener mayor dureza superficial (es decir, la que deba tener una mayor resistencia a la abrasión) se hará en base a varias condiciones (por ejemplo, modelo, destino, costo, y análogos).

No se coloca ningún manguito cilíndrico en el agujero de cilindro, y la superficie interior del agujero de pared de cilindro 103 del bloque de cilindro 100 no está chapada. En otros términos, los granos de silicio cristalino primario 1011 están expuestos en la superficie del agujero de pared de cilindro 103. Obsérvese que un bloque de cilindro que tiene un agujero de pared de cilindro chapada se podría usar en combinación con un pistón que tiene una superficie de

ES 2 310 341 T3

deslizamiento en la que se han formado granos de silicio cristalino de dicha forma o estilo. Sin embargo, la operación de enfriamiento será inferior en ese caso, mientras se pueda garantizar la resistencia a la abrasión.

5 Encima del bloque de cilindro 100 se ha dispuesto la culata de cilindro 130. La culata de cilindro 130 forma una cámara de combustión 131 conjuntamente con el pistón 122 del bloque de cilindro 100. La culata de cilindro 130 incluye un orificio de admisión 132 y un orificio de escape 133. En el orificio de admisión 132 se ha dispuesto una válvula de admisión 134 para suministrar una mezcla de gas a la cámara de combustión 131. En el orificio de escape se ha dispuesto una válvula de escape 135 para descargar aire de la cámara de combustión 131.

10 El pistón 122 y el cigüeñal 111 están conectados mediante una biela 140. Específicamente, se ha introducido un pasador de pistón 123 del pistón 122 en un agujero pasante en un extremo pequeño 142 de la biela 140, y la muñequilla 112 del cigüeñal 111 se ha introducido en un agujero pasante en un extremo grande 144 de la biela 140, por lo que el pistón 122 y el cigüeñal 111 están conectados conjuntamente. Entre la superficie interior del agujero pasante en el extremo grande 144 y la muñequilla 112 se ha dispuesto un cojinete de rodillo 114.

15 Dado que el motor 150 representado en la figura 16 incorpora el bloque de cilindro 100 de una realización preferida antes descrita, el motor 150 tiene excelente durabilidad. Dado que el bloque de cilindro 100 de varias realizaciones preferidas se caracteriza por una alta resistencia a la abrasión y resistencia de la superficie de deslizamiento 101, no se necesita un manguito cilíndrico. Por lo tanto, los pasos de producción del motor se pueden simplificar, el peso del motor se puede reducir, y la operación de enfriamiento se puede mejorar. Además, dado que no hay que realizar recubrimiento de la superficie interior del agujero de pared de cilindro 103, también es posible reducir el costo de producción.

20 La figura 17 representa una motocicleta que incorpora el motor 150 representado en la figura 16.

25 En la motocicleta representada en la figura 17, un tubo delantero 302 está dispuesto en un extremo delantero de un bastidor de carrocería principal 301. Al tubo delantero 302 está unida una horquilla delantera 303 de manera que sea capaz de bascular en direcciones derecha e izquierda de la motocicleta. En un extremo inferior de la horquilla delantera 303 se soporta una rueda delantera 304 de manera que pueda girar.

30 Un carril de asiento 306 está unido al bastidor de carrocería principal 301 de manera que se extienda en la dirección trasera desde su extremo superior trasero. Se ha dispuesto un depósito de carburante 307 encima del bastidor de carrocería principal 301, y un asiento principal 308a y una hoja en tándem 308b están dispuestos en el carril de asiento 306.

35 En el extremo trasero del bastidor de carrocería principal 301 se ha unido un brazo trasero 309 que se extiende en la dirección trasera. En un extremo trasero del brazo trasero 309 se soporta una rueda trasera 310 de manera que pueda girar.

40 En una porción central del bastidor de carrocería principal 301 se encuentra el motor 150 como se representa en la figura 16. El bloque de cilindro 100 de cualquiera de las realizaciones preferidas se usa en el motor 150. Un radiador 311 está dispuesto en la parte delantera del motor 150. Un tubo de escape 312 está conectado a un orificio de escape del motor 150, y un silenciador 313 está unido a un extremo trasero del tubo de escape 312.

45 Una transmisión 315 está acoplada al motor 150. Un piñón de accionamiento 317 está unido a un eje de salida 316 de la transmisión 315. El piñón de accionamiento 317 está acoplado a un piñón de rueda trasera 319 de la rueda trasera 310, mediante una cadena 318. La transmisión 315 y la cadena 318 funcionan como un mecanismo de transmisión para transmitir a la rueda motriz la potencia motriz generada por el motor 150.

50 La motocicleta representada en la figura 17 incorpora el motor 150 en el que se usa el bloque de cilindro 100 de cualquiera de las realizaciones preferidas, y por lo tanto tiene prestaciones preferibles.

55 Según las varias realizaciones preferidas, se facilita un componente de motor que tiene excelente resistencia a la abrasión y resistencia, y un método para producirlo.

60 El componente de motor según realizaciones preferidas se puede usar adecuadamente para varios motores incluyendo motores de vehículos automóviles, y en particular se usa adecuadamente para motores que operan a un alto número de revoluciones.

60

65

ES 2 310 341 T3

REIVINDICACIONES

1. Un componente de motor compuesto de una aleación de aluminio conteniendo silicio, incluyendo una pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011) situados en una superficie de deslizamiento, teniendo la pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011) un tamaño de grano de cristal medio de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm ,

una pluralidad de granos de silicio eutéctico (1012) dispuestos entre la pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011), donde la pluralidad de granos de silicio eutéctico (1012) tiene un tamaño de grano de cristal medio de no más de aproximadamente 7,5 μm , y

conteniendo la aleación de aluminio no menos de aproximadamente 50 ppm en peso y no más de aproximadamente 200 ppm en peso de fósforo y no más de aproximadamente 0,01% en peso de calcio.

2. El componente de motor según la reivindicación 1, donde la pluralidad de granos de silicio cristalino (1011, 1012) tiene una distribución de tamaño de grano que tiene al menos dos picos, incluyendo un primer pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente 1 μm y no más de aproximadamente 7,5 μm y un segundo pico existente en un rango de tamaños de grano de cristal de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm .

3. Un componente de motor según la reivindicación 1 o 2, donde, en cualquier región rectangular arbitraria de la superficie de deslizamiento que tiene un área aproximada de 800 μm x 1000 μm , un número de regiones circulares que tienen un diámetro de aproximadamente 50 μm y no conteniendo granos de silicio cristalino de un tamaño de grano de cristal de aproximadamente 0,1 μm o más es igual o menor que cinco.

4. Un componente de motor según una de las reivindicaciones 1 a 3, donde la aleación de aluminio contiene: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio; no menos de aproximadamente 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio; y no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre.

5. Un componente de motor según una de las reivindicaciones 1 a 4, donde la superficie de deslizamiento tiene una dureza Rockwell (HRB) de no menos de aproximadamente 60 y no más de aproximadamente 80.

6. Un componente de motor según una de las reivindicaciones 1 a 5, donde el componente de motor es un bloque de cilindro (100), y la pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011) están expuestos en una superficie de deslizamiento (101) de un agujero de pared de cilindro (103) del bloque de cilindro (100) de manera que entren en contacto con un pistón (122).

7. Un motor incluyendo un componente de motor según la reivindicación 6, donde el pistón (122) tiene una superficie de deslizamiento cuya dureza superficial es más alta que la de la superficie de deslizamiento (101) del bloque de cilindro (100).

8. Un vehículo automóvil incluyendo un motor según la reivindicación 7.

9. Un método para producir un componente de deslizamiento para un motor, incluyendo:

un paso (a) de preparar una aleación de aluminio conteniendo: no menos de aproximadamente 73,4% en peso y no más de aproximadamente 79,6% en peso de aluminio, no menos de aproximadamente 18% en peso y no más de aproximadamente 22% en peso de silicio, no menos de aproximadamente 2,0% en peso y no más de aproximadamente 3,0% en peso de cobre, no menos de aproximadamente 50 ppm en peso y no más de aproximadamente 200 ppm en peso de fósforo y no más de aproximadamente 0,01% en peso de calcio;

un paso (b) de enfriar una masa fundida de la aleación de aluminio en un molde para formar una pieza moldeada, realizándose dicho paso (b) de manera que una zona de una superficie de deslizamiento (101) se enfríe a una tasa de enfriamiento de no menos de aproximadamente 4°C/s y no más de aproximadamente 50°C/s, incluyendo dicho paso (b):

un paso (b-1) de permitir que se forme una pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011) en la zona de la superficie de deslizamiento (101) de manera que tengan un tamaño de grano de cristal medio de no menos de aproximadamente 12 μm y no más de aproximadamente 50 μm , y

un paso (b-2) de permitir que se forme una pluralidad de granos de silicio eutéctico (1012) entre la pluralidad de granos de silicio cristalino primario (1011) de manera que tenga un tamaño de grano de cristal medio de no más de aproximadamente 7,5 μm ;

ES 2 310 341 T3

un paso (c) de someter la pieza moldeada a un tratamiento térmico a una temperatura de no menos de aproximadamente 450°C y no más de aproximadamente 520°C durante un período de no menos de aproximadamente tres horas y no más de aproximadamente cinco horas, y a continuación enfriar por líquido la pieza moldeada; y

- 5 un paso (d), después del paso (c), de someter la pieza moldeada a un tratamiento térmico a una temperatura de no menos de aproximadamente 180°C y no más de aproximadamente 220°C durante un período de no menos de aproximadamente tres horas y no más de aproximadamente cinco horas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG.1

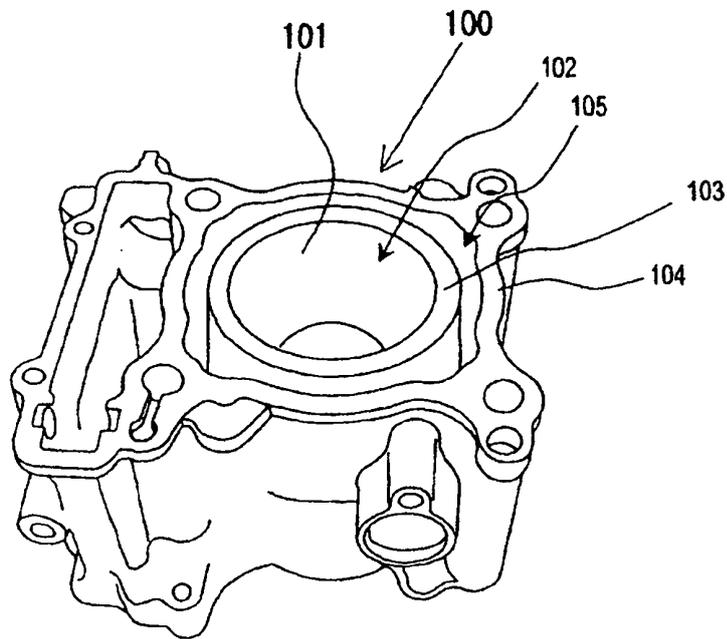


FIG.2

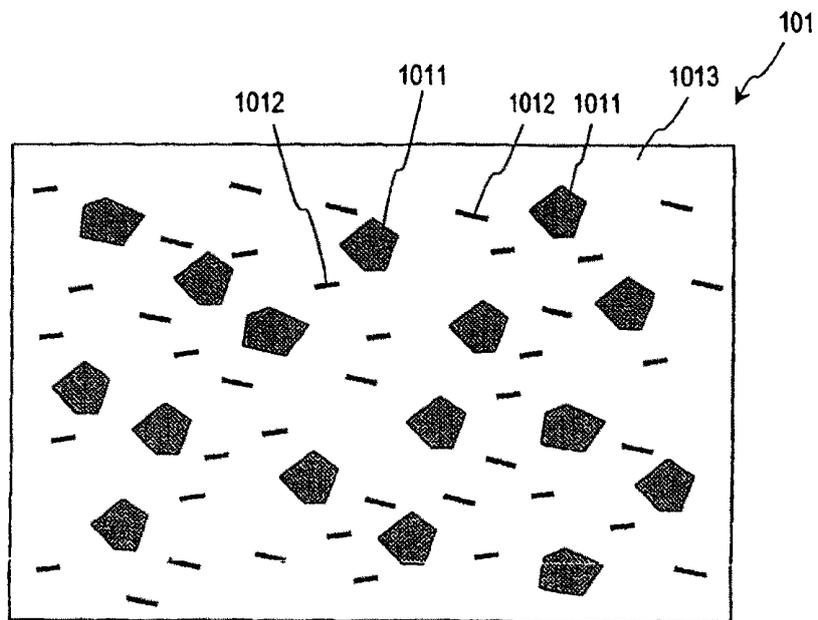


FIG. 3A

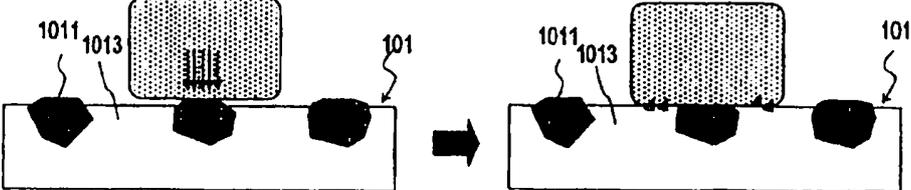


FIG. 3B

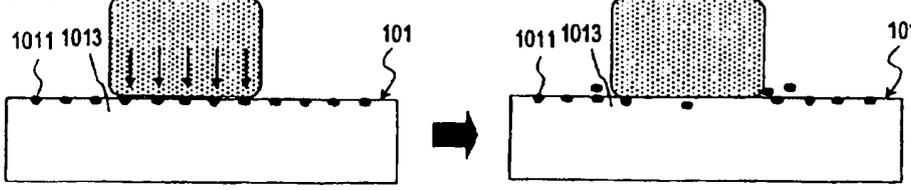


FIG. 3C

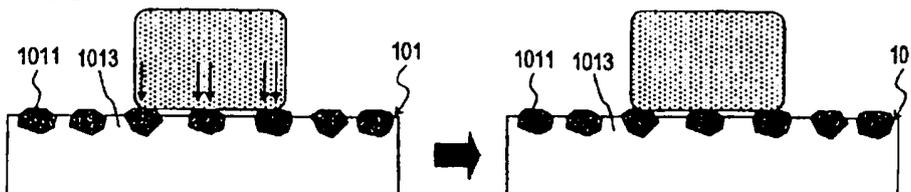


FIG.4

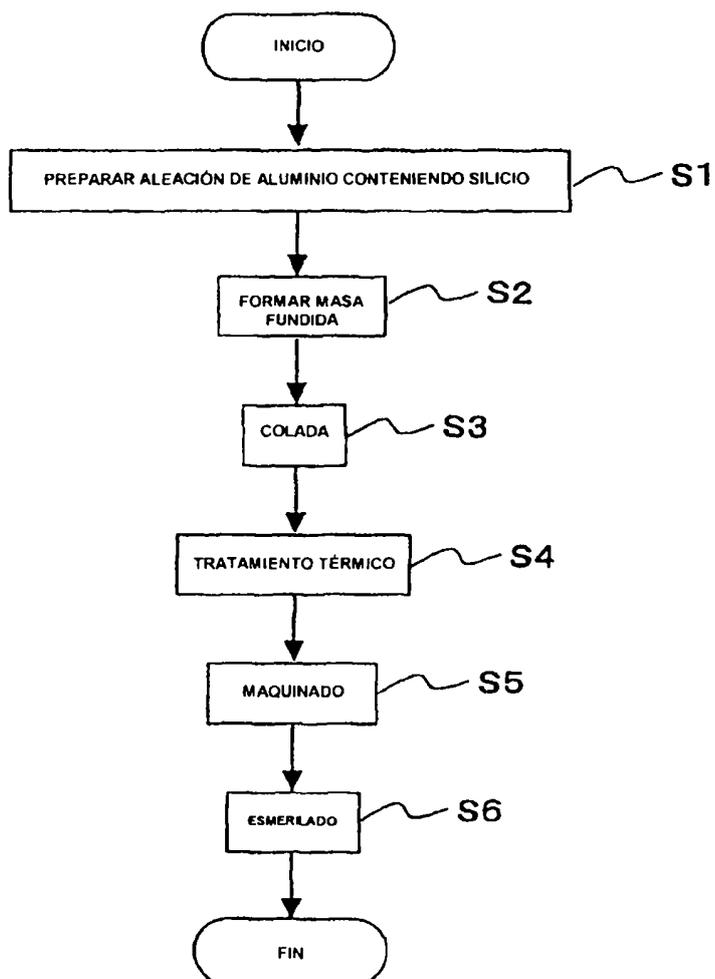


FIG.5

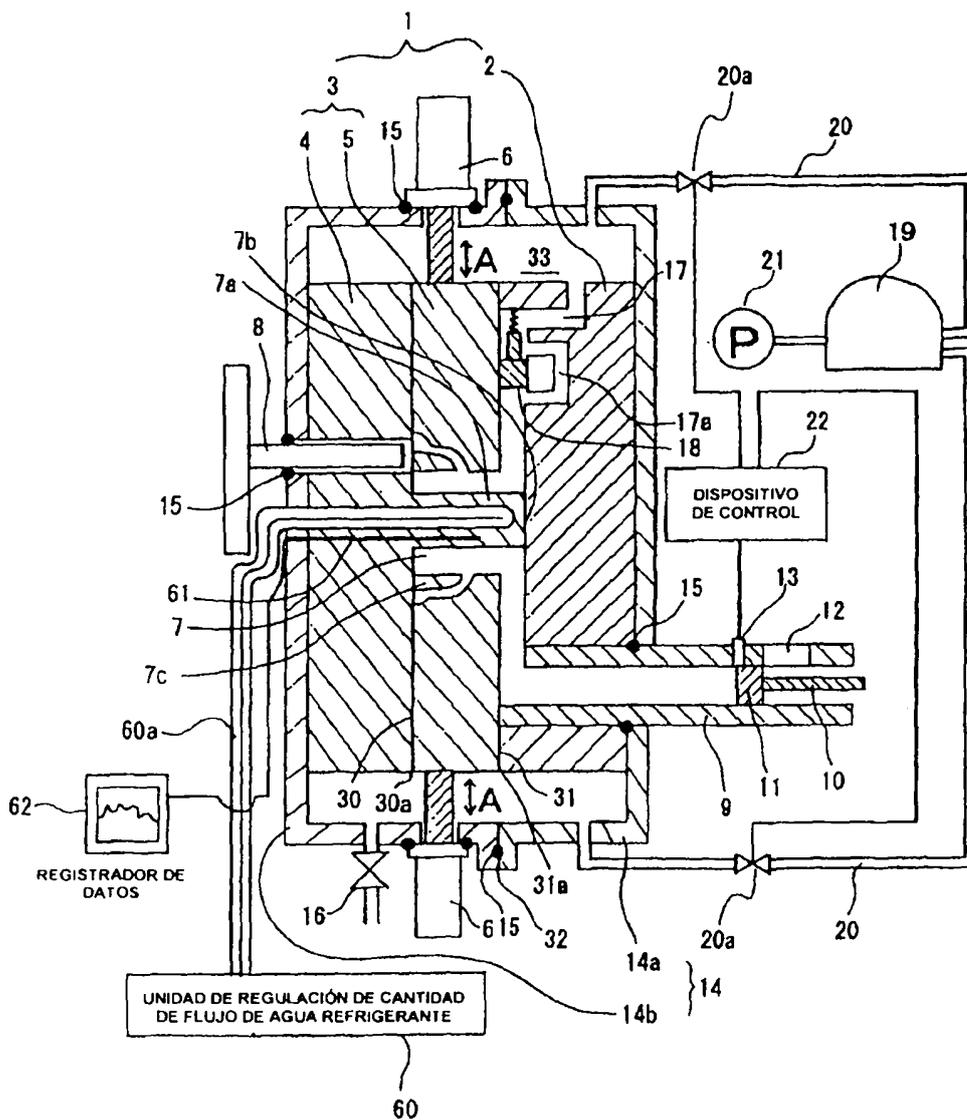
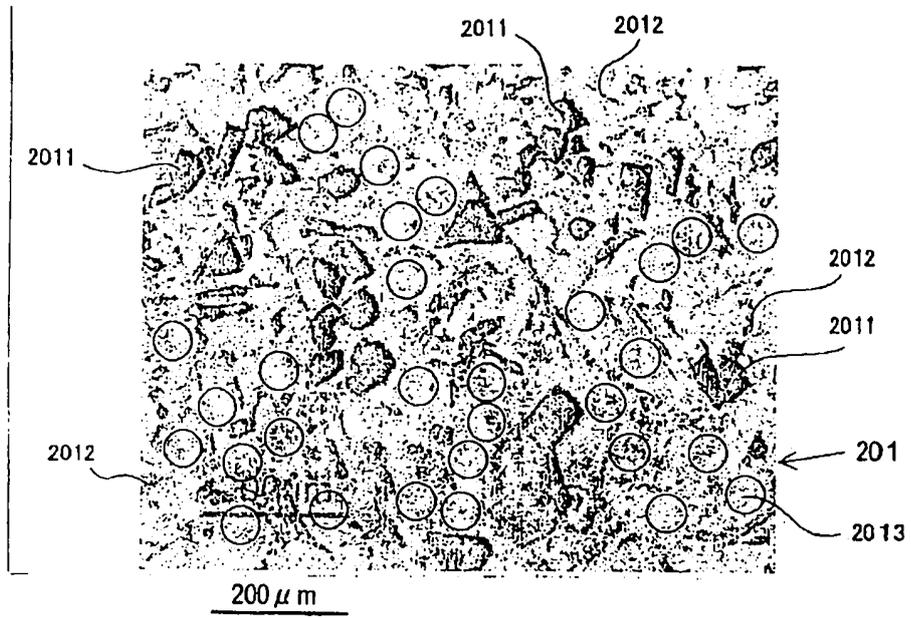


FIG. 6A



 CIRCULO CON DIAMETRO DE 50 μm

FIG. 6B

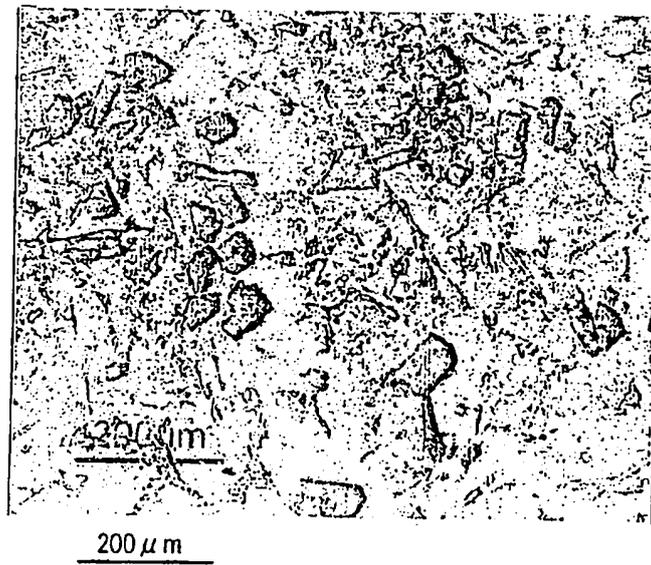


FIG. 7A

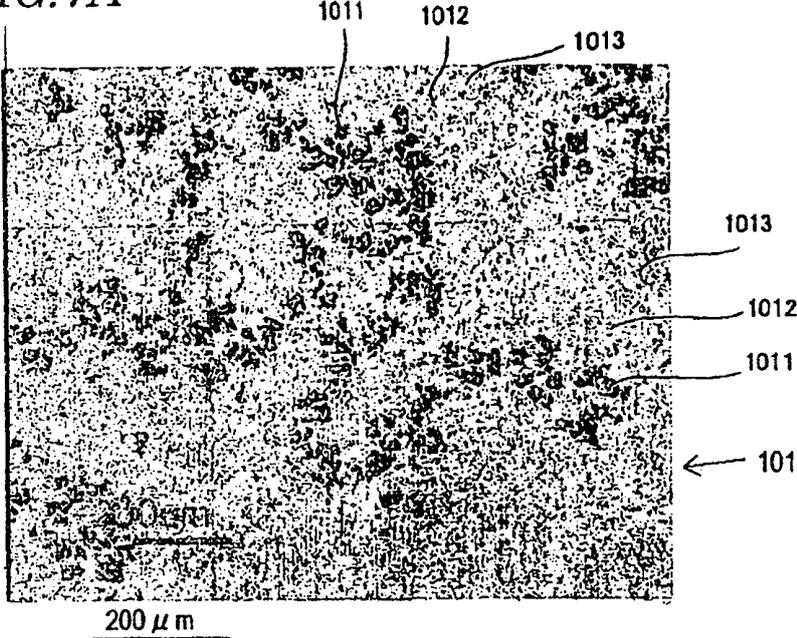


FIG. 7B

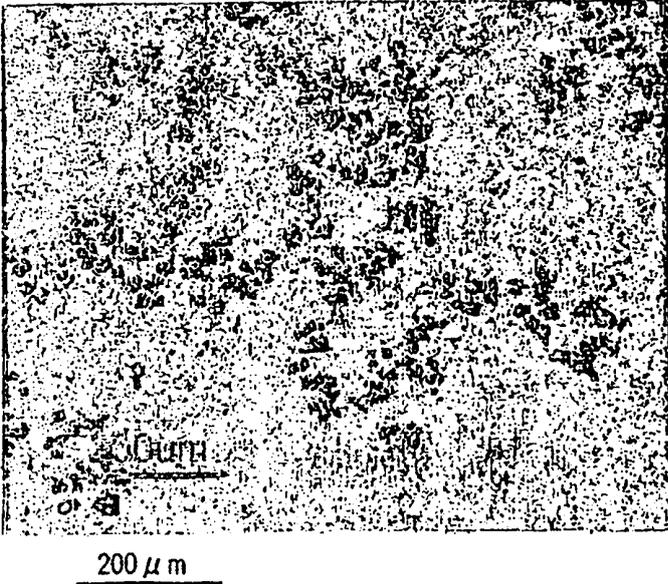


FIG. 8

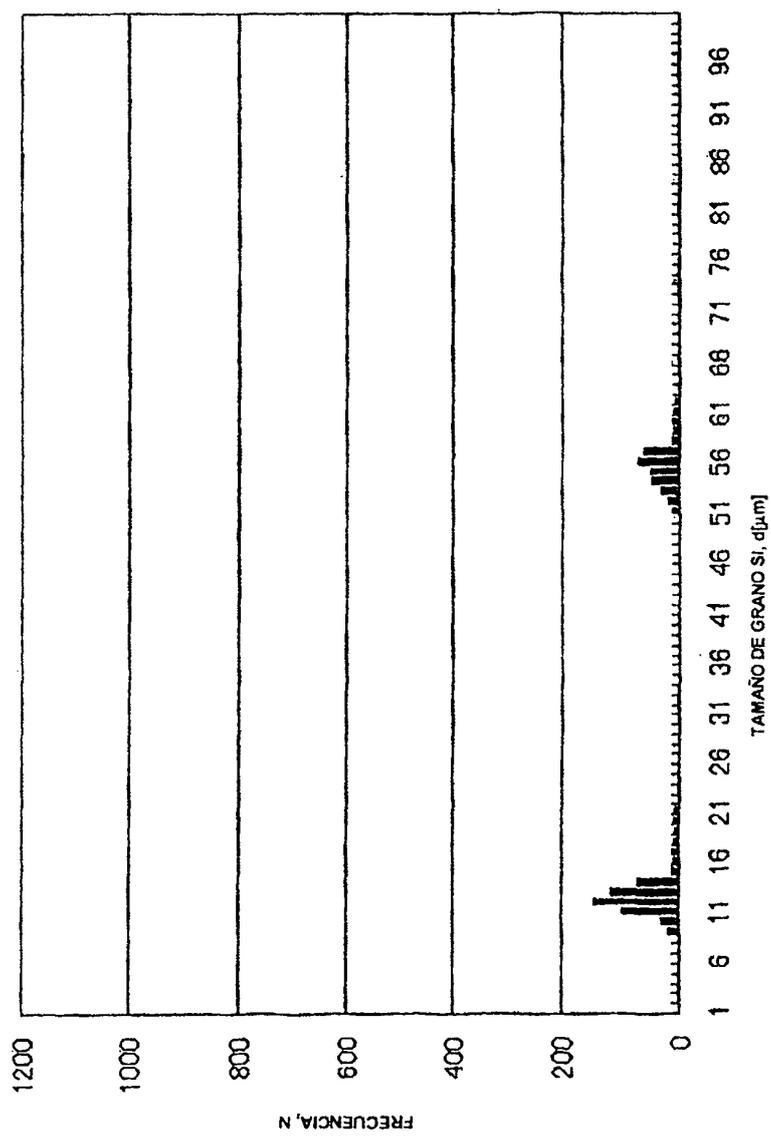


FIG.9

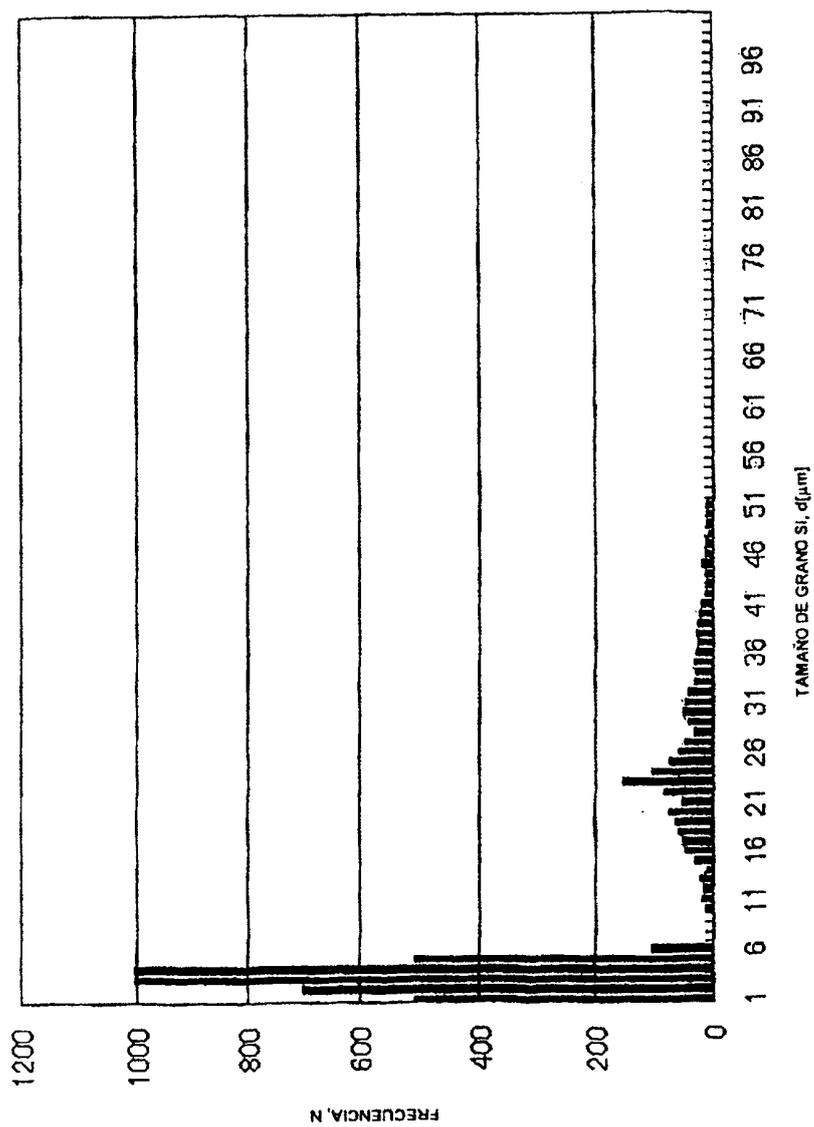


FIG. 10

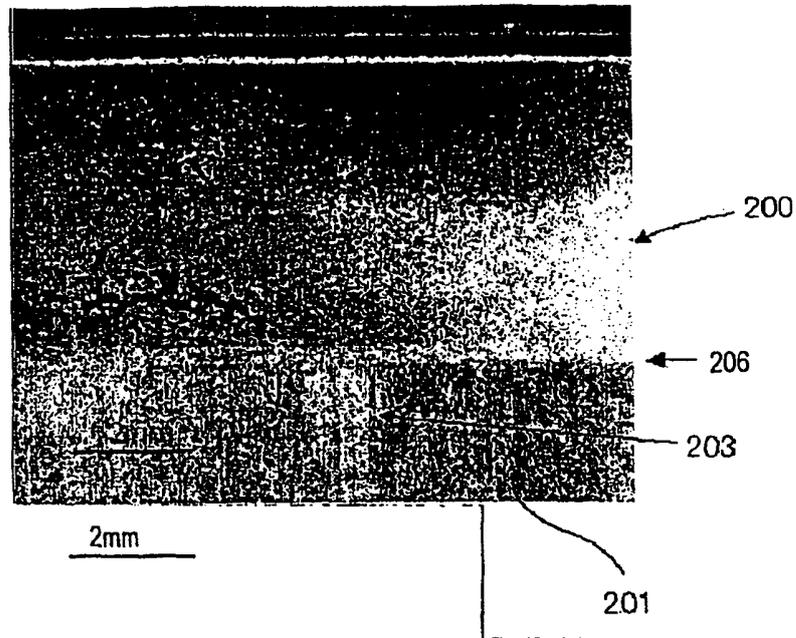


FIG. 11

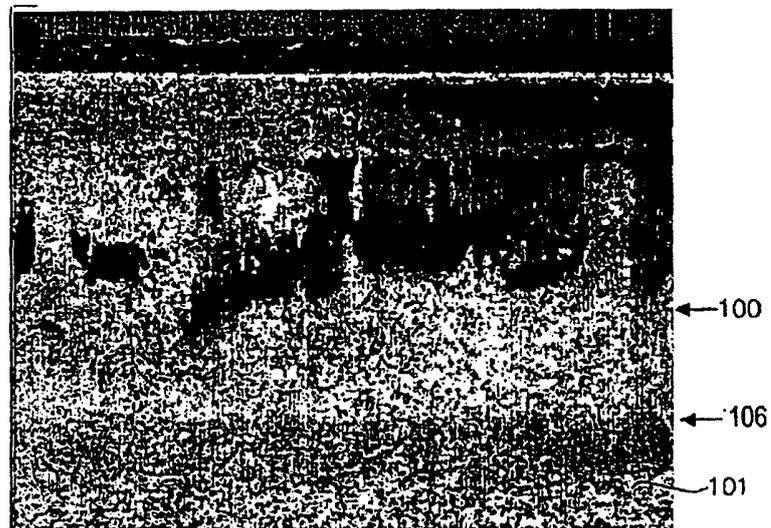


FIG.12

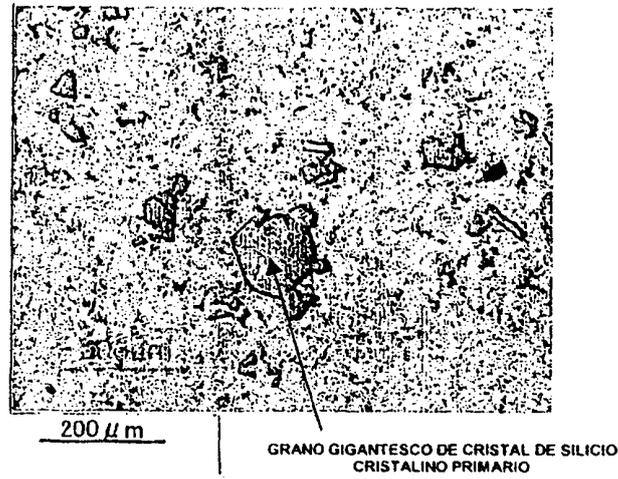
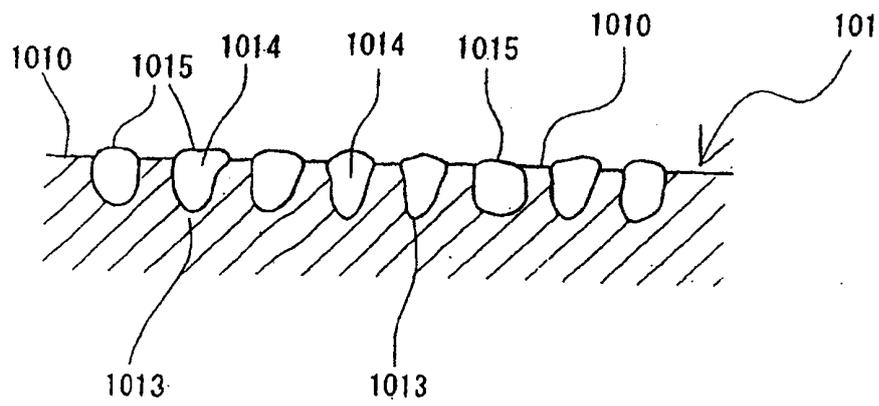
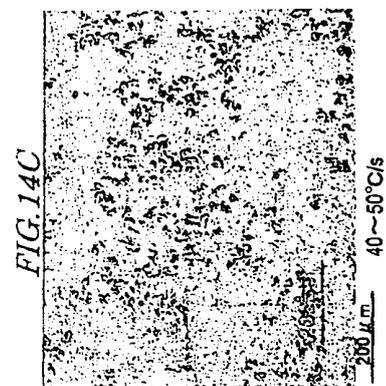
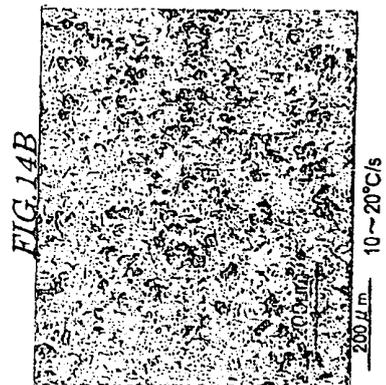


FIG.13

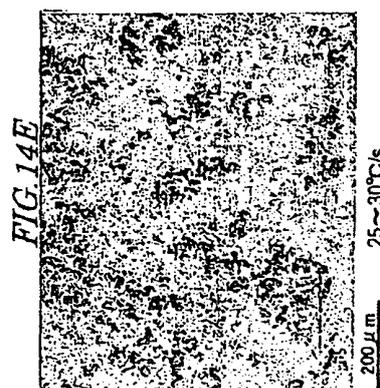




TAMAÑO DE GRANO MEDIO: 22,5 μm
RELACION DE AUSENCIA: 15,5%



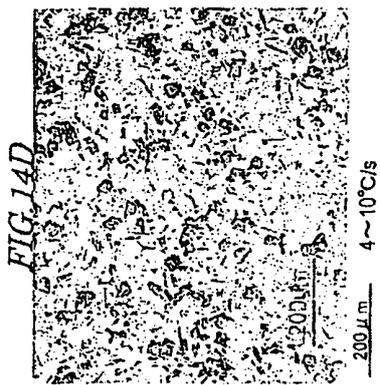
TAMAÑO DE GRANO MEDIO: 30,3 μm
RELACION DE AUSENCIA: 6,5%



TAMAÑO DE GRANO MEDIO: 23,8 μm
RELACION DE AUSENCIA: 35%



TAMAÑO DE GRANO MEDIO: 56,5 μm
RELACION DE AUSENCIA: 15%



TAMAÑO DE GRANO MEDIO: 32,0 μm
RELACION DE AUSENCIA: 12,5%

FIG. 15

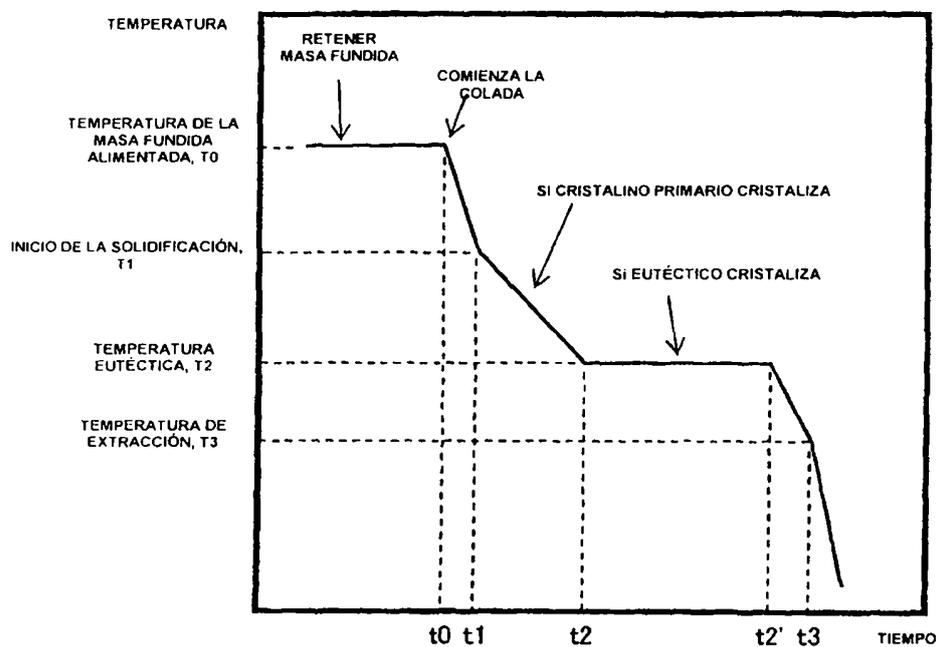


FIG. 16

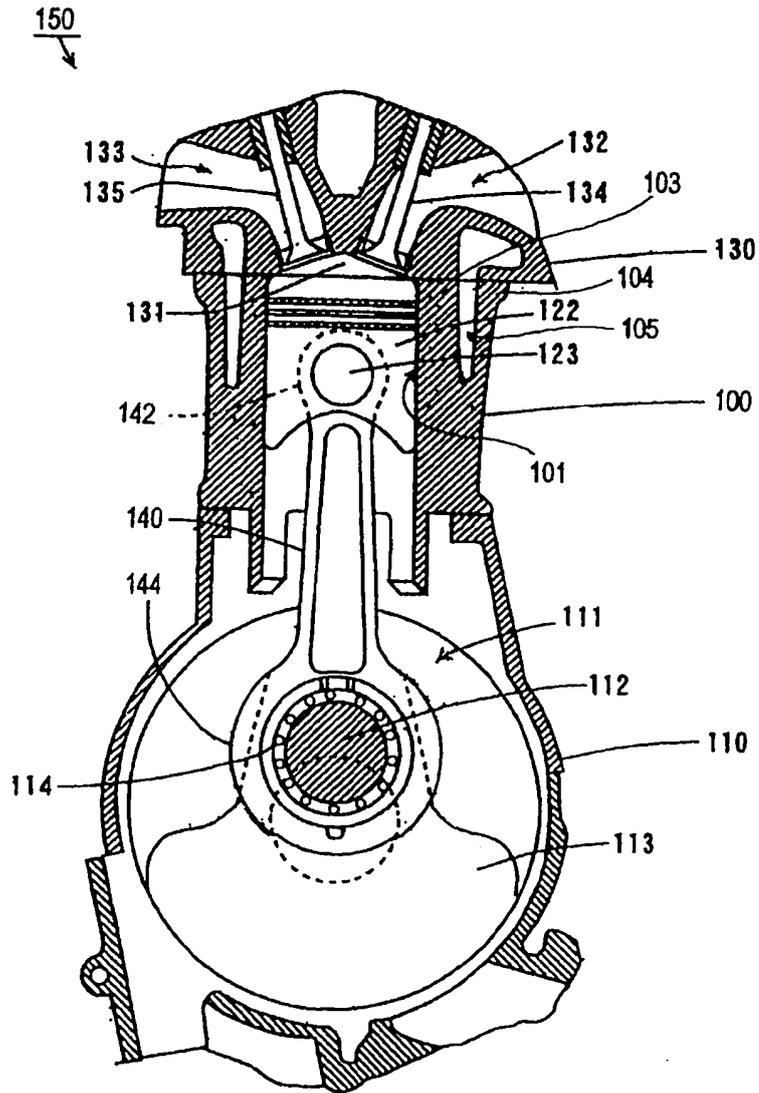


FIG.17

