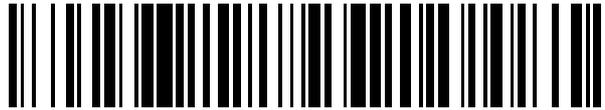


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 452**

51 Int. Cl.:

<b>C23C 24/04</b>	(2006.01)
<b>B24C 1/10</b>	(2006.01)
<b>B24C 11/00</b>	(2006.01)
<b>F02F 3/10</b>	(2006.01)
<b>F16J 1/01</b>	(2006.01)
<b>C23C 8/80</b>	(2006.01)
<b>C23C 24/08</b>	(2006.01)
<b>C23C 8/12</b>	(2006.01)
<b>C23C 8/02</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.10.2013 PCT/JP2013/077340**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14057935**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2013 E 13845632 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 2907895**

54 Título: **Método para modificar la superficie de un pistón para un motor de combustión interna, y pistón para motor de combustión interna**

30 Prioridad:

**09.10.2012 JP 2012224359**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.05.2019**

73 Titular/es:

**ART METAL MFG. CO., LTD. (50.0%)  
2-43 Tokiwagi 2-chome  
Ueda, Nagano 386-0027, JP y  
FUJI KIHAN CO., LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**FUJIWARA, NOBUYUKI y  
MIYASAKA, YOSHIO**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 711 452 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

Método para modificar la superficie de un pistón para un motor de combustión interna, y pistón para motor de combustión interna

5

Campo técnico

[0001] La presente invención se refiere a un método para modificar una superficie de un pistón para un motor de combustión interna en el que no disminuye la fuerza incluso cuando se usa a altas temperaturas y un pistón para un motor de combustión interna al que se aplica el método para modificar la superficie.

10

Estado de la técnica

[0002] Un pistón para un motor de combustión interna (de ahora en adelante denominado simplemente "pistón" en esta Especificación) que ejecuta un movimiento alternativo reiteradamente a alta velocidad bajo presión explosiva y condiciones de altas temperaturas. Por tanto, desde el punto de vista de mejorar el consumo de combustible o similar, es necesario que el pistón tenga una fuerza elevada y un peso bajo al mismo tiempo.

15

[0003] En un pistón de este tipo, se utilizan una aleación a base de aluminio-silicio como AC8A para reducir el peso del mismo y granos de cristal finos en el pistón del motor de combustión interna, que se granula de forma fina mediante un tratamiento de endurecimiento por precipitación o similar para mejorar su fuerza. Sin embargo, en un motor de gasolina, por ejemplo, la temperatura de un pistón a veces aumenta hasta alcanzar aproximadamente 300 °C y, cuando el pistón cuya fuerza ha aumentado mediante el endurecimiento por precipitación antes mencionado se usa en condiciones de altas temperaturas que superan la temperatura utilizada en el tratamiento de endurecimiento por precipitación (de aproximadamente 200 °C a 250 °C), los cristales granulados finos formados mediante el endurecimiento por precipitación se recristalizan y así los granos de cristal se engrosan, lo que provoca una disminución considerable de la fuerza del pistón.

20

25

[0004] Por consiguiente, existe una demanda de un método de aumentar la fuerza a altas temperaturas de una aleación a base de aluminio-silicio que se usa en condiciones de altas temperaturas.

30

[0005] Aunque los componentes de aleación aditivos están siendo reconsiderados como método para aumentar la fuerza a altas temperaturas de dicha aleación basada en aluminio-silicio, por ejemplo añadir una gran cantidad de cobre níquel o similar, que es un componente que aumenta la fuerza a altas temperaturas, aumentará el peso del pistón debido a un aumento en la densidad relativa de la aleación a base de aluminio-silicio. Por lo tanto, aunque es posible aumentar la fuerza, resulta imposible satisfacer el requisito de reducción de peso.

35

[0006] Además, en el caso de aumentar la fuerza reconsiderando la composición de los componentes de aleación, resulta difícil formar componentes de aleación de grano fino uniforme durante la fundición. Como resultado de ello, se presenta el problema de que no se mejoran lo suficiente las características mecánicas, la calidad es variable y así sucesivamente. Asimismo, el aumento de la fuerza material causa el deterioro de las propiedades de fundición y forja y la maleabilidad por un lado, en particular la maleabilidad de corte disminuye considerablemente conforme aumenta la fuerza y, de esta forma, surge el inevitable problema de la compensación entre aumento de fuerza y disminución de la maleabilidad.

40

45

[0007] Por consiguiente, debido a que el aumento de la fuerza material descrito anteriormente provoca que disminuya la eficiencia de producción del pistón y aumenten los costes de fabricación, es imposible mejorar simplemente la fuerza.

50

[0008] Como se ha comentado previamente, cuando se ajusta la cantidad de material de aleación, dado que es difícil para conseguir al mismo tiempo un aumento de la fuerza a altas temperaturas del pistón de motor de combustión interna y una reducción del peso del mismo sin sacrificar la eficiencia de la producción y la maleabilidad, también se ha propuesto mejorar las características mecánicas mediante un tratamiento realizado ex post facto en una pieza de aleación de aluminio fabricado mediante la etapa de fundición y forja (de ahora en adelante, designado simplemente como "pieza de aleación de aluminio") sin modificar el tratamiento llevado a cabo en la etapa de fundición y forja.

55

[0009] Como ejemplo de dicho método, se ha propuesto un sistema para modificar una superficie de una pieza de aleación de aluminio aplicando un tratamiento de granallado de compresión a la superficie de la pieza de aleación de aluminio. Con el método propuesto para modificar la superficie, expulsando una mezcla de materiales de granalla y partículas finas, se lleva a cabo un granallado de compresión con partículas finas incluidas entre los materiales de granalla cuando una parte de la superficie de la pieza de aleación de aluminio se bombardea con los materiales de granalla y, de esta forma, las partículas finas descritas anteriormente se incrustan de forma dispersa en la parte de superficie de la pieza de aleación de aluminio (ver Reivindicación 1 del Documento de patente 1). Con este método, se mejoran la resistencia a la abrasión y a la corrosión debido a las propiedades inherentes de las partículas finas que se introducen mediante granallado descritas anteriormente

60

65

y, de esta forma, se aumenta la fiabilidad de la fuerza de la pieza de aleación de aluminio (ver Párrafo [0017] del Documento de patente 1).

[0010] Además, según otro método propuesto, en una superficie de un pistón hecho con una aleación a base de aluminio-silicio y obtenido mediante fundición y forja, las partículas por expulsar con diámetros de 20 µm a 400 µm y que contienen un elemento de refuerzo como Fe, Mn, Zn, Ti, C, Si, Ni, Cr, W, Cu, Sn, Zr. o similares que aumenten la fuerza de la aleación difundiéndose y penetrando en la aleación que constituye el pistón, se expulsan y se hace que choquen contra la superficie a una velocidad de expulsión de 80 m/s o más o a una presión de expulsión de 0,3 MPa o más; y como resultado de la colisión con las partículas por expulsar, se eliminan los óxidos de las partes defectuosas de la superficie generadas en la superficie del pistón debido a la fundición y la forja, se reparan los defectos de la superficie generados en la superficie, los elementos de aleación de la aleación del pistón se granulan finos cerca de la superficie del pistón, el elemento de refuerzo contenido en las partículas por expulsar se difunde y penetra en la proximidad de la superficie del pistón y, de esta forma, una capa modificada con una estructura metálica granulada fina uniformemente que contiene el elemento de aleación y el elemento de refuerzo contenido en las partículas por expulsar se forma en la superficie del pistón (ver Documento de patente 2).

Documentos de la técnica relacionada

Documentos de patente

[0011]

Documento de patente 1: Solicitud de patente japonesa no examinada n.º H05-86443

Documento de patente 1: Solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2008-51091 Patentes correspondientes: Patente de Estados Unidos n.º 7,767,033 y 8,231,741

Divulgación de la invención

Problema que la invención pretende resolver

[0012] Cuando los métodos para modificar la superficie descrita en los Documentos de patente 1 y 2 se emplean para aumentar la fuerza mecánica de un pistón, estas modificaciones de la superficie se aplican al pistón después de una etapa de fundición y/o forja, de esta forma, se pueden mejorar la fundición y la forja del pistón utilizando un método convencional. Como resultado de ello, se eliminan los problemas anteriormente descritos provocados por cambios en los componentes de aleación.

[0013] Sin embargo, con el método descrito en el Documento de patente 1, tal y como se ha descrito previamente, las partículas finas se "incrustan" de forma dispersa en la parte de superficie de la pieza de aleación de aluminio, y la fiabilidad de la fuerza de la pieza de aleación de aluminio se incrementa al aumentar la resistencia a la abrasión y la corrosión mediante las propiedades inherentes de las partículas finas que se incrustan de esta forma, con el objetivo de llevar a cabo dicha "incrustación", se ejecuta un granallado de compresión mezclando las partículas finas por incrustar en los materiales de granalla con un diámetro superior a estas partículas finas (ver Párrafo [0040] del Documento de patente 1).

[0014] Por consiguiente, cuando se utilice el método descrito en el Documento de patente 1, las partículas finas descritas anteriormente simplemente se "incrustan" en la parte de superficie de la pieza de aleación de aluminio y las partículas finas no forman enlaces fuertes con la pieza de aleación de aluminio, por lo tanto, las partículas finas tienden a despegarse y caerse de la parte de superficie y, una vez las partículas finas se despegan y se caen, no se pueden mejorar las características mecánicas debidas a las propiedades inherentes a las partículas finas.

[0015] Además, el Documento de patente 1 también divulga un método para difundir las partículas finas incrustadas en la superficie de la pieza de aleación de aluminio en la superficie de la pieza de aleación de aluminio. Sin embargo, para difundir las partículas finas de esta manera, es necesario aplicar además un tratamiento térmico o similar a la pieza de aleación de aluminio después de incrustar las partículas finas (Reivindicación 3, párrafos [0038] y [0039] y similares). De esta forma, el tiempo y los costes del tratamiento aumentan debido al mayor número de pasos.

[0016] Asimismo, cuando se lleva a cabo el tratamiento térmico tal y como se ha descrito anteriormente, el tamaño de la pieza de aleación de aluminio puede cambiar o, en algunos casos, se puede producir una deformación y, por tanto, se deben controlar estrictamente las condiciones de tratamiento difíciles del tratamiento térmico, como la temperatura y el tiempo de tratamiento.

[0017] Nótese que, debido a que un defecto de superficie ínfimo, tal como una junta fría en el pistón, provoca fragilización en la entalladura o similar, la reparación del defecto de superficie es un factor importante para aumentar la fuerza. Sin embargo, en el método descrito en el Documento de patente 1 no se proporciona ningún

mecanismo para reparar dicho defecto en la superficie y, de hecho, se prevé que la incrustación de partículas finas de metal en la pieza de aleación de aluminio tal como se ha descrito anteriormente sea una causa de fragilización en la entalladura.

5 [0018] Además, aunque el granulado fino y uniforme de los elementos de aleación contribuye a mejorar las características mecánicas del pistón y conseguir una calidad uniforme, la invención descrita en el Documento de patente 1 no divulga ni sugiere medios para realizarlo.

10 [0019] Por lo tanto, cuando se intentan obtener elementos de aleación de grano fino y uniforme, es necesario realizarlo en las etapas implicadas en la fase de fundición o de forma simultánea al tratamiento térmico llevado a cabo para difundir las partículas finas incrustadas en la superficie de la pieza de aleación de aluminio en la superficie de la pieza de aleación de aluminio y, de esta forma, el número de etapas aumenta y se debe llevar un estricto control de la temperatura o similar durante el tratamiento térmico.

15 [0020] Por otro lado, con el método descrito en el Documento de patente 2, no solo es posible aprovechar directamente la ventaja de la invención descrita en el Documento de patente 1, es decir, se puede mejorar fácilmente la fuerza mecánica del pistón a un bajo coste sin que ello afecte a la eficiencia de producción, como las propiedades de fundición y forja o la maleabilidad haciendo que las partículas expulsadas choquen con una superficie de un pistón obtenido mediante fundición y forja, sino que también es posible formar una capa de superficie modificada fuerte e integrada en la superficie del pistón sin tener que realizar un tratamiento térmico independiente o similar, y en combinación con ello, es asimismo posible llevar a cabo tratamientos para reparar un defecto de superficie ínfimo como una junta fría, así como tratamientos para formar elementos de aleación de grano fino y uniforme en la proximidad de la superficie del pistón o similar.

25 [0021] Sin embargo, incluso en el caso de que se forme una capa de superficie modificada en un pistón de motor de combustión interna utilizando el método divulgado por el Documento de patente 2 descrito previamente, se observó un cierto grado de disminución de la fuerza cuando se utilizó en condiciones de altas temperaturas y fue imposible mantener completamente la fuerza conseguida inmediatamente después del granallado.

30 [0022] Por lo tanto, la presente invención ha sido concebida para resolver los problemas de la técnica relacionada anteriormente descrita y un objeto del mismo es proporcionar un método para modificar una superficie de un pistón para un motor de combustión interna y el pistón para el motor de combustión interna con una superficie modificada obtenida aplicando el método, con el cual la fuerza del pistón no disminuye, incluso cuando se usa en condiciones de altas temperaturas después de realizar un tratamiento para modificar la superficie del pistón.

Medios para resolver los problemas

40 [0023] Para conseguir el objetivo anterior, un método para modificar una superficie de un pistón para un motor de combustión interna según la presente invención utilizando granalla hecha de una aleación a base de hierro como partícula por expulsar, con un diámetro de 20  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ , una conductividad térmica de 30 W/m·k o menos a una temperatura de 25 °C y una densidad relativa de 7,5 g/cm<sup>3</sup> o más incluye:

45 un primer tratamiento de expulsión para expulsar la partícula por expulsar sobre una superficie de un pistón en un espacio donde hay oxígeno bajo condiciones en las que se establece un valor de altura de arco en un rango de 0,07 mm (N) a 0,13 mm (N) (en el Ejemplo 0,10 mm (N)), y donde el pistón está hecho a partir de una aleación a base de aluminio-silicio o una aleación a base de aluminio-cobre como A2618 y obtenido mediante fundición y forja;

50 un segundo tratamiento de expulsión para expulsar la partícula por expulsar sobre la superficie del pistón al se ha aplicado el primer tratamiento de expulsión, en un espacio donde hay oxígeno bajo condiciones en las que se establece un valor de altura de arco en un rango de 0,13 mm (N) a 0,22 mm (N) (en el Ejemplo, 0,20 mm (N)); y

55 un tratamiento térmico para aplicar calor al pistón posteriormente durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C en un espacio en el que hay oxígeno.

60 [0024] En el método anterior para modificar la superficie del pistón, es preferible que la partícula por expulsar se expulse de forma que una cobertura total en la primera y segunda expulsión sea del 200 % al 500 % (en el Ejemplo 300 %). En este caso, el primer tratamiento de expulsión se puede realizar de modo que la cobertura se encuentre dentro de un rango del 100 % al 200 % (en el Ejemplo 100%) y el segundo tratamiento de expulsión se puede realizar de modo que la cobertura se encuentre dentro de un rango del 100 % al 300 % (en el Ejemplo 200 %).

65 [0025] Además, en el método anterior para modificar la superficie del pistón, la partícula por expulsar puede estar hecha de acero de corte rápido o acero inoxidable.

[0026] Además, un pistón para un motor de combustión interna según la presente invención incluye una capa de superficie modificada que contiene un óxido de límite de grano constituido por un óxido estable de una aleación a base de aluminio-hierro en límites de grano de aluminio de grano fino y/o aleación a base de aluminio y la capa de superficie modificada se forma en un rango de 3  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  en profundidad desde una superficie exterior en una parte de la superficie modificada de un pistón hecho de una aleación de aluminio-silicio o una aleación a base de aluminio-cobre.

#### Efectos de la invención

[0027] Con el método anteriormente descrito, mediante la realización de un tratamiento de refuerzo de superficie que forma una capa de superficie modificada con una estructura donde los óxidos de límite de grano obtenidos a través de la oxidación de aleación de aluminio y un material a base de hierro contenido en las partículas por expulsar están presentes en los límites de grano de aluminio de grano fino y/o a base de aleación de aluminio en una zona de aproximadamente 3  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  desde la superficie exterior, con un pistón después de llevar a cabo el tratamiento de refuerzo de superficie, se pudo obtener un pistón cuya dureza superficial no disminuye incluso cuando se usa en condiciones de altas temperaturas (por ejemplo 350 °C) que exceden la temperatura en la que se realiza el tratamiento de endurecimiento por precipitación (por ejemplo de 200 °C a 250 °C).

[0028] Aunque la razón por la que se evitó la disminución de la dureza cuando se usó en dichas condiciones de altas temperaturas no está necesariamente clara, con la capa de superficie modificada formada utilizando el método anteriormente descrito es probable que los óxidos de límite de grano que son óxidos estables de la aleación a base de aluminio-hierro y están presentes en los límites de grano de aluminio de grano fino y/o a base de aleación de aluminio inhiben la recristalización de los granos de cristal del aluminio y/o la aleación a base de aluminio cuando se someten a altas temperaturas, evitando así que la dureza disminuya a causa del engrosamiento de los granos de cristal.

#### Breve descripción de los dibujos

[0029]

La Fig. 1 es una imagen de microscopio electrónico que muestra una sección transversal tomada en una parte de la superficie de un pistón según el Ejemplo;

La Fig. 2 es una imagen de microscopio electrónico que muestra una sección transversal tomada en una parte de la capa de superficie modificada del pistón según el Ejemplo;

Las Figuras 3 son gráficos que muestran los resultados del análisis de los componentes (incluyendo la concentración de oxígeno) para el Ejemplo, donde la Fig. 3A muestra los resultados del análisis de una parte de "Análisis 1" en la Fig. 2 y la Fig. 3B muestra los del análisis de una parte de "Análisis 2" en la Fig. 2;

La Fig. 4 es un diagrama esquemático que muestra una distribución de óxidos de límite de grano en la imagen de microscopio electrónico de la Fig. 2;

La Fig. 5 es una imagen de microscopio electrónico que muestra una sección transversal tomada en la parte de la superficie del pistón según el Ejemplo después de someterla a un calentamiento durante 100 horas a 350 °C;

La Fig. 6 es un gráfico que muestra los cambios en la dureza de los pistones según el Ejemplo y el Ejemplo comparativo 5 antes y después del calentamiento (100 horas a 350 °C); y

Las Figuras 7 son gráficos que muestran los resultados del análisis de componentes (incluyendo la concentración de oxígeno) en los Ejemplos comparativos, donde la Fig. 7A muestra los resultados de los análisis del Ejemplo comparativo 1, la Fig. 7B muestra los resultados de los análisis del Ejemplo comparativo 2 y la Fig. 7C muestra los resultados de los análisis del Ejemplo comparativo 4.

#### Mejor modo de realización de la invención

[0030] A continuación, se describe una forma de realización de la presente invención.

#### Método para el tratamiento de superficie

Objeto que va a ser tratado (pistón para motor de combustión interna)

[0031] Un pistón usado como objeto por tratar en la presente invención no es particularmente limitado, siempre y cuando sea para un motor de combustión interna, y puede ser para un motor de gasolina, para un motor diesel o para cualquier otro motor.

[0032] El material del pistón usado como objeto por tratar es una aleación a base de aluminio-silicio o un material constituido por, por ejemplo, una aleación de cobre-aluminio como A2618 o similares, y el pistón como objeto por tratar se obtiene mediante fundición y forja.

[0033] Con el pistón anteriormente mencionado, aunque se puede utilizar toda la superficie del mismo como objeto por tratar, no se requiere usar necesariamente toda la superficie del pistón como objeto por tratar y es posible aplicar el tratamiento del método según la presente invención a una parte de la superficie del pistón.

5

[0034] Nótese que, en el caso en el que el tratamiento según el método de la presente invención se aplica a una parte de la superficie del pistón, es preferible que el tratamiento de superficie según el método de la presente invención se aplique a una o a una pluralidad de las siguientes partes.

- 10
- Una parte en la que se ha generado un defecto como una junta fría en una superficie durante la fundición.
  - Una parte en la que se requiere fuerza debido a la alta tensión.
  - Una parte en la que se requiere una reducción del peso.
  - Una superficie en la que se expone una superficie de fundición en un producto fabricado.
  - Una parte en la que se requiere resistencia a la abrasión y al calor.

15

Partículas por expulsar

[0035] Las partículas por expulsar están hechas de una aleación a base de hierro y tienen un diámetro de 20  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ , una conductibilidad térmica de 30 W/(m·K) o menos a una temperatura de 25 °C y una densidad relativa de 7,5 g/cm<sup>3</sup> o más.

20

[0036] En este caso, como se describirá más adelante, para generar óxidos de límite de grano constituidos por óxidos de una aleación a base de aluminio-hierro en límites de grano finos de aluminio de grano fino y/o de aleación a base de aluminio en la proximidad de una superficie del pistón, es necesario hacer que el componente de hierro (Fe) de las partículas por expulsar se difunda y penetre y que además genere el calor requerido para la oxidación y, por tanto, es necesario hacer que las partículas por expulsar choquen con la superficie del pistón con una energía alta.

25

[0037] El diámetro, la conductibilidad térmica y la densidad relativa de las partículas por expulsar anteriormente mencionadas son condiciones necesarias para obtener la energía de choque y la generación de calor previamente mencionadas. Cuando el diámetro de las partículas por expulsar es inferior a 20  $\mu\text{m}$ , resulta imposible obtener la energía de choque aunque se usen las partículas por expulsar que se encuentran comprendidas dentro del rango de densidad relativa anteriormente descrito. Por otro lado, si el diámetro de las partículas por expulsar excede 200  $\mu\text{m}$ , aunque la energía de choque general aumente, la energía se dispersa porque el área de choque es mayor y, por consiguiente, resulta imposible hacer que los componentes de las partículas por expulsar se difundan y penetren en la superficie del pistón y, asimismo, resulta imposible obtener un aumento de temperatura necesario porque no se produce una generación de calor localizada.

30

35

[0038] Por añadidura, al usar partículas por expulsar hechas de un material con una conductibilidad térmica relativamente baja, es decir, una conductibilidad térmica de 30 W/(m·K) o menos a una temperatura de 25 °C, el calor generado durante el choque se concentra localmente, permitiendo así que se genere calor a un nivel requerido para generar óxidos de límite de grano.

40

[0039] Los ejemplos de metales a base de hierro que tengan la conductibilidad térmica y la densidad relativa anteriormente descritos incluyen el acero de corte rápido y el acero inoxidable.

45

Condiciones para la expulsión

[0040] Las partículas por expulsar descritas anteriormente se expulsan en la superficie del pistón anteriormente mencionado usado como objeto por tratar en dos etapas, es decir, una primera expulsión en la que se establece un valor de altura de arco de 0,07 mm (N) a 0,13 mm (N) y una segunda expulsión en la que se establece un valor de altura de arco de 0,13 mm (N) a 0,22 mm (N).

50

[0041] La razón por la que las partículas por expulsar se expulsan en dos etapas usando valores de altura de arco diferentes es que, debido a que el estado de la superficie exterior de los pistones es variable en los pistones fabricados mediante fundición y forja a causa de los óxidos, sopladuras, pliegues o similares que se originan durante la fabricación, es posible formar una capa de superficie modificada uniforme en una superficie del pistón procesada si se logra uniformidad en una parte de la superficie exterior del pistón en la primera etapa de expulsión en la que el valor de altura de arco se establece relativamente bajo y, posteriormente, se hace que las partículas por expulsar choquen en la segunda etapa de expulsión en la que se aumenta el valor de altura de arco.

55

60

[0042] Si se lleva a cabo la expulsión de las partículas por expulsar como se ha descrito anteriormente, es preferible que la expulsión se realice de forma que se consiga una cobertura total (el porcentaje del área de la superficie del pistón cubierta por abolladuras) del 200 al 500 % entre las dos etapas de expulsión, es decir, la

65

primera etapa de expulsión y la segunda etapa de expulsión y es todavía más preferible que, como en el caso de los valores de altura de arco, la cobertura en la primera etapa de expulsión se establezca más baja que la cobertura en la segunda etapa de expulsión.

5 [0043] Los rangos de cobertura adecuados en las respectivas etapas son del 100 % al 200 % para la cobertura en la primera etapa de expulsión y del 100 % al 300 % para la cobertura en la segunda etapa de expulsión.

[0044] Como equipo para expulsar las partículas por expulsar como se ha descrito anteriormente, se pueden utilizar varios tipos de equipos de granallado o de granallado de compresión conocidos y, como equipo para  
10 expulsar, se puede utilizar una unidad que se sirva de un método de presión directa, un método de succión o cualquier otro método de expulsión.

[0045] Con el choque de las partículas por expulsar en la superficie del pistón, con el objetivo de generar óxidos de límite de grano mediante la oxidación de la aleación a base de aluminio-silicio y la aleación a base de hierro como se ha descrito anteriormente, se hace que las partículas por expulsar choquen con la superficie en un espacio en el que hay oxígeno, por ejemplo en el aire y, por lo tanto, es preferible que se use aire comprimido también como fluido de aceleración para la expulsión.  
15

#### Tratamiento térmico

20 [0046] Cuando se complete la expulsión en dos etapas de las partículas por expulsar como se ha descrito anteriormente, el pistón, como objeto por tratar, se calienta en la atmósfera durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C.

25 [0047] La generación de calor provocada por el choque de las partículas por expulsar es una generación localizada porque ocurre en las zonas en las que partículas por expulsar diminutas han chocado con la superficie del pistón, y no se producen óxidos estables porque la generación de calor y el enfriamiento se repiten rápidamente en un periodo de tiempo corto debido al choque de las partículas por expulsar, lo que resulta en una forma oxidada incompleta con una estructura con un déficit de oxígeno en la que la cantidad de oxígeno que  
30 enlaza con los óxidos estables es baja y, por tanto, la estructura con déficit de oxígeno tiende a ser más predominante, especialmente desde la superficie hacia dentro (ver Párrafo [0120] del Documento de patente 2).

[0048] Por esta razón, después de finalizar la expulsión de las partículas por expulsar anteriormente descrita, se lleva a cabo un calentamiento en la atmósfera para facilitar la oxidación de la aleación a base de aluminio-hierro y, de esta forma, se obtienen óxidos estables.  
35

[0049] Nótese que se forman granos de cristal gruesos y las dimensiones del producto cambian cuando se lleva a cabo un calentamiento a alta temperatura antes de que se formen óxidos de límite de grano en un estado oxidado estable. Por otro lado, no se puede promover la oxidación cuando la temperatura esté demasiado baja o el tiempo de calentamiento sea demasiado corto, por consiguiente, el tratamiento térmico se realiza durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C.  
40

#### Funciones

45 [0050] Cuando las partículas metálicas hechas de una aleación a base de hierro y con un diámetro de 20 μm a 200 μm, una conductibilidad térmica de 30 W/(m·K) o menos a una temperatura de 25 °C y una densidad relativa de 7,5 g/cm<sup>3</sup> o más se expulsaron en dos etapas de modo que el valor de altura de arco alcanzase los valores anteriormente mencionados y, cuando posteriormente se llevó a cabo el tratamiento térmico durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C, tal y como se ha descrito anteriormente, se formó en la superficie  
50 del pistón hecho de la aleación a base de aluminio-silicio la capa de superficie modificada provista de los óxidos de límite de grano constituidos por óxidos de la aleación a base de aluminio-hierro en los límites de grano del aluminio de grano fino y/o de la aleación a base de aluminio.

[0051] Al llevar a cabo la realización de la modificación de superficie mediante el método según la presente invención, con el pistón hecho de aleación a base de aluminio-silicio después de que se le aplique el tratamiento de modificación de superficie, se observaron excelentes propiedades de altas temperaturas en las que no se producía disminución de la dureza incluso después de calentar durante 100 horas a una temperatura de 350 °C, que excede la temperatura a la que se realiza el tratamiento de endurecimiento por precipitación de la aleación a base de aluminio-silicio, es decir, de 200 °C a 250 °C.  
55

[0052] Aunque la razón por la que la dureza superficial del pistón no disminuye incluso cuando se encuentra en condiciones de altas temperaturas, como se ha descrito anteriormente, no está necesariamente clara, con la capa de superficie modificada formada en la superficie del pistón al que se ha aplicado el tratamiento de modificación de superficie usando el método según la presente invención, es posible ya que se evitó el engrosamiento de los granos de cristal en la capa de superficie modificada gracias a la presencia de los óxidos  
60  
65

de límite de grano anteriormente mencionados en los límites de grano de aluminio y/o aleación a base de aluminio, incluso cuando se aplicó un calentamiento a una temperatura relativamente alta, es decir, de 350 °C.

5 [0053] Concretamente, los óxidos metálicos se encuentran en un estado estable en comparación con un metal no oxidado, y un metal oxidado tiene una mayor dureza y un mayor punto de fusión en comparación con un metal no oxidado.

10 [0054] Por esta razón, es posible que, al formar los óxidos de límite de grano constituidos por los óxidos de la aleación a base de aluminio-hierro, que son sustancias estables en los límites de grano de aluminio en los que se ha formado previamente una estructura microcristalina, aunque el engrosamiento de los granos de cristal de aluminio se facilite con el calentamiento, se previene dicho engrosamiento mediante la presencia de los óxidos de límite de grano estables, como resultado de lo cual la capa de superficie modificada retiene la estructura microcristalina incluso después del calentamiento.

15 [0055] En consecuencia, con el pistón al que se ha aplicado el tratamiento de modificación de superficie según el método según la presente invención, no disminuye la dureza incluso cuando se usa en condiciones de altas temperaturas.

### 20 **Ejemplos**

[0056] A continuación, se describirán ejemplos experimentales relacionados con el tratamiento de modificación de superficie utilizando el método según la presente invención.

25 (1) Prueba para confirmar las condiciones de la modificación de superficie

30 [0057] Con pistones para un automóvil de motor de gasolina hecho de una aleación a base de aluminio-silicio (AC8A) y a la que se ha aplicado el tratamiento de endurecimiento por precipitación, se llevó a cabo un tratamiento de superficie en una parte del borde de los pistones bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1 más abajo y después se observaron también las estructuras de los pistones tratados en la proximidad de su superficie; asimismo, se verificaron los cambios en la dureza de la superficie del pistón después de un calentamiento durante 100 horas a una temperatura de 350 °C en la atmósfera. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1  
Condiciones de tratamiento durante la modificación de superficie

Condiciones del tratamiento Partícula por ser expulsar	Ejemplo		Ejemplos comparativos				
	1	2	3	4	5		
Material	Acero de corte rápido	Arrabio	Acero cromado (10 Cr)	Acero de corte rápido	Acero de corte rápido	Acero de corte rápido	Sin tratar
Diámetro (µm)	50	50	50	50	50	50	
Conductividad térmica [W/m·k (25 °C)]	23,8	48	31	23,8	23,8	23,8	
Densidad relativa (g/cm³)	8,07	7,28	7,79	8,07	8,07	8,07	
Condiciones durante la expulsión	Primera expulsión	Altura de arco [mm (N)]	0,10	0,10	0,30	0,10	
		Cobertura (%)	100	100	300	100	
Segunda expulsión	Segunda expulsión	Altura de arco [mm (N)]	0,20	0,20	---	0,20	
		Cobertura (%)	200	200	---	200	
Condiciones durante el calentamiento	Espacio calentamiento de	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	No realizado
		Temperatura (°C)	180	180	180	180	
	de	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	de	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	calentamiento (hr)						

Tabla 2  
Confirmación de los resultados de la capa de superficie modificada y la prueba de calentamiento

Ejemplo		Ejemplo comparativo				
		1	2	3	4	5
Capa de superficie modificada	Óxidos de límite de grano presentes en los límites de grano	Se confirmó la presencia de óxidos de límite de grano pero la concentración de oxígeno en esas partes era baja (Figs. 7A y 7B)		Presencia de óxidos de límite de grano, pero quedaban sopladuras y pliegues y la distribución de los granos no era uniforme	Se confirmó la presencia de óxidos de límite de grano pero la concentración de oxígeno en esta parte era baja (Fig. 7C)	Sin tratar
Resultados de la prueba de calentamiento	Se mantuvo la dureza original	Se confirmó una disminución considerable de la dureza	Se confirmó una disminución de la dureza	Sin disminución de la dureza	No se obtuvo un rendimiento estable en la fase inicial	Se confirmó una disminución considerable de la dureza
Evaluación	Bueno	Pobre	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Pobre

5 [0058] De los pistones a los que se aplicó el tratamiento de modificación de superficie en las condiciones de tratamiento anteriormente descritas, la Fig. 1 muestra una imagen de microscopio electrónico de una sección transversal tomada a una parte de la superficie del pistón a la que se había aplicado el tratamiento de modificación de superficie en las condiciones descritas para el Ejemplo, y la Fig. 2 muestra una imagen aumentada de una parte de la capa de superficie modificada.

10 [0059] Además, la Fig. 3A y la Fig. 3B respectivamente muestran resultados del análisis de componentes para las partes indicadas como "Análisis 1" y "Análisis 2" en la imagen de microscopio electrónico (imagen aumentada) mostrada en la Fig. 2, y la Fig. 4 presenta un diagrama que muestra esquemáticamente una distribución de los óxidos de límite de grano conforme a los resultados del análisis de componentes.

15 [0060] Como evidencia la Fig. 1, con el pistón al que se había aplicado el tratamiento de modificación de superficie usando el método según la presente invención (Ejemplo) se confirmó la formación de la capa de superficie modificada con estructura cristalina fino en una región de la superficie exterior a una profundidad de aproximadamente 30 µm.

20 [0061] Con respecto a las estructuras de las partes individuales en la capa de superficie modificada, el componente de aluminio fue prácticamente el único componente confirmado en la parte indicada como "Análisis 2" en la Fig. 2. Por otro lado, además del aluminio (Al), se confirmó la presencia de hierro (Fe) y una cantidad relativamente alta de oxígeno (O) en la parte indicada como "Análisis 1", que está presente entre los granos de cristal de la parte en la que se detectó el componente de aluminio y otros granos de cristal, y se confirmó que esta parte se formó a partir de óxidos de una aleación a base de aluminio-hierro.

25 [0062] En la Fig. 4, las partes en las que están presentes los óxidos de aleación a base de aluminio-hierro se indican mediante el sombreado de acuerdo con los resultados de este análisis de componentes, y resulta evidente que estos óxidos (designados como "óxidos de límite de grano" en la presente invención) están presentes en una región relativamente amplia en las partes en las que los límites de grano de la aleación de aluminio y/o a base de aluminio se dan en la capa de superficie modificada.

30 [0063] De esta forma, en la capa de superficie modificada que tiene la estructura en la que los óxidos con límite de grano, que son los óxidos de la aleación a base de aluminio-hierro, están presentes en los límites de grano de la aleación aluminio y/o a base de aluminio como se ha descrito anteriormente, no se observó una disminución de la dureza superficial incluso en el caso en el que el tratamiento térmico se realizó durante 100 horas a 350 °C después de llevar a cabo el tratamiento de modificación de superficie (Fig. 6).

35 [0064] En cambio, con el pistón al que se había aplicado el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación sin tratamientos adicionales (Ejemplo comparativo 5), la dureza del pistón disminuyó considerablemente cuando se sometió a calor durante 100 horas a 350 °C (ver Fig. 6).

40 [0065] Además, en el caso del Ejemplo comparativo 1, donde se usaron partículas por expulsar con una conductibilidad térmica de 48 (W/m·K), que era superior al rango de la presente invención, y una densidad relativa de 7,28 (g/cm<sup>3</sup>) que era inferior al rango de la presente invención, aunque era posible confirmar la

formación de la capa de superficie modificada y la presencia de óxidos de límite de grano, la distribución de los óxidos de límite de grano fue menor en comparación con el caso del Ejemplo, y la concentración de oxígeno que se detectó en los óxidos de límite de grano fue inferior a la del caso del Ejemplo (Fig. 7A).

5 [0066] Asimismo, en el Ejemplo comparativo 2, donde la conductibilidad térmica de las partículas por expulsar era de 31 W/m·K, lo que excedía ligeramente el rango predeterminado de la presente invención, aunque se confirmó la presencia de óxidos de límite de grano en la capa de superficie modificada, la concentración de oxígeno en los óxidos de límite de grano fue ligeramente inferior al caso del Ejemplo (Fig. 7B) y se confirmó una ligera disminución de la dureza superficial después del calentamiento durante 100 horas a 350 °C.

10 [0067] Por añadidura, incluso en el caso en el que se usaron partículas por expulsar conformes a las condiciones de la presente invención, en el Ejemplo comparativo 4, en el que se omitió el tratamiento térmico después de expulsar las partículas por expulsar, aunque se confirmó la presencia de óxidos de límite de grano, la concentración de oxígeno fue inferior a la de los Ejemplos comparativos 1 y 2, y el rendimiento en la fase inicial del experimento fue ligeramente inferior (Fig. 7C). Sin embargo, después de calentar durante 100 horas a 350 °C, los resultados fueron casi idénticos a los del caso en el que no se había omitido el tratamiento térmico.

15 [0068] La razón por la que se lleva a cabo el tratamiento térmico es prevenir deterioro debido a las influencias críticas en la fuerza, resistencia a la abrasión o similares en la superficie exterior, porque en la fase inicial de funcionamiento del motor no se consigue un rendimiento satisfactorio.

20 [0069] Nótese que, en el Ejemplo comparativo 3, aunque tanto las partículas por expulsar como las condiciones de calentamiento satisfacen las condiciones predeterminadas de la presente invención, las partículas por expulsar se expulsan en una etapa sin que se divida el proceso en dos etapas, los óxidos de límite de grano se formaron en la capa de superficie modificada, la concentración de oxígeno de los óxidos de límite de grano formados también equivalía a la del Ejemplo y además, no se confirmó una clara disminución de la dureza incluso después de un calentamiento durante 100 horas a 350 °C.

25 [0070] Sin embargo, en el pistón al que se aplicó el tratamiento de modificación de superficie usando el método según el Ejemplo comparativo 3 no se eliminaron completamente las sopladuras y los pliegues generados durante la fundición y la forja y permanecieron en la superficie incluso después del tratamiento de modificación de superficie y, por tanto, existe un riesgo de fragilización en la entalladura provocado por dichas sopladuras y pliegues.

30 [0071] Nótese que la Fig. 5 es una imagen de microscopio electrónico que muestra una sección transversal tomada en proximidad de la superficie después de que el pistón, al que se había aplicado el tratamiento de modificación de superficie en las condiciones según el Ejemplo, fuera calentado durante 100 horas a 350 °C.

35 [0072] Como evidencia la Fig. 5, en la capa de superficie modificada formada en la región de la superficie exterior a 30 µm (aproximadamente 10 µm en la Fig. 5), la estructura microcristalina se retuvo incluso después del calentamiento.

40 [0073] Por otro lado, en las partes por debajo de la capa de superficie modificada y más cercanas al material de base, resulta evidente que los granos de cristal son más gruesos si se comparan con los del pistón antes de haber sido calentado durante 100 horas a 350 °C (ver Fig. 1) y, está claro que, en una estructura en la que el granulado fino únicamente se ha llevado a cabo mediante el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación y no se han generado los óxidos de límite de grano en los límites de grano, cuando se calienta durante 100 horas a 350 °C, se produce un engrosamiento de los granos de cristal.

45 [0074] De los resultados anteriores se puede concluir que la presencia de los óxidos de límite de grano presentes en la capa de superficie modificada previene el engrosamiento de los granos de cristal en el pistón sometido a condiciones de altas temperaturas y retiene la estructura microcristalina, evitando así la disminución de la dureza.

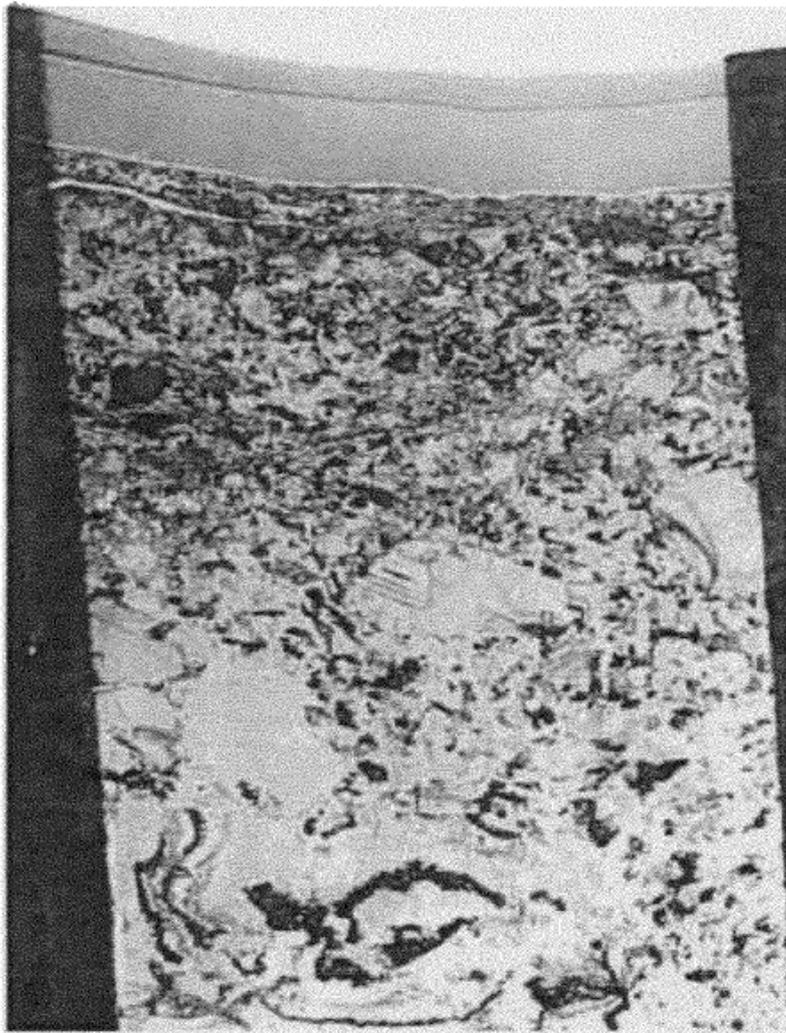
50 [0075] Asimismo, la concentración de oxígeno de dichos óxidos de límite de grano es alta y, por lo tanto, se entiende que la capacidad de prevenir la disminución de la dureza después de la exposición a condiciones de altas temperaturas se incrementa con un aumento de la estabilidad del estado oxidado.

55 [0076] De este modo, al obtener los óxidos de límite de grano en tal estado de oxidación estable, se confirmó que resulta eficaz expulsar las partículas por expulsar mediante las dos etapas de expulsión usando partículas por expulsar que se encuentren dentro de los rangos valor definidos por la presente invención, y también llevar a cabo un tratamiento térmico durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C después de expulsar las partículas por expulsar.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para modificar una superficie de un pistón para un motor de combustión interna usando una granalla hecha de una aleación a base de hierro como partícula por expulsar con un diámetro de 20  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ , una conductibilidad térmica de 30 W/m·k o menos a una temperatura de 25 °C y una densidad relativa de 7,5 g/cm<sup>3</sup> o más, que incluye:
- 10 un primer tratamiento de expulsión para expulsar la partícula por expulsar sobre una superficie de un pistón en un espacio en el que hay oxígeno en condiciones en las que se establece un valor de altura de arco en un rango de 0,07 mm (N) a 0,13 mm (N), y donde el pistón está hecho de una aleación de aluminio-silicio o una aleación a base de aluminio-cobre y se obtiene mediante fundición y forja;
- 15 un segundo tratamiento de expulsión para expulsar la partícula que se va expulsar sobre la superficie del pistón al que se ha aplicado el primer tratamiento de expulsión en un espacio en el que hay oxígeno y en condiciones en las que se establece un valor de altura de arco dentro de un rango de 0,13 mm (N) a 0,22 mm (N); y
- un tratamiento térmico aplicado posteriormente al pistón durante 1,5 horas o más a una temperatura de 170 °C a 190 °C en un espacio en el que hay oxígeno.
- 20 2. Método para modificar la superficie del pistón para el motor de combustión interna según la Reivindicación 1, donde la partícula se expulsa de forma que una cobertura total en el primer tratamiento de expulsión y el segundo tratamiento de expulsión es del 200 % al 500 %.
- 25 3. Método para modificar la superficie del pistón para el motor de combustión interna según la Reivindicación 2, donde el primer tratamiento de expulsión se lleva a cabo de forma que una cobertura se encuentre dentro de un rango del 100 % al 200%, y el segundo tratamiento de expulsión se lleva a cabo de forma que una cobertura se encuentre dentro de un rango del 100 % al 300 %.
- 30 4. Método para modificar la superficie del pistón para el motor de combustión interna según cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 3, donde la partícula por expulsar está hecha de acero de corte rápido o acero inoxidable.
- 35 5. Pistón para un motor de combustión interna, donde la superficie del pistón se ha modificado mediante un método según una de las reivindicaciones 1 a 4, que incluye:  
una capa de superficie modificada que contiene un óxido de límite de grano constituido por un óxido estable de una aleación a base de aluminio-hierro en límites de grano de aluminio de grano fino y/o aleación a base de aluminio y donde la capa de superficie modificada se ha formado dentro de un rango de 3  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  de profundidad a partir de una superficie exterior en una parte de la superficie modificada de un pistón para un motor de combustión interna hecho de una aleación de aluminio-silicio o una aleación a base de aluminio-cobre.

FIG. 1

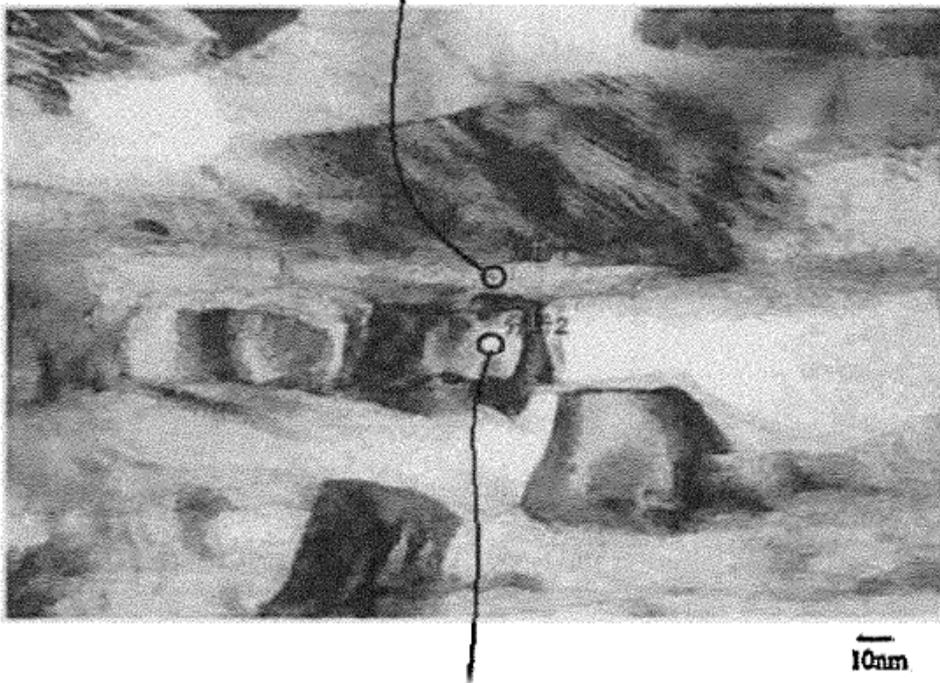


Capa de  
superfície  
modificada

500nm

# FIG. 2

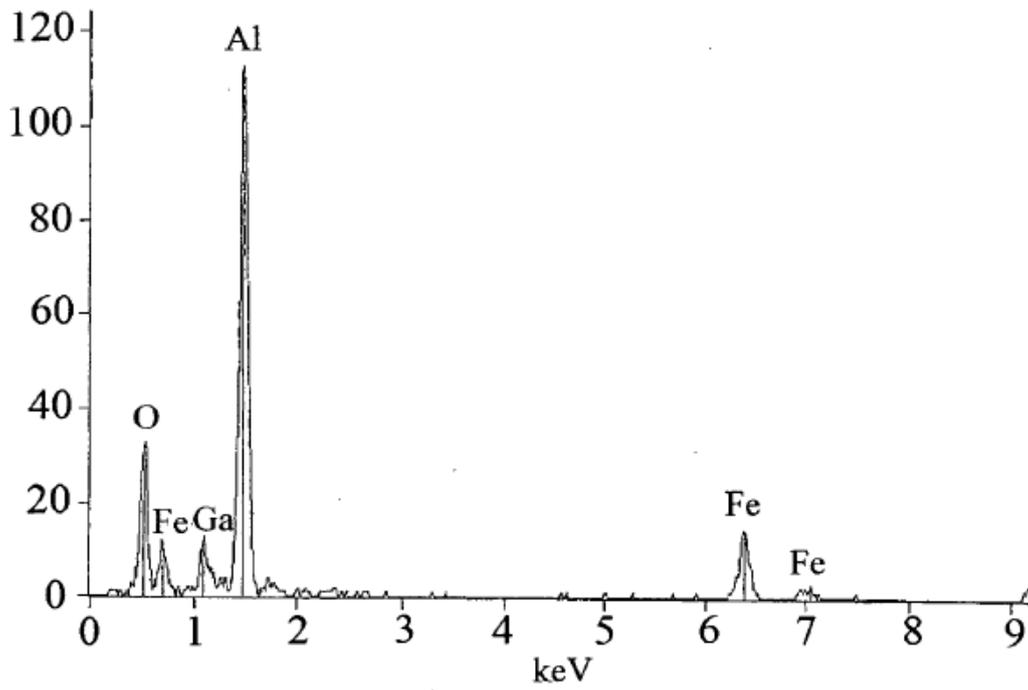
Análisis 1



Análisis 2

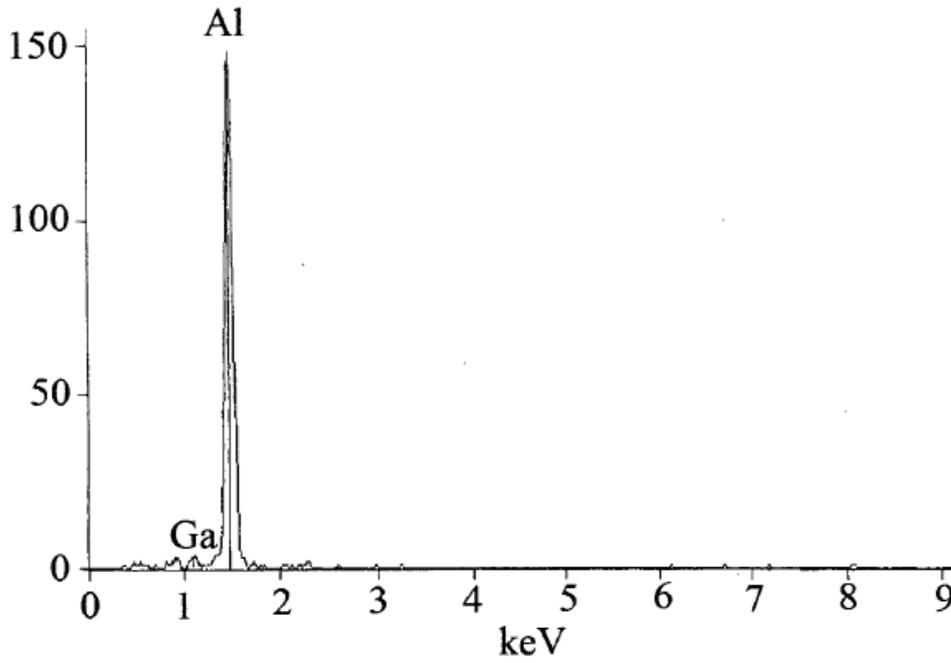
# FIG. 3A

Recuento a escala completa 113



# FIG. 3B

Recuento a escala completa: 148



# FIG. 4

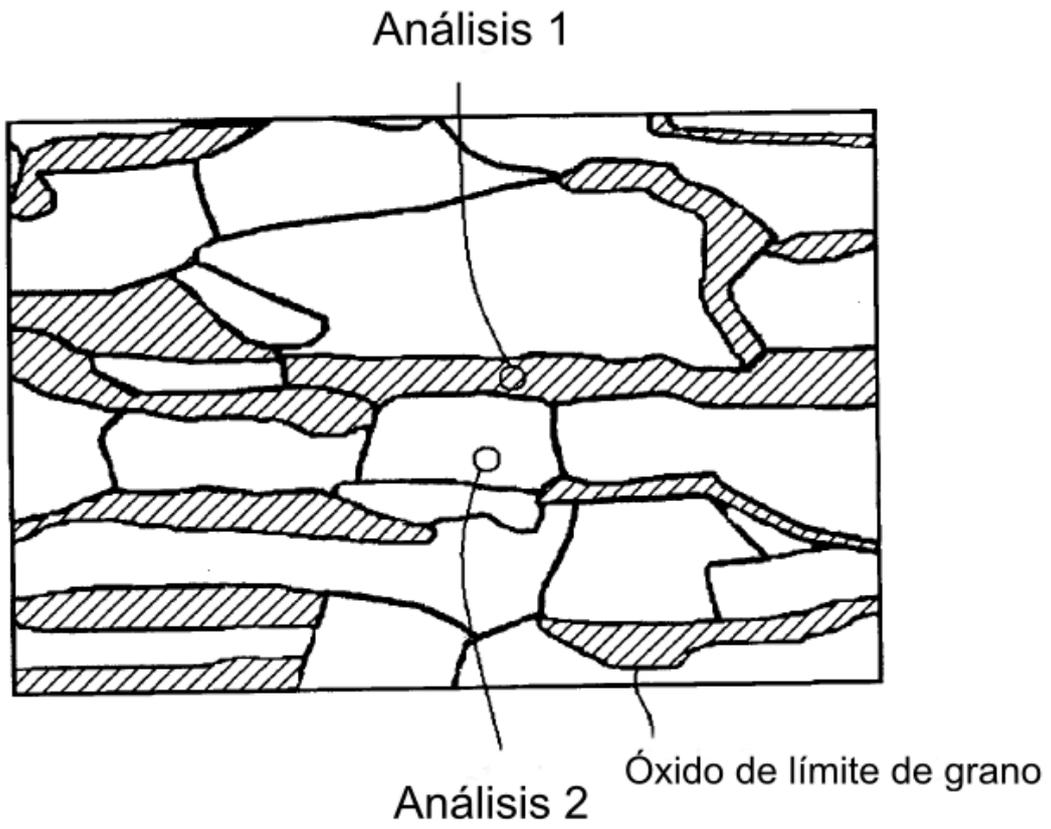


FIG. 5

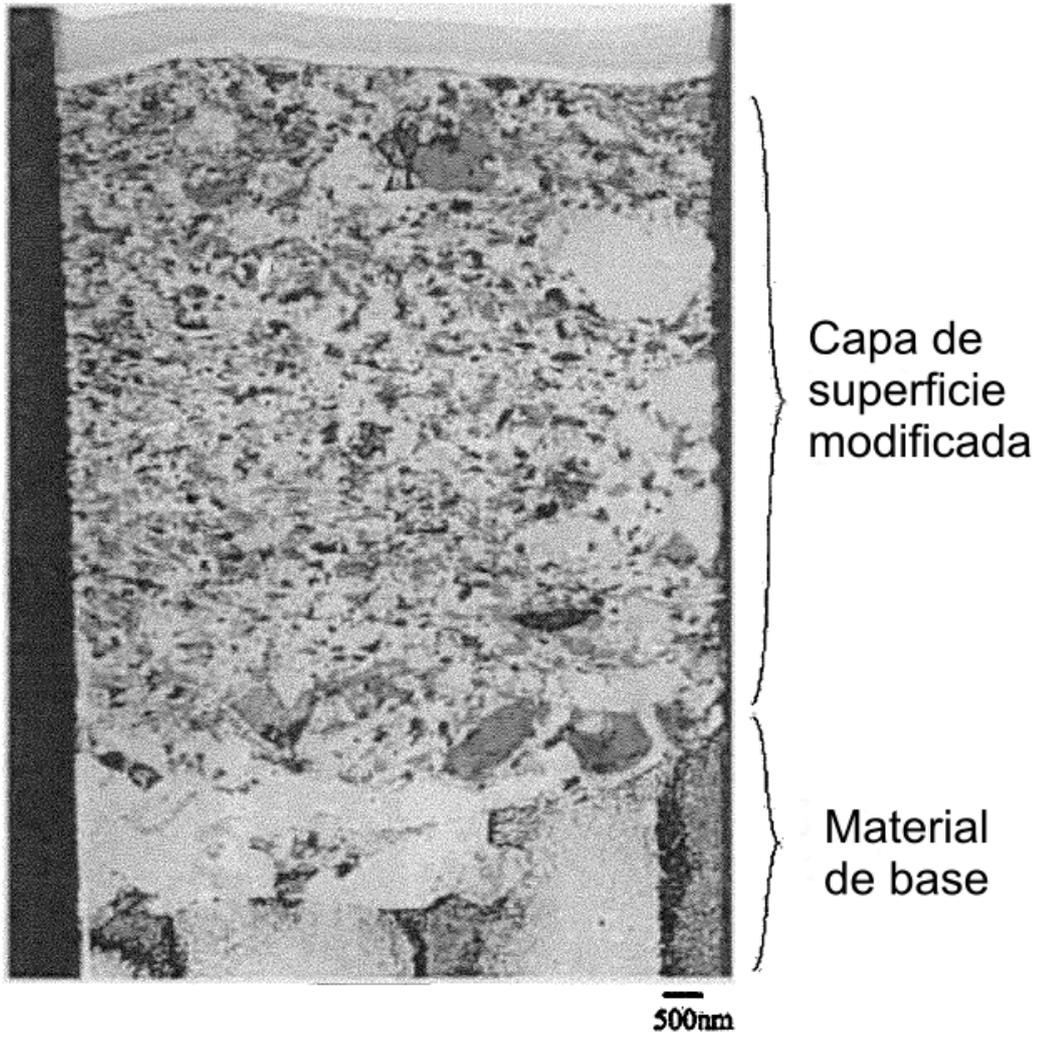
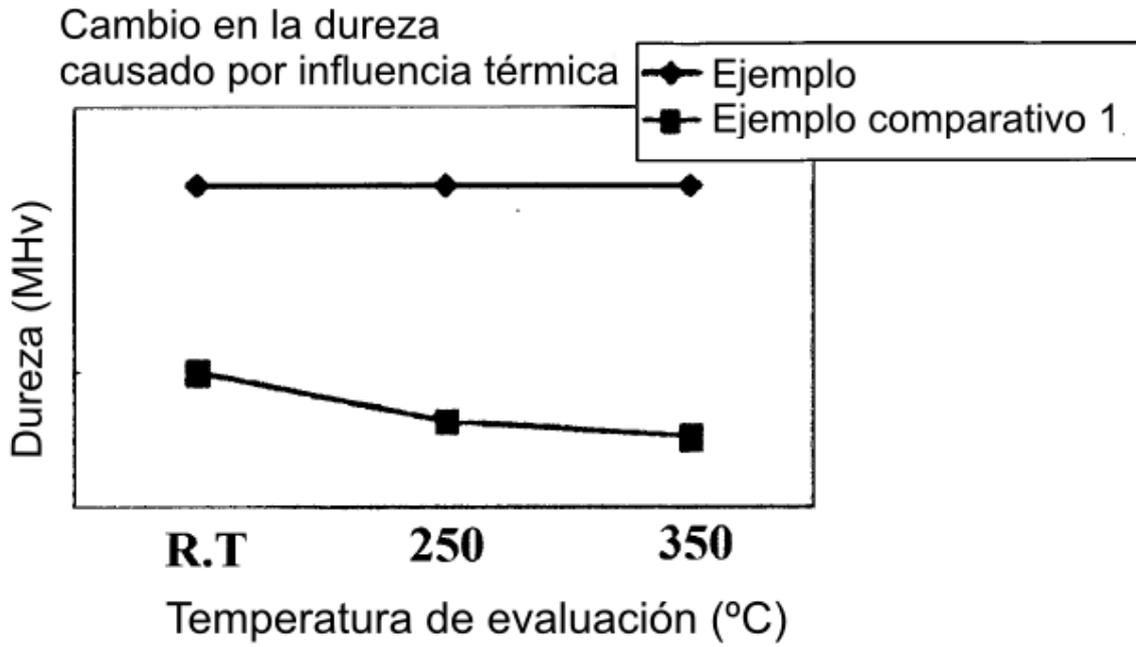


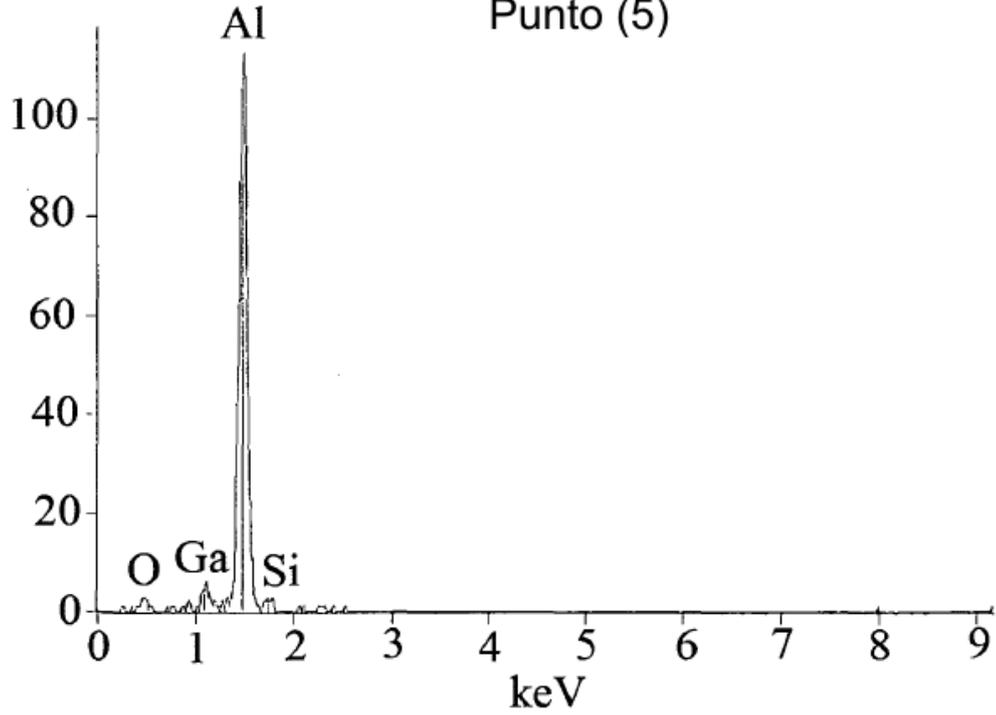
FIG. 6



# FIG. 7A

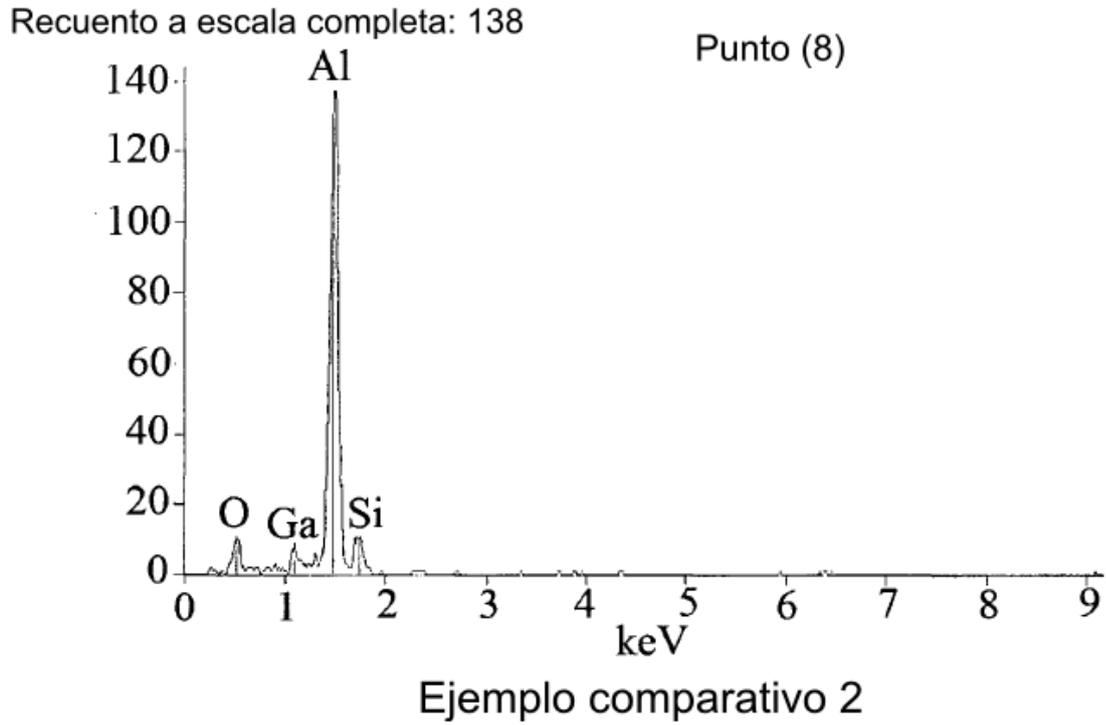
Recuento a escala completa: 114

Punto (5)



Ejemplo comparativo 1

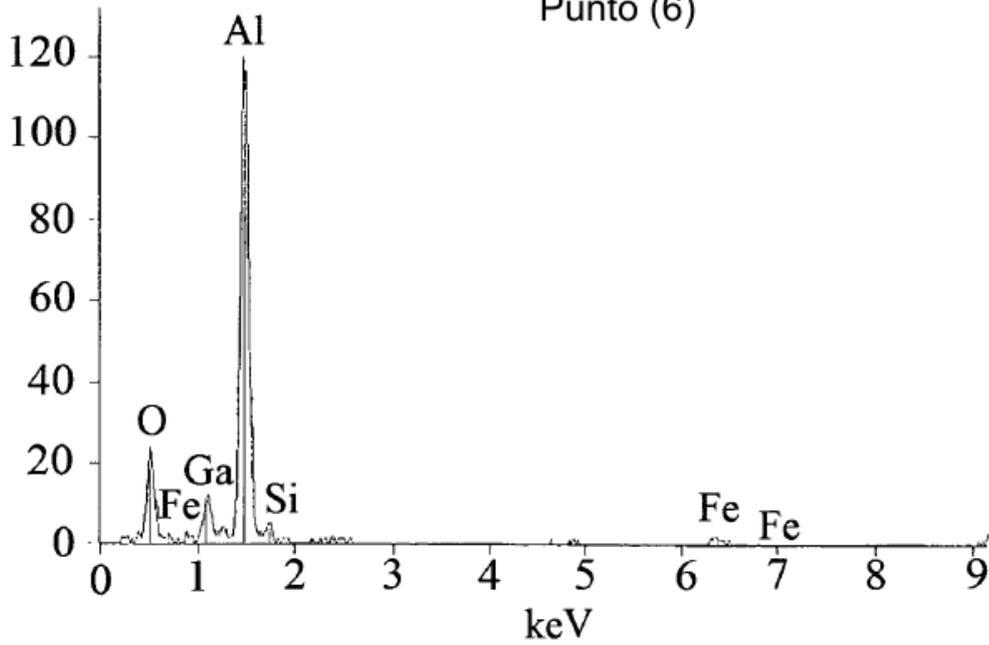
# FIG. 7B



# FIG. 7C

Recuento a escala completa: 120

Punto (6)



Ejemplo comparativo 4