

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 538**

51 Int. Cl.:

**C23C 28/04** (2006.01)

**C23C 14/00** (2006.01)

**C23C 14/02** (2006.01)

**C23C 14/06** (2006.01)

**C23C 28/00** (2006.01)

**F02F 3/00** (2006.01)

**F02F 3/10** (2006.01)

**F02F 3/12** (2006.01)

**F02F 3/14** (2006.01)

**B23P 15/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2014** **E 14184947 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018** **EP 2862958**

54 Título: **Pistón de acero para un motor de combustión interna y procedimiento para su producción**

30 Prioridad:

**17.10.2013 DE 102013221102**

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

**04.12.2018**

73 Titular/es:

**OERLIKON SURFACE SOLUTIONS AG,  
PFÄFFIKON (100.0%)  
Churerstrasse 120  
8808 Pfäffikon SZ, CH**

72 Inventor/es:

**DR. LEHNERT, MONIKA;  
DR. ROSE, REINHARD;  
RAMM, JÜRGEN y  
WIDRIG, BENO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 692 538 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

Pistón de acero para un motor de combustión interna y procedimiento para su producción

5 La presente invención se refiere a un pistón de acero para un motor de combustión interna, en particular un pistón de acero para un motor de combustión interna que presenta una cabeza del pistón y una capa protectora aplicada sobre la cabeza del pistón. Además, la invención se refiere a un procedimiento para producir un tal pistón de acero.

10 En el caso de pistones de acero para un motor de combustión interna, en particular para motores diésel, surge el problema de que la nube de combustible ardiente que se inflama tras la inyección genera una cantidad de calor muy grande. La concavidad de la cámara de combustión, que está configurada en la cabeza del pistón de acero, está sujeta con ello, típicamente en áreas próximas a y/o sobre el borde superior de la concavidad de la cámara de combustión, es decir, en el área límite a modo de labio entre la concavidad de la cámara de combustión y el borde superior plano de la concavidad de la cabeza del pistón, es decir, el borde cóncavo, a una fuerte oxidación. En esta oxidación, el hierro en el acero se oxida hasta formar  $Fe_2O_3$  y los óxidos resultantes no presentan ninguna adhesión al material de acero no oxidado, que se encuentra debajo, del pistón.

20 Por procesos mecánicos de expansión/contracción, la capa oxidada formada finalmente se desprende, formándose denominadas entallas de batidura. Por este proceso, las áreas erosionadas con ello se vuelven tan grandes con el transcurso del tiempo que son visibles a simple vista. Por la extensión adicional de estas entallas de batidura hasta el material base del pistón de acero, pueden aparecer finalmente grietas en el borde cóncavo que, en casos extremos, pueden dar como resultado una destrucción del pistón. Aparte de eso, a causa de las entallas de batidura, surge el problema de que, por la modificación correspondiente del diseño del borde cóncavo, se originan perturbaciones en el proceso de combustión y, con ello, se deteriora el comportamiento de los gases de escape del motor.

30 En cuanto al problema descrito anteriormente, por ejemplo, por el documento US 7.458.358 B2 se conoce un procedimiento en el que sobre la cabeza del pistón de un pistón para un motor de combustión interna se aplica un material de recubrimiento que presenta una microestructura y una porosidad, irradiándose el recubrimiento con un rayo láser de alta energía para aumentar la densidad del recubrimiento, mientras que simultáneamente se transforma la microestructura y se genera una unión de material entre el recubrimiento y la superficie de la cabeza del pistón, y se enmascara una parte del recubrimiento para evitar una irradiación con el rayo láser.

35 Por el documento EP 1 217 095 A1 se conoce un recubrimiento protector para un componente sometido a una carga térmica, en particular un componente de turbina, para protegerlo frente a la corrosión y/o la oxidación y/o la erosión, presentando el recubrimiento protector un recubrimiento de sellado de una o varias capas de un material amorfo.

40 Aparte de eso, por el documento DE 197 41 800 A1 se conoce un sistema de capas para el recubrimiento de sustratos metálicos propensos a la corrosión con al menos una capa intermedia y al menos una capa funcional, siendo la capa funcional un nitruro, carbonitruro y/u oxinitruro de al menos uno de los metales de los subgrupos IV a VI del sistema periódico, y estando estructurada la capa intermedia de uno o varios óxido(s) metálico(s). Por la patente GB 629 235 A se conoce un cromado duro de cabezas de pistones de acero para motores diésel. La capa de cromo es porosa y resistente a la corrosión y al desgaste.

45 Sin embargo, con los recubrimientos y procedimientos del estado de la técnica, no puede evitarse de manera completamente satisfactoria la formación de entallas de batidura mencionadas anteriormente y, con ello, el daño concomitante del pistón.

50 Por este motivo, la presente invención se ocupa del problema de seguir mejorando un pistón de acero de un motor de combustión interna en cuanto al problema mencionado anteriormente.

De acuerdo con la invención, este problema se resuelve por los objetos de las reivindicaciones independientes. Formas de realización ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

55 La presente invención se basa en la idea general de colocar sobre la cabeza del pistón de un pistón de acero una capa protectora que contiene una capa adhesiva y una capa funcional aplicada encima, conteniendo la capa funcional una pluralidad de capas específicas de nitruros, óxidos u oxinitruros metálicos. La invención está definida en las reivindicaciones 1, 3 y 12. Formas de realización preferentes están reivindicadas en las reivindicaciones 2, 4 a 11 y 13. De acuerdo con la invención, la capa protectora a) contiene una capa adhesiva de Cr o CrN, que está presente sobre la superficie de la cabeza del pistón, y b) una capa funcional, que está presente sobre la capa adhesiva, presentando la capa funcional, dado el caso, una o varias capa(s) (A) de CrN así como una o varias capa(s) (B) de CrON en la forma de  $[(A)/(B)]_a$ , siendo  $a = 1$  a 100. En una alternativa, la como alternativa también puede presentar solo una capa de CrON, es decir,  $a = 1$  y (A) no está presente.

65 El sistema de capas de acuerdo con la invención evita oxidaciones de las cabezas del pistón en motores de combustión interna presentes. El sistema de capas tiene la ventaja económica y relativa a la técnica de procesos de

que para el recubrimiento únicamente se necesitan fuentes de evaporación que estén equipadas con blancos de Cr. Esto contribuye a un mayor rendimiento en el procedimiento de recubrimiento y, con ello, a menores costes de producción. En una forma de realización no de acuerdo con la invención, la capa funcional contiene, dado el caso, una o varias capa(s) (C) de AlCrO así como una o varias capa(s) (C') de AlCrO que se diferencian de (C) en la forma de  $[(C)/(C')]^a$ , siendo  $a = 1$  a 100. En una variación especial de esta forma de realización, la capa funcional también puede presentar solo una capa de AlCrO, es decir,  $a = 1$  y (C) no está presente.

El material de capa AlCrO que se usa de acuerdo con la forma de realización no de acuerdo con la invención puede producirse, como es sabido, como solución sólida en estructura de corindón, como está descrito en el documento WO 08/043606 A1, y presenta, adicionalmente al efecto como barrera de oxidación, aparte de eso, una mayor estabilidad térmica en comparación con el sistema de capas de CrON de acuerdo con la forma de realización de acuerdo con la invención. Esto se demuestra sobre todo en que la estructura cristalina de la capa de AlCrO no se modifica incluso a temperaturas de hasta 1000 °C, es decir, tampoco se produce ninguna modificación de densidad esencial y, por consiguiente, ninguna estabilidad mecánica de la capa. Por este motivo, el sistema de capas de acuerdo con la forma de realización no de acuerdo con la invención ofrece un enfoque de solución en caso de que las cabezas del pistón debieran exponerse en el futuro a temperaturas aún mayores de la cámara de combustión.

En cada forma de realización de los sistemas de capas, las transiciones entre la capa adhesiva y la capa funcional pueden diseñarse tanto abruptamente como de manera fluida con respecto al contenido de metal así como al contenido de nitrógeno y de oxígeno.

De acuerdo con la invención, se ha descubierto que con la combinación específica mencionada anteriormente de capas puede evitarse de manera eficaz una oxidación térmica y, con ello, una formación de entallas de batidura. Esto se consigue por la acción del calor en presencia de oxígeno sobre la capa funcional inicialmente de poro abierto, que se transforma con ello en una capa de poro cerrado. Con ello, ya no puede tener lugar una oxidación del material base de acero del pistón.

En un perfeccionamiento ventajoso de la solución de acuerdo con la invención, así como de la forma de realización no de acuerdo con la invención,  $a = 1$ , es decir, la capa funcional consta de una capa (A) y de una capa (B) o de una capa (C) y de una capa (C'), de manera que se produce una estructura de la capa protectora que puede representarse como capa adhesiva/capa (A)/capa (B) o capa adhesiva/capa (C)/capa (C'). A este respecto, en las dos formas de realización, para la capa adhesiva se utiliza Cr o CrN, preferentemente CrN.

De acuerdo con otro perfeccionamiento ventajoso de la solución de acuerdo con la invención, en el caso en el que  $a = 1$ , la capa (B) o (C') está presente como capa de gradiente con cada vez más porcentaje de oxígeno en la dirección de la superficie que está dirigida en sentido opuesto a la capa (A) o (en el caso de la forma de realización no de acuerdo con la invención) que está dirigida en sentido opuesto a la capa adhesiva. En comparación con una capa (B) o (C'), cuyo contenido de oxígeno es constante por todo el grosor de la capa, esto tiene la ventaja de que las propiedades mecánicas de la capa de óxido (B) o (C') pueden adaptarse de manera más ventajosa a la capa (A) o (en el caso de la forma de realización no de acuerdo con la invención) a la capa adhesiva.

El aumento del porcentaje de oxígeno con cada vez más grosor de capa de la capa (B) o (C') puede conseguirse de manera conocida en sí por el aumento sucesivo del porcentaje de oxígeno durante el desprendimiento de la capa (B) o (C'). Con respecto al procedimiento para desprender la capa protectora, se remite a la descripción del procedimiento de acuerdo con la invención.

De acuerdo con otro perfeccionamiento ventajoso de la solución de acuerdo con la invención,  $a = 2$  a 50, preferentemente de 10 a 40, en particular de 15 a 30. El respectivo desprendimiento de una pluralidad de capas (A) y (B) o (C) y (C') en comparación con el desprendimiento de solo respectivamente una capa (A) o (B) o (C) y (C') tiene la ventaja de que, con ello, pueden controlarse selectivamente tensiones de capa intrínsecas y puede optimizarse la adhesión del sistema de capas sobre la superficie del pistón para la carga alternativa térmica.

Convenientemente, la capa protectora presenta un grosor de 1  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$ , preferentemente de 2  $\mu\text{m}$  a 12  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente de 4  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  y en particular de 5  $\mu\text{m}$  a 8  $\mu\text{m}$ . Si el grosor de la capa protectora asciende a por debajo de 1  $\mu\text{m}$ , el efecto protector contra la oxidación de acuerdo con la invención no puede obtenerse, dado el caso, de manera suficiente. La razón para ello se encuentra en que, en el caso del procedimiento, preferente por razones económicas, de la deposición en fase de vapor mediante arco catódico reactivo (PVD, por sus siglas en inglés), pueden producirse salpicaduras que, en el caso de capas demasiado finas, no pueden introducirse lo suficiente en la capa. Una desviación a otros procedimientos como deposición en fase de vapor catódica filtrada o la pulverización catódica de metales permitiría grosores de capa eventualmente menores, pero tendría como consecuencia mayores costes de producción, como es sabido por el experto. Por otra parte, si el grosor de la capa protectora asciende a más de 15  $\mu\text{m}$ , esta pierde cada vez más su capacidad de adaptarse a las modificaciones de forma, condicionadas por la temperatura, del sustrato. Se vuelve más quebradiza y puede producirse, dado el caso, un desprendimiento de la capa protectora.

De acuerdo con otro perfeccionamiento ventajoso de la solución de acuerdo con la invención, la capa adhesiva presenta un grosor de 0,1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ , preferentemente de 1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  y en particular de 1,5  $\mu\text{m}$  a 4,0  $\mu\text{m}$ . El límite inferior del grosor de la capa adhesiva se determina sobre todo por que las superficies de la cabeza del pistón más difíciles de acceder geoméricamente también deberían presentar una capa adhesiva cohesiva. De acuerdo con la experiencia, los grosores de capa adhesiva de más de 5  $\mu\text{m}$  no contribuyen a una mejora adicional de la adhesión de la capa protectora, sino que empeoran la rentabilidad del procedimiento de recubrimiento.

Convenientemente, la capa funcional presenta un grosor de 0,5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ , preferentemente de 1  $\mu\text{m}$  a 8  $\mu\text{m}$ , más preferentemente de 2  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  y en particular de 3  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ . A este respecto, las capas (A) y (B) o (C) y (C') de la capa funcional pueden presentar independientemente en cada caso un grosor de 0,04  $\mu\text{m}$  a 0,25  $\mu\text{m}$ . De acuerdo con una forma de realización preferente de la presente invención, las capas (A) y (B) o (C) y (C') de la capa funcional presentan respectivamente el mismo grosor.

De acuerdo con otro perfeccionamiento ventajoso de la solución de acuerdo con la invención, la capa protectora solo está presente sobre el borde cóncavo de la cabeza del pistón. Puesto que la formación de entallas de batidura se produce en particular en el área del borde cóncavo, de acuerdo con el presente perfeccionamiento, puede conseguirse de manera especialmente económica una protección correspondientemente eficaz del pistón.

Aparte de eso, la presente invención facilita un procedimiento para producir un pistón de acero para un motor de combustión interna de acuerdo con la descripción anterior, que presenta las etapas: facilitar un pistón de acero que presente una cabeza del pistón, y aplicar una capa protectora, como la que está definida anteriormente, sobre la cabeza del pistón, en particular solo sobre el borde cóncavo de la cabeza del pistón, mediante un procedimiento PVD.

Como pistón de acero que debería recubrirse con el procedimiento de acuerdo con la invención puede usarse convenientemente cualquier pistón de acero para un motor de combustión interna que sea conocido por el experto, preferentemente un pistón de acero para un motor diésel.

En particular, como pistón de acero que va a recubrirse se usa un pistón de acero que se utiliza en el ámbito de vehículos comerciales (de carga pesada y media (*heavy duty, medium duty*)) o en la gama diésel de turismos (HSD = *High Speed Diesel*, diésel de alta velocidad) Los diámetros típicos de pistones de turismos se encuentran en el intervalo de 75 a 90 mm, mientras que en los vehículos comerciales de MD/HD se emplean diámetros de entre 105 mm y aproximadamente 160 mm. Los materiales básicos usados provienen del ámbito de los materiales ferrosos de AFP, por ejemplo, 39MnVS6, u otros aceros resistentes a temperaturas más altas como, por ejemplo, 42CrMo4. La configuración de la concavidad del pistón puede ser relativamente sencilla con un radio definido y posterior destalonamiento (según el tipo de pistón o condiciones límite termodinámicas presentes). Eventualmente, esta concavidad también puede estar configurada como concavidad escalonada. En los dibujos están representados ejemplos de realización preferentes de la invención y se explican más en detalle en la siguiente descripción.

A este respecto, muestran, en cada caso esquemáticamente,

- fig. 1 un recubrimiento aplicado de acuerdo con el ejemplo 1 en el estado de desprendimiento,
- fig. 2 una superficie pulida vista al microscopio de una superficie de corte a través de un pistón de acero recubierto de acuerdo con la invención después de la prueba del motor en el área del borde cóncavo de acuerdo con el ejemplo 1,
- fig. 3 una superficie pulida vista al microscopio de una superficie de corte a través de un pistón de acero no recubierto después de la prueba del motor en el área del borde cóncavo de acuerdo con el ejemplo comparativo,
- fig. 4 una capa protectora de acuerdo con la forma de realización de acuerdo con la invención sobre un sustrato de metal duro pulido con un aumento de 25 000x, y
- fig. 5 una capa protectora de acuerdo con la forma de realización no de acuerdo con la invención sobre un sustrato de metal duro pulido con un aumento de 50 000x.

En lo sucesivo, se describe detalladamente un ejemplo para la aplicación de la capa protectora de acuerdo con la invención sobre una cabeza del pistón mediante un procedimiento PVD conocido.

A continuación, como ejemplo para un procedimiento PVD se describe un proceso de recubrimiento que se basa en la deposición en fase de vapor mediante arco catódico reactivo. Sin embargo, esto no debería entenderse como limitación a solamente este procedimiento PVD. Para el recubrimiento también pueden emplearse otros procedimientos PVD como, por ejemplo, la pulverización catódica de metales, la evaporación por haz de electrones o la ablación láser, que presentan, sin embargo, una menor rentabilidad y requieren un mayor esfuerzo técnico durante el control del proceso de recubrimiento.

Al principio, los sustratos (pistones) que van a recubrirse se introducen en los soportes giratorios, previstos para ello, de una instalación de recubrimiento bajo vacío. A continuación, la instalación de recubrimiento bajo vacío se vació con bomba a una presión de aproximadamente  $10^{-4}$  mbar.

Para ajustar la temperatura del proceso, se activa un plasma de arco de baja tensión (LVA, por sus siglas en inglés), asistido por calefactores radiantes, entre un cátodo caliente y las piezas de trabajo conectadas anódicamente en una atmósfera de argón-hidrógeno.

5 En este proceso, se ajustaron los siguientes parámetros:

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Corriente de descarga LVA | 110 A    |
| Flujo de argón            | 50 sccm  |
| Flujo de hidrógeno        | 300 sccm |

10 Bajo estas condiciones, se ajusta una presión de proceso de  $1,4 \times 10^{-2}$  mbar. Los dispositivos de calefacción y el LVA se regularon de manera que se mantuvo una temperatura de sustrato de  $\leq 230$  °C. La duración del proceso de esta etapa de pretratamiento ascendió a 100 min.

15 Como siguiente etapa de proceso se realiza el grabado de las superficies del sustrato para liberar las superficies del sustrato de impurezas, dado el caso, presentes. Para ello, el LVA se acciona entre el cátodo caliente y un ánodo auxiliar previsto en la instalación de recubrimiento. En este caso, puede aplicarse un suministro de frecuencia media o radiofrecuencia de corriente continua (CC), uno de corriente continua pulsada o uno accionado con corriente alterna entre los sustratos y el suelo. Sin embargo, preferentemente, las piezas de trabajo se sometieron a un voltaje de polarización negativo.

20 Para esta etapa de pretratamiento, se ajustaron los siguientes parámetros de proceso:

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| Flujo de argón            | 60 sccm   |
| Corriente de descarga LVA | 150 A     |
| Voltaje de polarización   | 60 V (CC) |

25 Bajo estas condiciones, se ajusta una presión de proceso de  $2,4 \times 10^{-3}$  mbar en el sistema de recubrimiento. Los parámetros de proceso se volvieron a seleccionar de manera que las temperaturas del sustrato no sobrepasaron 230 °C. La duración de este pretratamiento ascendió a 45 min.

30 En la siguiente etapa del proceso, se realiza el recubrimiento del sustrato con la capa adhesiva de CrN. Esta etapa del proceso se llevó a cabo con cuatro blancos de Cr. En el caso del número de blancos, se tienen en cuenta distintos aspectos. Puede reducirse la duración del recubrimiento si se aumenta el número de blancos, aumentando entonces, sin embargo, la carga térmica de los sustratos. En el presente proceso, en el recubrimiento la temperatura del sustrato tampoco debería sobrepasar 230 °C. Los parámetros del proceso para el recubrimiento con la capa adhesiva fueron:

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Flujo de nitrógeno                      | regulado a 3 Pa de presión total |
| Corriente por blanco de Cr              | 140 A                            |
| Voltaje de polarización del sustrato CC | U = -20 V                        |

35 Con ello, pudieron garantizarse a su vez temperaturas del sustrato por debajo de 230 °C. La duración de la etapa del proceso para aplicar la capa adhesiva ascendió a 60 min.

40 A continuación del recubrimiento de los sustratos con la capa adhesiva, se realiza el recubrimiento con la capa funcional. Como ya se ha descrito anteriormente, este es especialmente sencillo y económico en el caso de la capa multiestrato de CrN-CrON. Los cuatro blancos de Cr se accionan aún sin cambios con respectivamente 140 A por blanco. Para la primera capa de CrON, se dejan entrar entonces en el sistema de recubrimiento 300 sccm de oxígeno durante 2 min. A continuación, el flujo de oxígeno se ajusta de nuevo a cero, así, se desconecta, durante 2 min. Luego, se realiza la misma secuencia descrita anteriormente: 2 min de adición de oxígeno de 300 sccm, 2 min de desconexión del flujo de oxígeno, obteniéndose un recubrimiento de CrN. En el presente proceso, esta secuencia se llevó a cabo 18 veces, es decir, se produjeron en conjunto 36 capas individuales. Con la aplicación de esta capa funcional, se concluyó con ello también la aplicación de toda la capa protectora. Después de que los sustratos se hubieran refrigerado a continuación a aproximadamente 150 °C, el sistema de recubrimiento se ventiló para la extracción del sustrato. La fig. 4 muestra una tal capa protectora, pero sobre un sustrato de metal duro pulido, que, en el caso del recubrimiento de los pistones de acero, se ha recubierto, no obstante, bajo las mismas condiciones. La sección transversal de rotura se tomó con un microscopio electrónico de barrido con un aumento de 25 000x.

50 Puede reconocerse la capa adhesiva de aproximadamente 2,4  $\mu\text{m}$  de grosor sobre el sustrato, que consta de CrN. Aparte de eso, sobre la capa adhesiva puede reconocerse la capa funcional de CrN/CrON, de aproximadamente 3,0  $\mu\text{m}$  de grosor, como capa multiestrato.

55 En el proceso descrito anteriormente, la temperatura de recubrimiento se limitó a 230 °C. Una tal limitación puede resultar útil si, por ejemplo, los pistones de acero han experimentado pretratamientos especiales que son sensibles a

5 la temperatura. Sin embargo, en caso de que los pistones de acero presenten únicamente acero, que permite mayores temperaturas, resulta preferente elegir temperaturas algo más elevadas durante el recubrimiento, puesto que entonces las etapas de pretratamiento se vuelven más efectivas y pueden limpiarse mejor pequeñas cavidades en el pistón por procesos de desgasificación. A este respecto, son preferentes temperaturas del sustrato entre 300 °C y 400 °C.

10 La fig. 5 muestra, en analogía a la fig. 4, una capa protectora que consta de una capa adhesiva de CrN y de una capa funcional de AlCrO individual de acuerdo con la forma de realización no de acuerdo con la invención. La sección transversal de capa observada en el microscopio electrónico de barrido (aumento 50 000x) muestra un grosor de capa total de aproximadamente 3 µm, que consta de una capa adhesiva de CrN de 1,6 µm de grosor y de una capa funcional de AlCrO de 1,4 µm de grosor. En este caso, en el sistema de recubrimiento se trabajó con blancos de Cr y blancos de AlCr. Las etapas de pretratamiento correspondieron a aquellas que ya se habían descrito anteriormente.

15 Otras características y ventajas importantes de la invención se deducen de las reivindicaciones secundarias, de los dibujos y de la descripción de figuras correspondiente mediante los dibujos.

20 Se entiende que las características mencionadas y las que se explican en la presente solicitud pueden emplearse no solo en la combinación indicada en cada caso, sino también en otras combinaciones o por sí solas, sin abandonar el contexto de la presente invención.

#### Ejemplo 1

25 El borde cóncavo de la cabeza del pistón de un pistón de acero se recubrió con el procedimiento PVD, como se había descrito con detalle anteriormente, primero con una capa adhesiva de CrN de 3,9 µm de grosor y a continuación con una capa funcional de 23 capas de CrN y 23 capas de CrON, que presentaban respectivamente un grosor de capa de aproximadamente 0,06 µm y se habían aplicado alternativamente. A este respecto, la primera capa, aplicada sobre la capa adhesiva, de la capa funcional era una capa de CrN. El grosor total de la capa funcional ascendió aproximadamente a 2,9 µm. La fig. 1 muestra el recubrimiento obtenido en el estado de desprendimiento, mostrando la fig. 1(b) una sección transversal esquemática a través del pistón recubierto y mostrando las figuras 1(a) y 1(c) respectivamente superficies pulidas vistas al microscopio de superficies de corte a través del pistón de acero de acuerdo con la fig. 1(b).

35 El pistón de acero recubierto obtenido se instaló en un motor y se llevó a cabo un funcionamiento de prueba (motor diésel de turismo con pistón de acero, 150 kW de potencia, 120 horas de ensayo de carga, temperatura en el borde cóncavo aproximadamente 600 °C). Tras el funcionamiento de prueba, el pistón volvió a desmontarse (cf. la fig. 2(a)) y se elaboró una superficie pulida vista al microscopio de una superficie de corte a través del pistón de acero en el área del borde cóncavo, que está mostrada en la fig. 2(b).

40 Como es evidente por la fig. 2(b), la capa protectora aplicada sobre el borde cóncavo está completamente intacta y el material del pistón de acero no presenta ninguna entalla de batidura. Esto demuestra que el pistón de acero de acuerdo con la invención presenta una excelente capacidad de resistencia frente a un daño por oxidación.

#### Ejemplo comparativo

45 Con el pistón de acero como el que se ha usado en el ejemplo 1, pero sobre el que no se había aplicado ninguna capa protectora, se llevó a cabo el mismo funcionamiento de prueba que en el ejemplo 1.

50 Como es evidente por las fig. 3(a) y (b), el material del pistón de acero no recubierto presenta entallas de batidura, lo cual da como resultado las desventajas descritas anteriormente.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Pistón de acero para un motor de combustión interna, que presenta una cabeza del pistón y una capa protectora aplicada sobre la cabeza del pistón, conteniendo la capa protectora:
- a) una capa adhesiva de Cr o CrN, que está presente sobre la superficie de la cabeza del pistón, y
  - b) una capa funcional, que está presente sobre la capa adhesiva, presentando la capa funcional una o varias capa(s) (A) de CrN así como una o varias capa(s) (B) de CrON en la forma de [(A)/(B)]<sub>a</sub>, siendo a = 1 a 100.
- 10 2. Pistón de acero para un motor de combustión interna según la reivindicación 1, en el que a = 1.
3. Pistón de acero para un motor de combustión interna según la reivindicación 2, no estando presente (A).
- 15 4. Pistón de acero para un motor de combustión interna según la reivindicación 2, en el que la capa (B) está presente como capa de gradiente con cada vez más porcentaje de oxígeno en la dirección de la superficie que está dirigida en sentido opuesto a la capa (A).
5. Pistón de acero para un motor de combustión interna según la reivindicación 1, en el que a = 2 a 100.
- 20 6. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la capa protectora presenta un grosor de 1 µm a 15 µm.
7. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la capa adhesiva presenta un grosor de 0,5 µm a 5 µm.
- 25 8. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la capa funcional presenta un grosor de 0,5 µm a 10 µm.
- 30 9. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las capas (A) y (B) o (C) y (C') presentan independientemente en cada caso un grosor de 0,04 µm a 0,25 µm.
10. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que las capas (A) y (B) o (C) y (C') presentan respectivamente el mismo grosor.
- 35 11. Pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la capa protectora solo está presente sobre el borde cóncavo de la cabeza del pistón.
12. Procedimiento para la producción de un pistón de acero para un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 11, que presenta las etapas:
- 40 facilitar un pistón de acero que presente una cabeza del pistón, y aplicar una capa protectora, como la que está definida en una de las reivindicaciones 1 a 15, sobre la cabeza del pistón, en particular solo sobre el borde cóncavo de la cabeza del pistón, mediante un procedimiento PVD.
- 45 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que la temperatura de recubrimiento en el procedimiento PVD asciende de 150 °C a 550 °C.

Fig. 1

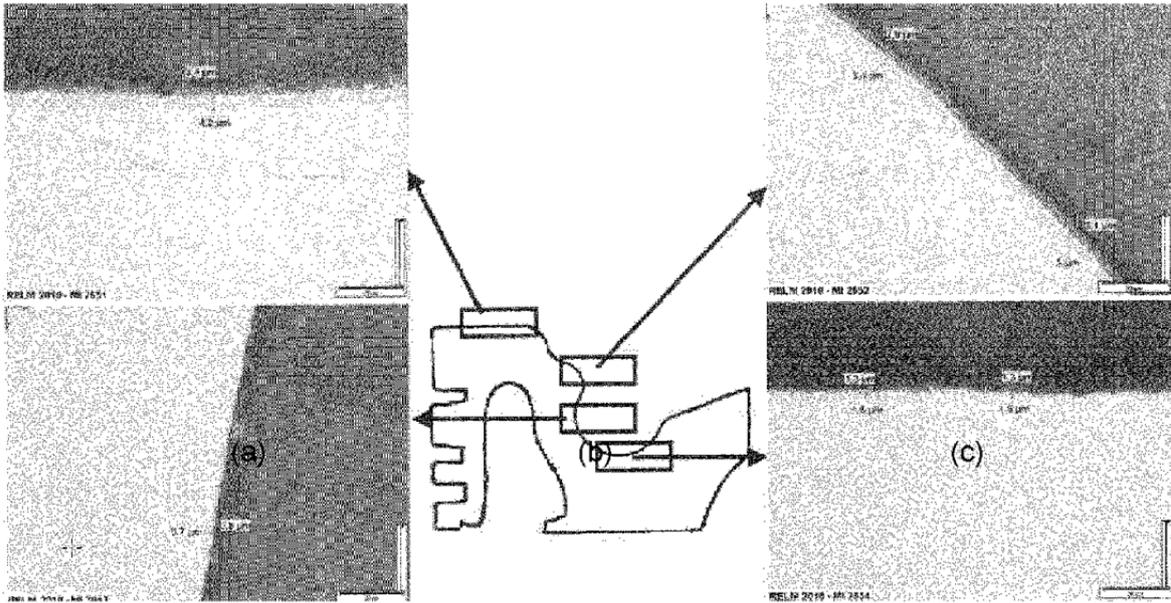


Fig. 2



Fig. 3

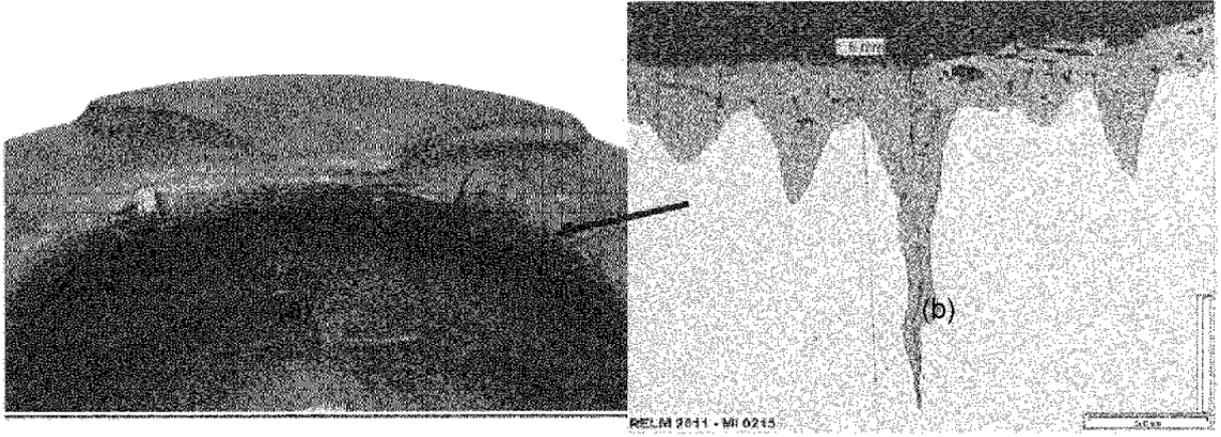


Fig. 4

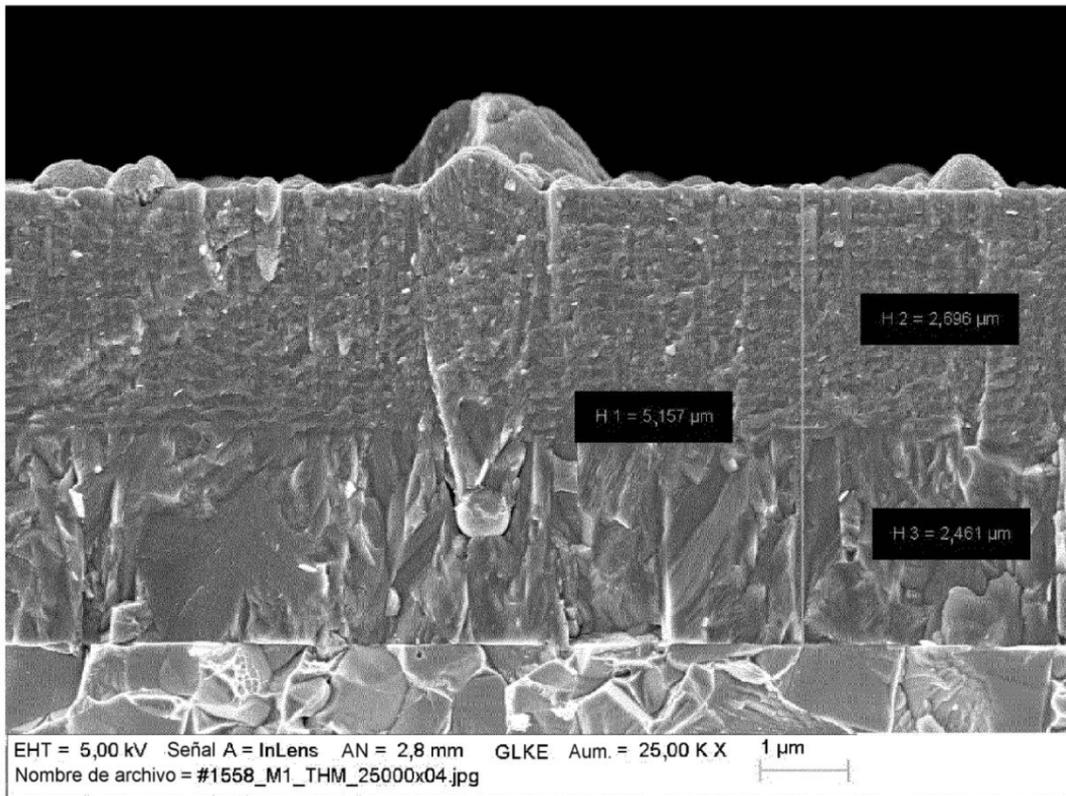


Fig. 5

