

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 884**

51 Int. Cl.:

C23C 10/28 (2006.01)

C23C 10/48 (2006.01)

C23C 14/04 (2006.01)

C23C 14/24 (2006.01)

C23C 14/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.11.2014 PCT/US2014/064517**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2015 WO15069997**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2014 E 14802300 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 3066227**

54 Título: **Método para la producción de revestimientos de aluminio por difusión**

30 Prioridad:

08.11.2013 US 201361901573 P

06.11.2014 US 201414534590

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

06.03.2019

73 Titular/es:

PRAXAIR S.T. TECHNOLOGY, INC. (100.0%)

441 Sackett Point Road

North Haven, CT 06473, US

72 Inventor/es:

GARING, KEVIN, E.;

MCCONNELL, JEFFREY, J. y

HUTZLER, CARL, HUGO

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 702 884 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 la producción de revestimientos de aluminuro por difusión

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a métodos novedosos y mejorados para aplicar una cantidad controlada de material de revestimiento por difusión sobre superficies de una cavidad interna, como las secciones internas de componentes de turbinas de gas.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los revestimientos de aluminuro son revestimientos difundidos ampliamente utilizados para proteger superficies de sustratos metálicos, como aleaciones de níquel, cobalto, hierro y cobre. Los revestimientos de aluminuro se basan en compuestos intermetálicos formados cuando el níquel y el cobalto reaccionan con el aluminio en la superficie del sustrato. Un compuesto intermetálico es una fase intermedia en un sistema metálico binario, que tiene una estructura cristalina característica habilitada por una relación elemental (atómica) específica entre los constituyentes binarios.

15

Los compuestos intermetálicos a base de aluminio (es decir, aluminuros) son resistentes a la degradación a alta temperatura. Como resultado, los mismos han emergido como revestimientos protectores preferidos. Los revestimientos protectores de aluminuro proporcionan protección contra la oxidación a alta temperatura y contra la corrosión para diversas aplicaciones de uso final. Estos revestimientos son particularmente efectivos para la protección de componentes aeroespaciales, tales como motores de turbinas de gas.

20

Los motores de turbina de gas incluyen diversos componentes tales como aspas, palas y cajas de cámaras de combustión. Los componentes suelen estar hechos de aleaciones de níquel y cobalto. Durante la operación, estos componentes generalmente se ubican en la sección caliente de la turbina y se exponen a los gases calientes del proceso de combustión de la turbina, donde puede ocurrir la oxidación y la corrosión. En particular, las reacciones de oxidación y corrosión en la superficie de las partes componentes pueden causar desgaste del metal y pérdida del espesor de la pared. La pérdida de metal aumenta rápidamente las tensiones en la parte del componente respectivo y puede resultar en la falla de la pieza. Por lo tanto, revestimientos de aluminuro se aplican a estas partes componentes para proteger la integridad estructural de la pieza al proporcionar resistencia contra la oxidación y la corrosión.

25

Los cuidadosas tolerancias dimensionales impuestas a las piezas durante la fabricación también deben mantenerse durante el proceso de revestimiento con aluminuro. El proceso de revestimiento con aluminuro implica calentar una superficie de sustrato metálico en presencia de un material fuente que contiene aluminio. El material fuente que contiene aluminio incluye un activador de haluro y una aleación "donante" o fuente de aluminio. Tal como se usa en el presente documento y en toda la memoria descriptiva, debe entenderse que el término "donante" y "fuente" se usan indistintamente. Cuando el material se calienta, la aleación donante y el activador reaccionan para generar un vapor de aluminio. El aluminio vaporizado se transfiere a la superficie del sustrato metálico y se difunde en la superficie metálica creando una capa exterior protectora de aleación de aluminio metálico. El aluminio reacciona con el sustrato para formar compuestos intermetálicos. También se forma una capa aditiva que contiene el aluminio.

35

El proceso de revestimiento con aluminuro generalmente involucra el revestimiento de las secciones externas e internas de un componente. Un tipo de revestimiento con aluminuro se usa típicamente para revestir las superficies externas y un segundo tipo de aluminuro se usa para revestir la sección interna. Capas de revestimiento por difusión no uniformes o excesivamente gruesas para las partes pueden actuar efectivamente para reducir el grosor de la pared y, por lo tanto, la resistencia de la pieza. Además, revestimientos con aluminuro excesivamente gruesos, especialmente en los bordes delanteros y traseros de las aspas de la turbina, donde se producen principalmente tensiones elevadas, pueden dar lugar a agrietamiento por fatiga.

40

Además, los componentes se construyen típicamente con pasajes de núcleo hueco para transportar aire de enfriamiento interno. Como resultado, las superficies internas de los componentes huecos deben revestirse de manera que no solo produzcan revestimientos de espesor uniforme, sino que dejen sin obturar los pasajes de aire de enfriamiento a lo largo de las superficies internas. Los avances en la industria aeroespacial han dado lugar a componentes de turbinas de gas que están diseñados con geometrías cada vez más complicadas a lo largo de las superficies de las cavidades internas, lo que hace que la capacidad de revestir de manera uniforme dichas superficies sea más difícil de lo que existía anteriormente.

45

50

55

60

Una técnica para la aplicación del revestimiento con aluminuro sobre las superficies internas de los componentes huecos se basa en la aplicación directa del donante y el activador a las superficies internas utilizando un paquete de polvo de aluminización. La técnica del paquete consiste en utilizar polvo de aluminio, que se mezcla con un activador como fluoruro de aluminio o fluoruro de amonio. La parte que revestir se sumerge en este polvo con el activador de manera que la parte quede completamente rodeada por el polvo a base de aluminio. El polvo a base de aluminio también se fuerza en las secciones internas de la parte, y luego se calienta para fundir y difundir el polvo en la superficie. Sin embargo, revestimientos residuales no deseados, algunos de los cuales pueden denominarse "bisque" en la industria, pueden ser difíciles de eliminar de los orificios de aire de enfriamiento y de los pasajes internos. "Bisque", como se usa en este documento y en toda la memoria descriptiva, pretende incluir material oxidado que incluye incrustación (por ejemplo, Al_xO_y); constituyentes del material donante (por ejemplo, activadores de haluros y materiales fuentes de donantes); y subproductos que resultan de reacciones secundarias de constituyentes del material donante, incluido el del activador que contiene haluro con gases atmosféricos (por ejemplo, Al_xN_y), todos los cuales se forman durante el proceso de revestimiento y se incorporan indeseablemente al revestimiento de aluminuro resultante. . Bisque puede causar restricción del flujo de aire. Como resultado, la pieza debe ser desechada, causando pérdidas de material y producción.

En otra técnica conocida, se ha utilizado un proceso de aluminización por suspensión en fase líquida para la aplicación del revestimiento de aluminuro. Esto implica aplicar directamente la suspensión en fase líquida a la superficie. La formación del aluminuro difundido se logra calentando la pieza en una atmósfera no oxidante o al vacío a temperaturas entre 871-1093° (1600-2000°F). El calentamiento funde el metal en la suspensión y permite la reacción y difusión del aluminio en la superficie del sustrato. Sin embargo, el proceso de aluminización por suspensión en fase líquida tiene los mismos inconvenientes que el proceso de aluminización por paquete. En términos generales, tanto el paquete como la suspensión aplicados directamente presentan dificultades debido al riesgo de fusionar o sinterizar el donante y el activador a la superficie de la pieza. Además, ambas técnicas generan un revestimiento residual o bisque que está contenido dentro de las cavidades internas y es difícil de eliminar.

Otras técnicas incluyen la deposición química de vapor (CVD) o procesos de revestimiento de aluminuro en fase de vapor, por lo que se genera un revestimiento de aluminuro vaporizado externo a la sección interna de la pieza, y posteriormente el flujo de vapor es dirigido hacia las secciones internas de la pieza. Los revestimientos por CVD o fase de vapor son problemáticos, ya que requieren un flujo de reabastecimiento constante de gas de aluminización hacia la superficie interna que se ve afectada por la geometría del componente y requiere tuberías complejas y control de gas. Además, los procesos convencionales de revestimiento en fase de vapor y CVD no han demostrado ser capaces de revestir completamente todas las superficies requeridas dentro de la sección interna de la pieza a la misma velocidad que las secciones externas que se están revistiendo durante un ciclo de revestimiento. Esto puede conducir a superficies sin revestimiento. El problema de la cobertura de aluminuro incompleta a lo largo de las secciones internas se ha tornado aún más problemático con los componentes que tienen geometrías cada vez más complejas con el avance de diversas tecnologías de la industria, como en los sectores aeroespacial y energético.

En GB 2 414 245 se describe un método para aplicar un revestimiento de aluminuro, método que comprende:

proporcionar un componente que tiene una sección externa y una sección interna, caracterizada dicha sección interna por una o más superficies internas que definen una cavidad interna;

proporcionar un miembro alargado definido al menos en parte por un tamaño y forma correspondientes a la sección interna del componente;

aplicar una suspensión a base de aluminio sobre dicho miembro alargado;

introducir dicho miembro a través de una abertura de dicho componente;

colocar dicho miembro dentro de dicha cavidad en una posición que está separada de cada una de las una o más superficies internas;

aplicar calor al componente y al miembro;

generar aluminio vaporizado dentro de dicha sección interna;

dirigir el aluminio vaporizado hacia una o más superficies internas;

60

distribuir aluminio vaporizado en una o más superficies; y

hacer reaccionar el aluminio con una o más superficies para formar el revestimiento de aluminuro.

- 5 En vista de los inconvenientes con los procesos convencionales de revestimiento con aluminuro, existe una necesidad no satisfecha de un proceso de revestimiento con aluminuro que pueda revestir eficazmente superficies internas con geometrías complejas de una manera simplificada. Otras ventajas y aplicaciones de la presente invención serán evidentes para un experto en la materia.

10 RESUMEN DE LA INVENCION

Se proporciona un método para aplicar un revestimiento de aluminuro. El proceso de revestimiento comprende proporcionar un componente que tiene una sección externa y una sección interna, en el que la sección interna se caracteriza por una o más superficies internas que definen una primera cavidad interna y una segunda cavidad interna. Se proporciona un primer miembro alargado. El primer miembro alargado se define, al menos en parte, por un tamaño y forma correspondientes a la primera cavidad interna. Una primera suspensión a base de aluminio se aplica sobre dicho primer miembro alargado. Un segundo miembro alargado se define al menos en parte por el tamaño y la forma correspondientes a la segunda cavidad interna. Una segunda suspensión a base de aluminio se aplica sobre dicho segundo miembro alargado. El primer miembro alargado se introduce en la primera cavidad interna. El primer miembro alargado se coloca dentro de dicha primera cavidad en una primera posición que está separada de cada una de las una o más superficies internas que definen la primera cavidad interna. El segundo miembro alargado se introduce en la segunda cavidad interna y luego se coloca dentro de la segunda cavidad en una segunda posición que está separada de cada una de las una o más superficies internas que definen la segunda cavidad interna. Se aplica calor al componente, el primero y el segundo miembros alargados. Un primer aluminio vaporizado y un segundo aluminio vaporizado son generados dentro de cada una de las primera y segunda cavidades internas, respectivamente. El primer y el segundo aluminio vaporizado son dirigidos hacia una o más superficies internas. El primero y el segundo aluminio vaporizado se difunden en una o más superficies. El primer aluminio vaporizado reacciona con una o más superficies que definen la primera cavidad interna para formar un primer revestimiento de aluminuro. El segundo aluminio vaporizado reacciona con una o más superficies que definen la segunda cavidad interna para formar un segundo revestimiento de aluminuro.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Los objetivos y ventajas de la invención se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la misma en relación con las figuras adjuntas, donde números similares denotan las mismas características y en las que:

- La Figura 1 muestra un esquema de un proceso de revestimiento de aluminuro de acuerdo con los principios de la presente invención;
- La Figura 2a muestra un miembro alargado acoplado mecánicamente a un conjunto accesorio;
- El Accesorio 2b muestra el aparato de la Figura 2a en combinación con un componente de turbina de gas colocado sobre el miembro alargado, en el cual el componente debe revestirse a lo largo de su sección interna;
- Las Figuras 3a, 3b y 3c muestran micrografías en sección transversal de un tubo hueco revestido con un revestimiento de aluminuro preparado mediante un proceso convencional de aluminización en fase de suspensión;
- Las Figuras 3d, 3e y 3f muestran micrografías en sección transversal de un tubo hueco revestido con un revestimiento de aluminuro de acuerdo con los principios de la presente invención;
- La Figura 4a muestra una micrografía ampliada de la Figura 3c de una muestra en sección transversal del tubo revestido obtenida en uno de los extremos del tubo;
- La Figura 4b muestra una micrografía ampliada de la Figura 3f de una muestra en sección transversal del tubo revestido obtenida en uno de los extremos del tubo;
- La Figura 5 muestra una comparación de distribuciones de espesor para palas de turbina de gas revestidas con aluminuro mediante un proceso estándar de aluminización en fase de vapor y el método de revestimiento de la presente invención.

55 DESCRIPCION DETALLADA DEL INVENTO

Los objetivos y ventajas de la invención se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la misma en relación. La presente descripción se refiere a nuevas técnicas para la formación de revestimientos por difusión de aluminuro en secciones internas de un componente. Los métodos de la presente invención son particularmente adecuados para componentes que tienen geometrías complejas en las que

las técnicas convencionales han demostrado ser incapaces de revestir completamente todas las superficies internas requeridas. La descripción se expone en el presente documento en diversas formas de realización y con referencia a diversos aspectos y características de la invención.

5 La relación y el funcionamiento de los diversos elementos de esta invención se entienden mejor mediante la siguiente descripción detallada. La descripción detallada contempla las características, aspectos y formas de realización en diversas permutaciones y combinaciones, como parte del alcance de la divulgación. Por lo tanto, la divulgación puede especificarse como que comprende, consiste o consiste esencialmente en cualquiera de dichas combinaciones y permutaciones de estas características, aspectos y formas de realización específicas, o una o unas
10 seleccionadas de las mismas.

La presente invención se describirá ahora en relación con las Figuras 1-5. Las Figuras muestran un proceso mejorado y novedoso para aplicar revestimientos de aluminuros. Como se explicará, el proceso elimina los inconvenientes de los procesos de aluminización convencionales al tiempo que simplifica la manera en que se
15 pueden preparar los revestimientos. Además, la presente invención produce revestimientos de aluminuro que poseen propiedades mejoradas en comparación con los revestimientos de aluminuro preparados mediante procesos de aluminización convencionales.

La Figura 1 muestra un proceso general para aplicar un revestimiento de aluminuro sobre superficies internas selectivas de un componente. El componente mostrado en la Figura 1, a modo de ejemplo, es una estructura tubular hueca que tiene superficies externas e internas preferiblemente formadas de una aleación metálica tal como níquel y/o cobalto. El tubo hueco puede definirse como teniendo una sección externa y una sección interna. La sección externa se aplica generalmente con un revestimiento de aluminuro, tal como, a modo de ejemplo, un material de aluminuro de platino. La sección interna del componente se aplica con un revestimiento de aluminuro, como
25 aluminuros simples, aluminuros de cromo y aluminuros modificados que contienen elementos tales como Hf, Y, Zr y Si. La sección interna incluye una o más superficies internas que definen una cavidad o volumen interno. La sección interna puede tener una geometría compleja que tenga una forma, tamaño y/o patrón de textura de la superficie tales que procesos de aluminización convencionales puedan no ser capaces de revestir de manera efectiva en su totalidad.

30 Aún en referencia a la Figura 1, se muestra un miembro alargado dispuesto dentro de la cavidad interna del tubo hueco. El miembro alargado proporciona la fuente para revestir el material de aluminuro sobre las superficies internas del tubo hueco. El miembro alargado tiene un tamaño y forma que corresponde a la geometría de la sección interna del tubo hueco. El miembro alargado se caracteriza por un primer extremo, un segundo extremo y una
35 superficie curvilínea que se extiende entre el primero y el segundo extremos. Como se muestra en la Figura 1, el miembro alargado está situado dentro del tubo hueco de modo que la superficie curvilínea no contacta con ninguna superficie interna de la sección interna del tubo hueco a revestir.

La superficie curvilínea del miembro alargado se muestra extendiéndose a través de la cavidad interna del tubo hueco. La superficie curvilínea se aplica con una suspensión a base de aluminio. La suspensión contiene la fuente de aluminio o el material donante a revestir en las superficies internas del componente. La suspensión a base de aluminio comprende un material donante de aluminio, que puede incluir, a modo de ejemplo, aluminio y aleaciones de aluminio. Ejemplos de aleaciones de aluminio adecuadas incluyen aluminio cromado, aluminio cobalto y aluminio silicio. Preferiblemente, el miembro alargado se reviste previamente, se seca y se cura con la suspensión a base de
45 aluminio antes de la inserción y colocación del miembro alargado dentro de la sección interna del componente (por ejemplo, tubo hueco). La liberación y vaporización del aluminio de la suspensión se facilita mediante un activador de haluro, como se conoce en la técnica, que se incluye en la suspensión a base de aluminio. La suspensión también incluye un aglutinante vaporizable para mantener adhesivamente el revestimiento resultante en la superficie interna del componente. La suspensión a base de aluminio puede ser aplicada sobre el miembro alargado por cualquier
50 medio conocido, tal como inmersión. La suspensión se seca y se cura preferiblemente a una temperatura relativamente baja, desde aproximadamente la temperatura ambiente hasta aproximadamente 260°C (500°F) para crear el revestimiento a base de aluminio en el miembro.

La Figura 1 muestra que el miembro alargado incluye un primer extremo que está situado muy cerca de la abertura del tubo hueco a través de la cual se inserta el miembro alargado. El miembro alargado tiene un segundo extremo, que se muestra extendiéndose hacia un conjunto accesorio. El conjunto accesorio puede acoplarse al segundo extremo del miembro alargado y al tubo hueco. En el ejemplo de la Figura 1, el conjunto accesorio puede fijarse mecánicamente al miembro alargado y al tubo hueco. Después de que se completa el ciclo de revestimiento, el conjunto accesorio se puede separar del miembro alargado y del tubo hueco.

60

El miembro alargado puede estar hecho de cualquier material adecuado resistente al calor, tal como un metal, cerámica o grafito. El elemento tiene una forma y tamaño que permite la inserción en la cavidad interna del tubo hueco sin que se apoye contra ninguna de las superficies internas del tubo hueco que se va a revestir. En un ejemplo, y como se muestra en la Figura 1, el miembro alargado es una estructura en forma de barra. En otro ejemplo, el miembro alargado es un alambre. La selección de la forma exacta, el espesor de la sección transversal y la longitud del miembro puede depender, al menos en parte, de la geometría de las superficies internas a revestir junto con el espesor del revestimiento de aluminuro resultante y la composición del revestimiento de aluminuro (por ejemplo, contenido de aluminio y gradiente requerido en el revestimiento aditivo y el revestimiento difundido).

10 Después de aplicar la suspensión a base de aluminio y luego, preferiblemente, secar y curar para formar el revestimiento a base de aluminio correspondiente (por ejemplo, material donante de aluminio, activador y aglutinante de haluro), el miembro se inserta en la cavidad interna del tubo hueco en la configuración como se muestra en la Figura 1. El miembro se coloca en una posición dentro de la cavidad interna de modo que no se apoye ni se ponga en contacto con las superficies internas del tubo hueco a revestir. El miembro alargado se sujeta en su lugar por medio de un conjunto accesorio que está hecho preferiblemente de un material resistente al calor. El conjunto accesorio garantiza que el miembro no se mueva y se ponga en contacto inadvertidamente con las superficies internas durante el ciclo de revestimiento. El conjunto accesorio puede fijarse mecánicamente a los extremos del miembro alargado y al tubo hueco. El accesorio sirve para mantener la orientación del miembro alargado y evitar el movimiento del miembro alargado durante un ciclo de revestimiento con aluminuro. El conjunto accesorio puede separarse del tubo hueco y del miembro alargado por cualquier medio convencional conocido en la técnica. Debe entenderse que pueden utilizarse otros medios para asegurar el miembro alargado en un accesorio.

Una vez colocado y asegurado el miembro alargado como se muestra en la Figura 1, se aplica calor al componente y al miembro alargado. El calor puede ser aplicado por cualquier conjunto de horno para el tratamiento térmico de metales al vacío o en una atmósfera protectora tal como hidrógeno o argón. Se aplica calor suficiente para establecer condiciones térmicas que promuevan la liberación y vaporización del aluminio del revestimiento. En un ejemplo, la temperatura del componente y la barra se puede calentar de aproximadamente 871-1093 °C (1600-2000 °F). El activador de haluro y el aglutinante se vaporizan. A medida que los constituyentes volatilizados del material donante de aluminio, el activador y el aglutinante son liberados en la cavidad interior, se utiliza preferentemente un gas no oxidante o inerte para barrer o eliminar al menos una parte del activador de haluro y el aglutinante que ocupa el espacio entre las superficies internas y el miembro alargado. De esta manera, al menos una parte del activador y del aglutinante pueden retirarse antes de su contacto con las superficies internas. Parte del aluminio volatilizado también puede ser barrido o arrastrado a lo largo de las mismas, pero no hasta el punto de que una cantidad insuficiente de aluminio cubra y se difunda en las superficies internas. Los precursores que conducen a la formación de bisque e incrustaciones son eliminados con gas inerte durante el ciclo de revestimiento y/o permanecen en el miembro alargado. De esta manera, vapores de revestimiento significativamente más limpios son dirigidos hacia la superficie de la pieza.

El material donante de aluminio vaporizado es dirigido hacia las superficies internas del tubo hueco. Al alcanzar la superficie interna, una porción del aluminio se difunde hacia la superficie interna y otra porción puede depositarse sobre la superficie interna, creando así una capa aditiva. El aluminio puede reaccionar con las aleaciones metálicas para formar el revestimiento de aluminuro. El aluminio también se interdispersa con las aleaciones metálicas del sustrato o pieza. Después de completar el ciclo de revestimiento, el accesorio puede separarse del tubo hueco y del miembro alargado.

45 Debe entenderse que la presente invención contempla el revestimiento de diversos tipos de componentes. Por ejemplo, una pala hueca de turbina como se muestra en la Figura 2a y 2b se puede revestir utilizando el método y el aparato de revestimiento como se describe en general con la Figura 1. Aún más, con el método de la presente invención se pueden revestir geometrías más complicadas. Los solicitantes han descubierto sorprendentemente que el enfoque de la presente invención puede revestir uniformemente varios patrones, formas y tamaños intrincados a lo largo de la superficie interna, lo que no era posible previamente con las técnicas de aluminización convencionales. Las técnicas convencionales típicamente no han sido confiables para asegurar que todas las superficies estén revestidas.

55 Además, y como se describirá en los ejemplos de trabajo a continuación, los revestimientos de aluminuros resultantes producidos de acuerdo con los principios de la presente invención muestran menos variación en el espesor, menos variación en el contenido de aluminuro y eliminación o significativamente menor inclusión de óxidos superficiales (es decir, incrustación y oxidación de otras materias extrañas originalmente en la superficie de la pieza) y bisque en comparación con los revestimientos de aluminuro preparados por técnicas convencionales. Como se explicará en los Ejemplos, se ha constatado que la presente invención puede eliminar etapas posrevestimiento que

requieren la eliminación de bisque e incrustación. La reducción de los óxidos superficiales y bisque se puede traducir en revestimientos con aluminuro de mayor rendimiento con una mejor resistencia a la corrosión, a la oxidación y al choque térmico. El mecanismo preciso mediante el cual se producen las mejoras no se conoce con certeza. Sin embargo, sin limitarse a ninguna teoría, las mejoras pueden atribuirse al material donante de aluminio, al activador y al aglutinante que no están en contacto directo con las superficies a revestir durante el ciclo de revestimiento. De esta manera, la eliminación subsiguiente de parte del activador y del aglutinante puede parecer que suprime el crecimiento de óxido superficial dentro del revestimiento resultante junto con cualquier fusión o sinterización del donante y del activador a la superficie interna, comúnmente conocida como "bisque" en la industria. Ventajosamente, la presente invención no elimina el aluminio para crear un bajo contenido de aluminio en el revestimiento.

El método implica utilizar miembros alargados exclusivos para revestir dos o más secciones internas definidas por separado de un solo componente. A modo de ejemplo, muchas palas de turbina pueden incluir dos o más secciones internas que requieren revestimientos de aluminuro con diferentes espesores. La presente invención puede utilizarse para revestir cada una de las secciones internas con un miembro alargado separado que está revestido con su propia suspensión única basada en aluminio. De esta manera, las secciones internas pueden revestirse independientemente utilizando diferentes procesos para formar diferentes revestimientos resultantes durante un único ciclo de revestimiento.

La presente invención incluye varias otras formas de realización. Por ejemplo, la composición química del revestimiento para el miembro alargado se puede modificar para producir revestimientos de aluminuro de diferente espesor y composición química, como aluminio-cromo y aluminio cobalto. Compuestos que contienen litio, amonio y aluminio como cationes y cloro y flúor como aniones pueden emplearse como activadores.

Los ejemplos a continuación demuestran las mejoras inesperadas tanto en el proceso como en el revestimiento de aluminuro resultante de la presente invención en comparación con las técnicas convencionales actualmente empleadas por la industria.

Ejemplo Comparativo 1 (Aluminización en suspensión aplicada directamente para tubo hueco)

Se realizaron pruebas para aplicar un revestimiento de aluminuro sobre las superficies internas de un tubo cilíndrico hueco. En la Figura 1 se muestra un esquema representativo del tubo. El tubo fue formado con acero inoxidable de grado 304. El tubo tenía una longitud de 122 cm (48 pulgadas) y un diámetro de 5 cm (2 pulgadas). La suspensión a base de aluminio que se aplicó sobre el tubo hueco fue aluminuro en suspensión SermAlcote™ 2525, que se fabrica y vende comercialmente por Praxair Surface Technologies, Inc. La suspensión se aplicó directamente sobre las superficies internas del tubo hueco. La suspensión y el tubo hueco fueron tratados térmicamente en un horno de retorta de campana a 1079 °C (1975 °F) durante 4 horas en una atmósfera de argón. El tratamiento térmico permitió la reacción y difusión del aluminio en las superficies internas del tubo.

Se obtuvieron muestras de la sección transversal de las superficies internas revestidas a diferentes longitudes de 15 cm, 61 cm y 107 cm (6 pulgadas, 24 pulgadas y 42 pulgadas) según se mide desde uno de los extremos del tubo. Como parte del procedimiento de revestimiento y como es bien conocido en la técnica, se agregó una capa superior enchapada en níquel a cada muestra para permitir la evaluación. Los resultados se muestran en las Figuras 3a, 3b y 3c. Las micrografías muestran inclusiones de óxido superficial dentro de los revestimientos a 61 cm (24 pulgadas) y particularmente a 107 cm (42 pulgadas). Se observó que las inclusiones eran óxidos que originalmente se creía que estaban presentes en la superficie de la pieza, así como otras materias extrañas que no se pretendía incorporar en el revestimiento resultante. Además, también se detectó bisque en la capa externa para cada una de las muestras. Estos resultados muestran que se requieren pasos pos-limpieza para eliminar las inclusiones de óxido y los residuos de bisque. Las diapositivas de la Figura 3a, 3b y 3c muestran una variación significativa en el espesor del revestimiento a lo largo de la longitud del tubo a 15 cm, 61 cm y 107 cm (6 pulgadas, 24 pulgadas y 42 pulgadas).

Las Figuras 4a muestran una vista ampliada de la muestra en sección transversal a 107 cm (42 pulgadas) para ilustrar la incrustación y el bisque perjudiciales producidos por la aplicación directa convencional de la suspensión a base de aluminuro.

Ejemplo Comparativo 2 (Aluminización en fase de vapor para palas de turbina)

Se realizaron dos ensayos para aplicar un revestimiento de aluminuro sobre las superficies internas de una pala de turbina de gas. En la Figura 2b se muestra un esquema representativo de la pala de la turbina de gas. El revestimiento se aplicó mediante un procedimiento estándar de aluminización en fase de vapor (VPA) utilizando aluminuro SermAlcote™ 2525 vaporizado.

Se generó un revestimiento de aluminio vaporizado externo a la sección interna de la pala. El flujo de vapor se dirigió luego a las secciones internas de la pala. Se requirió la reposición continua del flujo de gas de aluminización a la superficie interna.

- 5 Muestras en sección transversal de las superficies internas revestidas se obtuvieron de la manera descrita anteriormente en el Ejemplo Comparativo 1. Adicionalmente, se evaluó el espesor del revestimiento (mils). Se tomaron muestras en tres secciones transversales de la pala: una muestra del medio y una muestra de cada uno de los extremos. Se tomaron ocho mediciones de cada una de las muestras en posiciones específicas espaciadas uniformemente dentro de las mismas. Las mediciones del espesor del revestimiento para cada uno de los dos ensayos se resumieron en los diagramas de caja designados como Standard VPA1 y Standard VPA2 como se muestra en la Figura 5. Se utilizó el software estadístico Minitab™ para generar los diagramas de caja. La caja representa el 50% medio de todas las mediciones de espesor que se muestrearon. Para cada uno de los ensayos, una parte significativa de las mediciones del espesor del revestimiento cayó por debajo de la línea límite inferior (LSL) de .5, que representa un margen típico de la industria para el espesor interno del revestimiento. Pasos pos-limpieza serían necesarios para su eliminación respectiva.

Ejemplo 1 (Método de barra con suspensión indirecta para revestir tubos huecos)

- 20 Se realizaron pruebas para aplicar un revestimiento de aluminio sobre las superficies internas de un tubo cilíndrico hueco. El tubo era idéntico al revestido en el Ejemplo Comparativo 1. En la Figura 1 se muestra un esquema representativo del tubo. El tubo fue formado con acero inoxidable de grado 304. El tubo tenía 48 pulgadas de largo y tenía un diámetro de 5 cm (2 pulgadas).
- 25 Un miembro alargado de forma cilíndrica de acero inoxidable de grado 304 fue revestido con aluminio en suspensión SermAlcote™ 2525. El miembro se sumergió en la suspensión para producir un espesor de película de aproximadamente 0.025 cm (0.01 pulgadas). El miembro fue curado a 121 °C (250 °F) durante 1 hora. El miembro revestido fue colocado dentro del tubo hueco y posicionado de manera que no entrara en contacto con las paredes del tubo. Se configuró un accesorio de metal resistente al calor en cada extremo del tubo para mantener el tubo en una posición fija durante el ciclo de revestimiento.

El conjunto de revestimiento se introdujo luego en un horno de retorta de campana. El revestimiento y el tubo hueco fueron tratados térmicamente en el horno de retorta de campana a 1079 °C (1975 °F) durante 4 horas en una atmósfera de argón. El tratamiento térmico permitió la reacción y difusión del aluminio en las superficies internas del tubo. Después de enfriar, el conjunto de revestimiento fue retirado de la retorta y fue desmontado.

Se obtuvieron muestras de la sección transversal de las superficies internas revestidas a diferentes longitudes de 15 cm, 61 cm, 107 cm (6 pulgadas, 24 pulgadas, 42 pulgadas) según se mide desde uno de los extremos del tubo. Como parte del procedimiento de revestimiento y como es bien conocido en la técnica, se agregó una capa superior enchapada en níquel a cada muestra para permitir la evaluación. Los resultados se muestran en la Figura 3d, 3e y 3f. En comparación con las Figuras 3a-3c del Ejemplo Comparativo 1, las micrografías muestran menos inclusiones de óxido superficial y menos bisque. A diferencia del Ejemplo Comparativo 1, las muestras de revestimiento de las Figuras 3d-3f requerirán pasos pos-limpieza para eliminar el bisque y la incrustación. Las diapositivas de la Figura 3d, 3e y 3f muestran una menor variación en el espesor del revestimiento en comparación con las micrografías del Ejemplo Comparativo 1.

Las Figuras 4b muestran una vista ampliada de la muestra en sección transversal a 42 pulgadas para ilustrar la reducción significativa en la incrustación y bisque perjudiciales.

50 Ejemplo 2 (Método de barra con suspensión indirecta para revestir palas de turbinas)

Se realizaron dos ensayos para aplicar un revestimiento de aluminio sobre las superficies internas de una pala de turbina de gas que tiene una geometría idéntica a la del Ejemplo Comparativo 2. El material de revestimiento era aluminio SermAlcote™ 2525.

- 55 Un alambre de acero inoxidable fue revestido con aluminio de suspensión SermAlcote™ 2525. El alambre tenía un diámetro de 0.318 cm (0.125 pulgadas). El alambre se sumergió en la suspensión para producir un espesor de película de aproximadamente 0.025 cm (0.01 pulgadas). El alambre fue curado a 121 °C (250 °F) durante 1 hora. A continuación, la pala de turbina fue colocada sobre la barra. Se configuró un accesorio de grafito resistente al calor para mantener el tubo en una posición fija durante el ciclo de revestimiento. El alambre revestido fue colocado de

manera que no entrara en contacto con las paredes de la pala.

El conjunto de revestimiento se introdujo luego en un horno de retorta de campana. El revestimiento y el tubo hueco se trataron térmicamente en el horno de retorta de campana a 1079 °C (1975 °F) durante 6 horas en una atmósfera de argón. El aluminio se vaporizó del alambre revestido con suspensión y luego fluyó hacia las superficies internas, donde se difundió y reaccionó para formar el revestimiento de aluminuro. Después de enfriar, el conjunto de revestimiento fue retirado de la retorta y fue desmontado.

Fueron obtenidas muestras en sección transversal de las superficies internas revestidas de la manera descrita anteriormente en el Ejemplo 1. Adicionalmente, se evaluó el espesor del revestimiento (mils). Se tomaron muestras en tres secciones transversales de la pala: una muestra del medio y una muestra de cada uno de los extremos. Se tomaron ocho mediciones de cada una de las muestras en posiciones específicas espaciadas uniformemente dentro de las mismas. Las mediciones del espesor del revestimiento para cada uno de los dos ensayos se resumieron en los diagramas de caja designados como Ensayo de Barra Donante 1 y Ensayo de Barra Donante 2 como se muestra en la Figura 5. Se utilizó el software estadístico Minitab™ para generar los diagramas de caja. La caja representa el 50% medio de todas las mediciones de espesor que se muestrearon. Para cada uno de los ensayos, todas las mediciones del espesor del revestimiento estuvieron dentro de la línea límite inferior (LSL) de .5 y límite superior de 3.5 (USL), que representan ambas un margen típico de la industria para el espesor interno del revestimiento. Las muestras del Ejemplo 2 mostraron un cambio estadísticamente significativo en el espesor del revestimiento que es una mejora con respecto a la tecnología de fase de vapor convencional para revestimientos con aluminuro como se muestra en el Ejemplo Comparativo 2.

Se observó que las muestras no tenían bisque ni incrustaciones y ninguno de los orificios de enfriamiento fue obstruido inadvertidamente con el revestimiento. Los pasos poslimpieza no serían necesarios para sus respectivas eliminaciones.

Como se ha mostrado, la presente invención ofrece un método y aparato de revestimiento únicos para preparar revestimientos de aluminuro por difusión en varias piezas, incluyendo aquellas piezas que tienen geometrías complejas. Ventajosamente, la presente invención reduce sustancialmente o elimina el riesgo de sinterizar o fusionar materiales, de manera que bisque e incrustaciones no permanezcan en la parte revestida cuando el alambre alargado o la estructura en forma de barra es retirada después del ciclo de revestimiento. Los precursores para la formación de bisque e incrustaciones son eliminados con un gas inerte durante el ciclo de revestimiento y/o permanecen en el miembro alargado. De esta manera, vapores de revestimiento significativamente más limpios son dirigidos hacia la superficie de la pieza.

Además de la capacidad de producir revestimientos de mayor pureza, el proceso de revestimiento de la invención se simplifica debido a la facilidad de aplicación y a la flexibilidad del proceso. No hay necesidad de lavado físico y neutralización química de los materiales de revestimiento que normalmente se requieren después de ciclos de revestimiento convencionales. La presente invención también permite la reducción del uso y desperdicio de material en virtud de la eliminación o reducción de la formación de bisque e incrustaciones. La presente invención también puede revestir geometrías complejas que típicamente no se han revestido fácilmente con procesos de fase de vapor o CVD. Además, piezas grandes pueden ser revestidas, lo que no siempre es posible con las tecnologías de aluminuro convencionales.

La presente invención, como se describe en las diversas formas de realización y Ejemplos, se puede usar independientemente o en conjunción con cualquiera de las tecnologías de aluminización mencionadas anteriormente. Por ejemplo, un tubo hueco podría revestirse internamente con un alambre o barra alargada revestida con aluminuro en el mismo ciclo de revestimiento en fase de vapor para revestir la superficie externa. La capacidad de revestir simultáneamente las secciones interna y externa de un componente o pieza durante un único ciclo de revestimiento ofrece numerosos beneficios adicionales al proceso, como un mayor rendimiento y un menor consumo de material y costos operativos.

El aparato de revestimiento empleado para llevar a cabo los métodos de la invención, como se describe en el presente documento, puede construirse a partir de hornos de tratamiento térmico estándar de la industria y herramientas simplificadas, reduciendo así los costos de material para el conjunto.

Aunque se ha mostrado y descrito lo que se considera que son ciertas formas de realización de la invención, se entenderá, por supuesto, que pueden realizarse fácilmente diversas modificaciones y cambios en la forma o el detalle sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para aplicar un revestimiento de aluminuro, que comprende:
 - 5 proporcionar un componente que tiene una sección externa y una sección interna, caracterizada dicha sección interna por una o más superficies internas que definen una primera cavidad interna y una segunda cavidad interna; proporcionar un primer miembro alargado definido al menos en parte por un tamaño y forma correspondientes a la primera cavidad interna;
aplicar una primera suspensión a base de aluminio sobre dicho primer miembro alargado;
 - 10 proporcionar un segundo miembro alargado definido al menos en parte por el tamaño y la forma correspondientes a la segunda cavidad interna;
aplicar una segunda suspensión a base de aluminio sobre dicho segundo miembro alargado;
introducir dicho primer miembro alargado en dicha primera cavidad interna.
colocar dicho primer miembro alargado dentro de dicha primera cavidad en una primera posición que está separada
 - 15 de cada una de las una o más superficies internas que definen la primera cavidad interna;
introducir dicho segundo miembro alargado en la segunda cavidad interna;
colocar dicho segundo miembro alargado dentro de dicha cavidad en una segunda posición que está separada de cada una de las una o más superficies internas que definen la segunda cavidad interna;
aplicar calor al componente, el primero y el segundo miembros alargados;
 - 20 generar un primer aluminio vaporizado y un segundo aluminio vaporizado dentro de cada una de dichas primera y segunda cavidades internas, respectivamente;
dirigir el primero y el segundo aluminio vaporizado hacia una o más superficies internas;
difundir el primero y el segundo aluminio vaporizado en una o más superficies; y
hacer reaccionar el primer aluminio vaporizado con una o más superficies que definen la primera cavidad interna
 - 25 para formar un primer revestimiento de aluminuro; y
Hacer reaccionar el segundo aluminio vaporizado con una o más superficies que definen la segunda cavidad interna para formar un segundo revestimiento de aluminuro.
2. El método de la reivindicación 1, donde dicho primer revestimiento de aluminuro se produce a una
30 primera velocidad que tiene un primer espesor, y dicho segundo revestimiento de aluminuro se produce a una segunda velocidad que tiene un segundo espesor.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además una etapa de mantener cada uno de dichos
35 primero y segundo miembros alargados en una configuración fija durante la producción de los primero y segundo revestimientos de aluminuro.
4. El método de la reivindicación 1, donde dichos primero y segundo miembros no hacen contacto con ninguna de las superficies internas durante la producción de los primero y segundo revestimientos de aluminuro.
- 40 5. El método de la reivindicación 1, que comprende además retirar el primer miembro alargado y el segundo miembro alargado después de la formación de los primero y segundo revestimientos de aluminuro.
6. El método de la reivindicación 1, donde dicha formación de dicho primer revestimiento de aluminuro en dicha primera cavidad interna y dicha formación de dicho segundo revestimiento de aluminuro en dicha segunda
45 cavidad interna se produce durante el revestimiento de la sección externa.
7. El método de la reivindicación 1, donde dicha primera suspensión a base de aluminio comprende un primer activador de haluro y un primer aglutinante, y en el que dicha segunda suspensión a base de aluminio comprende un segundo activador de haluro y un segundo aglutinante.
50
8. El método de la reivindicación 7, donde cada uno de dicho primer aglutinante y primer activador de haluro se volatiliza, y cada uno de dicho segundo aglutinante y segundo activador de haluro se volatiliza.
9. El método de la reivindicación 8, donde al menos una porción de dicho primer aglutinante volatilizado y
55 dicho primer activador de haluro volatilizado se eliminan de la primera cavidad interna antes del contacto de las superficies internas de la primera cavidad interna, y además donde al menos una porción de dicho segundo aglutinante volatilizado y dicho segundo activador de haluro volatilizado se eliminan de la segunda cavidad interna antes del contacto de las superficies internas de la segunda cavidad interna.

Concepto para componente hueco para recubrimiento
con aluminio con barra donante

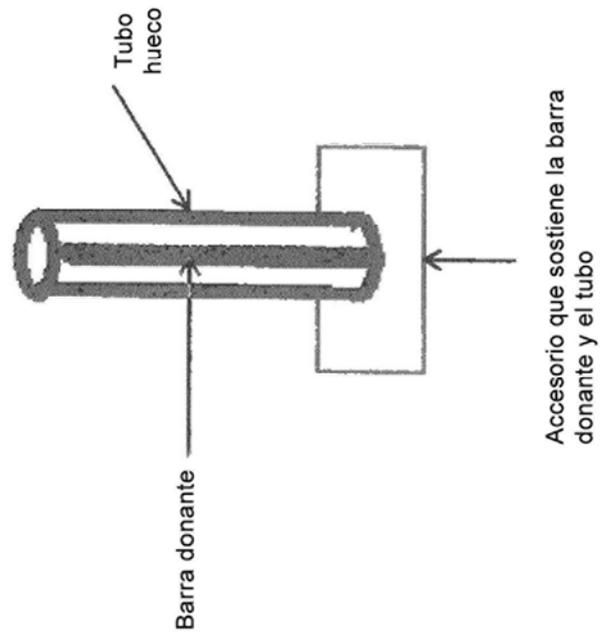


FIG. 1

Barra donante y accesorio para pala hueca de turbina

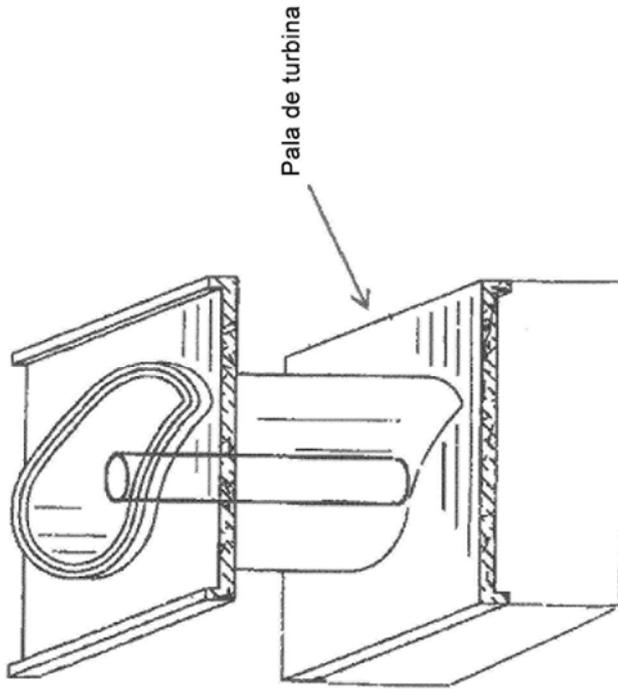


FIG. 2B

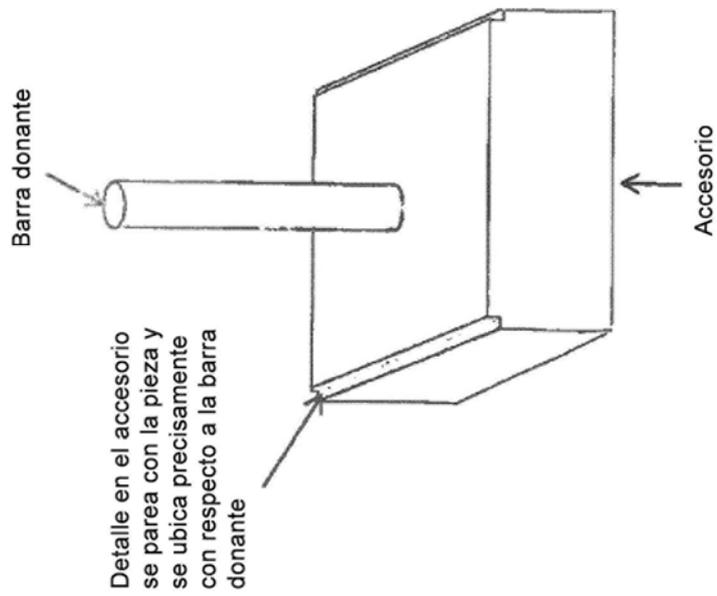
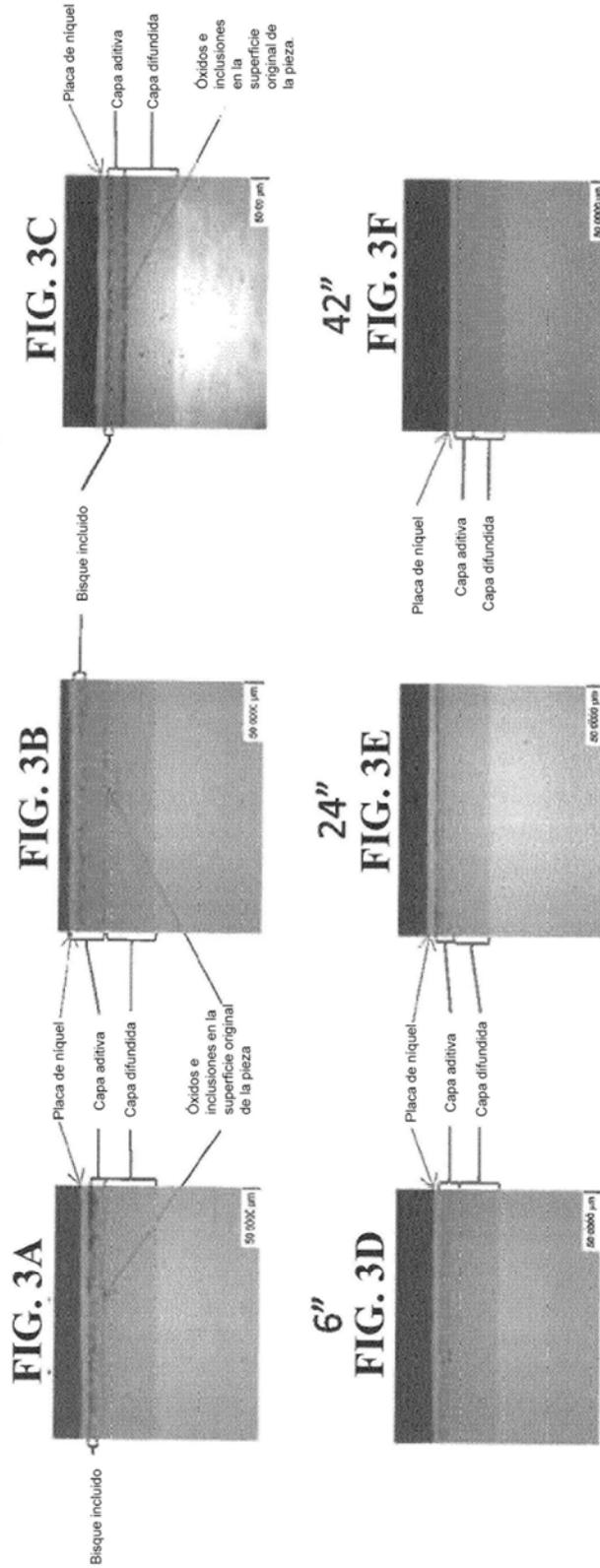


FIG. 2A

Tubo SS304 diámetro 2" 4 pies de longitud

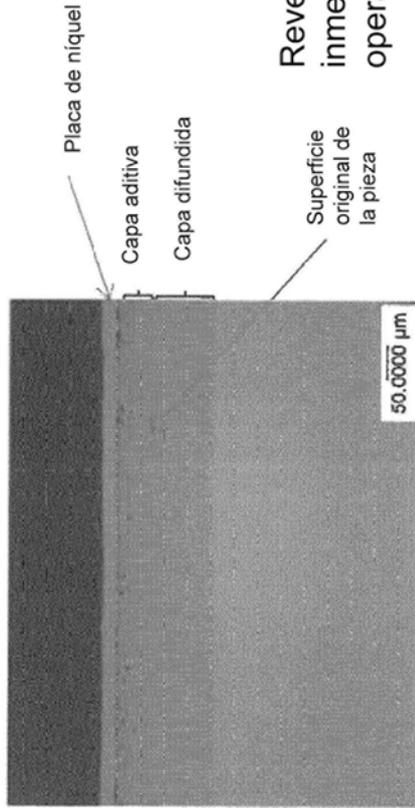
Revestido con suspensión. Después del procesamiento para eliminar bisque e incrustaciones.



Como recubierto con barra donante.

Tubo SS304 diámetro 2" 4 pies de longitud

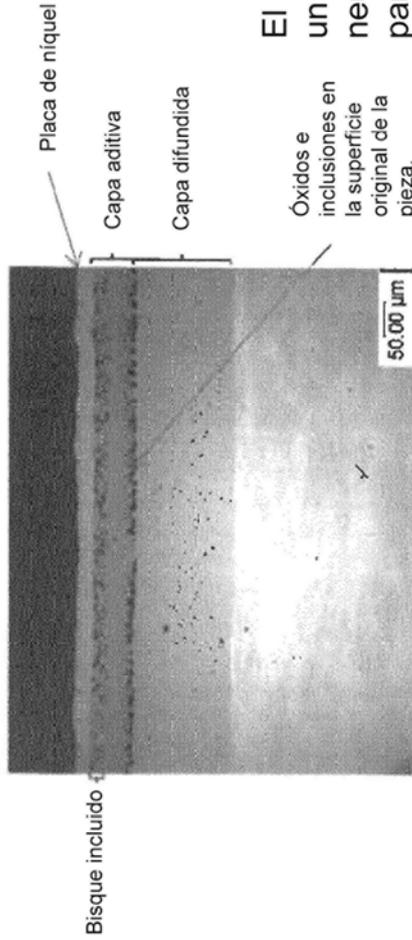
FIG. 4B



Revestimiento con barra donante está inmediatamente fuera del horno. No hay operaciones de limpieza.

Revestimiento con barra donante

FIG. 4A



El revestimiento por suspensión ha pasado por un lavado a presión para eliminar bisque, neutralización química y pulido mecánico para eliminar incrustaciones ásperas.

Revestimiento por suspensión

Revestimiento interno con AI. Gráfico de VPA estándar vs. usando Barra Donante

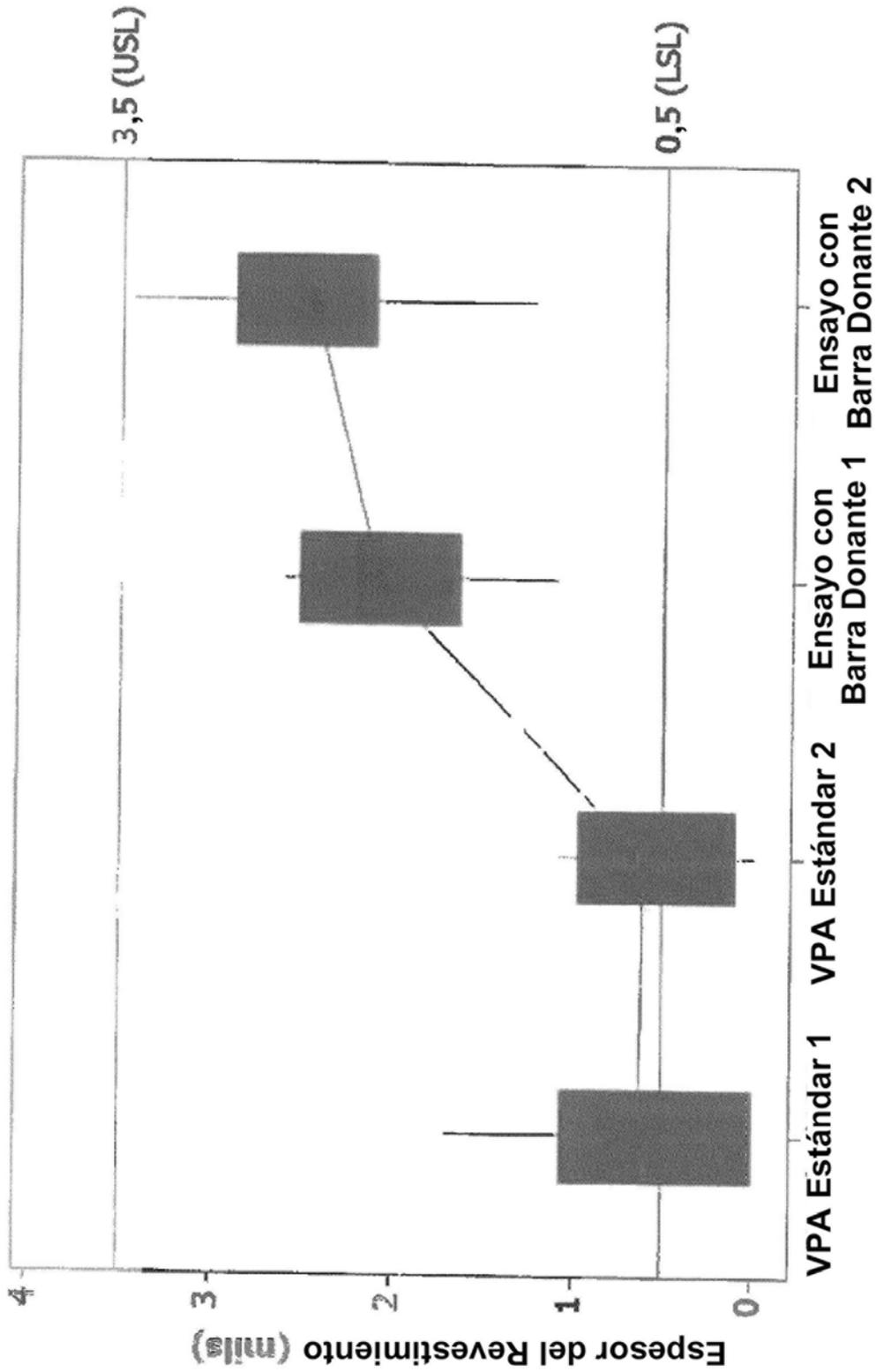


FIG. 5