



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 355 152**

(51) Int. Cl.:
C23C 30/00 (2006.01)
F01D 5/20 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **06405258 .2**
(96) Fecha de presentación : **16.06.2006**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1743958**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **17.01.2007**

(54) Título: **Método para el tratamiento del extremo libre del álabe de una turbina así como álabe de turbina tratado con tal método.**

(30) Prioridad: **14.07.2005 EP 05405436**

(73) Titular/es: **SULZER METCO (US) Inc.**
1101 Prospect Avenue
Westbury, New York 11590, US

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.03.2011

(72) Inventor/es: **Wilson, Scott**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.03.2011

(74) Agente: **Ungría López, Javier**

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).

DESCRIPCION

MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DEL EXTREMO LIBRE DEL ÁLABE DE UNA TURBINA ASÍ COMO ÁLABE DE TURBINA TRATADO CON TAL MÉTODO

La invención se refiere a un método para el tratamiento del extremo libre de un álabe de turbina así como a un álabe de turbina tratado con tal método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación independiente de la respectiva categoría.

Desde el punto de vista de la eficacia en el funcionamiento de turbinas, que se utilizan, por ejemplo, como mecanismo de propulsión para aviones o como turbinas de gas industriales con base terrestre, es deseable reducir en la medida de lo posible el espacio de separación en la carcasa entre los extremos libres de los álabes de las turbinas y las juntas de estanqueidad correspondientes. Si esta hendidura es demasiado grande, esto reduce el rendimiento de la turbina ya que una cantidad excesiva de los gases de alta energía se puede escapar a través de esta hendidura sin haberse aprovechado. Por esta razón, en la actualidad se proporcionan capas de abrasión (abrasive coatings) en los extremos libres de los álabes de las turbinas que posibilitan que -al menos durante las primeras horas de funcionamiento- los álabes de las turbinas al rotar cortan su propio camino a través de las juntas de estanqueidad (abradable seals). Las capas de abrasión contienen habitualmente partículas duras capaces de raspar o cortar, que penetran por corte en la junta de estanqueidad. Se conoce cómo incluir estas partículas en una matriz metálica resistente a la oxidación, que se proporciona sobre la superficie del extremo libre del álabe.

Por el documento US-A-5.935.407 se conoce, por ejemplo, cómo incluir las partículas en una matriz metálica mediante técnicas de galvanización. Como partículas duras con capacidad de raspar, este documento desvela el nitruro de boro cúbico (cBN), un material cerámico que en la actualidad se emplea habitualmente para tales aplicaciones. Las partículas de cBN tienen, sin embargo, la propiedad de que a altas temperaturas de, por ejemplo, más de 800°C, se oxidan rápidamente, de modo que la capa de abrasión se degrada en gran medida.

También se conoce cómo usar carburo de silicio (SiC) como partículas duras en la capa de abrasión (véase, por ejemplo, el documento US-A-4.249.913). El SiC tiene, sin embargo, el inconveniente de que termodinámicamente no es suficientemente estable, particularmente cuando entra en contacto con superaleaciones (superalloys). Precisamente para turbinas que funcionan a muy altas temperaturas en la actualidad es habitual fabricar los álabes de las turbinas a partir de estas superaleaciones, que habitualmente son aleaciones con base de níquel o cobalto. Debido a su inestabilidad termodinámica, por ejemplo, al entrar en contacto el SiC con níquel se da lugar a la formación de siliciuros, lo que deriva en la degradación del SiC y, con ello, de la capa de abrasión. Para resolver este problema en el documento US-A-4.249.913 se propone recubrir las partículas de SiC con óxido de aluminio (Al_2O_3) para evitar así un contacto directo del SiC con la matriz metálica y, con ello, una difusión y/o una reacción del silicio con la matriz metálica. Sin embargo, esta solución presenta el inconveniente de que en caso de daños, tales como grietas o fisuras en la capa de óxido de aluminio vuelve a existir la posibilidad de un contacto directo entre el silicio y la matriz metálica, lo que deriva en la degradación de las partículas de SiC y con ello de la capa de abrasión.

Partiendo este estado de la técnica es por tanto un objetivo de la invención proponer un método para tratar el extremo libre de un álabe de turbina, que posibilite la generación de una capa de abrasión, que junto con buenas propiedades de corte o raspado presente una resistencia elevada a los efectos de degradación. También es un objetivo de la invención proponer un álabe de turbina tratado de este modo.

Los objetos de la invención que resuelven este objetivo quedan definidos por las características de las reivindicaciones independientes de la categoría respectiva.

De acuerdo con la invención se propone, por tanto, un método para tratar el extremo libre de un álabe de turbina, en el que para la generación de una capa de abrasión se fijan partículas de carburo de silicio (SiC) a la superficie del extremo libre del álabe, generándose una capa de barrera autorregenerativa sobre las partículas de SiC.

Gracias a que la capa de barrera, que sirve como barrera para la difusión y la reacción, es autorregenerativa, tampoco las grietas en el recubrimiento de las partículas de SiC derivan en una degradación, ya que estas grietas, gracias a las propiedades autorregenerativas, se vuelven a cerrar y por tanto se impide un contacto entre las partículas de SiC y componentes metálicos de forma duradera. El resultado de esto es un aumento claro en la vida útil de la capa de abrasión del extremo libre del álabe.

En una implementación preferida del método se genera la capa de barrera autorregenerativa sobre las partículas de SiC antes de que las partículas de SiC se apliquen sobre la superficie del extremo libre del álabe. Esto hace posible un recubrimiento de las partículas de SiC sencillo y eficaz.

La capa de barrera autorregenerativa se genera mediante el recubrimiento con un material que se selecciona entre el grupo que consiste en cromo, (Cr), zirconio, (Zr), titanio (Ti), tantalio (Ta), niobio (Nb), hafnio, (Hf), itrio (Y), escandio (Sc), torio (Th), uranio (U), molibdeno (Mo) así como de aleaciones de los mencionados elementos. El recubrimiento con estos materiales produce la formación de buenas capas de barrera, que son autorregenerativas.

Muy preferiblemente, la capa de barrera se genera mediante el recubrimiento con cromo o con una aleación de

cromo. Por recubrimiento con cromo se forma una capa termodinámicamente estable de cromo-carburo de silicio $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{C}$ en la frontera de Cr-SiC, que forma una barrera para procesos de difusión y reacciones químicas. Si se formara una grieta que atravesara la capa frontera de Cr-SiC, el cromo se dirigiría a la zona de esta grieta, por lo que la misma se cerraría.

5 De acuerdo con una implementación ventajosa del método, las partículas de SiC se fijan sobre la superficie del extremo libre del álabe mediante inclusión en una matriz metálica. Se ha podido conseguir que las partículas de SiC queden incluidas en una matriz de MCrAlX, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).

10 Una posibilidad preferida para la generación de la capa de abrasión consiste en fijar las partículas de SiC provistas de la capa de barrera sobre un soporte, por ejemplo, una delgada placa de metal, y a continuación mediante el recubrimiento formar una matriz metálica, en la que están incluidas al menos las zonas superficiales alejadas del soporte de las partículas de SiC, fijar la superficie alejada del soporte al extremo libre del álabe y retirar el soporte. Con esta implementación del método se garantiza que no se formen huecos u orificios entre las partículas de SiC y la superficie del extremo libre del álabe, dando como resultado una fijación particularmente buena y fiable de las partículas de SiC.

15 Una variante del método igualmente preferida, que conlleva las mismas ventajas, se realiza de tal modo que se fijan las partículas de SiC sobre un soporte, por ejemplo, una placa metálica delgada, se genera la capa de barrera sobre las partículas de SiC, particularmente mediante un método de PVD, a continuación mediante recubrimiento se genera una matriz metálica, en la que están incluidas al menos las zonas superficiales de las partículas de SiC alejadas del soporte, se fija la superficie alejada del soporte al extremo libre del álabe y se retira el soporte.

20 En estas dos variantes del método, la superficie alejada del soporte se fija al extremo libre del álabe preferiblemente mediante soldadura fuerte (brazing).

Por motivos prácticos es preferible generar la matriz metálica mediante una deposición física de la fase vapor, es decir, un método de PVD y particularmente mediante un método de PVD de alta velocidad.

25 Otra implementación del método consiste en fijar las partículas de SiC al extremo libre del álabe mediante soldadura fuerte.

30 A este respecto puede ser ventajoso que antes de la soldadura fuerte primero se forme una capa de MCrAlX sobre el extremo libre del álabe, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf). La capa de MCrAlX se genera preferiblemente mediante un método de PVD, particularmente un método de PVD de alta velocidad.

Una posibilidad más consiste en unir las partículas de SiC al extremo libre del álabe por medio de soldadura láser.

35 Particularmente en el caso de soldadura fuerte de las partículas de SiC puede ser ventajoso que, además de la capa de barrera, las partículas de SiC se provean de una capa de protección, preferiblemente una capa de MCrAlX, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).

El álabe de turbina de acuerdo con la invención está caracterizado por que presenta un extremo libre que se ha tratado mediante un método de acuerdo con la invención.

40 Particularmente esto es un álabe de turbina, cuyo extremo libre está provisto de una capa de abrasión que contiene partículas de carburo de silicio SiC, presentando las partículas de SiC una capa de barrera autorregenerativa. Las ventajas que se derivan de esto son análogas a las del método de acuerdo con la invención.

La capa de barrera se genera mediante recubrimiento con un material, que se selecciona entre el grupo que consiste en: cromo (Cr), zirconio (Zr), titanio (Ti), tantalio (Ta), niobio (Nb), hafnio, (Hf), itrio (Y), escandio (Sc), torio (Th), uranio (U), molibdeno (Mo) así como aleaciones de los mencionados elementos.

45 Muy preferiblemente, la capa de barrera se genera mediante recubrimiento con cromo o una aleación de cromo (chromised).

En un ejemplo de realización preferido del álabe de turbina, las partículas de SiC se fijan a la superficie del extremo libre del álabe mediante inclusión en una matriz metálica.

Muy preferiblemente, las partículas de SiC están incluidas en una matriz de MCrAlX, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).

Otras medidas ventajosas y configuraciones preferidas de la invención se obtienen de las reivindicaciones dependientes.

5 A continuación se explica con más detalle la invención por medio de ejemplos de realización y por medio del dibujo. En el dibujo esquemático presentan:

La Fig. 1: un ejemplo de realización de un álabe de turbina de acuerdo con la invención,

La Fig. 2: una estructura esquemática de un partícula de SiC con un ejemplo de realización de una capa de barrera de acuerdo con la invención,

10 La Fig. 3: un corte por una capa de abrasión sobre el extremo libre del álabe de una turbina, generado mediante un método de acuerdo con la invención y

La Fig. 4: una implementación preferida del método.

En la Fig. 1 se muestra en una representación esquemática un ejemplo de realización de un álabe de turbina de acuerdo con la invención que se designa en su totalidad con la referencia 1. El álabe de turbina 1 tiene un extremo libre 11, queriéndose decir el extremo más alejado del eje de rotación del álabe de turbina 1. En la superficie del extremo libre 11 se proporciona una capa de abrasión 12 (abrasive layer), que durante el estado de funcionamiento de la turbina interacciona de forma en sí conocida con una junta de estanqueidad deteriorable por abrasión 41 (abradable seal). La junta de estanqueidad deteriorable por abrasión 41 está fijada mediante un medio de soporte 42 a una carcasa 4 de la turbina. La junta de estanqueidad 41 puede estar hecha, por ejemplo, de un material cerámico. La capa de abrasión 12 se genera mediante un método de acuerdo con la invención, que se explicará con detalle más adelante.

El sentido de giro del álabe de la turbina 1 se indica mediante la flecha D, es decir, el álabe de la turbina 1 gira hacia el interior del plano del papel. Al menos durante las primeras horas de funcionamiento del álabe de turbina 1, la capa de abrasión 12 se abre camino cortando o raspando la junta de estanqueidad 41 deteriorable por abrasión. Esto tiene como consecuencia que la holgura o hendidura entre el extremo libre del álabe 11 y la junta de estanqueidad 41 es la mínima posible, de modo que muy poco del gas de alta energía puede escapar por esta hendidura sin aprovecharse.

El método de acuerdo con la invención para tratar el extremo libre 11 del álabe de turbina 1 se caracteriza particularmente por que para la generación de la capa de abrasión 12 se fijan partículas de carburo de silicio (SiC) a la superficie del extremo libre 11 del álabe, proporcionándose sobre las partículas de SiC una capa de barrera autorregenerativa.

30 La fig. 2 muestra en una representación del corte un ejemplo de realización de tal partícula de SiC recubierta, que está provista en su totalidad con la referencia 3. La partícula de SiC recubierta 3 comprende la propia partícula de SiC 31, la capa de barrera 32 autorregenerativa así como un material 33, con el que se recubrió la partícula de SiC 31 para generar la capa de barrera 32.

35 Se conoce que el SiC no es termodinámicamente estable. Particularmente el contacto con metales o compuestos metálicos, por ejemplo, níquel (Ni) o aleaciones de níquel, produce una degradación del SiC. Pueden configurarse siliciuros en forma de diferentes compuestos de níquel-silicio y puede producirse deposición de carbono puro, con lo que el SiC se descompondrá con el contacto con níquel.

40 El Ni y las aleaciones de Ni tienen por tanto una gran relevancia, porque muchas de las superaleaciones que se usan para la fabricación de álabes de turbinas para muy altas temperaturas de funcionamiento de, por ejemplo, por encima de 800°C, son aleaciones basadas en níquel.

Para evitar el contacto entre el níquel (u otro elemento metálico del álabe de una turbina) y las partículas de SiC, de acuerdo con la invención se proporciona una capa de barrera autorregenerativa 32 sobre las partículas de SiC 31, que sirve como barrera para la difusión y reacciones químicas entre el SiC y su entorno metálico. Con este propósito, por ejemplo, es posible generar carburos o compuestos de carburos sobre las partículas de SiC, que termodinámicamente son más estables que el SiC.

Una propiedad esencial de la invención de la capa de barrera 32 es que es autorregenerativa. La capa de barrera 32 es una capa activa que en el caso de resultar dañada se “repara” sola. Esto quiere decir que si se forman grietas o se producen defectos, que se extienden por la capa de barrera 32 hasta penetrar en el SiC, se difundirán partículas desde la capa con el material 33 hacia la zona de la grieta o el defecto, se unirán con el silicio y cerrarán la grieta o el defecto de este modo en la capa de barrera 32. Gracias a esta propiedad autorregenerativa se impide de forma eficaz una degradación de las partículas de SiC 31, por lo que se consigue una capa de abrasión 12 de vida útil particularmente larga y funcional, que sea estable también a temperaturas de más de 800°C, que no se oxide y que presente buenas propiedades de corte o raspado con respecto a juntas de estanqueidad deteriorables por abrasión 41.

La capa de barrera 32 se genera mediante recubrimiento de las partículas de SiC 31 con uno de los siguientes elementos: cromo (Cr), zirconio (Zr), titanio (Ti), tantalio (Ta), niobio (Nb), hafnio (Hf), itrio (Y), escandio (Sc), torio (Th), uranio (U), molibdeno (Mo). Para la generación de la capa de barrera también se pueden emplear aleaciones de los mencionados elementos. El recubrimiento con estos elementos deriva en la configuración de carburos que son termodinámicamente más estables que el SiC.

A continuación se hace referencia con carácter ilustrativo al caso preferido y de particular relevancia en la práctica, en el que la capa de barrera 32 de acuerdo con la invención se genera mediante el recubrimiento de las partículas de SiC con cromo (Cr). Sin embargo, las explicaciones son igualmente válidas conceptualmente para otros elementos o aleaciones.

Las partículas de SiC 3 se fijan preferiblemente a la superficie del extremo libre del álabe mediante inclusión en una matriz metálica. La fig. 3 muestra una sección por una capa de abrasión 12 sobre el extremo libre 11 de un álabe de turbina. Las partículas de SiC recubiertas 3 están incluidas en una matriz metálica 5, que se proporciona sobre la superficie del extremo libre 11 del álabe. Preferiblemente, la matriz metálica 5 es una matriz del tipo MCrAlX, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf). Muy preferiblemente se para X el elemento itrio.

A continuación se explican algunos ejemplos de realización preferidos del método de acuerdo con la invención.

Una medida preferida consiste en recubrir las partículas de SiC 31 antes de que se apliquen sobre la superficie del extremo libre 11 del álabe. Para esto se emplean como material de partida partículas de SiC disponibles en el mercado, que preferiblemente tienen un diámetro de como máximo 500 µm (micrómetros) y particularmente un diámetro de 300-400 µm. Las partículas de Si se recubren después con cromo (Cr), de modo que presentan una capa de cromo 33 lo más homogénea posible, que tiene, por ejemplo, aproximadamente 10 µm de espesor. El recubrimiento de cromo puede realizarse mediante todo método en sí conocido. Particularmente para generar la capa de cromo 33 son adecuados los métodos termoquímicos, cementación en paquete (pack cementation), deposición física o química de fase vapor (PVD: physical vapor deposition; CDV: chemical vapor deposition), precipitación de soluciones o separaciones mediante gravedad (slurry) o métodos galvánicos. Estos métodos de generación de capas de cromo son suficientemente conocidos por el experto en la materia y por esta razón no se aclararán más en este documento.

Cuando las partículas de SiC 31 (fig. 2) se recubren con Cr, se configura en la zona de frontera entre el SiC y el Cr una capa de carburo de silicio-cromo de composición química $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{C}$. Esta capa de barrera 32 esta rodeada por su cara exterior de una capa 33 de Cr elemental. Particularmente la capa de barrera 32 de $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{C}$ tiene propiedades autorregenerativas. En caso de que se abra una grieta que se extiende a través de la zona de frontera de Con respecto-SiC, se difundirá desde la capa 33 Cr elemental hasta la zona de la grieta y la subsanará. Con esto se impide la difusión hacia el SiC de otros elementos metálicos -tales como, por ejemplo, níquel- de la aleación de la que está hecho el álabe de la turbina o de la matriz metálica 5 y por tanto se evita una degradación de la capa de abrasión 12. Se ha comprobado que el sistema $\text{Cr}-\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{C}-\text{SiC}$ es estable termodinámicamente y químicamente incluso a temperaturas de 1000°C.

Puede ser ventajoso que las partículas de SiC 3 recubiertas con cromo o un compuesto de cromo se sometan a continuación a un tratamiento térmico, preferiblemente en el intervalo entre 900°C y 1600°C, para garantizar una

configuración de la capa de barrera 32 –es decir, en este caso la capa de $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{C}$ - particularmente buena y poco o nada porosa.

Después de que las partículas de SiC 31 estén recubiertas con cromo se tienen que fijar a la superficie del extremo libre 11 del álabe de turbina 1. El álabe de turbina se fabrica habitualmente de una superaleación (superalloy), por ejemplo, una aleación con base de níquel que se puede obtener con el nombre comercial Inconel 718. Las partículas de SiC 31 recubiertas con la capa de cromo 33 y la capa de barrera 32 se fijan preliminarmente sobre la superficie del extremo libre 11 del álabe. Esto se puede realizar por adhesión con una resina epoxi o mediante un proceso de polimerización. A continuación se genera la matriz metálica 5 sobre el extremo libre 11 (véase la fig. 3), en la que se incluyen las partículas de SiC 3 recubiertas. De acuerdo con una implementación preferida del método, la matriz metálica 5, que es del tipo MCrAlX, -prefiriéndose para M el elemento Ni- se genera mediante deposición física de la fase vapor (PVD: physical vapor deposition). El experto en la materia conoce diferentes métodos de PVD adecuados para este fin, de modo que no se considera necesario aclararlos más en este documento. El método de HS-PVD (HS: high speed) es particularmente adecuado, en el que se trabaja con velocidades de deposición particularmente altas. La matriz metálica 5 que se genera en este ejemplo de realización con un espesor de aproximadamente 350 μm . Mediante la deposición de la matriz metálica 5, las partículas de SiC se incluyen en esta matriz 5 y con ello se fijan firmemente a la superficie del extremo libre 11 del álabe. Así consigue el álabe de turbina 1 en su extremo libre 11 del álabe la capa de abrasión 12, que contiene las partículas de SiC recubiertas como elementos de corte o raspado.

Como alternativa, también es posible pegar en primer lugar las partículas de SiC 31 todavía sin recubrir al extremo libre 11 del álabe, por ejemplo, mediante una resina epoxi, y después, en una primera etapa, mediante un método de PVD, recubrir las partículas de SiC 31 con cromo, configurándose la capa de barrera 32 y la capa de cromo 33 y finalmente, en una segunda etapa, mediante un método de PVD, depositar la matriz metálica 5 sobre el extremo libre 11 del álabe, de modo que las partículas de SiC estén incluidas en la matriz 5 y unidas al extremo libre 11 del álabe.

Para conseguir una unión duradera y todavía mejor entre las partículas de SiC 3 y el extremo libre 11 del álabe es adecuada la realización del método de acuerdo con la invención que se representa en la fig. 4.

Como muestra esto la representación superior de la fig. 4, en primer lugar se fijan las partículas recubiertas de SiC 3 a un soporte 6, por ejemplo, mediante adhesión con una resina epoxi 7. El soporte 6 es preferiblemente una placa metálica de aproximadamente 1-2 mm de espesor, por ejemplo, una placa de Ni o una placa de la aleación con base de níquel Inconel 718. Las partículas de SiC recubiertas 3 fijadas sobre el soporte 6 se recubren a continuación con una matriz metálica 5 del tipo MCrAlX mediante un método de PVD, siendo M preferiblemente Ni. La matriz metálica 5 se genera con un espesor de aproximadamente 100-200 μm . Esto se muestra en la segunda representación de la fig. 4 desde arriba. Mediante esta etapa se recubren con la matriz metálica 5 los extremos superiores según la representación y preferiblemente al menos las mitades superiores de las zonas superficiales de cada partícula de SiC recubierta 3. Como muestra la tercera representación desde arriba de la fig. 4, ahora se le da la vuelta al soporte 6 y la matriz 5 que cubre las partículas de SiC se fija sobre la superficie del extremo libre 11 del álabe mediante soldadura fuerte (brazing), de modo que los "pies" recubiertos con MCrAlX de las partículas de SiC queden incluidos en la capa de soldadura 8. Finalmente -como muestra la representación inferior de la fig. 4- se retira el soporte 6. Esto puede realizarse mediante flexión, decapado, raspado o cualquier otro método de tratamiento adecuado.

Mediante esta implementación del método se garantiza que no se configuren cavidades entre las partículas de SiC y la superficie del extremo libre del álabe 11. El resultado es una unión particularmente buena y fiable entre las partículas de SiC 3 y el extremo libre 11 del álabe, por lo que la capa de abrasión 12 queda fijada particularmente bien y de forma duradera al extremo libre 11 del álabe.

En la implementación del método representado en la fig.4 también es posible como alternativa pegar en primer lugar las partículas de SiC sin recubrir 31 al soporte 6 y después en un primer método de PVD proporcionar a las partículas de SiC 31 una capa de cromo o una de las posibles capas 33 posibles como alternativa, por lo que se configura la capa de barrera 32. La capa de cromo se aplica preferiblemente con un espesor de aproximadamente 10 μm . A continuación, también mediante PVD se aplica una capa de MCrAlX, por ejemplo, de aproximadamente 100-200 μm de espesor, por lo que los extremos superiores según la representación y preferiblemente al menos las mitades superiores de las zonas superficiales de cada partícula de SiC 3 recubierta de Cr quedan recubiertos con la matriz de MCrAlX 5. Ahora se le da la vuelta al soporte 6 con las partículas de SiC 3 parcialmente recubiertas con MCrAlX y se fija la matriz de MCrAlX 5 que cubre las partículas de SiC a la superficie del extremo libre 11 del álabe mediante soldadura fuerte (brazing), de modo que los "pies" recubiertos de MCrAlX de las partículas de SiC queden incluidos en la capa de soldadura fuerte. Finalmente se retira el soporte 6.

Como alternativa a la generación de la matriz metálica 5 mediante un método de PVD también es posible incluir las partículas de SiC 3 recubiertas con Cr en una matriz metálica mediante soldadura fuerte y fijarlas a la superficie del extremo libre 11 del álabe. En caso de que las partículas de SiC 3 se fijen al extremo libre del álabe mediante soldadura fuerte, también es ventajoso fijar preliminarmente las partículas de SiC 3 recubiertas de Cr al

extremo libre 11 del álabe, por ejemplo, mediante adhesión con resina epoxi y después empezar el proceso de soldadura.

La elección de una soldadura fuerte adecuada depende del caso de aplicación especial. A continuación se detallan algunas posibilidades que hacen referencia con carácter ilustrativo a álabes de turbina 1, que están hechos de la aleación de níquel Inconel 718.

En principio es posible realizar la soldadura fuerte con o sin el uso de un material de relleno (filler). Los materiales para la soldadura fuerte adecuados son por ejemplo los que pertenecen a la familia de productos que el solicitante comercializa con el nombre comercial Amdry. Son particularmente adecuados, por ejemplo, Amdry 936 -esto es un material de soldadura fuerte de alta temperatura de Ni-Mn-Si-B-Cu-Re- o Amdry 775, un material de soldadura con base de níquel y con Cr y B (boro). En caso de que se emplee un material de relleno, para esto es adecuado, por ejemplo, Amdry 9951. Este es un material con base de Co con Ni, Cr, Al e Y.

También mediante el proceso de soldadura fuerte se puede generar una matriz de MCrAIX 5, en la que las partículas recubiertas de SiC estén incluidas.

Una medida ventajosa consiste en proporcionar una capa de MCrAIX al extremo libre 11 del álabe antes de la soldadura fuerte, que tenga, por ejemplo, un espesor de 50 µm y preferiblemente se genera mediante un método de PVD. A continuación las partículas de SiC 3 recubiertas con cromo se fijan sobre esta capa mediante soldadura fuerte. La capa de MCrAIX aplicada anteriormente sirve como barrera interpuesta entre el material del extremo libre del álabe 11 y las partículas de SiC 3, que impide o al menos reduce mucho los procesos de difusión durante la soldadura fuerte, por ejemplo, la difusión de Ni desde el material del álabe Inconel 718 hacia el exterior.

Una variante más consiste en fijar las partículas de SiC recubiertas al extremo libre del álabe mediante soldadura láser. En este caso existe también la posibilidad de generar primero una capa de MCrAIX sobre el extremo libre 11 del álabe mediante soldadura láser, siendo X preferiblemente itrio (Y) y después fijar las partículas de SiC recubiertas con Cr al extremo libre 11 del álabe mediante soldadura láser, usando preferiblemente un material de aportación rico en MCrAIX. En conclusión también se puede usar soldadura láser para incluir las partículas de SiC 3 en una matriz de MCrAIX sobre el extremo libre 11 del álabe.

Particularmente en los métodos en los que se utilizan la soldadura fuerte y la soldadura láser puede ser ventajoso que las partículas de SiC 3 recubiertas con Cr se envuelvan con una capa de protección adicional antes del proceso de soldadura o láser. Esta capa de protección es preferiblemente también del tipo MCrAIX, prefiriéndose para M níquel y para X itrio. Los métodos de revestimiento (cladding) que se pueden usar para generar la capa de protección son conocidos y no se considera necesario detallarlos más en este documento.

También existe la posibilidad de depositar primero una matriz de MCrAIX sobre el extremo libre 11 del álabe, preferiblemente mediante un método de PVD, e incluir en la misma galvánicamente o mediante métodos electroquímicos las partículas de SiC 3 recubiertas.

Se entiende que los extremos libres de álabes o los álabes de turbina de acuerdo con la invención tratados mediante el método de acuerdo con la invención se pueden someter adicionalmente a tratamientos o postratamientos térmicos. La optimización de tales tratamientos se realiza dependiendo del caso de aplicación especial.

REIVINDICACIONES

1. Método para tratar el extremo libre de un álabe de turbina, en el que para generar una capa de abrasión (12) se fijan partículas de carburo de silicio (SiC) (31) a la superficie del extremo libre (11) del álabe, caracterizado por que sobre las partículas de SiC (31) se genera una capa de barrera autorregenerativa (32) mediante recubrimiento con un material, que se selecciona entre el grupo que consiste en cromo (Cr), zirconio (Zr), titanio (Ti), tantalio (Ta), niobio (Nb), hafnio (Hf), itrio (Y), escandio (Sc), torio (Th), uranio (U), molibdeno (Mo) así como aleaciones de los mencionados elementos.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la capa de barrera autorregenerativa (32) se genera sobre las partículas de SiC (31), antes de que las partículas de SiC se apliquen sobre la superficie del extremo libre del álabe (11).
3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de barrera (32) se genera mediante recubrimiento con cromo o con una aleación de cromo.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que las partículas de SiC (31) se unen a la superficie del extremo libre (11) del álabe mediante inclusión en una matriz metálica (5).
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que las partículas de SiC (31) se incluyen en una matriz de MCrAlX (5), indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que:
 - las partículas de SiC (31) provistas de la capa de barrera (32) se fijan a un soporte (6),
 - a continuación se genera una matriz metálica (5) mediante recubrimiento, en la que al menos están incluidas las zonas superficiales de las partículas de SiC (3) alejadas del soporte (6),
 - se fija la superficie alejada del soporte (6) al extremo libre (11) del álabe y
 - se retira el soporte (6).
7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que
 - las partículas de SiC (31) se fijan a un soporte (6),
 - la capa de barrera (32) se genera sobre las partículas de SiC (31), particularmente mediante un método de PVD,
 - a continuación se genera una matriz metálica (5) mediante recubrimiento, en la que al menos están incluidas las zonas superficiales de las partículas de SiC (31) alejadas del soporte (6),
 - se fija la superficie alejada del soporte (6) sobre el extremo libre (11) del álabe y
 - se retira el soporte (6).
8. Método de acuerdo con la reivindicación 6 ó 7, en el que la superficie alejada del soporte (6) se fija al extremo libre (11) del álabe mediante soldadura fuerte.
9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 3-8, en el que la matriz metálica (5) se genera mediante una deposición física de la fase vapor, es decir, un método de PVD, y particularmente un método de PVD de alta velocidad.
10. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-8, en el que las partículas de SiC (31) se unen al extremo libre (11) del álabe mediante soldadura fuerte.
11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, en el que antes de la soldadura fuerte se genera primero una capa de MCrAlX sobre el extremo libre (11) del álabe, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).
12. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-8, en el que las partículas de SiC (3) se unen al extremo libre (11) del álabe mediante soldadura láser.
13. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que a las partículas de SiC (31) se proporciona además de la capa de barrera (32), una capa de protección, preferiblemente una capa de protección de MCrAlX, indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).
14. Álabe de turbina con un extremo libre (11) de álabe tratado según un método conforme a una de las reivindicaciones anteriores.

15. Álabes de turbina de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la capa de barrera (32) se ha generado mediante recubrimiento con cromo o con una aleación de cromo.
16. Álabes de turbina de acuerdo con una de las reivindicaciones 14 ó 15, en el que las partículas de SiC (31) están unidas a la superficie del extremo libre del álabes mediante inclusión en una matriz metálica (5).
- 5 17. Álabes de turbina de acuerdo con la reivindicación 16, en el que las partículas de SiC (31) están incluidas en una matriz de MCrAlX (5), indicando M níquel (Ni) y/o cobalto (Co) y/o hierro (Fe) y X itrio (Y) y/o zirconio (Zr) y/o hafnio (Hf).

Fig.1

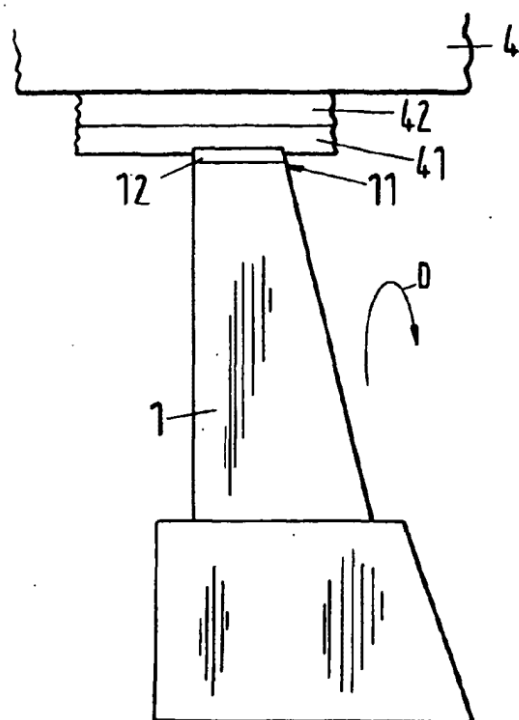


Fig.2

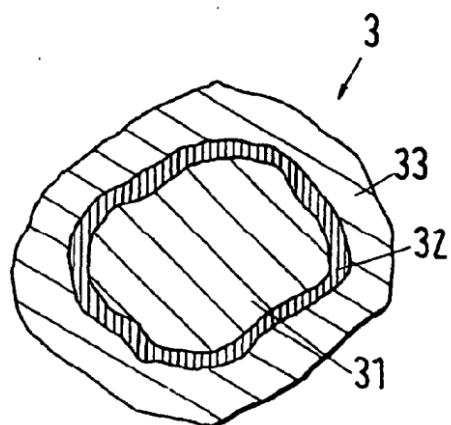


Fig.3

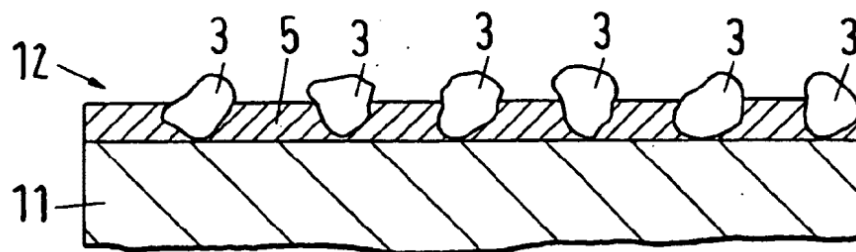


Fig.4

