



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 317 825**

(51) Int. Cl.:
C23C 30/00 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **00402538 .3**
(96) Fecha de presentación : **14.09.2000**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1085109**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **21.03.2001**

(54) Título: **Composición de barrera térmica de baja conductividad térmica, pieza mecánica de superaleación protegida por un revestimiento de cerámica que tiene tal composición y método de realización del revestimiento de cerámica.**

(30) Prioridad: **16.09.1999 FR 99 11565**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2009

(73) Titular/es: **SNECMA**
2, boulevard du Général Martial Valin
75015 Paris, FR

(72) Inventor/es: **Alperine, Serge;**
Lavigne, Odile;
Arnault, Véronique y
Mevrel, Rémy

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Composición de barrera térmica de baja conductividad térmica, pieza mecánica de superaleación protegida por un revestimiento de cerámica que tiene tal composición y método de realización del revestimiento de cerámica.

La invención se refiere a una composición de barrera térmica de baja conductividad térmica, una pieza mecánica de superaleación protegida por un revestimiento de cerámica que tiene tal composición, y un método de realización del revestimiento de cerámica.

Los constructores de motores de turbina, terrestres y aeronáuticos, se enfrentan desde hace más de treinta años a imperativos de aumento del rendimiento de las turbomáquinas, de disminución de su consumo específico de combustible y de las emisiones contaminantes de tipos CO_x , SO_x , NO_x y no quemados. Una de las maneras de responder a estos imperativos consiste en aproximarse a la estequiometría de combustión del combustible y por consiguiente aumentar la temperatura de los gases que salen de la cámara de combustión e impactan en las primeras etapas de turbina.

Correlativamente, resulta necesario hacer los materiales de la turbina compatibles con esta elevación de temperatura de los gases de combustión. Una de las soluciones aceptadas consiste en mejorar las técnicas de refrigeración de los álabes de turbina. Esta evolución implica un fuerte aumento de la tecnicidad y del coste de realización de las piezas. Otra solución consiste en hacer evolucionar la refractariedad de los materiales utilizados (temperatura límite de uso y vida útil en fluencia y en fatiga). Esta solución ha sido puesta en práctica cuando aparecieron las superaleaciones a base de níquel y/o de cobalto. Ha conocido una evolución técnica considerable por el paso de las superaleaciones equiejes a las superaleaciones microcristalinas (ganancia de 80° a 100°C en fluencia). Esta vía no puede ser hoy explotada más que con costes de desarrollo importantes (superaleaciones llamadas de tercera generación, antes que permitir una ganancia suplementaria en fluencia de aproximadamente 20°C). Más allá se impone un nuevo cambio de familia de material.

Una alternativa a este cambio de familia de materiales consiste en depositar sobre las piezas calientes de superaleaciones un revestimiento aislante térmico llamado barrera térmica. Este revestimiento de cerámica permite sobre una pieza refrigerada crear, en régimen permanente de funcionamiento, un gradiente térmico a través de la cerámica cuya amplitud total puede superar los 200°C . La temperatura de funcionamiento del metal subyacente se encuentra disminuida en proporción con una incidencia considerable sobre el volumen de aire de refrigeración necesario, la vida útil de la pieza y el consumo específico del motor.

El revestimiento de cerámica puede ser depositado sobre la pieza que se va a revestir utilizando procedimientos diversos que pertenecen para la mayoría de ellos a dos familias distintas: los revestimientos proyectados y los revestimientos depositados por vía física en fase de vapor. Otros procedimientos de depósito de tipo depósito químico en fase de vapor (CVD) asistido por plasma pueden ser igualmente utilizados.

Para los revestimientos proyectados, se efectúa un depósito de óxido a base de circonio mediante técnicas emparentadas con la proyección de plasma. El revestimiento está constituido por un agrupamiento de gotitas de cerámica fundidas y después templadas por choque, aplanadas y apiladas de manera que formen un depósito imperfectamente densificado con un espesor comprendido entre $50\text{ }\mu\text{m}$ y 1 mm . Una de las características de este tipo de revestimiento es una rugosidad intrínsecamente elevada (la rugosidad R_a está comprendida típicamente entre 5 y $35\text{ }\mu\text{m}$). El modo de degradación en servicio asociado habitualmente con este revestimiento está caracterizado por la propagación lenta de una fisura en la cerámica paralelamente en la interfaz cerámica/metal.

En el caso de los revestimientos depositados por vía física en fase de vapor, el problema es sensiblemente diferente. Tal depósito puede ser realizado por evaporación bajo bombardeo electrónico. Su característica principal es que el revestimiento está constituido por un conjunto de columnitas muy finas (entre $0,2$ y $10\text{ }\mu\text{m}$ típicamente) orientadas de manera sensiblemente perpendicular a la superficie que se va a revestir. El espesor de tal revestimiento puede estar comprendido entre 20 y $600\text{ }\mu\text{m}$. Tal conjunto presenta la propiedad interesante de reproducir sin alterarlo el estado de superficie del substrato recubierto. En particular, en el caso de álabes de turbinas, pueden obtenerse rugosidades finales muy inferiores al micrómetro, lo que es muy ventajoso para las propiedades aerodinámicas del álabe. Otra consecuencia de la estructura llamada de columnas de los depósitos de cerámica por vía física en fase de vapor, es que el espacio situado entre las columnitas permite al revestimiento adaptarse de manera muy eficaz a las tensiones de compresión sufridas en servicio a causa del diferencial de dilatación con el substrato de superaleación. En este caso, pueden alcanzarse vidas útiles elevadas en fatiga térmica a alta temperatura y la rotura del revestimiento tiene lugar de la proximidad de la interfaz sub-capa/cerámica.

Las técnicas de depósito químico en fase de vapor producen revestimientos cuya morfología es de columnas y sensiblemente equivalente a la de los depósitos efectuados por vía física en fase de vapor. En las técnicas de depósito químico o físico en fase de vapor, la formación de óxido resulta de una reacción molecular entre átomos o iones metálicos y el oxígeno.

Los revestimientos de barrera térmica están compuestos por una mezcla de óxidos, habitualmente a base de circonio. Este óxido constituye un compromiso interesante entre un material que posee una conductividad térmica bastante baja y un coeficiente de dilatación relativamente elevado, próximo al de las aleaciones a base de níquel y/o de cobalto sobre las cuales se desea depositarlo. Una de las composiciones de cerámica que proporciona más satisfacción es el

circonio total o parcialmente estabilizado por un óxido tal como por ejemplo por el óxido de itrio: $\text{ZrO}_2 + 6$ a 8% másico de Y_2O_3 . La función del óxido itrio es estabilizar la variedad alotrópica cúbica C y/o tetragonal no transformable t' del circonio, y evitar así transiciones de fases de tipo martensítico durante variaciones entre la temperatura ambiente y la temperatura de servicio elevada de la placa.

La funcionalidad primera de un revestimiento de barrera térmica es ralentizar los intercambios de calor entre un medio exterior compuesto por gases calientes y la pieza metálica recubierta, siendo la pieza metálica la mayoría de las veces refrigerada a su vez por circulación forzada de gases fríos. Los intercambios de calor entre el revestimiento cerámico y el metal subyacente pueden ser conductivos y, en una menor medida, radiativos. Es bien conocido que la conductividad térmica de un óxido es la suma de una contribución fónica, que varía como $1/T$, y de una contribución radiativa, que varía en T^3 . En el caso de los circonios parcial o totalmente estabilizados, la experiencia muestra que si la contribución radiativa es importante por encima de 500°C en un monocristal (la conductividad térmica aumenta rápidamente con la temperatura), es despreciable hasta 1200°C en un policristal puesto que se observa una disminución de la conductividad térmica cuando la temperatura aumenta. Este fenómeno es atribuido a la retrodifusión sobre los defectos del policristal: juntas de granos, porosidades. En el caso de los revestimientos de barrera térmica, por naturaleza policristalinos, el efecto radiante sobre los procesos de transporte del calor es de segundo orden con relación al efecto conductivo. Por consiguiente, para mejorar el poder aislante de una barrera térmica, el parámetro pertinente que conviene ajustar es el proceso de transporte por los fonones.

Existen varios métodos que permiten disminuir la conductividad térmica del revestimiento. Estos métodos derivan del hecho de que los revestimientos de barrera térmica son capas cerámicas porosas y de que la conductividad térmica del revestimiento es la de un conjunto heterogéneo de dos conductores medios del calor; estos conductores medios son el propio material cerámico, de conductividad intrínseca λ_{intr} , y los poros o microfisuras del revestimiento cuya conductividad es próxima a la del gas que los emplea en condiciones de servicio.

La conductividad efectiva del revestimiento $\lambda_{\text{réel}}$, está comprendida entre λ_{intr} Y la conductividad del aire λ_{air} . Se puede, de hecho, escribir que $\lambda_{\text{réel}}$ es una función compleja de λ_{intr} , λ_{air} y de la morfología del revestimiento.

Una primera solución para obtener un revestimiento de baja conductividad térmica consiste, en utilizar una cerámica cuya composición cerámica es clásica, por ejemplo de circonio parcialmente estabilizado mediante 6 a 8% en peso de óxido itrio, y en modificar la morfología del revestimiento, es decir la proporción, el reparto y la orientación de los poros y microfisuras del revestimiento, o bien la disposición de la materia en forma de columnas o de estratos, de manera que disminuya $\lambda_{\text{réel}}$. Es posible llegar a este resultado modificando los parámetros de depósito del revestimiento.

Una segunda solución consiste en buscar, modificando la composición química del revestimiento, en disminuir directamente λ_{intr} , sin alterar su morfología, conservando las otras propiedades del revestimiento. Es bien conocido por ejemplo que la introducción de itrina en el circonio baja la conductividad térmica por la introducción de lagunas en la red debido a las valencias diferentes de los iones de circonio y de itrio. De manera general, la introducción de defectos puntuales en la red, que actúan como centros de retrodifusión de los fonones, contribuye a reducir la conductividad térmica. Es esta solución la que se pone en práctica en la presente invención.

La solicitud de patente EP 0 825 271 A1 describe un revestimiento cerámico a base de circonio que contiene dos óxidos adicionales:

- un primer óxido cuya función es estabilizar la forma tetragonal o cúbica del circonio. Este óxido puede ser el óxido de itrio, de calcio, de magnesio, de indio, de escandio o de iterbio,

- un segundo óxido, cuya función es reducir la conductividad térmica debida a los fonones y que absorbe la energía radiativa en la banda de longitud de onda comprendida entre $0,3$ y $5 \mu\text{m}$ con el fin de disminuir la conductividad térmica debida a los fotones.

En una versión alternativa, la capa cerámica a base de circonio contiene tres óxido adicionales:

- un primer óxido cuya función es estabilizar la forma tetragonal o cúbica del circonio. Este óxido puede ser el óxido de itrio, de calcio, de magnesio, de indio, de escandio o de iterbio,

- un segundo óxido, cuya función es reducir la conductividad térmica debida a los fonones y

- un tercer óxido que absorbe la energía radiativa en la banda de longitud de onda comprendida entre $0,3$ y $5 \mu\text{m}$ con el fin de disminuir la conductividad térmica debida a los fotones.

Las composiciones propuestas en esta patente son complejas y costosas.

El objeto de la invención es determinar una nueva composición de cerámica a base de circonio que permite obtener un revestimiento de barrera térmica de menor conductividad térmica que el circonio con itrio habitualmente utilizado para los sistemas de aislamiento térmico y en particular para las barreras térmicas.

ES 2 317 825 T3

Para ello, la invención consiste en elaborar una nueva composición de barrera térmica, constituida por una base de circonio, y por un óxido de disprosio que permite a la vez estabilizar el circonio y reducir la conductividad térmica intrínseca de la cerámica por la introducción de defectos puntuales en la red, preservando sus otras características principales tales como, por ejemplo la naturaleza de las fases, el coeficiente de dilatación, la refractariedad.

De acuerdo con la invención, la composición de barrera térmica de baja conductividad térmica está caracterizada porque está compuesta de una base de circonio, de un óxido de disprosio, teniendo el óxido de disprosio una doble función de estabilizar el circonio y de disminuir la conductividad térmica por fonones del circonio, y un óxido un ión metálico tetravalente que tiene una masa atómica superior a la del circonio, siendo este óxido el dióxido de hafnio.

Ventajosamente, la proporción del ión disprosio en el revestimiento está comprendida entre 2 y 30% atómico.

Opcionalmente, para reducir más la conductividad térmica de la cerámica, el circonio contiene además entre cero y 30% en moles de un óxido contiene un ión metálico tetravalente de masa superior a la del ión circonio, siendo este óxido el dióxido de hafnio.

La invención se refiere también a una pieza mecánica de superaleación que comprende un revestimiento de cerámica que tiene una nueva composición tal como la descrita anteriormente.

Ventajosamente, el revestimiento de cerámica es depositado sobre una sub-capa de unión constituida por una aleación apta para formar una capa de alúmina protectora. La aleación puede ser por ejemplo del tipo MCrAlY, siendo M un metal elegido entre el níquel, el cobalto, el hierro o una mezcla de estos metales; la aleación puede igualmente ser un aluminuro de níquel que contiene eventualmente uno o varios metales elegidos ente el cromo y/o los metales preciosos tales como el platino, el paladio, el rutenio, el iridio, el osmio, el rodio, o una mezcla de estos metales.

La invención se refiere finalmente a un método de realización de un revestimiento de barrera térmica sobre un sustrato de superaleación que comprende las etapas siguientes:

- depositar una sub-capa de unión sobre el sustrato de superaleación,

- depositar sobre la sub-capa, un revestimiento de cerámica que comprende circonio y un óxido de disprosio para estabilizar el circonio y reducir la conductividad térmica por fonones del circonio, y hasta un 30% en moles de dióxido de hafnio.

Otras particularidades y ventajas de la invención se harán claramente evidentes a lo largo de la descripción dada a título de ejemplo no limitativo y hecha a la vista de las figuras adjuntas que representan:

La figura 1: una pieza mecánica de superaleación que comprende un revestimiento de cerámica, de acuerdo con la invención.

La figura 2: los valores comparativos de la conductividad térmica obtenida a diferentes temperaturas para un revestimiento de barrera térmica que comprende una cerámica de circonio y un óxido disprosio y para un revestimiento de barrera térmica que comprende una cerámica clásica.

La pieza mecánica representada en la figura 1 comprende un revestimiento de barrera térmica 1 depositado sobre un sustrato 2 de superaleación, tal como las superaleaciones a base de níquel y/o de cobalto. El revestimiento de barrera térmica 1 comprende una sub-capa metálica 3 depositada sobre el sustrato 2 de acuerdo con un procedimiento conocido en el estado de la técnica y una cerámica 4 de nueva composición, de acuerdo con la invención, depositada sobre la sub-capa.

La sub-capa 3 puede ser una aleación aluminio-formadora resistente a la corrosión por óxido de tipo MCrAlY (M = Ni y/o Co y/o Fe) o un aluminuro de níquel o de cobalto modificado o no añadiéndole cromo y/o uno o varios metales preciosos elegidos entre el platino, el paladio, el rutenio, el iridio, el osmio, el rodio.

La cerámica 4 está constituida por una base de circonio y por un óxido de disprosio que permite estabilizar el circonio y que presenta, de manera sorprendente, el interés de disminuir la conductividad térmica de la cerámica en proporciones mucho más importantes que los otros óxidos utilizados clásicamente. Para obtener una conductividad térmica aun más baja, la cerámica puede comprender, además, un óxido metálico adicional que comprende un ión metálico tetravalente que tiene una masa atómica superior a la del ión circonio.

El ión metálico tetravalente es el hafnio.

Ejemplo 1

(No de acuerdo con la invención)

Con el fin de evaluar el interés del óxido de disprosio en su doble función de estabilizador del circonio y de óxido que reduce notablemente la conductividad de este último disminuyendo la conductividad debido a los fonones en el material, se ha realizado la experiencia siguiente:

ES 2 317 825 T3

Se han sintetizado polvos cerámicos con las tres composiciones siguientes:

1. $\text{ZrO}_2 + 4 \text{ mol } \% \text{Y}_2\text{O}_3$
2. $\text{ZrO}_2 + 4 \text{ mol } \% \text{Dy}_2\text{O}_3$
3. $\text{ZrO}_2 + 12 \text{ mol } \% \text{Dy}_2\text{O}_3$

Estos polvos han sido sinterizados a alta temperatura, sin añadir ningún agente de sinterización, de manera que se obtienen pastillas densas con niveles equivalentes de porosidad residuales. La conductividad térmica de estas pastillas ha sido determinada por medio de una medición de difusividad térmica por un método flash a temperatura ambiente. Para efectuar esta medición, la muestra es irradiada sobre su cara delantera por una breve impulsión térmica. El registro de la evolución de la temperatura de la cara trasera de la muestra permite deducir el valor experimental de la difusividad térmica. Con el fin de evaluar la conductividad del material perfectamente denso, designado λ_{intr} , esta conductividad ha sido corregida de la porosidad residual total de las pastillas. Los resultados se reproducen en la tabla siguiente:

Composición	Conductividad en W/m.K
$\text{ZrO}_2 + 4 \text{ mol}\% \text{Y}_2\text{O}_3$	2,8
$\text{ZrO}_2 + 4 \text{ mol}\% \text{Dy}_2\text{O}_3$	2,4
$\text{ZrO}_2 + 12 \text{ mol}\% \text{Dy}_2\text{O}_3$	1,7

Estas mediciones muestran el efecto positivo sobre la conductividad térmica de la sustitución del óxido de itrio por el óxido de disprosio de acuerdo con la invención. Puede así alcanzarse una ganancia próxima al 40% en conductividad a temperatura ambiente.

Ejemplo 2

(No de acuerdo con la invención)

Una pieza de aleación Hastelloy X es utilizada como sustrato. Es revestida con una sub-capa metálica de tipo MCrAlY de acuerdo con un procedimiento conocido. Un revestimiento de cerámica de acuerdo con la invención es a continuación depositado por evaporación en haces de electrones sobre la sub-capa. La composición del revestimiento de cerámica es la siguiente:

ZrO_2 : base
 Dy_2O_3 : 29,2% en peso

Tras la operación de depósito, la pieza revestida sufre un tratamiento térmico de estabilización de 2 horas a 1080°C en vacío.

El revestimiento cerámico de estructura de columnas propio para el procedimiento de realización presenta una masa volumétrica de 4800 kg/m³ y un espesor de 190 μm .

El estudio de la estructura cristalográfica del revestimiento por difracción de los rayos X muestra que está compuesto al 100% por la fase cúbica y que esta fase permanece estable después de 100 horas de exposición a 1250°C.

La conductividad térmica del revestimiento cerámico ha sido determinada como en el ejemplo 1, pero a temperaturas que varían entre 20°C y 110°C. En este caso, no se ha aplicado ninguna corrección a la porosidad del revestimiento. Los valores de conductividad térmica de esta cerámica han sido comparados a los obtenidos sobre la cerámica clásica de composición $\text{ZrO}_2 - 8\% \text{Y}_2\text{O}_3$ elaborada de acuerdo con el mismo procedimiento, con el fin de evaluar la ganancia en conductividad obtenida gracias a la invención. Se ha verificado que las dos cerámicas poseen la misma microestructura con el fin de asegurar que la diferencia en conductividad térmica entre los dos materiales proviene de su diferencia de composición y no de una diferencia de microestructura.

Los valores comparativos de la conductividad térmica obtenida a diferentes temperaturas para un revestimiento que comprende una cerámica de nueva composición de acuerdo con la invención y para un revestimiento que comprende una cerámica clásica se representan en la figura 2.

ES 2 317 825 T3

La conductividad térmica medida para la cerámica de nueva composición es igual a 1,08 W/m.K a 20°C mientras que para la cerámica clásica, la conductividad térmica medida es igual a 2,19 W/m.K. A esta temperatura de 20°C, la cerámica de nueva composición permite por consiguiente disminuir la conductividad térmica un factor dos.

5 Igualmente, si se comparan las conductividades térmicas medidas a 110°C, la cerámica de nueva composición permite disminuir la conductividad térmica un factor igual a 1,53.

Esta figura muestra por consiguiente que a cualquier temperatura, la conductividad térmica es netamente más baja para la cerámica de nueva composición que para la cerámica clásica.

10 Ejemplo 3

(No de acuerdo con la invención)

15 Un revestimiento cerámico es depositado mediante proyección de plasma sobre una pieza Hastelloy X previamente revestida de una sub-capa metálica de tipo MCrAlY. La composición del revestimiento cerámico es la siguiente:

ZrO₂: base

20 Sy₂O₃: 11,2% en peso

El revestimiento bruto de proyección ha sufrido a continuación un tratamiento térmico de 10 horas a 1100°C al aire, con el fin de estabilizar la cerámica en un estado representativo de su utilización en servicio (este tratamiento permite en particular restituir la estequiometría de los óxidos presentes en la cerámica). Tras el tratamiento, el revestimiento de 25 acuerdo con la invención presenta una relación de porosidad muy cercana a la medida clásicamente para una cerámica de composición ZrO₂ - 8% en peso Y₂O₃, elaborada de acuerdo con el mismo procedimiento, a saber aproximadamente 8,5% de porosidad.

30 Con el fin de evaluar la influencia de esta nueva composición de cerámica sobre la conductividad térmica del revestimiento cerámico con relación a la cerámica clásica de composición ZrO₂ - 8% en peso Y₂O₃ elaborada de acuerdo con el mismo procedimiento, se ha verificado igualmente que los dos revestimientos presentan la misma microestructura.

35 La conductividad térmica medida para el revestimiento ZrO₂ - 11,2% en peso Dy₂O₃, es de 0,81 W/m.K para el revestimiento de cerámica clásica. La cerámica de nueva composición descrita en este ejemplo aporta por consiguiente una ganancia de más de 30% sobre el poder aislante de la cerámica.

40 En estos ejemplos de realización descritos precisamente la sub-capa de unión puede estar constituida por otra aleación tal como por ejemplo el aluminiuro de níquel simple o modificado por metales tales como el cromo, el platino, el paladio, el rutenio, el iridio, el osmio, el rodio. El circonio contiene además entre 0 y 30% en moles de un óxido que contiene un ión metálico tetravalente de masa superior a la del ión circonio, siendo este óxido el dióxido de hafnio. La pieza revestida puede estar realizada de otra superaleación distinta del Hastelloy X.

REIVINDICACIONES

1. Composición de barrera térmica de baja conductividad térmica, **caracterizada** porque consiste en:

- una base de circonio,
- un óxido de disprosio que tiene una doble función de estabilizar el circonio y de disminuir la conductividad térmica del circonio
- y un óxido de un ión metálico tetravalente que tiene una masa atómica superior a la del circonio, siendo este óxido el dióxido de hafnio.

2. Composición de barrera térmica de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque la proporción de disprosio en el revestimiento está comprendida entre 2 y 30% atómico.

3. Composición de barrera térmica de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque la proporción de óxido de ión metálico tetravalente representa hasta 30% en moles.

4. Pieza mecánica de superaleación, **caracterizada** porque comprende un revestimiento de cerámica que tiene una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

5. Pieza mecánica de superaleación de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizada** porque comprende además una sub-capa de unión sobre la cual se deposita el revestimiento cerámico.

6. Pieza mecánica de superaleación de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizada** porque la sub-capa está constituida por una aleación apta para formar una capa de alúmina protectora mediante oxidación.

7. Pieza mecánica de superaleación de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizada** porque la sub-capa de unión está constituida por una aleación de tipo MCrAlY, siendo M un metal elegido entre el níquel, el cobalto, el hierro, o una mezcla de estos metales.

8. Pieza mecánica de superaleación de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizada** porque la sub-capa de unión está constituida por un aluminuro de níquel que contiene eventualmente un metal elegido entre el platino, el cromo, el paladio, el rutenio, o una mezcla de estos metales.

9. Método de realización de un revestimiento de barrera térmica sobre un sustrato de superaleación, **caracterizado** porque comprende las etapas siguientes:

- depositar una sub-capa de unión sobre el sustrato de superaleación,
- depositar sobre la sub-capa, un revestimiento de cerámica que contiene circonio, un óxido de disprosio para estabilizar el circonio y reducir la conductividad térmica por fonones del circonio y hasta 30% en moles de dióxido de hafnio.

10. Método de realización de un revestimiento de barrera térmica de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizada** porque comprende una etapa suplementaria que consiste en oxidar la sub-capa de unión previamente al depósito del revestimiento cerámico.

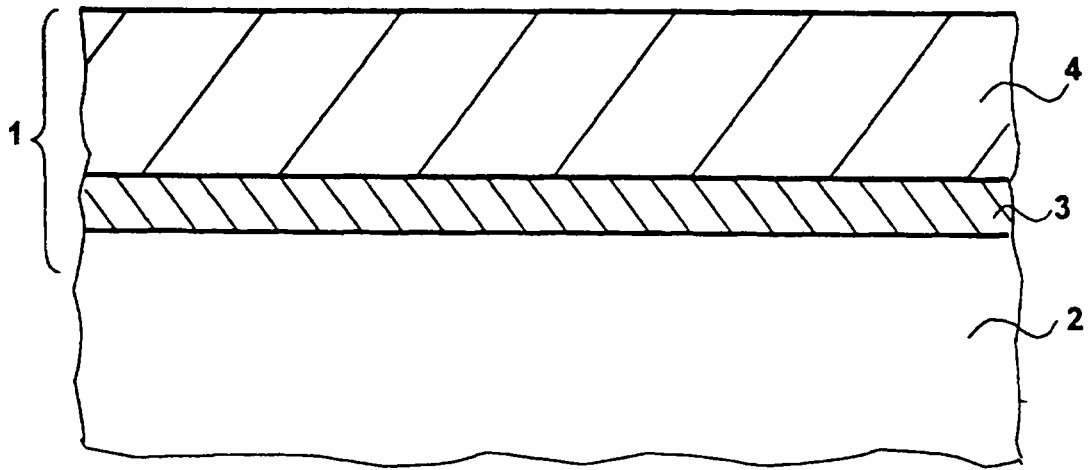


Fig : 1

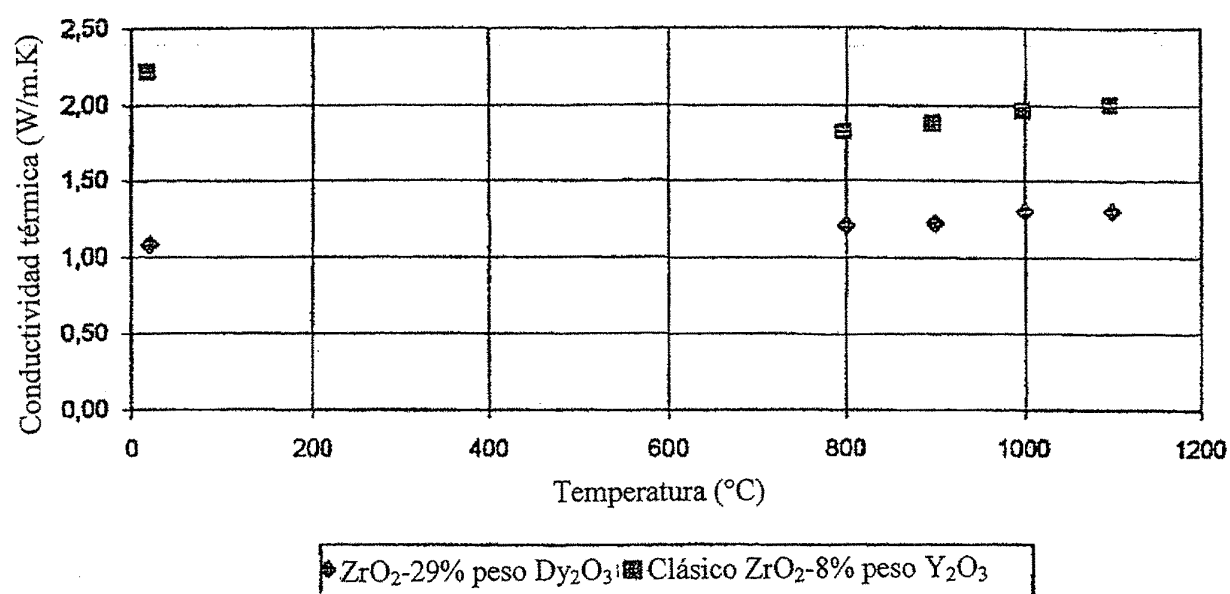


Fig : 2