



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 928**

51 Int. Cl.:

**F01D 5/28** (2006.01)

**B22F 3/00** (2006.01)

**B22F 5/04** (2006.01)

**C22C 33/02** (2006.01)

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/42** (2006.01)

**C22C 38/60** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01890337 .7**

96 Fecha de presentación : **12.12.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1215366**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.06.2002**

54

Título: **Álabe para turbinas.**

30

Prioridad: **15.12.2000 AT 209600**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**19.08.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**19.08.2011**

73

Titular/es: **BÖHLER EDELSTAHL GmbH & Co. KG.**  
**Mariazellerstrasse 25**  
**8605 Kapfenberg, AT**

72

Inventor/es: **Hackl, Gerhard;**  
**Saller, Gabriele;**  
**Huber, Raimund;**  
**Winkelmeier, Rupert;**  
**Schirninger, Günter y**  
**Stromberger, Michael**

74

Agente: **Sanz-Bermell Martínez, Alejandro**

ES 2 363 928 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

5 La invención concierne a un álabe para turbinas de vapor o de gas así como para compresores, elaborándose dicho álabe mediante mecanizado con arranque de virutas del material de partida y sometién dose a un tratamiento térmico o bonificado.

Los álabes de turbina se pueden elaborar con la forma necesaria para su respectivo uso en turbinas o compresores según el procedimiento de forjado en estampa mediante mecanizado con arranque de virutas a partir de una palanquilla o mediante forjado del material de partida con posterior arranque de virutas. El material de partida se produce en este caso mediante el forjado y/o laminado de aleaciones solidificadas en moldes y, dado el caso, se somete a tratamiento térmico para su subsiguiente mecanizado. Se conoce el uso de lingotes, palancones de colada continua o barras de colada refundida para la producción del material de partida.

Para aumentar el rendimiento, las turbinas se fabrican para temperaturas elevadas de admisión de vapor, de hasta 600° C o más, y con ranuras reducidas entre los álabes deflectores y los álabes de rodete, con lo que la calidad y las propiedades del material de los álabes cobran una especial relevancia. Es extremadamente importante que al calentarse la turbina al estado de servicio y, a continuación, al funcionar bajo carga, los álabes se queden "en vertical", es decir, que no se comben y que, en particular en los álabes de rodete, el material no sufra fluencia a temperaturas de servicio altas ni a una carga centrífuga de esa índole. Las turbinas para generadores bifásicos presentan una velocidad de giro de 3000 o 3600 min<sup>-1</sup>, lo que supone en altos rendimientos una considerable solicitud para los álabes de rodete.

Los álabes de turbina fabricados mediante el procedimiento descrito al principio presentan, sin embargo, segregaciones en su sección transversal, o dado el caso en dirección axial o longitudinal, que resultan de la solidificación de los lingotes. Aunque estas inhomogeneidades se rectifican mediante conformación en caliente y tratamiento térmico y se reducen parcialmente mediante difusión no se logra alcanzar una homogeneidad completa del material. Asimismo, cuando se emplean barras de colada refundida como barras de refusión de escoria eléctrica o barras de refusión al vacío tampoco se consigue por lo general una isotopía completa del material de aleación.

35 Pero si un álabe de turbina presenta anisotropía con segregaciones en la sección transversal que discurren excéntricamente, durante el calentamiento y/o carga de

estos puede producirse que los extremos de los álabes se desvíen de la posición prevista, punto que el fabricante de turbinas debe tener en cuenta. Un cuadro de segregaciones pronunciado se puede descubrir, por ejemplo, mediante la inspección por partículas magnéticas.

- 5 En la construcción de turbinas, para lograr una alta disponibilidad y seguridad de las máquinas térmicas se requieren álabes cuyo material, por un lado, posea la mayor homogeneidad posible y, por otro lado, presente una tendencia a la fluencia reducida a temperatura de servicio. La invención se marca como objetivo crear álabes de turbina con superficies de corriente mecanizadas con arranque de virutas y que  
10 cumplan los requisitos arriba mencionados.

Este objetivo se alcanza con un álabe para turbinas de vapor o de gas, así como para compresores, con las siguientes propiedades de material a temperatura ambiente:

- 15 resistencia a la tracción :  $R_m = \text{mínimo } 700 \text{ N/mm}^2$   
 límite elástico:  $R_{0.2} = \text{mínimo } \text{N/mm}^2$   
 alargamiento de rotura:  $A = \text{mínimo } 15 \%$   
 estricción:  $Z = \text{mínimo } 10 \%$ ,

- 20 formado a partir de un material de partida pulvimetalúrgico (PM) fabricado mediante la pulverización de una masa fundida por atomización por gas mediante nitrógeno y prensado isostático en caliente (HIP) del polvo, mecanizándose dicho material con arranque de virutas y sometándose el álabe de turbina así elaborado a un tratamiento térmico o bonificado.

- 25 Las ventajas obtenidas con la invención residen básicamente en que el material de partida fabricado mediante el método pulvimetalúrgico (PM) está básicamente exento de segregación y garantiza una alta homogeneidad de material en el álabe de turbina fabricado con él. Incluso con un grado de deformación o una elongación elevados del material, la homogeneidad se mantiene, en particular en la sección  
30 transversal, con lo que no hay tendencia a que los extremos libres de los álabes se comben.

- En la fabricación del polvo, es esencial en la invención que este se genere mediante atomización por gas con nitrógeno, porque un contenido elevado de nitrógeno fijado por adición en la superficie de las partículas de polvo con un diámetro  
35 inferior a 0,2 mm se homogeneiza por difusión a las temperaturas que se emplean en el prensado isostático en caliente. La compactación del metal en polvo se realiza

mediante un método ya conocido en un recipiente, evacuándose de aire o rellenándose con nitrógeno los huecos residuales antes del realizar el "HIPeado".

Fue toda una sorpresa para el experto el hecho de que, en comparación con la producción conforme a las últimas tecnologías, la fabricación PM aumentase de forma tan considerable la calidad del álabe de turbina. Por un lado, al realizar un tratamiento 5 térmico o un bonificado del material no se producen cambios de forma del álabe PM o estos son muy reducidos, lo que hace que el denominado enderezado sea por lo general innecesario, evitando con ello las tensiones de enderezado; por otro lado, la calidad sustancialmente mejorada del álabe se puede aprovechar en el diseño de 10 turbinas y aumentar la seguridad funcional de la máquina térmica.

Cuando, conforme a un perfeccionamiento de la invención, el material de partida se mecaniza tras el prensado isostático en caliente ("HIPeado") - preferentemente en un molde de dimensiones aproximadas a las finales - con arranque de virutas sin deformación (as-HIPed), se puede lograr una producción 15 especialmente económica de los álabes. A pesar de la opinión de los expertos de que un álabe de turbina PM sin conformar, es decir, en el denominado estado "as-HIPed", no puede presentar las propiedades mecánicas de material deseadas, se ha comprobado que un álabe de ese tipo presenta en parte incluso características de calidad mejoradas.

Se pueden lograr ventajas especiales en el material, sobre todo en cuanto a un aumento de la homogeneidad, cuando el material de partida PM está formado por una aleación a base de hierro que se solidifica sin ledeburita. Aunque el procedimiento PM se desarrolló especialmente para aleaciones que durante la solidificación forman precipitaciones primarias como los carburos y este procedimiento no puede incidir en 25 la calidad de los aceros que se solidifican sin ledeburita, sorprendentemente se ha comprobado que con ello se puede conseguir un aumento sustancial de la calidad del material aleado del álabe.

Un álabe de turbina para una elevada sollicitación térmica y mecánica, y en particular dinámica, que no tiende a combarse en los extremos puede emplearse en la 30 práctica cuando el material de partida PM está constituido por un acero al cromo martensítico con una composición en % de peso de

	cromo (Cr)	entre 8,0 y 29,0
	carbono (C)	entre 0,1 y 0,4
35	nitrógeno (N)	entre 0,005 y 0,3
	(C+N)	entre 0,11 y 0,4

	Molibdeno (Mo)	entre 0,3 y 2,0
	Vanadio (V)	entre 0,08 y 1,0
	silicio (Si)	entre 0,05 y 0,6
	manganeso(Mn)	entre 0,05 y 2,0
5	azufre (S)	entre 0,002 y 0,49
	(Mn/S)	MÍN. 2,0
	wolframio (W)	hasta 2,5
	níquel (Ni)	MÁX. 3,0
	niobio (Nb)	hasta 0,12
10	boro (B)	hasta 0,01
	hierro (Fe)	resto, así como por las impurezas derivadas de la producción.

Inesperadamente se ha comprobado que el material presenta una tendencia a la fluencia comparativamente reducida a temperatura de aplicación. Aún no se ha encontrado una explicación científica completa de las causas, pero se presume que algunos elementos, favorecidos por la producción PM, producen un cierto efecto de temple por dispersión y contribuyen a mantener la forma a altas temperaturas.

Desde el punto de vista técnico de fabricación, pero también con respecto a las características de uso a largo plazo, puede ser ventajoso que el material de partida PM del álabe esté constituido por un acero al cromo martensítico con una composición en % de peso de

25	Cr =	entre 8,0 y 22,0, preferentemente entre 9,0 y 16,0
	C =	entre 0,1 y 0,35, preferentemente entre 0,15 y 0,3
	N =	entre 0,005 y 0,26, preferentemente entre 0,1 y 0,24
	(C+N) =	entre 0,16 y 0,40, preferentemente entre 0,21 y 0,29
	Mo =	entre 0,5 y 2,0, preferentemente entre 0,8 y 1,8
30	V =	entre 0,08 y 0,6, preferentemente entre 0,12 y 0,4
	Si =	entre 0,05 y 0,5, preferentemente entre 0,1 y 0,35
	Mn =	entre 0,05 y 2,0, preferentemente entre 0,6 y 0,96
	S =	entre 0,002 y 0,39, preferentemente entre 0,06 y 0,35
	(Mn/S) =	MÍN. 2,1, preferentemente MÍN. 2,5
35	NI =	MÁX. 2,4, preferentemente MÁX. 0,9
	B =	hasta 0,01

Fe = resto, e impurezas derivadas de la producción.

La acción sinérgica de los elementos de la aleación del material PM es ventajosa para los álabes de turbina en varios sentidos. Por un lado, a pesar de que únicamente están presentes sulfuros de un diámetro reducido, la mecanizabilidad con arranque de virutas del material mejora decisivamente; por otro lado, si se observa una cierta proporción de Mn/S, las propiedades mecánicas se mantienen inalteradas incluso en ciclos de funcionamiento reiterados a un nivel elevado.

También puede estar previsto según la invención que el material PM esté formado por un acero martensítico dulce o martensítico al níquel con una composición en % de peso de

	C =	entre 0,02 y 0,1
	N =	entre 0,001 y 0,098
15	(C+N) =	entre 0,05 y 0,12
	Si =	entre 0,08 y 1,0
	Mn =	entre 0,1 y 2,0
	Cr =	hasta 20,0
	S =	entre 0,003 y 0,49
20	Mn/S =	MÍN. 1,9
	Mo =	entre 0,6 y 3,0
	V =	hasta 0,2
	Ni =	entre 3,0 y 8,0
	Cu =	entre 1,0 y 4,5
25	B =	hasta 0,01
	Al =	hasta 0,08
	Nb =	hasta 0,8
	Fe =	resto, e impurezas derivadas de la producción.

30 En estos álabes de turbina fabricados con aleaciones con un contenido más elevado de níquel se pueden conseguir básicamente las mismas mejoras en las propiedades del material que en los aceros al cromo martensíticos arriba mencionados, con lo que la calidad del álabe aumenta considerablemente.

Para optimizar los costes de producción y las propiedades de uso de los álabes puede ser ventajoso que el material de partida PM esté constituido por un acero martensítico con una composición en % de peso de

	C =	entre 0,02 y 0,08, preferentemente entre 0,03 y 0,05
	N =	entre 0,001 y 0,05, preferentemente entre 0,0015 y 0,039
	Si =	entre 0,08 y 0,5, preferentemente entre 0,1 y 0,4
5	Mn =	entre 0,1 y 1,9, preferentemente entre 0,2 y 1,6
	S =	entre 0,003 y 0,39, preferentemente entre 0,1 y 0,35
	Cr =	entre 9,0 y 20,0, preferentemente entre 9,0 y 13,0
	Mo =	entre 0,6 y 2,0, preferentemente entre 0,6 y 1,8
	Ni =	entre 3,0 y 7,9, preferentemente entre 3,5 y 6,8
10	Cu =	entre 1,0 y 4,4
	Al =	hasta 0,04
	Fe =	resto, e impurezas derivadas de la producción.

Los extensos ensayos y pruebas de material realizados han demostrado que especialmente para la aplicación a las máximas temperaturas, por ejemplo en turbinas de gas o mecanismos de propulsión, puede ser ventajoso que, para la fabricación de los álabes, el material PM esté constituido por una aleación a base de níquel o a base de cobalto o por una aleación con menos del 29 % en peso de hierro.

Sin embargo, desde el punto de vista metalúrgico o técnico de producción está previsto un contenido de cromo de al menos el 14 % en peso a fin de disolver el nitrógeno, ya que este ejerce un efecto favorable en las propiedades del material.

A continuación se explica con mayor detalle la invención sobre la base de la pruebas de material y los resultados de las pruebas.

25 La fig. 1 expone una posición de la muestra en la palanquilla en dirección longitudinal

La fig. 2 expone una posición de la muestra en una sección transversal de la palanquilla

La fig. 3 muestra una prueba de forma esquemática

30

Conforme a la fig. 1, se tomaron muestras 2 de palanquillas 1 para álabes de turbina, con una longitud lateral de  $D = 35$  mm y una altura de  $C = 350$  mm, de tal manera que, en el extremo de un segmento de fijación 22 previsto, la muestra 2 tocaba por un lado un eje central de la sección transversal (fig. 2) y el lado opuesto o exterior de la muestra quedaba a una distancia de  $1/3$  de la mitad de la longitud

35

lateral D. El ancho de las muestras equivalía a  $1/4$  de la longitud lateral D de la palanquilla.

A lo largo de la altura C de la palanquilla, las muestras de esta se tomaron oblicuamente, de tal modo que el lado de la muestra opuesto al extremo fijado, el exterior, quedaba a una distancia de  $1/8$  de D con respecto al eje de la sección transversal. Se seleccionó esta disposición de las muestras en las palanquillas analizadas para comprobar el efecto de segregaciones centradas de orientación longitudinal.

En la fig. 3 está representada una prueba de forma esquemática. La sujeción de las muestras se realizó en un dispositivo de fijación 3, fijando un segmento de fijación 22 de una muestra 2 en dicho dispositivo. Se realizó el respectivo calentamiento de las muestras 2 a distintas velocidades y después se mantuvieron a temperaturas de entre  $300^{\circ}$  y  $550^{\circ}$  C. Durante esta prueba se midió la desviación del extremo de la muestra opuesto a la fijación.

Los análisis han mostrado que, en el material PM conforme a la invención, el extremo libre de las muestras no experimenta ninguna desviación de la posición alineada con el eje, ni siquiera a velocidades de calentamiento y de enfriamiento elevadas.

Por el contrario, las barras de muestra de un material de partida convencional, es decir, aceros que se dejan solidificar en bloques y después se someten a una conformación, mostraron claras deformaciones, las cuales aumentaron a velocidades más elevadas de cambio de temperatura y mayores secciones transversales de lingote.

Sobre la base de pruebas de fluencia del material a temperaturas de  $550^{\circ}$  C se detectó que un álabe de turbina conforme a la invención presenta valores de fluencia mejorados en al menos un 23%.

**REIVINDICACIONES**

1.- Álabe para turbinas de vapor o de gas o álabe de compresor de un acero al cromo martensítico con una composición en % en peso de

5		
	cromo (Cr)	entre 8,0 y 29,0
	carbono (C)	entre 0,1 y 0,4
	nitrógeno (N)	entre 0,005 y 0,3
	(C+N)	entre 0,11 y 0,4
10	Molibdeno (Mo)	entre 0,5 y 2,0
	Vanadio (V)	entre 0,08 y 1,0
	silicio (Si)	entre 0,05 y 0,6
	manganeso(Mn)	entre 0,05 y 2,0
	azufre (S)	entre 0,002 y 0,49
15	(Mn/S)	MÍN. 2,0
	wolframio (W)	hasta 2,5
	níquel (Ni)	MÁX. 3,0
	niobio (Nb)	hasta 0,12
	boro (B)	hasta 0,01
20	hierro (Fe)	resto

así como las impurezas derivadas de la producción, formado a partir de un material de partida pulvimetalúrgico (PM) fabricado mediante la pulverización de una masa fundida por atomización por gas mediante nitrógeno y prensado isostático en caliente (HIP) del polvo, mecanizándose dicho material con arranque de virutas y sometiéndose el álabe de turbina o de compresor así elaborado a un tratamiento térmico o bonificado, que presenta las siguientes propiedades de material a temperatura ambiente:

30	resistencia a la tracción :	$R_m = \text{mínimo } 700 \text{ N/mm}^2$
	límite elástico:	$R_{0,2} = \text{mínimo } \text{N/mm}^2$
	alargamiento de rotura:	$A = \text{mínimo } 15 \%$
	estricción:	$Z = \text{mínimo } 10 \%$

35 2.- Álabe de turbina o de compresor según la reivindicación 1 de un acero al cromo martensítico con una composición en % en peso de

	Cr =	entre 8,0 y 22,0, preferentemente entre 9,0 y 16,0
	C =	entre 0,1 y 0,35, preferentemente entre 0,15 y 0,3
	N =	entre 0,005 y 0,28, preferentemente entre 0,1 y 0,24
5	(C+N) =	entre 0,16 y 0,4, preferentemente entre 0,21 y 0,29
	Mo =	entre 0,5 y 2,0, preferentemente entre 0,8 y 1,8
	V =	entre 0,08 y 0,6, preferentemente entre 0,12 y 0,4
	Si =	entre 0,05 y 0,5, preferentemente entre 0,1 y 0,35
	Mn =	entre 0,05 y 2,0, preferentemente entre 0,5 y 0,95
10	S =	entre 0,002 y 0,39, preferentemente entre 0,06 y 0,35
	(Mn/S) =	MÍN. 2,0, preferentemente MÍN. 2,5
	NI =	MÁX. 2,4, preferentemente MÁX. 0,9
	B =	hasta 0,01
	Fe =	resto, e impurezas derivadas de la producción.

15

3.- Álabe para turbinas de vapor o de gas o álabe de compresor de un acero martensítico dulce o martensítico al níquel con una composición en % en peso de

	C =	entre 0,02 y 0,1
20	N =	entre 0,001 y 0,098
	(C+N) =	entre 0,05 y 0,12
	Si =	entre 0,08 y 1,0
	Mn =	entre 0,1 y 2,0
	Cr =	hasta 20,0
25	S =	entre 0,003 y 0,49
	Mn/S =	MÍN. 1,9
	Mo =	entre 0,6 y 3,0
	V =	hasta 0,2
	Ni =	entre 3,0 y 8,0
30	Cu =	entre 1,0 y 4,5
	B =	hasta 0,01
	Al =	hasta 0,08
	Nb =	hasta 0,6
	Fe =	resto, e impurezas derivadas de la producción,

35

formado a partir de un material de partida pulvimetalúrgico (PM) fabricado mediante la pulverización de una masa fundida por atomización por gas mediante nitrógeno y prensado isostático en caliente (HIP) del polvo, mecanizándose dicho material con arranque de virutas y sometándose el álabe de turbina o de compresor así elaborado a un tratamiento térmico o bonificado, que presenta las siguientes propiedades de material a temperatura ambiente:

	resistencia a la tracción :	$R_m = \text{mínimo } 700 \text{ N/mm}^2$
	límite elástico:	$R_{0.2} = \text{mínimo } \text{N/mm}^2$
10	alargamiento de rotura:	$A = \text{mínimo } 15 \%$
	estricción:	$Z = \text{mínimo } 10 \%$

4.-Álabe de turbina según la reivindicación 3 formado por un acero martensítico dulce o martensítico al níquel con una composición en % de peso de

15	C =	entre 0,02 y 0,08, preferentemente entre 0,03 y 0,05
	N =	entre 0,001 y 0,05, preferentemente entre 0,0015 y 0,039
	Si=	entre 0,08 y 0,5, preferentemente entre 0,1 y 0,4
	Mn=	entre 0,1 y 1,9, preferentemente entre 0,2 y 1,6
20	S =	entre 0,003 y 0,39, preferentemente entre 0,1 y 0,35
	Cr=	entre 9,0 y 20,0, preferentemente entre 9,0 y 13,0
	Mo =	entre 0,6 y 2,0, preferentemente entre 0,6 y 1,8
	Ni =	entre 3,0 y 7,9, preferentemente entre 3,5 y 6,8
	Cu =	entre 1,0 y 4,4
25	Al =	hasta 0,04
	Fe =	resto, e impurezas derivadas de la producción.

5.- Álabe de turbina según una de las reivindicaciones de la 1 a la 4, en el que el material de partida está fabricado por arranque de virutas tras el prensado isostático en caliente ("HIPeado") y tras una conformación en caliente con un grado de conformación de al menos 2,5 veces.

6.- Álabe de turbina según una de las reivindicaciones de la 1 a la 4, en el que el material de partida se mecaniza tras el prensado isostático en caliente ("HIPeado"), preferentemente en un molde de dimensiones aproximadas a las finales, con arranque de virutas sin deformación (as-HIPed).

