

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 980 602**

(51) Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)
F01D 5/22 (2006.01)
B23H 9/10 (2006.01)
B23P 15/00 (2006.01)
B23C 3/18 (2006.01)
B24B 19/14 (2006.01)
B23P 15/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2020 E 20156507 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2024 EP 3865660**

(54) Título: **Método para mecanizar una pala y pala para una turbomáquina**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.10.2024

(73) Titular/es:

MTU AERO ENGINES AG (100.0%)
Dachauer Strasse 665
80995 München, DE

(72) Inventor/es:

SKURA, KRZYSZTOF;
PERNLEITNER, MARTIN;
EICHLER, CHRISTIAN y
FRIEDRICH, LUTZ

(74) Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 980 602 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 mecanizar una pala y pala para una turbomáquina

5 Descripción

La presente invención se refiere a un método para mecanizar una pala y una pala para una turbomáquina que comprende una cubierta que se coloca en un lado de la punta de la pala que tiene una superficie exterior con al menos una aleta circunferencial dispuesta sobre la misma, por lo que se mecaniza al menos un área de la superficie exterior junto a la al menos una aleta.

En la técnica anterior se conocen palas para turbomáquinas que comprenden una cubierta que se coloca en el lado de la punta de la pala. Los ejemplos de palas cubiertas se ilustran en los documentos EP3521562A1 y US6491498B1. En algunas realizaciones, la superficie exterior de la cubierta está mecanizada. En las realizaciones que comprenden elementos de revestimiento duro soldados, el mecanizado sirve para restaurar la superficie después de la soldadura retirando el material soldado de la superficie. En algunas realizaciones, la superficie exterior de la cubierta se mecaniza circunferencialmente, por ejemplo, circularmente alrededor del eje de rotación del rotor que comprende la pala y la turbomáquina, respectivamente. En particular, el mecanizado circunferencial proporciona una superficie conformada que permite una distancia estrecha hasta el sello de aire exterior de la turbomáquina.

20 Las diferentes áreas de la cubierta exterior están sujetas a diferentes requisitos de resistencia, en particular, si la cubierta exterior comprende rebajes y/o nervaduras de refuerzo, en particular adyacentes a los rebajes que están sujetos a fuerzas de flexión. Además, el peso de la cubierta exterior es un tema importante, que está estrechamente relacionado con los requisitos de resistencia. Hasta ahora, el mecanizado de la superficie exterior de la cubierta no ha permitido tener en cuenta los requisitos de resistencia y/o peso de la cubierta.

25 Por lo tanto, un objeto de esta invención es proporcionar un método mejorado para mecanizar una pala y una pala mejorada para una turbomáquina que permita tener en cuenta los requisitos de resistencia y/o peso de diferentes áreas de la cubierta mediante el mecanizado de la superficie exterior de la cubierta que se coloca en el lado de la punta de la pala.

30 Un método mejorado para mecanizar una pala para una turbomáquina y una pala respectiva se logra mediante la solución de las reivindicaciones independientes. El objeto de las reivindicaciones dependientes proporciona desarrollos adicionales de la invención.

35 En un primer aspecto, la invención propone un método para mecanizar una pala para una turbomáquina que comprende una cubierta que se coloca en un lado de la punta de la pala que tiene una superficie exterior con al menos una aleta circunferencial dispuesta sobre la misma, por lo que al menos una sección de la superficie exterior junto a la al menos una aleta se procesa en al menos dos etapas de fabricación:

- 40 – mecanizar la superficie exterior a lo largo de una primera trayectoria de mecanizado y
– mecanizar la superficie exterior a lo largo de una segunda trayectoria de mecanizado que es diferente a la primera trayectoria de mecanizado.

45 El método se propone para mecanizar una pala para una turbomáquina en cuyo lado de la punta se coloca una cubierta. En el lado exterior (radial) de la cubierta se dispone al menos una aleta que está alineada circunferencialmente con respecto a la dirección de rotación de la turbomáquina. Por lo general, el grosor radial de tales aletas es constante en la dirección circunferencial. El diseño de las cubiertas que tienen al menos una aleta alineada circunferencialmente se denomina en forma de hueso de perro. Tal diseño permite un alto grado de refuerzo tanto en la dirección circunferencial como en la dirección axial.

55 En una etapa, la superficie exterior se mecaniza a lo largo de una primera trayectoria de mecanizado. “Mecanizado” en el sentido de la invención significa en particular un proceso de fabricación de eliminación de material, tal como, por ejemplo, rectificado, fresado o mecanizado electroquímico. Un primer mecanizado se utiliza a menudo para eliminar o nivelar los residuos después de la soldadura de los elementos de revestimiento duro o para eliminar material adicional después de la soldadura. Con esta primera etapa de mecanizado, es posible adaptar el grosor de la cubierta exterior de la pala. Dependiendo de la posición y de la trayectoria del mecanizado, se puede retirar más o menos material de la cubierta de la pala, formando así secciones con una resistencia uniforme o diferente y/o propiedades de peso uniformes o diferentes.

60 En una etapa adicional, que en el flujo del proceso también se puede aplicar antes de la etapa mencionada anteriormente, la superficie exterior se mecaniza a lo largo de una segunda trayectoria de mecanizado, que es diferente a la primera trayectoria de mecanizado. También mediante esta etapa de mecanizado, el grosor de la cubierta se adapta de manera diferente en diversas áreas de la cubierta exterior de la pala. Dependiendo de la posición y de la

trayectoria del mecanizado, se puede retirar más o menos material de la cubierta de la pala, formando así secciones con una resistencia uniforme o diferente y/o propiedades de peso uniformes o diferentes.

5 La primera y segunda trayectorias de mecanizado, por ejemplo, pueden tener cada una un recorrido lineal o un recorrido curvo, en particular que se extiende circunferencialmente alrededor de un eje de mecanizado, que es diferente entre sí. De manera similar, la primera y/o segunda trayectoria de mecanizado también pueden tener una trayectoria de forma libre, que comprende diferentes curvaturas y/o secciones lineales que se fusionan entre sí. Además, la dirección de mecanizado de la segunda trayectoria de mecanizado puede diferir de la primera trayectoria de mecanizado. En una realización, la primera y/o la segunda trayectoria de mecanizado pueden estar inclinadas con respecto a la otra trayectoria de mecanizado o también curvadas o de cualquier otra manera diferente a la otra trayectoria de mecanizado.

10 El método propuesto para mecanizar una pala para una turbomáquina comprende al menos dos operaciones de mecanizado de la superficie exterior de la cubierta adyacente a la al menos una aleta. De este modo, se puede personalizar el grosor local de las diferentes áreas de la cubierta. El mecanizado de múltiples trayectorias puede permitir eliminar libremente el material y, por lo tanto, ajustar la masa de las partes de la cubierta entre el lado de presión y el lado de succión de la cubierta exterior. De esta manera, la solución propuesta permite un equilibrio controlable que puede mejorar la distribución de la tensión y/o el comportamiento de fluencia de la cubierta.

15 20 La primera trayectoria de mecanizado se extiende circunferencialmente alrededor de un eje de mecanizado. Una trayectoria de mecanizado que se extiende circunferencialmente alrededor de un eje de mecanizado da como resultado una superficie que se curva alrededor de un eje central.

25 30 El eje de mecanizado corresponde al eje de rotación de la turbomáquina. Este procesamiento puede proporcionar una superficie cilíndrica del rotor que comprende una pluralidad de palas dispuestas circunferencialmente para permitir una distancia reducida al sello de aire exterior de la turbomáquina. A menudo, la superficie interior radial de la cubierta también tiene una forma cilíndrica con respecto al eje de rotación de la turbomáquina. Entonces, la cubierta puede tener un grosor de pared esencialmente constante. Según la presente invención, las palas tienen rebajes con nervaduras de refuerzo dispuestas entre ellos, en las que la superficie de las nervaduras de la cubierta se procesa mediante al menos dos etapas de fabricación. Si el eje de mecanizado se extiende circunferencialmente alrededor del eje de rotación de la turbomáquina y la superficie interior radial de la cubierta tiene una forma cilíndrica con respecto al eje de rotación, este procesamiento proporciona un grosor de pared esencialmente constante y una altura de nervadura de refuerzo radial esencialmente constante.

35 40 45 50 En una realización del método, la primera y segunda trayectorias de mecanizado son una trayectoria de mecanizado lineal o la segunda trayectoria de mecanizado es una trayectoria de mecanizado lineal. Si la trayectoria de mecanizado lineal interseca tangencialmente una superficie cilíndrica, en la intersección tangencial entre el mecanizado circunferencial y el lineal, se elimina la mayor parte del material. De este modo, la reducción del grosor es máxima en la intersección tangencial de dicho diseño, donde en particular se elimina un segmento de la superficie exterior. De esta manera, una trayectoria de mecanizado lineal permite retirar material, en particular en el área de la intersección tangencial de la trayectoria de mecanizado lineal con la trayectoria de mecanizado circunferencial, por lo que en un área más alejada de la intersección tangencial se retira menos o nada de material y el grosor de la cubierta exterior se reduce menos o permanece sin cambios. De esta manera, la altura y, por lo tanto, el momento de flexión de las nervaduras de refuerzo es ajustable debido a las necesidades estructurales. Las nervaduras de refuerzo con fuerzas más bajas que actúan sobre las mismas durante el uso pueden mecanizarse a una altura menor y, por lo tanto, pueden tener un diseño más ligero.

55 60 65 En una realización del método en la que una o ambas de la primera y segunda trayectorias de mecanizado son una trayectoria de mecanizado lineal, una o ambas de la primera y segunda trayectorias de mecanizado se extienden a lo largo o inclinadas con respecto a un plano dispuesto perpendicularmente a una línea central de la pala. En una realización en la que tanto la primera como la segunda trayectoria de mecanizado son trayectorias de mecanizado lineales, la primera y segunda trayectorias de mecanizado pueden estar inclinadas en direcciones opuestas al plano. Por lo tanto, el área y la masa del material retirado y, por lo tanto, el grosor restante de la cubierta se pueden ajustar por zonas debido a las necesidades de resistencia y peso. De este modo, la superficie exterior de las nervaduras dispuestas puede cambiarse, por ejemplo, de una forma curva a una plana. Por ejemplo, si la cubierta comprende más de dos nervaduras de refuerzo, la altura radial de las nervaduras se puede ajustar para que, en particular, aumente o disminuya linealmente o para que tenga una altura radial sustancialmente igual.

En una realización de este método, la inclinación de la primera trayectoria de mecanizado y/o la segunda trayectoria de mecanizado con respecto al plano está entre $0,1^\circ$ y 6° , en particular entre 1° y 4° , en particular entre 2° y 3° y, en particular, $2,4^\circ$. La inclinación de la trayectoria de mecanizado lineal depende del diseño de la cubierta exterior y del alcance previsto del ajuste del grosor de la cubierta y de las nervaduras dispuestas.

En una realización del método, la segunda trayectoria de mecanizado es una trayectoria de forma libre. Una trayectoria de mecanizado de forma libre permite la mayoría de los grados de flexibilidad con respecto al diseño de la superficie, en particular con respecto al grosor de la cubierta y de las nervaduras dispuestas.

- En una realización adicional, el método produce una superficie ahusada al menos zonalmente en la cubierta exterior, superficie que está inclinada con respecto a la dirección axial del eje de rotación. Este método se puede aplicar además para proporcionar áreas de la cubierta que tengan una resistencia mayor o menor o diferentes propiedades de peso.
- 5 Además, el grosor de al menos secciones del área de la cubierta exterior se puede mecanizar para aumentar o disminuir con respecto a la dirección axial de la turbomáquina.
- En una realización adicional del método, el proceso de mecanizado a lo largo de la primera y/o segunda trayectoria de mecanizado es el rectificado. De este modo, la muela abrasiva se mueve a lo largo de la trayectoria de mecanizado, en particular de forma circunferencial alrededor de un eje, de forma lineal o a lo largo de cualquier otra formación de trayectoria de mecanizado. El rectificado es un proceso de fabricación que proporciona tolerancias ajustadas y/o puede usarse para aplanar la superficie exterior de la cubierta, en particular después de soldar un elemento de revestimiento duro o para eliminar material adicional después de la soldadura o similares.
- 10 En un segundo aspecto, la invención propone una pala para una turbomáquina, que comprende una cubierta que se coloca en un lado de la punta de la pala que tiene una superficie exterior con al menos una aleta circunferencial dispuesta sobre la misma, por lo que al menos una zona de la superficie exterior junto a la al menos una aleta está mecanizada de tal manera que al menos una primera sección de la superficie exterior tiene una primera forma y de tal manera que al menos una segunda sección de la superficie exterior tiene una segunda forma que es diferente de la forma de la primera sección. En particular, la primera y segunda secciones de la superficie exterior son secciones mecanizadas.
- 15 En la descripción anterior se describe un método ilustrativo para fabricar una pala de este tipo. Las características y rasgos específicos de una pala mencionados anteriormente se aplican a las diferentes realizaciones de la pala, en particular tal como se propone en el segundo aspecto.
- 20 En el lado de la punta de la pala se coloca una cubierta, que tiene al menos una aleta alineada circunferencialmente con respecto a la dirección de rotación de la turbomáquina. El grosor radial de una aleta de este tipo es normalmente constante en la dirección circunferencial. Este tipo de diseño de cubierta se denomina "en forma de hueso de perro" y permite un alto grado de refuerzo de la cubierta y la pala, respectivamente, tanto en la dirección circunferencial como en la dirección axial.
- 25 Al menos un área de la superficie exterior al lado de la al menos una aleta se mecaniza mediante al menos dos etapas de mecanizado. La primera sección de la superficie exterior tiene una primera forma y, por ejemplo, está curvada alrededor de un eje central. Al menos una segunda sección de la superficie exterior tiene una segunda forma que es diferente a la primera sección. Por lo tanto, el grosor de la cubierta varía según la forma en las al menos una primera y una segunda sección de la cubierta exterior, proporcionando así secciones con propiedades de mayor o menor resistencia y/o peso diferentes.
- 30 La pala propuesta para una turbomáquina comprende al menos dos secciones mecanizadas de manera diferente de la superficie exterior de la cubierta junto a la al menos una aleta dispuesta circunferencialmente. Mediante el mecanizado diferente, el grosor local de las diferentes áreas de la cubierta se personaliza, por ejemplo, para ajustar la masa de las partes de la cubierta entre el lado de presión y el lado de succión de la cubierta exterior y para adaptar las propiedades de resistencia y peso de las partes de la cubierta. De esta manera, la solución propuesta proporciona una pala con, en particular, un equilibrio controlable, una mejor distribución de la tensión y/o un comportamiento de fluencia de la cubierta.
- 35 En una realización de la pala, la primera sección tiene una forma cilíndrica. Una forma cilíndrica permite una distancia estrecha hasta el sello de aire exterior de la turbomáquina. A menudo, la superficie interior radial de la cubierta también tiene una forma cilíndrica con respecto al eje de rotación de la turbomáquina. Entonces, la cubierta puede tener un grosor de pared esencialmente constante.
- 40 En una realización de la pala, una sección de la cubierta exterior que tiene una forma cilíndrica tiene un grosor de pared esencialmente constante en la dirección circunferencial y una sección de la cubierta exterior que tiene una forma diferente a la cilíndrica tiene diferentes espesores de pared. En muchos diseños, la superficie interior radial de la cubierta también tiene una forma cilíndrica con respecto al eje de rotación de la turbomáquina. Si la primera sección de la superficie de la cubierta exterior también tiene una forma cilíndrica con respecto al eje de rotación, lo que es ventajoso con respecto a una distancia estrecha deseable con respecto al sello de aire exterior de la turbomáquina, entonces esta primera sección tiene un grosor de pared esencialmente constante.
- 45 La superficie exterior de la cubierta de algunas realizaciones de la pala tiene rebajes con nervaduras de refuerzo dispuestas entre ellos. En algunos diseños, estas nervaduras de refuerzo en particular tienen diferentes espesores de pared, según las fuerzas que actúan sobre la nervadura durante la actividad de la turbomáquina. Además, si solo actúan fuerzas bajas sobre una parte de la cubierta, en esta parte solo se deben proporcionar espesores de pared bajos, lo que reduce el peso de la pala. Por ejemplo, una tarea básica de una nervadura de refuerzo es evitar la flexión. El momento de resistencia a la flexión de la nervadura rectangular es $W_b = b/6 \cdot h^2$, por lo que la altura de la nervadura

determina su resistencia. Por lo tanto, el grosor de la pared de una cubierta exterior se adapta a los requisitos de resistencia y con respecto a la reducción del peso. El diseño propuesto de la pala permite cumplir con este requisito.

5 La cubierta exterior comprende rebajes, en los que al menos dos nervaduras de refuerzo adyacentes a los rebajes tienen diferentes espesores de pared. Los diferentes espesores de pared pueden proporcionar diferentes propiedades de resistencia y peso según las necesidades estructurales de la cubierta exterior.

10 En una realización de la pala, la cubierta exterior se mecaniza según el método descrito anteriormente. Los rasgos y características específicos de una pala mencionada se aplican a diferentes realizaciones de la pala.

10 En un aspecto adicional, se proporciona una turbomáquina que comprende una pala como la descrita anteriormente.

15 Otras ventajas, características y posibles aplicaciones de la presente invención se describirán a continuación junto con las figuras.

15 Se muestran en:

20 Figura 1: una representación esquemática de una pala ilustrativa para una turbomáquina que tiene una cubierta colocada en el lado de la punta;

20 figura 2a: una vista desde arriba de la superficie de la cubierta de la pala ilustrativa mostrada en la figura 1;

figura 2b: una vista en sección de la cubierta de la figura 2a a lo largo de la línea de intersección B-B; y

25 figura 2c una vista en sección adicional de la cubierta de la figura 2a a lo largo de la línea de intersección B-B que tiene una segunda trayectoria de mecanizado diferente.

30 **La figura 1** muestra una representación esquemática de una pala 10 ilustrativa para una turbomáquina que tiene una cubierta 12 colocada en el lado de la punta de la pala 10. La cubierta 12 comprende una superficie exterior 14 con dos aletas circunferenciales 16 dispuestas sobre la misma. En el lado opuesto de la punta de la pala, donde se coloca la cubierta 12, está dispuesta la raíz de la pala 18. Entre la raíz de la pala 18 y la cubierta 12, está dispuesta la superficie aerodinámica 17 de la pala 10. En la realización ilustrativa de la pala 10, al menos un área de la superficie exterior 14 de la cubierta 12 junto a las dos aletas 16 se procesa en al menos dos etapas de fabricación. La figura 1 también muestra la posición del eje de rotación A de la turbomáquina, donde la distancia radial del eje de rotación desde la pala 10 se rompe ya que, de hecho, la distancia radial es claramente mayor que la mostrada en la figura 1.

35 **La figura 2a** muestra una vista desde arriba de la superficie exterior 14 de la cubierta 12 de la pala 10 ilustrativa mostrada en la figura 1, cuya superficie exterior 14 se procesa en al menos dos etapas de fabricación junto a las dos aletas 16. La flecha U indica la dirección de rotación circunferencial. En el lado derecho de la figura 2a, está dispuesto el lado de succión de la pala 10 y la cubierta 12, respectivamente, y en el lado izquierdo está dispuesto el lado de presión. La cubierta exterior 12 comprende varios rebajes 30 en forma de bolsillos y varias nervaduras de refuerzo 26, 27, 28, 29 adyacentes y también entre los rebajes 30. La figura 2a también muestra áreas 20 en las que se pueden disponer posibles elementos de revestimiento duro en algunas realizaciones.

45 Como indican los diferentes sombreados, hay dos secciones 23, 24 mecanizadas de manera diferente dispuestas en la cubierta exterior 12: En la realización ilustrativa, un área de la superficie exterior 14 junto a las aletas 16 está mecanizada de manera que al menos una primera sección 23 de la superficie exterior 14 tenga una forma cilíndrica y de tal manera que al menos una segunda sección 24 de la superficie exterior 14 tenga una forma diferente a la de la primera sección 23. En una realización de la invención, esto se consigue mecanizando la superficie exterior 14 a lo largo de una primera trayectoria de mecanizado 33 que discurre circunferencialmente alrededor de un eje de mecanizado C (véase la figura 2b). Por ejemplo, el eje C puede corresponder al eje de rotación A de la turbomáquina. En una segunda etapa de fabricación, la superficie exterior 14 se mecaniza a lo largo de una segunda trayectoria de mecanizado 34 que es diferente de la primera trayectoria de mecanizado 33. Como es evidente en la figura 2a, el área de mecanizado transversal a la segunda trayectoria de mecanizado 24 está inclinada con respecto a la dirección axial del eje de rotación.

55 **La figura 2b** muestra una vista en sección de la cubierta 12 de la figura 2a a lo largo de la línea de intersección B-B, mostrada en la figura 2a. La figura 2b ilustra la cubierta 12 en la línea de sección B-B después de la operación de mecanizado a lo largo de la primera trayectoria de mecanizado 33 en líneas discontinuas y la cubierta 12 en la línea de sección B-B después de la operación de mecanizado a lo largo de la segunda trayectoria de mecanizado 34 en líneas continuas.

60 Como puede verse en la figura 2b, la primera trayectoria de mecanizado 33 es una trayectoria circunferencial y la segunda trayectoria de mecanizado 34 es una trayectoria de mecanizado lineal, que está inclinada con respecto a un plano 32 dispuesto perpendicularmente a una línea central D de la pala 10. Por ejemplo, la inclinación α puede oscilar entre 0,1° y 6°. En la figura 2b, para una mejor comprensión, se muestra una inclinación que tiene un ángulo α mayor

que 6°. El proceso de mecanizado utilizado para fabricar la realización ilustrativa de la pala 10 a lo largo de la primera trayectoria de mecanizado 33 y la segunda trayectoria de mecanizado 34 es el rectificado.

- 5 Como se ilustra en la figura 2b, después de la etapa de mecanizado a lo largo de la primera trayectoria de mecanizado 33, la superficie exterior 14 de la cubierta exterior 12 tiene - junto a los rebajes 30 - un espesor de pared esencialmente constante t_1 . Después del mecanizado a lo largo de la segunda trayectoria de mecanizado 34, la superficie exterior 14 en la segunda sección 24 de la cubierta exterior 12 tiene diferentes espesores de pared t_2 , t_3 y t_4 . En la realización ilustrativa, la nervadura de refuerzo 27 tiene un espesor de pared t_2 , la nervadura de refuerzo 28 tiene un espesor de pared t_3 y la nervadura de refuerzo 29 tiene un espesor de pared t_4 , donde el espesor de pared t_3 de la nervadura de refuerzo 28 es menor que los espesores de pared t_2 y t_4 . Como el momento de resistencia a la flexión de la nervadura es $W_b = b/6*t^2$, el grosor de pared t de la nervadura determina la resistencia de la nervadura. Para reducir el peso, el material se retira de las nervaduras de refuerzo con menos requisitos de resistencia. En la realización ilustrativa de la pala 10, más de dos secciones 23, 24 y/o nervaduras de refuerzo 26, 27, 28, 29 adyacentes a los rebajes 30 tienen diferentes espesores de pared t_2 a t_4 .
- 10 15 La **figura 2c** muestra una vista en sección adicional de la cubierta 12 de la figura 2a a lo largo de la línea de intersección B-B, mostrada en la figura 2a con una segunda trayectoria de mecanizado diferente. La figura 2c ilustra la cubierta 12 en la línea de sección B-B después de la primera operación de mecanizado a lo largo de la primera trayectoria de mecanizado lineal 33 y después de la operación de mecanizado a lo largo de la segunda trayectoria de mecanizado también lineal 34.
- 20 25 Como puede verse en la figura 2c, la primera trayectoria de mecanizado 33 y la segunda trayectoria de mecanizado 34 son trayectorias de mecanizado lineales, que están inclinadas con respecto al plano 32 dispuesto perpendicular a una línea central D de la pala 10. La inclinación α_1 de la primera trayectoria de mecanizado 33 está dispuesta en dirección opuesta a la inclinación α_2 de la segunda trayectoria de mecanizado 34. En la figura 2c, las inclinaciones se muestran con un ángulo α_1 , α_2 de más de 6°. Además, el proceso de mecanizado usado para fabricar la realización ilustrativa de la pala 10 de la figura 2c es el rectificado.

Signos de referencia

	10	pala
5	12	cubierta
	14	superficie exterior de la cubierta
10	16	aleta circunferencial
	17	superficie aerodinámica de la pala
	18	raíz de la pala
15	20	área de elemento de revestimiento duro
	23	primera sección
20	24	segunda sección
	26	nervadura de refuerzo
	27	nervadura de refuerzo
25	28	nervadura de refuerzo
	29	nervadura de refuerzo
30	30	rebaje
	32	plano perpendicular
	33	primera trayectoria de mecanizado
35	34	segunda trayectoria de mecanizado
	A	eje de rotación de la turbomáquina
40	B - B	línea en sección
	C	eje de mecanizado
	D	línea central de la pala
45	t	espesor de pared
	α	inclinación

REIVINDICACIONES

1. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina que comprende una cubierta (12) situada en un lado de la punta de la pala (10) que tiene una superficie exterior (14) con al menos una aleta circunferencial (16) dispuesta en la misma, en el que la cubierta (12) tiene rebajes con nervaduras de refuerzo dispuestas entre los mismos, caracterizado por que
- 5 al menos una sección (23, 24) de la superficie exterior (14) de las nervaduras junto a la al menos una aleta (16) se procesa en al menos dos etapas de fabricación:
- 10 - mecanizar la superficie exterior (14) a lo largo de una primera trayectoria de mecanizado (33), que se extiende circunferencialmente alrededor de un eje de mecanizado (C) que corresponde al eje de rotación (A) de la turbomáquina o que es una trayectoria de mecanizado lineal, y
- 15 - mecanizar la superficie exterior (14) a lo largo de una segunda trayectoria de mecanizado (34) que es diferente a la primera trayectoria de mecanizado (33), en la que mediante esta etapa de mecanizado, que en el flujo del proceso también se puede aplicar antes de la etapa mencionada anteriormente, el grosor de las nervaduras de la cubierta se adapta de manera diferente en diversas áreas de la cubierta exterior de la pala.
- 20 2. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según la reivindicación 1, caracterizado por que la primera trayectoria de mecanizado (33) y la segunda trayectoria de mecanizado (34) son una trayectoria de mecanizado lineal o por que la segunda trayectoria de mecanizado (34) es una trayectoria de mecanizado lineal.
- 25 3. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según la reivindicación 2, caracterizado por que la primera trayectoria de mecanizado (33) y/o la segunda trayectoria de mecanizado (34) se extienden a lo largo o se inclinan respecto a un plano (32) dispuesto perpendicularmente a una línea central (D) de la pala (10).
- 30 4. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según la reivindicación 3, caracterizado por que la inclinación (α) de la primera trayectoria de mecanizado (33) y/o de la segunda trayectoria de mecanizado (34) con respecto al plano (32) es entre 0,1° y 6°, en particular entre 1° y 4°, en particular entre 2° y 3° y, en particular, 2,4°.
- 35 5. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según la reivindicación 1, caracterizado por que la segunda trayectoria de mecanizado (34) es una trayectoria de forma libre.
- 40 6. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el método produce una superficie al menos cónica zonalmente en la cubierta, superficie que está inclinada con respecto a la dirección axial del eje de rotación (A).
7. Método para mecanizar una pala para una turbomáquina según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el proceso de mecanizado a lo largo de la primera (33) y/o segunda trayectoria de mecanizado (34) es rectificado.
- 45 8. Pala para una turbomáquina, que comprende una cubierta (12) que se coloca en el lado de la punta de la pala (10) que tiene una superficie exterior (14) con al menos una aleta circunferencial (16) dispuesta sobre la misma, en la que la cubierta exterior (12) comprende rebajes (30) y al menos dos nervaduras (26, 27, 28, 29) adyacentes a los rebajes (30), por lo que al menos un área de la superficie exterior (14) de las nervaduras (26, 27, 28, 29) junto a al menos una aleta (16) está mecanizada de tal manera que al menos una primera sección (23) de la superficie exterior (14) de las nervaduras (26, 27, 28, 29) tiene una primera forma que se extiende circunferencialmente alrededor del eje de rotación (A) de la turbomáquina o que se extiende a lo largo de una trayectoria lineal y se caracteriza por que además está mecanizada de manera que al menos una segunda sección (24) de la superficie exterior (14) de las nervaduras (26, 27, 28, 29) tiene una segunda forma que es diferente a la forma de la primera sección (23), en la que, a través de la segunda forma, el grosor de las nervaduras (26, 27, 28, 29) se adapta de manera diferente en diversas áreas de las nervaduras (26, 27, 28, 29), en el que las al menos dos nervaduras (26, 27, 28, 29) tienen diferentes grosores de pared (t_2, t_3, t_4).
- 50 9. Pala para una turbomáquina según la reivindicación 8, caracterizada por que la primera sección (23) tiene una forma cilíndrica.
- 55 10. Pala para una turbomáquina según la reivindicación 9, caracterizada por que en dirección circunferencial la primera sección (23) de la cubierta exterior (12) tiene un espesor de pared esencialmente constante (t_1) y la segunda sección (24) de la cubierta exterior (12) tiene diferentes espesores de pared (t_2, t_3, t_4).

ES 2 980 602 T3

11. Pala para una turbomáquina según una de las reivindicaciones 7 a 10, **caracterizada por que la cubierta exterior (12) está mecanizada según el método de una de las reivindicaciones 1 a 7.**
12. Turbomáquina que comprende una pala (10) según una de las reivindicaciones 8 a 11.

Figura 1

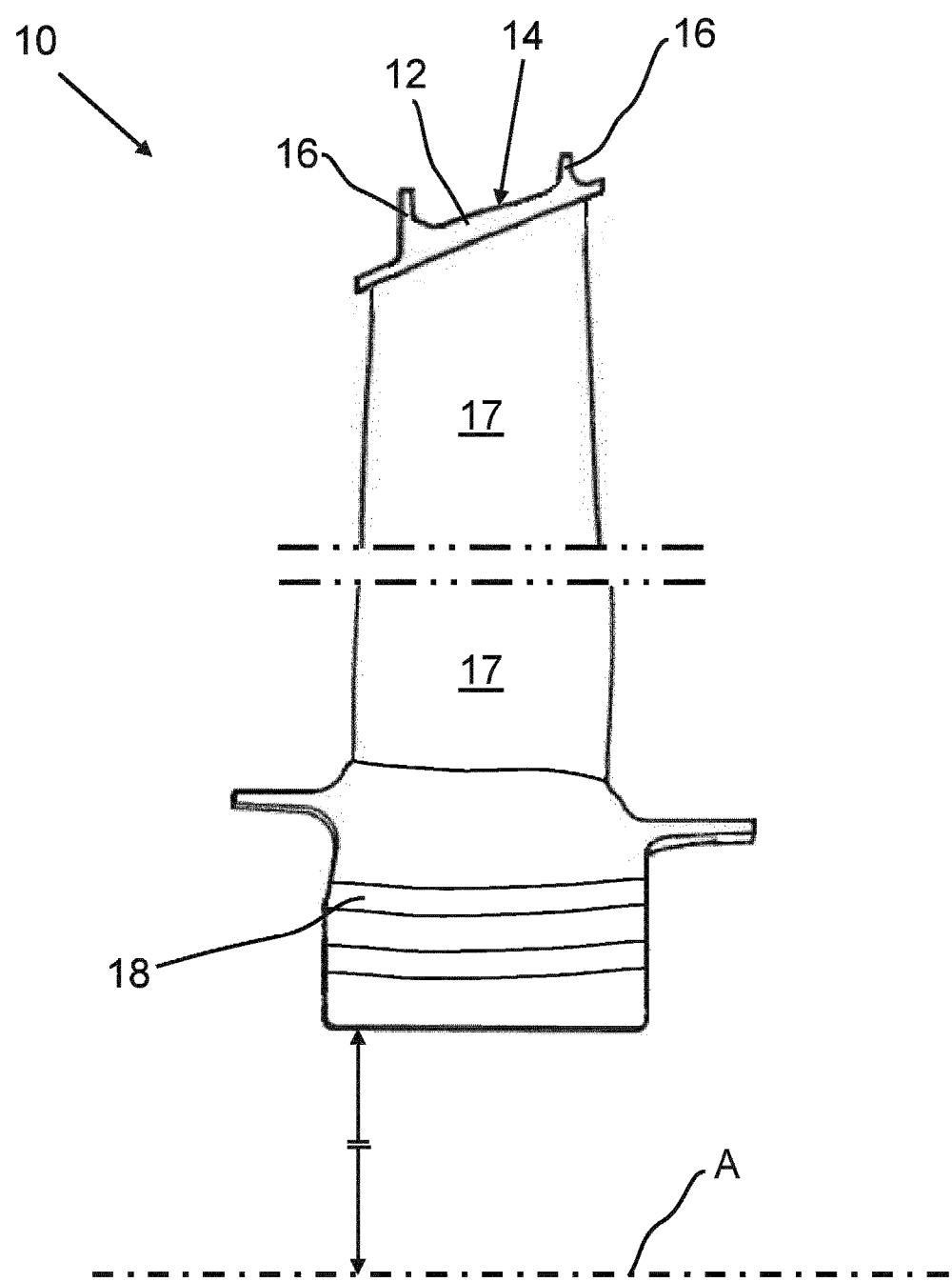


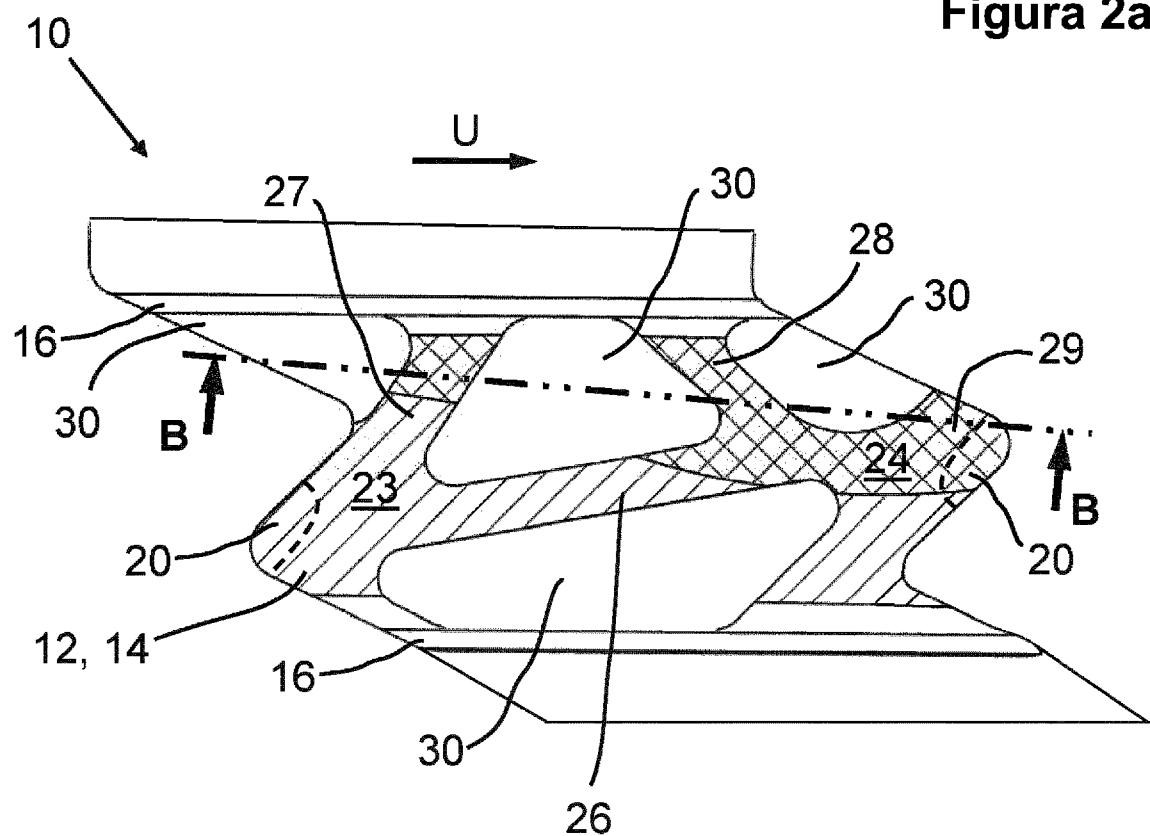
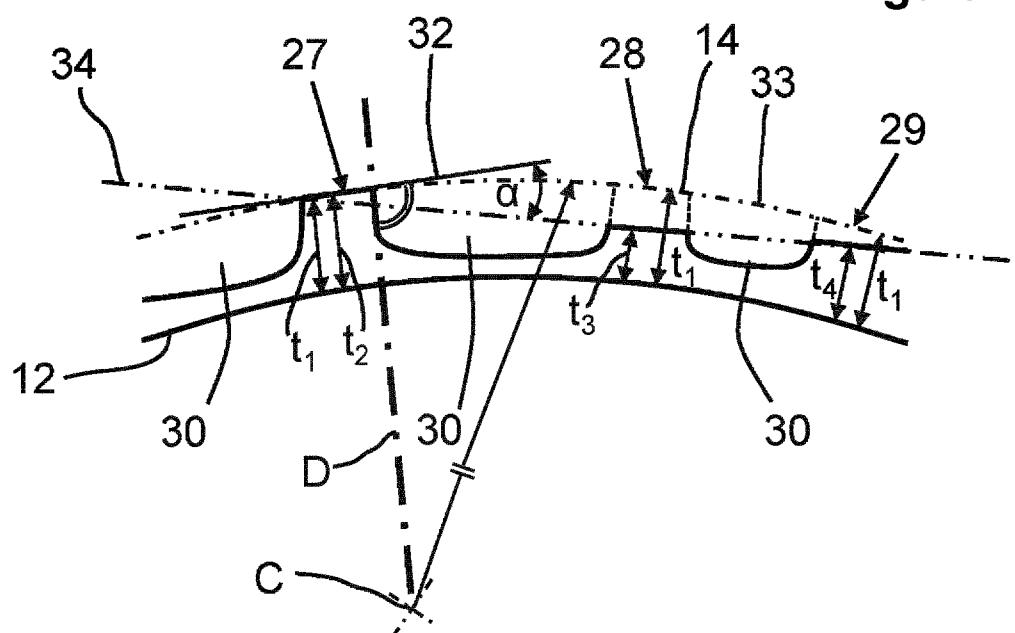
Figura 2a**Figura 2b**

Figura 2c

