

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 264**

51 Int. Cl.:

**G01N 3/56**

(2006.01)

**F01D 5/28**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09719579 .6**

96 Fecha de presentación: **25.02.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2247935**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.11.2010**

54

Título: **PROCEDIMIENTO PARA ENSAYAR UN REVESTIMIENTO DE PIE DE ÁLABE.**

30

Prioridad:  
**25.02.2008 FR 0851181**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**17.01.2012**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**17.01.2012**

73

Titular/es:  
**Snecma**  
**2 Bld du Général Martial Valin**  
**75015 Paris, FR**

72

Inventor/es:  
**BASSOT, Alain;**  
**DUDON, Laurent y**  
**PERRIAU, Anne-Claire**

74

Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

**ES 2 372 264 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

Procedimiento para ensayar un revestimiento de pie de álabe

5 El invento se refiere al campo del control de calidad de revestimientos antifricción para pies de álabes de turbomáquina. Más precisamente, el invento se refiere a un procedimiento para ensayar un revestimiento destinado a revestir un pie de álabe para una turbomáquina.

10 Los álabes, y en particular los álabes de soplantes en las turbomáquinas aeronáuticas (turborreactores o turbopropulsores) son unas piezas mecánicas sometidas a esfuerzos extremos. Por este motivo el pie de álabe, que es la parte de sujeción del álabe, es una parte del álabe particularmente crítica. El pie de álabe tiene unas superficies de contacto con el disco del rotor, o asientos, que están sometidos en funcionamiento a esfuerzos y temperaturas elevadas. Para reducir los esfuerzos, y sobre todo los de cizallamiento, que se aplican a los asientos de los pies de álabe, se utilizan de forma conocida revestimientos antifricción. Estos revestimientos, denominados "antifretting" (antidesgaste), pueden ser depositados principalmente por proyección térmica. Pueden ser multicapa. La calidad del revestimiento antifricción es esencial, pues un modo principal de fallo de los álabes está ligado a la disgregación (por escamado, por fisuración, por pulverización, o por desgaste) del revestimiento.

15 Típicamente, la vida útil del revestimiento de un pie de álabe está relacionada con el número de ciclos (denominados "ciclos de motor" experimentados por el álabe. Tal ciclo es de hecho el conjunto de las sollicitaciones a las que es sometido el álabe durante una fase completa de funcionamiento de la turbomáquina (durante un vuelo, en el caso de un turborreactor montado en un avión), es decir desde el arranque hasta la parada. Así en particular para un avión un ciclo comprende un despegue y un aterrizaje.

20 La vida útil del revestimiento expresada en número de ciclos puede estar ligada a un acuerdo comercial, responder a un pliego de condiciones o ser especificada por un gabinete de estudios. El revestimiento de pie de álabe debe seguir siendo funcional durante toda la vida útil del álabe, ya que habitualmente no se ha previsto intervención alguna sobre el revestimiento de un pie de álabe a lo largo de su explotación.

25 Para asegurarse de la calidad de este revestimiento, y de su interfaz con el material del álabe en sí, se procede de manera conocida a exámenes de revestimiento por micrografía, que generalmente consisten en hacer una sección del revestimiento y del pie de álabe y en examinar al microscopio el aspecto de este corte. Tal ensayo permite verificar la estructura interna y el espesor del revestimiento, y en una cierta medida la calidad de su interfase con el material del pie de álabe propiamente dicho. También se conoce el ensayo de la calidad de este revestimiento mediante ensayos normalizados de dureza o incluso mediante ensayos de adherencia a tracción o a cizallamiento.

30 No obstante, parece que estos diferentes ensayos se muestran insuficientes para distinguir revestimientos de calidad superior con respecto a revestimientos de calidad simplemente pasable y de hacerse una idea precisa de la vida útil y del comportamiento mecánico en servicio del revestimiento depositado en el pie de álabe. En otros términos, los ensayos actuales no permiten distinguir cualitativamente los diferentes revestimientos ya que resisten de forma satisfactoria un cierto número de ciclos.

35 Otros procedimientos de ensayo están por otra parte expuestos en los documentos EP 1.705.261, US 6.250.166, US 3.802.255 y EP 1.598.655.

40 El objeto del invento es proponer un procedimiento para ensayar un revestimiento de pie de álabe, que se muestre más discriminatorio que los anteriores ensayos en cuanto a la calidad de los revestimientos, y que permita obtener unos resultados estrechamente correlacionados con las verificaciones reales sobre el comportamiento a lo largo del tiempo de los revestimientos de pies de álabes, tales que obtenidos durante toda la vida útil de un álabe sean corrientemente de 10.000 a 15.000 ciclos.

Este objeto se ha conseguido gracias a un procedimiento que comprende las siguientes etapas:

45 - se suministra una probeta denominada de disco que al menos tiene un asiento, y otra probeta denominada de álabe que tiene al menos un asiento revestido con dicho revestimiento que hay que ensayar, componiéndose la probeta de álabe de dos semiprobetas aptas para ser encajadas a una parte y a otra de la probeta de disco;

- se somete la probeta de álabe encajada con la probeta de disco a ciclos de tracción durante los cuales las probetas son sollicitadas a tracción la una con respecto a la otra según una dirección de tracción, transmitiéndose el esfuerzo de tracción a través de los asientos en contacto de la probeta de álabe y de la probeta de disco;

- se evalúa dicho revestimiento en función de un criterio de evaluación predeterminado.

50 El principio del ensayo así definido es fundamentalmente diferente de los ensayos anteriormente conocidos. En efecto, en lugar de fundarse en el examen de pies de álabe nuevos consiste en someter pies de álabe, y más precisamente los asientos de éstos, a ensayos de fatiga representativos de las sollicitaciones a las que están expuestos durante la vida útil del álabe. Ventajosamente, el procedimiento no necesita la utilización de álabes sino

simplemente la utilización de dos probetas, de las cuales en particular la probeta de álabe tiene un asiento cubierto por el revestimiento que hay que ensayar. Se observará que es perfectamente posible además que la probeta de álabe presente no solamente uno sino varios asientos, teniendo la probeta de disco entonces un asiento para cada uno de los asientos de la probeta de álabe.

5 El objetivo del ensayo del revestimiento de álabe puede ser por ejemplo ensayar de forma general un nuevo revestimiento, o incluso validar de forma efectiva la calidad del revestimiento aplicado en una serie de álaves antes de ser puestos en explotación. Según el objetivo perseguido las probetas utilizadas y las condiciones de ensayo (número de ciclos, fuerza máxima aplicada durante éstos) pueden ser más o menos representativas de las solicitudes reales a las que está sometido el revestimiento durante la explotación del pie de álabe. Así  
10 normalmente, el número de ciclos de tracción y la fuerza de tracción máxima aplicada a las probetas se determinan para un revestimiento dado en función de la presión máxima admisible en los asientos del pie de álabe y del número de ciclos motores previstos durante la vida útil del álabe.

15 Por otra parte, durante los ciclos de tracción, los desplazamientos se producen en función de los esfuerzos transmitidos. Un ciclo de tracción está caracterizado por la curva de variación de la fuerza de tracción en función del tiempo. En la práctica, se hace crecer la fuerza de tracción desde un valor inicial nulo, o al menos bajo (con respecto al valor máximo), hasta un valor máximo y después se vuelve al valor inicial. El valor inicial y el valor máximo pueden eventualmente ser mantenidos, el uno y/o el otro independientemente, durante un cierto espacio de tiempo. Por lo  
20 demás se pueden considerar otros tipos de perfiles de ciclos de tracción según la manera en la que se quieran simular las diferentes fases de funcionamiento de la turbomáquina. Se puede ajustar el parámetro de velocidad de subida en carga, es decir el aumento de la fuerza de tracción por unidad de tiempo.

Normalmente, la probeta de álabe es sometida de 3.000 a 15.000 ciclos de tracción, con unas fuerzas de tracción que pueden variar entre 15.000 y 30.000 daN.

25 La evaluación de las probetas puede realizarse bien durante los ciclos de tracción (utilizando por ejemplo captadores montados en la máquina de ensayo como cámaras y/o captadores de ultrasonidos), bien a la salida de los ciclos de tracción, una vez desmontadas las probetas.

Según un modo de realización durante la etapa de evaluación del procedimiento se examina la probeta de álabe con objeto de determinar si presenta un escamado o una pulverización en su o sus asientos.

La ventaja del procedimiento según el invento es que suministra unos resultados muy representativos del comportamiento y del envejecimiento de los revestimientos de los pies de álaves reales.

30 De forma conocida la fijación de un álabe en un disco de rotor se hace en general mediante un acoplamiento espiga/mortaja que forma una unión. Esta unión está constituida por una espiga dispuesta en un extremo radialmente interior del álabe, que está fijado en una mortaja prevista en la periferia del disco de rotor. Los pies de álaves por una parte, las protuberancias o espigas de disco de rotor formadas entre las mortajas de disco de rotor por otra parte, tienen de este modo unas formas complementarias en cola de milano, dispuestas radialmente en  
35 sentido opuesto, de forma que se asegure la fijación mutua entre los álaves y el disco de rotor.

En una rueda de álaves, éstos están regularmente unidos en la periferia exterior del disco de rotor, que tiene así tantos alvéolos de fijación como álaves que fijar.

40 Las uniones de los álaves en el disco de rotor forman un motivo que se repite en el sentido circunferencial y que puede ser definido por ejemplo por el pie de álabe y la mortaja correspondiente del disco de rotor, o incluso por la espiga en cola de milano (o cola de milano) del disco de rotor y los dos semipiés de álaves que aprietan éste en la rueda de álaves.

Se comprende por tanto que el principio del procedimiento según el invento consiste precisamente en reproducir las solicitudes cíclicas sufridas por el motivo, a saber las solicitudes de la espiga en cola de milano del disco de rotor retenido por dos semipiés de álaves.

45 La probeta de álabe se compone de dos semiprobetas aptas para ser encajadas a una parte y a otra de la probeta de disco, o contraprobeta, que reproduce un motivo unitario. La disposición simétrica de las semiprobetas alrededor de la contraprobeta permite que los esfuerzos laterales ejercidos sobre ésta durante los ciclos de tracción sean simétricos de sentido opuesto y que por tanto se anulen. De este modo, ventajosamente el procedimiento no necesita medios mecánicos aptos para soportar esfuerzos laterales que experimentaría la contraprobeta durante los  
50 ciclos de tracción. Además, en el caso en que el pie de álabe tenga asientos en sus dos caras que no sean simétricos, esta disposición con dos semiprobetas que encierran una contraprobeta permite que las probetas tengan asientos representativos de las dos caras en contacto del pie de álabe. Como estos asientos son ensayados durante el mismo ensayo, esto permite ensayar y verificar al mismo tiempo el comportamiento del revestimiento para las dos caras del pie de álabe.

- Además, el procedimiento permite obtener unos resultados muy representativos de la realidad. En efecto, la disposición de las probetas corresponde a sus posiciones respectivas en una turbomáquina. Las dos semiprobetas representativas de las dos mitades de un pie de álabe encierran a una parte y a otra y retienen una contraprobeta representativa de una espiga del disco de rotor. Se ha verificado que en esta disposición se obtiene una excelente representatividad de los resultados.
- Según un modo de realización el o los asientos de la probeta de álabe y de la probeta de disco tienen formas complementarias y se extienden en una dirección oblicua con respecto a la dirección de tracción, de tal forma que el contacto entre estos asientos es representativo del de un pie de álabe con una espiga de un disco de rotor de turbomáquina. La forma oblicua de los asientos convierte los esfuerzos de tracción radiales en esfuerzos en la dirección transversal o circunferencial.
- Ventajosamente, los asientos de la probeta de álabe y/o de la probeta de disco forman un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la dirección de tracción. Más generalmente, este ángulo puede variar entre 30° y 60°.
- Según un modo de realización la probeta de álabe tiene en la proximidad de su o sus asientos una forma representativa de un pie de álabe de turbomáquina, siendo el eje de tracción el eje radial de dicho pie de álabe. Esta forma de la probeta de álabe permite ensayar el revestimiento en las condiciones más representativas de sus condiciones de explotación. Especialmente, la probeta de álabe puede tener un comportamiento y unas deformaciones mecánicas representativas de las de un pie de álabe o del pie de álabe para el que está previsto el revestimiento.
- Según un modo de realización la probeta de disco tiene en la proximidad de su o sus asientos una forma representativa de una espiga de un disco de rotor de turbomáquina. Esta forma se refiere a la parte de la probeta que está situada del lado de la probeta de álabe.
- Los respectivos asientos de las probetas son así respectivamente representativos de los asientos del pie de álabe y de la espiga que corresponden al disco de rotor.
- Por otra parte, para permitir una representación fiel del comportamiento de la unión, es decir del pie de álabe con respecto a las espigas del disco de rotor, se fabrica habitualmente la probeta de álabe del mismo material que el pie de álabe, es decir típicamente de una aleación a base de titanio para el compresor de baja presión y de alta presión, y de una aleación a base de níquel para las partes del motor cuya temperatura de funcionamiento supera los 500°C. Por las mismas razones se puede igualmente elegir un material idéntico al del disco de rotor para la probeta de disco, a saber igualmente de una aleación a base de titanio o de níquel.
- Los ensayos se realizan preferiblemente con la ayuda de una máquina de ensayo de tracción. Esta máquina tiene en un bastidor unos primeros y segundos medios de sujeción que sujetan respectivamente una primera y una segunda de las probetas. Estos medios de sujeción permiten sujetar a lo largo del ensayo las probetas en la posición requerida, que es la posición encajada de las dos probetas en la que sus asientos respectivos coinciden y están en contacto. Esta posición reproduce preferiblemente las posiciones respectivas del pie de álabe y del disco de rotor en funcionamiento.
- La máquina tiene además unos medios de tracción que imponen desplazamientos alternativos de un sistema de sujeción con respecto al otro, en una dirección de tracción. Los sistemas de sujeción están entonces sometidos a unos movimientos de tracción relativos de uno con respecto a otro, de forma que los asientos están sometidos, y sobre todo los asientos de la probeta de álabe, a sollicitaciones representativas de las que experimenta el pie de álabe en funcionamiento. Los desplazamientos según la dirección de tracción habitualmente se miden y registran mediante un sistema de medida del desplazamiento como un comparador.
- Al final de los ciclos de tracción se evalúa el revestimiento de los asientos de la probeta de álabe. Esta evaluación se puede hacer principalmente por un examen visual (es decir macrográfico) o micrográfico; siendo igualmente posibles en esta fase unos exámenes complementarios, como unos ensayos de adherencia, de comportamiento al choque u otros. Para este examen se debe definir un criterio de evaluación para el revestimiento de pie de álabe en función del cual se tome la decisión de aceptación o de rechazo del revestimiento. El criterio consiste en la ausencia de disgregación por escamado o pulverización del revestimiento en todo el o en todos los asientos de álabe. Por ejemplo, se utiliza una referencia visual que muestra las escamas máximas admitidas (en número y dimensión). El respeto de una medida máxima para las escamas puede verificarse también mediante medidas geométricas.
- Se observará finalmente que preferiblemente el procedimiento de ensayo no se ha puesto en práctica una sola vez para un revestimiento dado, sino que al contrario generalmente el ensayo de evaluación del revestimiento está constituido por una serie de ensayos (tres por ejemplo) a fin de aumentar la fiabilidad de los resultados. Los resultados pueden de este modo ser calculados con la ayuda de métodos estadísticos, lo que permite reducir su dispersión.
- En este caso el procedimiento para ensayar el revestimiento de pie de álabe comprende los siguientes pasos:

- se realiza el ensayo anteriormente definido en una probeta o en varios pares de ellas, comprendiendo cada par de probetas una probeta de álabe cuyo o cuyos asientos están revestidos con el revestimiento que hay que ensayar, y una probeta de disco; y

5 - se estudian los resultados obtenidos con la ayuda de métodos estadísticos, con objeto de calificar la calidad del revestimiento de álabe.

El criterio de evaluación de los álabes puede por ejemplo ser el siguiente: los álabes son calificados y aceptados si ninguno de ellos presenta un escamado después de 13.500 ciclos con una fuerza máxima de tracción de 20.000 daN. También es posible aceptar un porcentaje de defectos dado.

10 Por otra parte, la eficacia de los ensayos realizados puede ser incluso aumentada mediante la observación de la evolución del escamado de la probeta de álabe durante los ciclos de tracción (y no a la terminación de éstos). De este modo se llegan a detectar más rápidamente los revestimientos no satisfactorios.

15 Volviendo a este principio, según una variante del procedimiento del invento, la evaluación de las probetas se realiza durante los ciclos de tracción, no habiéndose fijado de antemano el número de estos ciclos. En este caso los ciclos se detienen en el momento en que se ha alcanzado un criterio de parada, como por ejemplo la presencia de escamado en el revestimiento de los asientos de la probeta de álabe.

20 Según otro modo de realización del invento, el procedimiento tiene además la siguiente etapa: se fijan de antemano los parámetros de los ciclos de tracción. La evaluación del revestimiento se realiza entonces tras un número predeterminado de estos ciclos de tracción. Según el procedimiento se fijan por tanto al comienzo los parámetros de los ciclos de tracción y se elige un criterio de evaluación; se someten las probetas a los ciclos de tracción así previstos; y a la terminación de los ciclos, en general después de haber desmontado las probetas, se evalúan éstas con respecto al criterio de evaluación.

25 Los parámetros de los ciclos de tracción son habitualmente el número de ciclos, la fuerza máxima ejercida durante el ciclo, o incluso la velocidad de aumento o de disminución de la fuerza de tracción en función del tiempo, la temperatura, u otros. Se fijan antes del comienzo del ensayo, al igual que el número de ciclos, en función del revestimiento y del álabe que hay que evaluar, y de los modos de funcionamiento de la turbomáquina que se desea simular.

30 Se observará en particular que para ensayar la calidad de un revestimiento de pie de álabe utilizando el procedimiento según el invento se puede elegir entre aumentar el número de ciclos reduciendo la fuerza de tracción máxima durante el ciclo, o inversamente. En efecto, se ha verificado para los revestimientos de pie de álabe, que en tanto que los parámetros permanecen en una gama de valores plausibles para el pie de álabe (excluyendo, por ejemplo, una presión que supere la resistencia mecánica del material del pie de álabe propiamente dicho) es sensiblemente equivalente para ensayar la calidad del revestimiento en un lote de probetas de álabe realizar un número reducido de ciclos, con una fuerza de tracción elevada, o un número mayor de ciclos con una menor fuerza de tracción. Por ejemplo, de forma sensiblemente equivalente se puede ensayar un revestimiento que reviste probetas sometiéndolas bien a 15.000 ciclos de tracción con una fuerza máxima de 15.000 daN o bien a 6.000 ciclos de tracción con una fuerza máxima de 19.000 daN.

40 Según un modelo de realización, durante los ciclos de tracción se limita por medios de recuperación elástica la separación lateral de las probetas que se produce en respuesta a la fuerza de separación ejercida por las probetas la una sobre la otra por el efecto de la tracción. La separación lateral (en la dirección perpendicular a la dirección de tracción) de las dos probetas reproduce el hecho de que en la turbomáquina durante el funcionamiento las espigas de disco de rotor y los pies de álabes se deforman, y esto sobre todo en el caso en el que las probetas tienen asientos dispuestos en una dirección oblicua con respecto a la dirección de tracción. Gracias a esta posibilidad de separación lateral limitada de las probetas, gracias a movimientos de recuperación elástica, ha aumentado la representatividad de los resultados obtenidos gracias al procedimiento.

45 Según un perfeccionamiento del anterior modo de realización, con el fin de seguir el comportamiento de las probetas durante los ciclos de tracción, durante dichos ciclos de tracción se mide la separación lateral de las probetas. Este parámetro permite asegurar que las posiciones relativas de una con respecto a otra de las probetas siguen siendo muy representativas de las posiciones en las que se quiere ensayar el revestimiento.

50 El invento será bien comprendido y sus ventajas aparecerán mejor tras la lectura de la descripción detallada que sigue de los modos de realización representados a título de ejemplos no limitativos. La descripción se refiere a los dibujos anejos, en los cuales:

- las figuras 1 y 2 son vistas parciales en sección, respectivamente de frente y de lado, de probetas utilizadas para la puesta en práctica del procedimiento según el invento, representadas en una máquina de ensayo;

- la figura 3 es una vista parcial en sección axial de estas probetas en la zona de sus asientos; y

- la figura 4 es una vista en sección axial de una máquina de ensayo que permiten la puesta en práctica del procedimiento según el invento.

Las figuras 1 y 2 son vistas parciales en sección de las probetas 22, 32 utilizadas para la puesta en práctica del procedimiento según el invento, presentadas montadas en una máquina de ensayo.

5 Según el procedimiento, para ensayar un revestimiento de pie de álabe una primera etapa consiste en fabricar unas probetas, que serán utilizadas y consumidas durante el ensayo. Estas probetas son fabricadas por pares, teniendo cada par una probeta denominada de álabe 32, y una probeta denominada de disco 22.

10 La probeta de disco 22 es también denominada contraprobeta. En un extremo (su extremo superior en la figura 1) tiene un bulbo relativamente simétrico cuyos lados 23 sobrepasan de forma inestable una parte y otra de su eje. En su otro extremo tiene además unos medios de fijación que permiten su fijación en la máquina de ensayo con la ayuda de unos primeros medios de sujeción que sirven para retener la probeta de disco durante los ensayos de tracción. Estos medios son aquí un taladro, previsto para hacer pasar un eje de fijación 26 de la máquina de ensayo.

15 La probeta de álabe por su parte está compuesta por dos semiprobetas 32 situadas alrededor de la probeta de disco 22. Las semiprobetas 32 tienen superficies de contacto, o asientos, que están enfrentados y en contacto en posición de ensayo con los correspondientes asientos de la probeta 22. Los asientos 34 de las semiprobetas 32 se encuentran en las caras superiores inclinadas de los abombamientos 35 formados en la base de las semiprobetas 32. Los asientos 34 de las semiprobetas 32 son superficies de contacto que son asimilables a los asientos de un pie de álabe, siendo los asientos de la probeta en cuanto a ellos asimilables a los asientos de la espiga en cola de milano del disco de rotor.

20 En la máquina de ensayo que permite la puesta en práctica del procedimiento según el invento, como lo muestran las figuras 1 y 2, las semiprobetas 32 son fijadas por un sistema de fijación 30. El papel de éste es fijar las dos semiprobetas 32, y más precisamente fijar los asientos 34 de éstas enfrente de los correspondientes asientos de la contraprobeta 22, durante toda la duración del ensayo. El sistema de fijación 30 tiene unos montantes 38 paralelos, y unos medios de recuperación elástica 40 de los montantes 38 del uno con respecto al otro. Estos medios de recuperación elástica son en el ejemplo cuatro tornillos 40, que fijan firmemente en posición las semiprobetas alrededor de la contraprobeta 22. Las semiprobetas 32 se fijan en los montantes 38 mediante los tornillos 42, que atraviesan unos agujeros alargados 41 dispuestos en las semiprobetas en partes de éstas distantes de sus abombamientos 35.

30 Se observará además que el procedimiento puede ser también puesto en práctica con dos montantes 38 fijados rígidamente el uno al otro o incluso no formando más que una única pieza, pero constituyendo ventajosamente los montantes 38 unas partes independientes dentro del sistema de fijación 30.

35 La figura 3 hace aparecer con más detalle las formas de contacto de la probeta 22 y de una semiprobeta 32. La semiprobeta 32 está representada apoyada sobre el montante 38, por sus caras inferior 31 y trasera 33. La semiprobeta 32 tiene un asiento 34 que se extiende entre un punto B y un punto D. En este asiento 34 la semiprobeta 32 está revestida por el revestimiento 36 que hay que ensayar. Este revestimiento es de la misma naturaleza y se aplica según el mismo método que el utilizado para proteger los asientos de los pies de álaves. Este revestimiento sobrepasa a una parte y a otra la zona de contacto 24 que es una parte del asiento 34. De hecho, en la posición relativa representada de la semiprobeta 32 y de la contraprobeta 22, la zona de contacto 24 no se extiende más que sobre una parte del asiento 34, entre los puntos B y C. Durante los ensayos de tracción la posición de la zona de contacto puede variar con respecto al asiento 34.

40 Como se ve en la figura 3, los asientos de la probeta 22 y de la semiprobeta 32 están dispuestos en una dirección oblicua o inclinada con respecto a la dirección E, que es la dirección de tracción. Esta inclinación es la que se encuentra al nivel de la fijación del pie de álabe en el disco de rotor. El ángulo de inclinación  $\alpha$  es próximo a  $45^\circ$ .

45 La segunda etapa del procedimiento consiste en someter las probetas a ciclos de tracción. Esta operación se realiza en una máquina de ensayo como la anteriormente mencionada, representada en la figura 4.

Esta máquina 10 tiene una estructura portante 12 constituida generalmente por un bastidor soldado mecánicamente. Esta estructura portante 12 soporta dos sistemas de fijación 20 y 30.

50 El primer sistema de fijación 20 situado en la parte baja de la máquina tiene una columna fija 29 que mantiene en posición la contraprobeta 22. Dicha contraprobeta 22 tiene un taladro por el que pasa un eje 26 del primer sistema de fijación, eje gracias al cual la contraprobeta 22 es mantenida independientemente de las solicitaciones de tracción a las que esté sometida.

55 El segundo sistema de fijación 30 sirve para mantener en posición las dos semiprobetas 32. Este sistema de fijación 30 tiene una viga móvil 39 puesta en movimiento alternativo de traslación rectilínea en la dirección vertical según la doble flecha A por un actuador lineal 14 o cualquier otro medio de actuación equivalente. Esta viga 39 es guiada en su movimiento vertical alternativo de traslación por las guías deslizantes 16. El sistema de fijación 30 tiene además

unos medios para unir rígidamente las semiprobetas 32 con respecto a la viga 39, que tienen sobre todo los montantes 38 anteriormente citados.

5 Las características del actuador lineal 14 se eligen de tal forma que éste pueda imprimir al segundo sistema de fijación 30 con respecto al primero 20 unos movimientos verticales de traslación que sean representativos de los que efectúa un álabe, y más precisamente el pie del álabe, con respecto al disco de rotor durante el funcionamiento de la turbomáquina a la que pertenece el álabe. Estos movimientos son debidos a las fuerzas centrífugas considerables recibidas por los álabes durante la rotación del rotor. Estas fuerzas centrífugas pueden ser asimiladas a una tracción radial en el álabe.

10 El principio de los ciclos de tracción consiste en someter las probetas a ciclos de sollicitaciones en una dirección, denominada dirección de tracción, estando las probetas dispuestas de tal forma que los esfuerzos de tracción se transmitan a través de sus asientos enfrentados, como se muestra en las diferentes figuras. Los asientos respectivos de las semiprobetas y de la contraprobeta son de este modo forzados y presionados en contacto uno con otro, lo que permite ensayar, poner a prueba el revestimiento de la probeta de álabe (aquí las dos semiprobetas). En la máquina de la figura 4 las sollicitaciones se aplican a las semiprobetas 32, estando la probeta 22 fija (es decir a la contraprobeta). La configuración inversa es totalmente posible.

15 En la máquina 10 cuando la probeta 22 es sollicitada a tracción (flecha E) su asiento entra en contacto con el asiento 34 de la semiprobeta. Debido al ángulo de inclinación  $\alpha$ , por el efecto del contacto, la fuerza axial en la dirección de tracción E aplicada en la probeta 22 se convierte en una fuerza transversal en el sentido de la flecha F aplicada en la semiprobeta 32. Para resistir estas fuerzas de separación los montantes 38 están unidos por los tornillos 40 que impiden que se separen. Estos tornillos poseen una ligera elasticidad, calculada, que les permite alargarse ligeramente como respuesta a estas fuerzas y de este modo reproducir la deformación del pie de álabe y de las espigas de disco de rotor por el efecto de la rotación del rotor.

20 Esta posibilidad de desplazamiento lateral de los dos montantes 38 en la dirección circunferencial con respecto al pie de álabe (es decir perpendicularmente a la dirección de tracción y a los asientos del pie de álabe) permite reproducir mejor las condiciones de fijación del álabe en funcionamiento.

25 Para controlar el buen funcionamiento de los ciclos de tracción a los que son sometidos los pies de álabe la máquina tiene además unos medios de medida de los movimientos de las probetas durante el ensayo. Esta medida permite asegurar el buen funcionamiento y el buen posicionamiento de las diferentes piezas durante el ensayo. Puede comprender un primer sistema de medida 19 de los desplazamientos según el eje de tracción, y un segundo sistema de medida 18 de la separación lateral de las semiprobetas 32.

A título de ejemplo se detalla a continuación, utilizando la máquina de la figura 4, un procedimiento concreto para ensayar un revestimiento de pie de álabe según el procedimiento del invento.

Es preciso observar primeramente que para ensayar un par de probetas se procede de la siguiente manera:

- se prepara un par de probetas constituido por dos semiprobetas de álabe y una probeta de disco;
- 35 - se somete este par de probetas a 10.000 ciclos de tracción, variando la fuerza de tracción según un mismo perfil en función del tiempo durante cada uno de los ciclos de tracción; y
- se examina entonces el estado de los asientos de las semiprobetas de álabe a fin de determinar si este estado es aceptable o no. El resultado del ensayo se juzga satisfactorio para el par de probetas si no existe escamado y/o desgaste hasta el material de la probeta propiamente dicha en los asientos de las semiprobetas de álabe.
- 40 El número de ciclos de tracción (10.000) y el perfil de variación de la fuerza de tracción del tiempo durante los ciclos de tracción se determinan previamente en función del álabe al cual está destinado el revestimiento.

Una vez definido el método para ensayar un par de probetas se puede ya precisar la forma en la que se califica el revestimiento de álabe.

45 Para calificar el revestimiento de álabe se ensayan según el método anterior tres pares de probetas. El revestimiento se califica si se obtienen unos resultados satisfactorios en al menos dos de cada tres pares de probetas.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para ensayar un revestimiento (36) para pie de álabe que comprende las siguientes etapas:
- 5           - se suministra una probeta, denominada de disco (22), que tiene al menos un asiento, y otra probeta, denominada de álabe (32), que tiene al menos un asiento (34) revestido por dicho revestimiento, estando compuesta la probeta de álabe por dos semiprobetas (32) aptas para ser encajadas a una parte y a otra de la probeta de disco;
- 10          - se somete la probeta de álabe (32) encajada con la probeta de disco (22) a unos ciclos de tracción durante los cuales las probetas son solicitadas a tracción una con respecto a otra según una dirección de tracción (A), transmitiéndose el esfuerzo de tracción a través de los asientos en contacto de la probeta de álabe y de la probeta de disco;
- se evalúa dicho revestimiento en función de un criterio de evaluación predeterminado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque los asientos de la probeta de álabe y de la probeta de disco tienen unas formas complementarias y se extienden en una dirección oblicua con respecto a la dirección de tracción (A).
- 15          3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque durante los ciclos de tracción se limita por medios de recuperación elástica (40) la separación lateral de las probetas que se producen en respuesta a la fuerza de separación ejercida por las probetas una sobre la otra por el efecto de la tracción.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque durante los ciclos de tracción se mide dicha separación lateral.
- 20          5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la probeta de álabe (32) tiene en la proximidad de su o sus asientos una forma representativa de un pie de álabe de turbomáquina, siendo el eje de tracción el eje radial de dicho pie de álabe.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque la probeta de disco (22) tiene en la proximidad de su o sus asientos una forma representativa de una espiga de un disco de rotor de turbomáquina.
- 25          7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque consta además de la siguiente etapa: se fijan previamente los parámetros de los ciclos de tracción, realizándose la evaluación del revestimiento tras un número determinado de ciclos de tracción.
- 30          8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la evaluación comprende un examen visual o micrográfico.



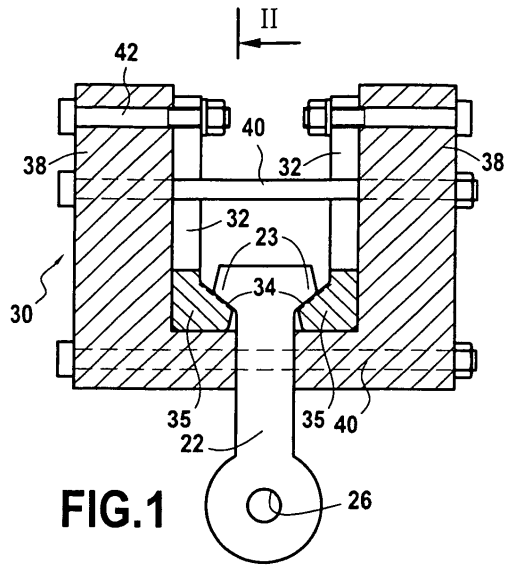


FIG.1

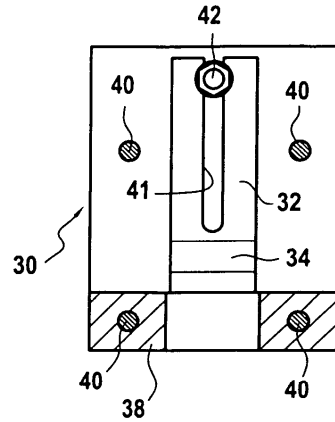


FIG.2

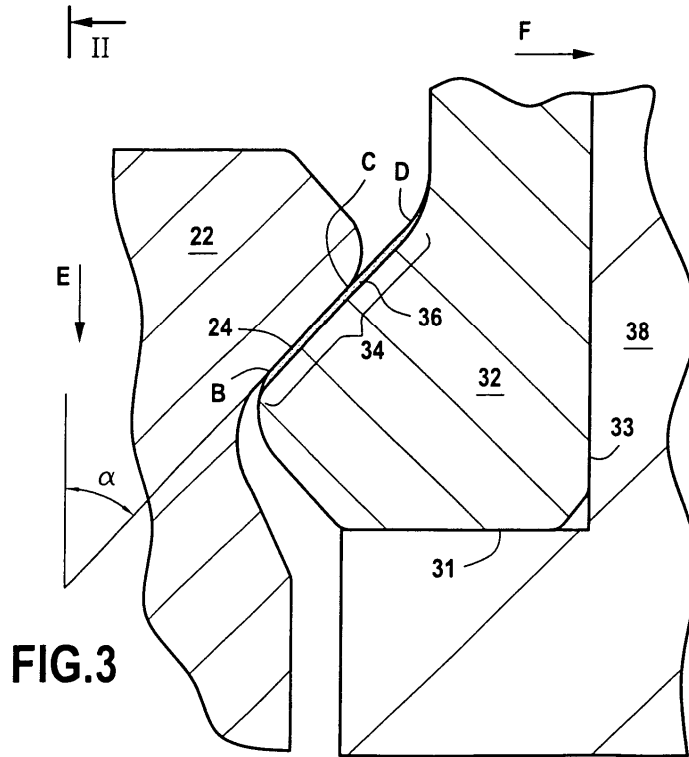


FIG.3

