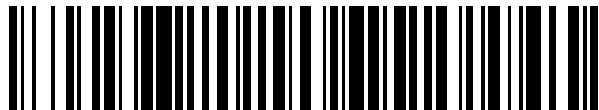


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 522 560**

51 Int. Cl.:

**B64C 27/72** (2006.01)

**B64C 27/473** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2012 E 12164012 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.09.2014 EP 2511176**

54 Título: **Pala de ala rotatoria, rotor que comprende al menos dos de tales palas y procedimiento de puesta en práctica de dicho rotor**

30 Prioridad:

**13.04.2011 FR 1101126**

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

**17.11.2014**

73 Titular/es:

**ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES) (100.0%)  
29, Avenue de la Division-Leclerc B.P. 72  
92322 Châtillon Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**MERCIER DES ROCHETTES, HUGUES;  
BUCHANIEK, LÉON;  
JOLY, DIDIER;  
DUPAS, JACQUES y  
LECONTE, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 522 560 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**

Pala de ala rotatoria, rotor que comprende al menos dos de tales palas y procedimiento de puesta en práctica de dicho rotor

5 La presente invención concierne a los rotores de ala rotatoria especialmente para helicópteros, así como a las palas de tales rotores.

Se sabe que las palas de un rotor de ala rotatoria de helicóptero son mandadas en paso colectivo y en paso cíclico.

10 El paso colectivo permite el vuelo estacionario del helicóptero por un posicionamiento idéntico en incidencia de todas las palas con respecto al eje de rotación del citado rotor, entonces confundido con el eje de arrastre del mástil de éste, generando el paso colectivo una sustentación general que está alineada con la vertical y que equilibra la masa del helicóptero.

El paso cíclico a su vez permite, por un posicionamiento en incidencia de cada pala en función del acimut, inclinar la sustentación general con respecto a la vertical y por tanto mover el citado helicóptero.

15 Para el mando en paso colectivo y en paso cíclico, los rotores comprenden generalmente un mecanismo, denominado plato cíclico, montado en el mástil del rotor y que comprende un plato giratorio unido a cada pala por una biela de paso y arrastrado en rotación por un compás móvil, un plato fijo deslizante a lo largo del mástil del rotor e inclinable con respecto a éste y una unión de rodamiento entre los citados platos fijo y giratorio.

Dicho plato cíclico presenta el inconveniente de comprender un número importante de piezas mecánicas que necesitan un mantenimiento y un control regulares.

20 Se ha previsto por tanto suprimir el citado plato cíclico montando alerones móviles en las citadas palas, siendo mandado el plato cíclico de éstas por la torsión de las citadas palas generada por el momento de torsión inducido por el giro de los citados alerones y siendo obtenido el paso colectivo de las palas de manera semejante a la de las hélices, o bien por un actuador dispuesto en el pie de la pala.

Sin embargo, tales alerones móviles necesitan igualmente la utilización de conjuntos mecánicos complicados y sometidos a rozamiento.

25 La presente invención comprende una pala de ala rotatoria, un rotor, especialmente para helicóptero, que no comprende plato cíclico y un procedimiento de puesta en práctica que remedia los citados inconvenientes de la técnica anterior.

30 La pala, de acuerdo con la invención, de un ala rotatoria alrededor del cubo de un rotor de frecuencia de rotación, comprendiendo la citada pala, cuyo acimut de rotación es conocido, de envergadura E, una parte de fijación al citado cubo y una parte aerodinámica, y teniendo diferentes modos de deformación especialmente un modo de torsión alrededor de su envergadura (E) de frecuencia propia función de su rigidez de torsión alrededor de la citada envergadura (E), caracterizada por que:

35 - comprende medios de torsión dinámica, aproximadamente alrededor de su envergadura, que pueden ser accionados en tiempo real, es decir durante su rotación alrededor del citado cubo, al menos a la frecuencia de rotación del citado rotor y en sincronismo con el acimut de rotación de la citada pala, de modo que estos medios de torsión dinámica puedan generar un paso cíclico incluso en ausencia de plato cíclico;

40 - su rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión aproximadamente alrededor de su envergadura, es suficientemente baja para permitir, a los citados medios de torsión dinámica, obtener, en el plano de la sección recta de la extremidad libre de la citada pala, un ángulo de torsión dinámica elástica ( $v$ ) de la cuerda de al menos  $14^\circ$  en picado o en encabritamiento, al tiempo que permanece suficientemente elevada para que la frecuencia propia de torsión de la pala, alrededor de su envergadura, sea igual a la frecuencia de rotación del citado rotor, de modo que permita una torsión dinámica de la pala por resonancia de torsión y por tanto minimizar la energía necesaria para la generación del paso cíclico;

45 - su factor de amortiguamiento, bajo fuerza centrífuga, es estrictamente positivo, a fin de evitar la divergencia de resonancia de los diferentes modos.

50 Se recuerda que el especialista en la materia conoce bien que para obtener un ángulo de torsión de amplitud dada de una pieza mecánica, éste dispone de un método que es ajustar la potencia de los actuadores de torsión y de un segundo método que es ajustar la rigidez de la citada pieza mecánica. La solución retenida en la invención es combinar estos dos métodos utilizando una pala menos rígida en torsión que en el estado de la técnica a fin de limitar el peso de los actuadores al tiempo que se disponga de una amplitud de torsión de al menos  $14^\circ$  en encabritamiento o en picado para realizar un paso cíclico. En el estado de la técnica se conocen diferentes medios de disminuir la rigidez de torsión de una pieza mecánica como una pala: es posible ranurar longitudinalmente la

envuelta de la pala (como en la solicitud de patente del mismo autor, publicada con el nº FR 2924681) o utilizar materiales estructurales, de relleno o de revestimiento, de menor rigidez en torsión.

5 Se recuerda igualmente que el especialista en la materia conoce, como cualquier mecánico, diferentes medios de obtener un factor de amortiguamiento de pala estrictamente positivo. Se conoce por ejemplo el método pasivo que consiste en añadir a la estructura de la pala un material de factor de amortiguamiento superior al 10%, como por ejemplo topes de caucho en el pie de la pala; o también el método activo de control activo de vibraciones.

10 Por otra parte, se precisa que los materiales y la estructura de la pala son elegidos para poder soportar torsiones de amplitud de al menos  $14^\circ$  en picado o en encabritamiento y repetidas a frecuencias que pueden ser hasta varias veces la frecuencia de rotación máxima del rotor (caso del mando multicíclico de la torsión para realizar control activo de las vibraciones) al tiempo que permanece en su ámbito de deformación elástica.

Así, gracias a la presente invención, se obtiene un rotor de ala rotatoria, especialmente de helicóptero, fácil de mandar en paso cíclico y con una baja energía, que permite la supresión del plato cíclico, al tiempo que se evita cualquier acoplamiento entre los modos de oscilación y de torsión.

15 Deberá observarse que la flexibilidad de la pala puede provenir de la correspondiente a la fijación, de la correspondiente a la parte aerodinámica, o bien de las dos. Por ejemplo, cuando, de modo conocido, cada una de las palas está constituida en su mayor parte por una parte aerodinámica (aquella cuya variación de paso es aerodinámicamente activa) unida al cubo del rotor por una parte de fijación más corta, la frecuencia propia de torsión de la pala (en su conjunto) puede ser obtenida por la combinación de los coeficientes de rigidez de la citada parte aerodinámica y de la citada parte de fijación. Tal combinación permite ventajosamente al actuador correspondiente  
20 disponer de un intervalo angular de torsión suficiente para ser utilizado en modo multicíclico.

Ventajosamente, de acuerdo con un segundo modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con el modo de realización precedente, caracterizada por que la citada parte de fijación presenta una rigidez aparente de torsión de 10 veces a 100 veces inferior a la de la parte aerodinámica.

25 Ventajosamente, de acuerdo con un tercer modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los dos modos de realización precedentes, caracterizada por que:

- su estructura es de un material compuesto;
- su revestimiento es unidireccional y la dirección de este revestimiento forma un ángulo sensiblemente igual a  $0^\circ$  con la envergadura de la citada pala, de modo que se obtenga una rigidez de torsión mínima de la pala alrededor de la envergadura.

30 Ventajosamente, de acuerdo con un cuarto modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los tres modos de realización precedentes, caracterizada por que la parte aerodinámica está provista de una ranura longitudinal en una de sus superficies de intradós o de extradós y comprende:

- un primer larguero que el forma borde de ataque y las partes de intradós y de extradós, contiguas a este último y del cual una cara transversal longitudinal forma el borde delantero de la citada ranura.;
- 35 • un segundo larguero que está separado del citado primer larguero por la citada ranura y del cual una cara transversal longitudinal forma el borde trasero de la citada ranura;
- una envuelta que forma el intradós y el extradós de la citada pala, ranurada longitudinalmente por la citada ranura y que envuelve a los citados primero y segundo largueros siendo solidaria de estos;
- un material de relleno de la citada envuelta;
- 40 • los medios de torsión dinámica comprenden un actuador de torsión dinámica apto para provocar un deslizamiento relativo, entre los bordes de la citada ranura; y
- la citada envuelta está realizada en un material compuesto de fibras-resina del cual al menos la mayor parte de las fibras están dispuestas de modo que forman un ángulo sensiblemente igual a  $0^\circ$  con la envergadura de la citada pala.

45 Ventajosamente, de acuerdo con un quinto modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con el modo de realización precedente, caracterizada por que a una y otra parte de la citada ranura, en la proximidad de ésta, la citada envuelta está solidarizada de modo rígido con los citados primero y segundo largueros y por que, fuera de la proximidad de la citada ranura, la citada envuelta está unida al resto de la citada pala por una unión de un material elástico de factor de amortiguamiento superior al 10%, apto para filtrar las vibraciones de la pala, como por ejemplo  
50 un elastómero, y repartido, de modo continuo o discontinuo, entre la citada envuelta y el citado resto de la pala.

Así, fuera de la proximidad de la ranura, se obtiene una unión (continua o discreta) de bajo módulo de elasticidad y de amortiguamiento adaptado, que permite:

- reducir de modo importante la rigidez en torsión al tiempo que se conservan las rigideces de oscilación y de resistencia,

5 - minimizar la frecuencia del primer modo propio de torsión de la pala relativamente próximo a la frecuencia de rotación, y

- obtener un amortiguamiento de este modo de torsión, tal que el eventual acoplamiento con los primeros modos de oscilación y de resistencia no sea un acoplamiento aeroelástico inestable.

10 Por otra parte, en la proximidad de la citada ranura, la unión rígida por ejemplo por pegado, asegura una buena transmisión del movimiento del actuador que permite una torsión fácil de la pala.

Ventajosamente, de acuerdo con un sexto modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con el cuarto o el quinto modo de realización precedente, caracterizada por que el citado material de relleno es una espuma de rígida a semirrígida.

15 Este material de relleno de rígido a semirrígido permite por otra parte aumentar el filtrado de las vibraciones (los citados modos de deformación) de la pala.

Ventajosamente, de acuerdo con un séptimo modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los cuarto al sexto modos de realización precedentes, caracterizada por que comprende una banda de un material elástico de factor de amortiguamiento superior al 10%, apto para filtrar la frecuencia propia de torsión de la pala, como por ejemplo un elastómero, rellenando la citada banda la ranura.

20 Ventajosamente, de acuerdo con un octavo modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los quinto al séptimo modos de realización precedentes, caracterizada por que el actuador de torsión dinámica está dispuesto en la extremidad libre de ésta, de manera que se facilite su instalación y su mantenimiento.

En cada pala, el actuador asociado puede ser eléctrico, mecánico o hidráulico. Sin embargo, preferentemente, es de tipo piezoeléctrico semejante al actuador descrito en el documento WO 2009/103865.

25 Cualquiera que sea su naturaleza, el actuador puede estar dispuesto a lo largo de la parte aerodinámica de la pala o en la parte de fijación de ésta.

Sin embargo, preferentemente, en cada pala, el actuador está dispuesto en la extremidad libre de ésta, de manera que se facilite su instalación y su mantenimiento.

30 Por otra parte, puede ser ventajoso que el perfil de cada pala esté adaptado (véase gobernado), especialmente en función de la incidencia y de la rigidez aparente de la pala.

35 Ventajosamente, de acuerdo con un noveno modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los primero al octavo modos de realización, caracterizada por que los medios de torsión dinámica están dimensionados para permitir obtener, a las frecuencias múltiples de la frecuencia de rotación del citado rotor y en sincronismo con el acimut de rotación de la citada pala, una amplitud del citado ángulo de torsión dinámica elástica al menos igual, en valor absoluto, a la amplitud máxima de los diferentes modos de deformación a estas mismas frecuencias múltiples de la frecuencia de rotación, de modo que se pueda realizar el control activo multicíclico de las vibraciones.

40 Ventajosamente, de acuerdo con un décimo modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con uno de los primero al noveno modos de realización, caracterizada por que su parte de fijación al cubo comprende medios de mando progresivo de su frecuencia propia, bajo fuerza centrífuga, de torsión alrededor de su envergadura aptos para someter, durante su rotación alrededor del citado cubo, la citada frecuencia propia de torsión sensiblemente a la frecuencia de rotación del rotor.

45 Ventajosamente, de acuerdo con un decimoprimer modo de realización, la invención es una pala de acuerdo con el décimo modo de realización, caracterizada por que los citados medios de mando progresivo de su frecuencia propia, ajustan la citada frecuencia propia ajustando la rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión aproximadamente alrededor de su envergadura, de su parte de fijación.

50 Ventajosamente, de acuerdo con un decimosegundo modo de realización, la invención es un rotor cuya ala rotatoria en rotación alrededor de su cubo a la frecuencia de rotación, comprendida entre una frecuencia de rotación inferior y una frecuencia de rotación superior, comprende al menos dos palas, de acuerdo con uno de los modos de realización precedentes, cuyos acimuts de rotación son conocidos, estando caracterizado el citado rotor por que éste comprende:

- medios de mando de los medios de torsión dinámica de cada una de las citadas palas, aptos, incluso en ausencia de plato cíclico, para mandar en tiempo real, es decir a una frecuencia al menos igual a la frecuencia de rotación, durante la rotación de las citadas palas y en sincronismo con su acimut de rotación, un paso cíclico para cada una de las citadas palas;
- 5   ▪ medios de mando progresivo de la frecuencia propia, bajo una fuerza centrífuga, de torsión de cada una de las citadas palas alrededor de su envergadura, aptos para someter, durante esta rotación, cada citada frecuencia propia de torsión sensiblemente a la frecuencia de rotación del rotor, de modo que se aproveche la resonancia de torsión alrededor de su envergadura a fin de minimizar la potencia necesaria para la generación de un paso cíclico por torsión dinámica.
- 10   Ventajosamente, de acuerdo con un decimotercero modo de realización, la invención es un rotor de acuerdo con el decimosegundo modo de realización precedente, caracterizada por que los citados medios de mando de los medios de torsión dinámica son igualmente aptos, en ausencia de plato cíclico, para mandar el paso colectivo de las citadas palas durante la rotación del citado rotor.
- 15   Ventajosamente, de acuerdo con un decimocuarto modo de realización, la invención es un rotor de acuerdo con uno de los decimosegundo al decimotercero modos de realización precedentes, caracterizada por que los citados medios de mando progresivo de la frecuencia propia de torsión son aptos para ajustar, en los dos sentidos, la frecuencia propia, bajo fuerza centrífuga, de torsión, alrededor de su envergadura, de cada una de las citadas palas, entre un valor mínimo correspondiente a la frecuencia de rotación inferior del rotor y un valor máximo correspondiente a la frecuencia de rotación superior del citado rotor, pudiendo ser los citados medios por ejemplo medios de rigidización
- 20   de la parte de fijación de cada citada pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 10 que permitan ajustar la rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión de cada citada pala alrededor de su envergadura, entre un valor mínimo correspondiente a la citada rigidez de cada citada pala no rigidizada por los citados medios, y un valor máximo correspondiente a la citada rigidez de la parte aerodinámica de cada citada pala.
- 25   Ventajosamente, de acuerdo con un decimoquinto modo de realización, la invención es un rotor de acuerdo con uno de los decimosegundo al decimocuarto modos de realización precedentes, caracterizado por que comprende medios de acción espontáneos aptos para imponer a cada una de las citadas palas, en caso de fallo de los citados medios de mando, que la citada frecuencia propia de torsión, bajo fuerza centrífuga, de cada citada pala sea igual a la frecuencia propia de torsión bajo fuerza centrífuga de su parte aerodinámica, de modo que se evite cualquier divergencia de resonancia de torsión de las citada palas.
- 30   Ventajosamente, de acuerdo con un decimosexto modo de realización, la invención es un procedimiento de torsión dinámica de al menos una pala de una ala rotatoria alrededor del cubo de un rotor de frecuencia de rotación comprendida entre una frecuencia de rotación inferior y una frecuencia de rotación superior, comprendiendo la citada pala, cuyo acimut de rotación es conocido, que tiene una envergadura, una parte de fijación al citado cubo y una parte aerodinámica, y teniendo diferentes modos de deformación, especialmente un modo de torsión alrededor de su
- 35   envergadura de frecuencia propia función de su rigidez de torsión alrededor de la citada envergadura, caracterizado por que comprende las funciones siguientes:
- mandar en tiempo real por medios de torsión dinámica, es decir a una frecuencia al menos igual a la frecuencia de rotación del citado rotor, durante la rotación de cada citada pala y en sincronismo con el acimut de rotación de cada citada pala, el ángulo de torsión dinámica elástica ( $v$ ) de la cuerda en el plano de la sección recta de la extremidad libre de cada dicha pala, de al menos  $14^\circ$  en picado o en encabritamiento, de modo que estos medios de torsión
- 40   dinámica puedan generar un paso cíclico incluso en ausencia de plato cíclico;
- mandar, con la ayuda de los medios, la frecuencia propia, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de la envergadura de cada citada pala, de modo que ésta sea sensiblemente igual a la frecuencia de rotación del citado rotor y que por consiguiente la citada torsión dinámica elástica se obtenga con un
- 45   mínimo de potencia por resonancia de torsión; y
- filtrar las frecuencias propias de los diferentes modos de deformación de cada citada pala, a fin de evitar su divergencia de resonancia.
- 50   Ventajosamente, de acuerdo con un decimoséptimo modo de realización, la invención es un procedimiento de acuerdo con el decimosexto modo de realización precedente, caracterizado por que el mando de los medios de torsión dinámica es multicíclico, es decir con una frecuencia múltiple de la frecuencia de rotación del citado rotor, de manera que se controlen activamente los diferentes modos de deformación de las citadas palas además de mandar su paso cíclico.
- 55   Ventajosamente, de acuerdo con un decimoctavo modo de realización, la invención es un procedimiento de acuerdo con uno de los decimosexto al decimoséptimo modos de realización precedentes, caracterizado por que el mando de los medios de torsión dinámica manda el paso colectivo de las citadas palas además de mandar su paso cíclico.

- 5 Ventajosamente, de acuerdo con un decimonoveno modo de realización, la invención es un procedimiento de acuerdo con uno de los decimosexto al decimoctavo modos de realización precedentes, caracterizado por que el mando de la frecuencia propia, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de su envergadura, de cada citada pala, se obtiene por el mando progresivo de la rigidez aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de su envergadura, de la parte de fijación de cada citada pala, pudiendo ser rigidizada la citada parte de fijación, más flexible que la parte aerodinámica correspondiente, hasta un valor máximo igual a la rigidez aparente de torsión, alrededor de su envergadura, de la citada parte aerodinámica.
- 10 Ventajosamente, de acuerdo con un vigésimo modo de realización, la invención es un procedimiento de acuerdo con uno de los decimosexto al decimonoveno modos de realización precedentes, caracterizado por que comprende una función que, en caso de fallo de los citados medios de mando, impone que la frecuencia propia bajo fuerza centrífuga de torsión de cada citada pala alrededor de su envergadura, sea igual a la frecuencia propia bajo fuerza centrífuga de torsión de su parte aerodinámica alrededor de envergadura, de modo que se evite cualquier divergencia de resonancia de torsión de las citadas palas.
- 15 Las figuras de los dibujos anejos harán comprender bien cómo puede ser realizada la invención. En estas figuras, referencias idénticas, designan elementos similares.
- La figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de un rotor de ala rotatoria de helicóptero.
- La figura 2 es una vista en perspectiva, desde el lado del intradós, de una pala de rotor de ala rotatoria de helicóptero de acuerdo con la presente invención.
- La figura 3 es un corte transversal esquemático de la pala de la figura 2, según la línea III-III de esta última figura.
- 20 La figura 4 es una vista en perspectiva agrandada en despiece ordenado de la extremidad de la pala de la figura 2, vista desde el lado del extradós.
- La figura 5 ilustra en perspectiva esquemática la torsión de la pala de la figura 2 generada por el actuador del final de la pala visible en la figura 4.
- 25 La figura 6 ilustra esquemáticamente medios de mando aptos para ajustar progresivamente la frecuencia propia de torsión de cada pala del rotor de acuerdo con la presente invención.
- Las figuras 7A y 7B ilustran, en cortes esquemáticos, el funcionamiento de los medios de mando de la figura 6, estando estos respectivamente en una posición correspondiente al bloqueo en frecuencia propia de torsión máxima (véase la figura 7A) y al desbloqueo con frecuencia propia de torsión mínima (véase la figura 7B).
- 30 El rotor RO de ala rotatoria para helicóptero, representado esquemáticamente en la figura 1, comprende un cubo M arrastrado en rotación alrededor de su eje Z-Z por una caja de transmisión principal (no representada) y palas P unidas transversalmente al citado cubo M por dispositivos de fijación L. Así, las palas P pueden girar alrededor del eje Z-Z a la frecuencia de rotación  $\Omega$  del citado cubo M.
- Como muestra la figura 2, una pala P de acuerdo con la presente invención comprende una parte aerodinámica A y una parte de fijación B, más corta que la citada parte A.
- 35 La parte de fijación B, por ejemplo de sección cruciforme, coopera con el dispositivo de fijación L para fijar la pala P al cubo M.
- La parte aerodinámica A comprende un extradós 2 y un intradós 3 que forman, en la parte delantera, un borde de ataque 4, y en la parte trasera, un borde de fuga 5.
- 40 En la proximidad del borde de ataque 4 (véase igualmente la figura 3), el intradós 3 está cortado por una ranura longitudinal 6 que divide longitudinalmente la citada parte aerodinámica A (según la envergadura E) en una parte longitudinal delantera A1 que comprende el citado borde de ataque 4 y en una parte longitudinal trasera A2 que comprende el citado borde de fuga 5. Por el contrario, las citadas partes longitudinales delantera A1 y trasera A2 son solidarias una de la otra por el extradós 2 que es continuo.
- En el ejemplo de realización representado en la figura 3, la citada parte aerodinámica A comprende:
- 45 - un larguero de borde de ataque 7, que forma el citado borde de ataque 4 y las partes del extradós 2 y el intradós 3 contiguas a este último; este larguero 7 puede ser realizado en un material compuesto de fibras-resina (por ejemplo vidrio-epoxy o carbono-epoxy) y eventualmente incorporar una masa de balasto 8, alargada según el citado borde de ataque 4;
- 50 - un larguero de intradós 9, separado del citado larguero de borde de ataque 7 por la citada ranura longitudinal de intradós 6, estando formado el borde delantero 6A de ésta por una cara transversal longitudinal del larguero de borde de ataque 7 mientras que el borde trasero 6R de la citada ranura longitudinal 6 está formado por una cara

transversal longitudinal del citado larguero de intradós 9; éste puede ser realizado igualmente en un material compuesto de fibras-resina;

- un larguero de arista 10 que forma el borde de fuga 5, y por ejemplo realizado de material compuesto de fibras-resina;

5 - una envuelta 11 que forma el extradós 2 y el intradós 3 (interrumpido por la ranura 6) y que envuelve a los largueros 7, 9 y 10 siendo solidaria de estos;

- un material de relleno 12, por ejemplo de una espuma rígida de bajo módulo de elasticidad (por ejemplo de poliuretano), que rellena la citada envuelta 11 entre los citados largueros 7, 9 y 10; y

10 - una banda 13 de un material elastómero de bajo módulo de elasticidad, que obtura la ranura 6 y que es solidaria (preferentemente por pegado) de los bordes 6A y 6R de esta última.

15 La envuelta 11 está realizada en un material de fibras-resina (por ejemplo fibras de carbono) y estas fibras f1 están dispuestas de modo longitudinal con respecto a la citada parte aerodinámica de la pala, es decir según la citada envergadura E. Eventualmente, la citada envuelta puede comprender fibras f2 ortogonales a la citada envergadura, pero no comprende ninguna fibra inclinada en esta última (véase el arranque esquemático de la envuelta 11 representado en la figura 5).

20 Además, en una zona 14 próxima a la ranura 6 y que se extiende a una y otra parte de ésta, la envuelta 11 está solidarizada de modo rígido, por ejemplo por pegado, al citado larguero del borde de ataque 7 y al citado larguero del intradós 9. Por el contrario, fuera de la zona 14, la envuelta 11 está unida a los largueros 7, 9, 10 y al material de relleno 12 por una capa de unión de un material amortiguador de bajo módulo de elasticidad. Tal capa de unión (no representada por razones de claridad de dibujo) puede ser continua o discontinua y estar constituida por un material elastómero.

25 Se comprenderá fácilmente que se obtiene así una parte aerodinámica A poco rígida a la torsión alrededor de la envergadura E, no obstante con una solidarización rígida, localizada alrededor de la ranura 6, entre el larguero de borde de ataque 7 el larguero de intradós 9, por una parte, y la envuelta 11, por otra. Eligiendo una parte de fijación B todavía menos rígida a la torsión alrededor de la envergadura que la citada parte aerodinámica A, (por ejemplo de 10 veces a 100 veces inferior), la pala P es apta para experimentar una torsión que produzca en el extremo de la pala, es decir en la cara 15 de la extremidad libre 16 de ésta, un ángulo de torsión dinámica elástica  $\nu$  de al menos 14°.

30 Por otra parte, a la extremidad libre 16 de la pala P, está añadido un actuador 17 en prolongación con la parte aerodinámica A (véase la figura 4). El actuador 17 es piezoeléctrico y similar al descrito en el documento EP- 1 788 646, al cual se remite aquí expresamente. Cuando el actuador piezoeléctrico 17 está fijado al extremo de la parte aerodinámica A, éste se encuentra al menos en parte en el plano de la cuerda PC de ésta. Una caperuza desmontable 18 encierra y protege el actuador piezoeléctrico 17 formando la extremidad libre 16 y la cara terminal 15 de la pala P.

35 El actuador piezoeléctrico 17 actúa a cizalladura y comprende dos superficies 19 y 20, aptas para deslizarse una con respecto a la otra cuando el citado actuador es alimentado eléctricamente. Por intermedio de una pieza de empalme 21, la superficie 19 queda solidarizada al larguero del borde de ataque 7, mientras que la superficie 20 queda solidarizada al larguero del intradós 9.

40 Así, como ilustra la figura 5, cuando el citado actuador 17 es activado, éste genera un deslizamiento  $d$  entre las citadas superficies 19 y 20, estando este deslizamiento dirigido según la envergadura E y siendo transmitido a los largueros 7 y 9 que se desplazan uno con respecto al otro. Resulta así por tanto un desplazamiento relativo entre la parte delantera A1 y la parte trasera A2 (esquemático por las flechas 22 y 23 en la figura 5) y un alabeo de la envuelta 11 que se traduce en una deformación en torsión de la pala P alrededor de un eje de torsión T-T dispuesto en el plano de la cuerda PC y dirigido según la envergadura E. Naturalmente, la banda 13 experimenta igualmente una deformación por cizalladura (véase la figura 5).

45 En la figura 6, se ha representado esquemáticamente un ejemplo de realización de un dispositivo de fijación L para una pala P, a fin de que ésta pueda girar alrededor del eje Z-Z del rotor RO. En este ejemplo de realización, el dispositivo de fijación L comprende:

- un cubo de pala 24 hecho solidario del cubo M del rotor RO por cualquier medio conocido, no representado;

50 - una brida (o porción de brida) 25 solidaria en rotación, por un lado, del citado cubo de pala 24 y, por otro, de la extremidad interna 26 de la parte de fijación B de la pala P;

- un manguito (o porción de manguito) rígido 27 que rodea con una holgura importante, a la citada parte de fijación B, comprendiendo el citado manguito 27, por un lado, una brida (o porción de brida) 28 dispuesta enfrente de la

brida 25 y, por otro, siendo solidaria, por medios de fijación 29, de la parte de pala 30 que hace la transición entre la parte aerodinámica A y la parte de fijación B; y

- al menos un dispositivo 31 apto para hacer variar progresivamente la presión entre las bridas 25 y 28.

5 Como muestran las figuras 7A y 7B, las periferias 25A y 28A de las bridas 25 y 28, aptas para experimentar una ligera deformación elástica, están dispuestas en el interior de un estribo móvil 32 del dispositivo 31 y en contacto una con la otra por intermedio de bloques elásticos 33, interpuestos entre ellas.

Las periferias 25A y 28A son sometidas, por un lado, a la acción de un muelle 34 y, por otro, a la acción de una leva gobernable 35, apoyándose el citado muelle 34 y la citada leva 35 sobre el estribo móvil 32 para ejercer acciones antagonistas sobre las citadas periferias 25A y 28A.

10 La leva 35 está montada rotatoria alrededor de un eje 36 montado en el estribo 31 y puede girar alrededor del citado eje bajo el mando de un actuador representado por flechas F.

Un muelle de sollicitación 37 es apto para llevar la leva 35 a la posición de la figura 7A en caso de fallo del actuador de leva F.

15 En la situación representada en la figura 7A, la leva 35 presiona las periferias 25A y 28A comprimiendo el muelle 34, de modo que la presión entre las bridas 25 y 28 es importante. En este caso, el manguito 27 se hace solidario del cubo de pala 24 y el actuador en torsión 17 no puede ejercer ninguna acción sobre la parte de fijación de pala B, pudiendo solo la parte aerodinámica A ser torsionada. Resulta así muy evidente que la frecuencia propia de torsión de la pala P es entonces máxima e idéntica a la de la citada parte aerodinámica A.

20 Por el contrario, en la situación representada en la figura 7B, el muelle 34 está distendido y apoya las periferias 25A y 28A contra la leva 35, de modo que la presión entre las bridas 25 y 28 es pequeña, si no nula. El manguito 27 es por tanto desolidarizado del cubo de pala 24 y el actuador en torsión 17 puede ejercer su acción sobre la totalidad de las partes A y B de la pala. La frecuencia propia de torsión de la pala P es entonces mínima.

25 Naturalmente, por mando en rotación de la leva 35 alrededor de su eje 36 entre las posiciones ilustradas por las figuras 7A y 7B, se puede hacer variar progresivamente, en los dos sentidos, la frecuencia propia de torsión de la pala P entre esta valor mínimo correspondiente a la frecuencia propia de torsión de la pala completa que comprende sus partes A y B y el valor máximo correspondiente a la frecuencia propia de torsión de la sola parte aerodinámica A.

30 Por otra parte, se observará que en caso de fallo del actuador F o del actuador 17, por ejemplo por defecto de alimentación eléctrica, o todavía en caso de aparición de divergencia en la torsión de la pala, el muelle de sollicitación 37 lleva automáticamente a la situación de la figura 7A, correspondiente a la frecuencia propia de torsión máxima.



**REIVINDICACIONES**

1. Pala (P) de un ala rotatoria alrededor del cubo (M) de un rotor (RO) de frecuencia de rotación ( $\Omega$ ), comprendiendo la citada pala (P), cuyo acimut de rotación es conocido, de envergadura (E), una parte (B) de fijación al citado cubo (M) y una parte aerodinámica (A), y teniendo diferentes modos de deformación especialmente un modo de torsión alrededor de su envergadura (E) de frecuencia propia función de su rigidez de torsión alrededor de la citada envergadura (E), comprendiendo la citada pala
- 5
- medios de torsión dinámica (17), aproximadamente
- alrededor de su envergadura (E), que pueden ser accionados en tiempo real, es decir durante su rotación alrededor del citado cubo, al menos a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor y en sincronismo con el acimut de rotación de la citada pala, de modo que estos medios de torsión dinámica (17) pueden generar un paso cíclico incluso en ausencia de plato cíclico;
- 10
- caracterizada por que
- su rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión aproximadamente alrededor de su envergadura (E), es suficientemente baja para permitir, a los citados medios de torsión dinámica (17), obtener, en el plano de la sección recta de la extremidad libre de la citada pala, un ángulo de torsión dinámica elástica ( $v$ ) de la cuerda de al menos  $14^\circ$  en picado o en encabritamiento, al tiempo que permanece suficientemente elevada para que la frecuencia propia de torsión de la pala alrededor de su envergadura sea igual a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor, de modo que permita una torsión dinámica de la pala por resonancia de torsión y por tanto minimizar la energía necesaria para la generación del paso cíclico;
- 15
- su factor de amortiguamiento, bajo fuerza centrífuga, es estrictamente positivo, a fin de evitar la divergencia de resonancia de los diferentes modos.
- 20
2. Pala de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que la citada parte de fijación (B) presenta una rigidez aparente de torsión de 10 veces a 100 veces inferior a la de la parte aerodinámica (A).
3. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizada por que:
- 25
- su estructura es de material compuesto;
  - su revestimiento es unidireccional y la dirección de este revestimiento forma un ángulo sensiblemente igual a  $0^\circ$  con la envergadura de la citada pala, de modo que se obtenga una rigidez de torsión mínima de la pala alrededor de su envergadura.
- 30
4. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada por que la parte aerodinámica (A) está provista de una ranura longitudinal (6) en uno de sus intradós (3) o extradós (2) y comprende:
- un primer larguero (7) que forma el borde de ataque (4) y las partes de intradós y de extradós contiguas a este último y del cual una cara transversal longitudinal forma el borde delantero (6A) de la citada ranura (6);
  - un segundo larguero (9) que está separado del citado primer larguero (7) por la citada ranura (6) y del cual una cara transversal longitudinal forma el borde trasero (6R) de la citada ranura (6);
- 35
- una envuelta (11) que forma el intradós (3) y el extradós (2) de la citada pala, ranurada longitudinalmente por la citada ranura (6) y que envuelve a los citados primero y segundo largueros (7, 9) siendo solidaria de estos;
  - un material (12) de relleno de la citada envuelta (11);
  - los medios de torsión dinámica (17) comprenden un actuador de torsión dinámica apto para provocar un deslizamiento relativo, entre los bordes (6A, 6R) de la citada ranura; y
- 40
- la citada envuelta (11) está realizada en un material compuesto de fibras-resina del cual al menos la mayor parte de las fibras están dispuestas de modo que forman un ángulo sensiblemente igual a  $0^\circ$  con la envergadura de la citada pala.
- 45
5. Pala de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizada por que, a una y otra parte de la citada ranura (6), en la proximidad (14) de ésta, la citada envuelta (11) está solidarizada de modo rígido con los citados primero y segundo largueros (7, 9) y por que, fuera de la proximidad (14) de la citada ranura (6), la citada envuelta está unida al resto de la citada pala por una unión de un material elástico de factor de amortiguamiento superior al 10%, apto para filtrar las vibraciones de la pala, como por ejemplo un elastómero, y repartido, de modo continuo o discontinuo, entre la citada envuelta y el citado resto de la pala.

6. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 o 5, caracterizada por que el citado material de relleno (12) es una espuma de rígida a semirrígida.
7. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizada por que comprende una banda (13) de un material elástico de factor de amortiguamiento superior al 10%, apto para filtrar la frecuencia propia de torsión de la pala, como por ejemplo un elastómero, rellenando la citada banda la ranura (6).
8. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, caracterizada por que el actuador de torsión dinámica (17) está dispuesto en la extremidad libre de ésta, de manera que facilita su instalación y su mantenimiento.
9. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada por que los medios de torsión dinámica (17) están dimensionados para permitir obtener, a las frecuencias múltiples de la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor y en sincronismo con el acimut de rotación de la citada pala, una amplitud del citado ángulo de torsión dinámica elástica ( $v$ ) al menos igual, en valor absoluto, a la amplitud máxima de los diferentes modos de deformación a estas mismas frecuencias múltiples de la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ), de modo que se pueda realizar el control activo multicíclico de las vibraciones.
10. Pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada por que su parte de fijación (B) al cubo (M) comprende medios (25 a 31) de mando progresivo de su frecuencia propia, bajo fuerza centrífuga, de torsión alrededor de su envergadura (E), aptos para someter, durante su rotación alrededor del citado cubo, la citada frecuencia propia de torsión sensiblemente a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del rotor.
11. Pala de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizada por que los citados medios (25 a 31) de mando progresivo de su frecuencia propia, ajustan la citada frecuencia propia ajustando la rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión aproximadamente alrededor de su envergadura (E), de su parte de fijación (B).
12. Rotor (RO) cuya ala rotatoria en rotación alrededor de su cubo (M) a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ), comprendida entre una frecuencia de rotación inferior y una frecuencia de rotación superior, comprende al menos dos palas (P) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, cuyos acimuts de rotación son conocidos, el citado rotor está caracterizado por que éste comprende:
- medios de mando de los medios de torsión dinámica (17) de cada una de las citadas palas, aptos, incluso en ausencia de plato cíclico, para mandar en tiempo real, es decir a una frecuencia al menos igual a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ), durante la rotación de las citadas palas y en sincronismo con su acimut de rotación, un paso cíclico para cada una de las citadas palas;
  - medios (25 a 31) de mando progresivo de la frecuencia propia, bajo la fuerza centrífuga, de torsión de cada una de las citadas palas (P) alrededor de su envergadura (E), aptos para someter, durante esta rotación, cada citada frecuencia propia de torsión sensiblemente a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del rotor, de modo que se aproveche la resonancia de torsión alrededor de su envergadura a fin de minimizar la potencia necesaria para la generación de un paso cíclico por torsión dinámica.
13. Rotor de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que los citados medios de mando de los medios de torsión dinámica (17) son igualmente aptos, en ausencia de plato cíclico, para mandar el paso colectivo de las citadas palas durante la rotación del citado rotor.
14. Rotor de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 o 13, caracterizado por que los citados medios (25 a 31) de mando progresivo de la frecuencia propia de torsión son aptos para ajustar, en los dos sentidos, la frecuencia propia, bajo fuerza centrífuga, de torsión, alrededor de su envergadura, de cada una de las citadas palas (P), entre un valor mínimo correspondiente a la frecuencia de rotación inferior del rotor y un valor máximo correspondiente a la frecuencia de rotación superior del citado rotor, pudiendo ser los citados medios (25 a 31) por ejemplo medios de rigidización de la parte de fijación (B) de cada citada pala de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 10 que permiten ajustar la rigidez, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión de cada citada pala alrededor de su envergadura, entre un valor mínimo correspondiente a la citada rigidez de cada citada pala no rigidizada por los citados medios (25 a 31), y un valor máximo correspondiente a la citada rigidez de la parte aerodinámica (A) de cada citada pala.
15. Rotor de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado por que comprende medios de acción espontáneos (37) aptos para imponer a cada una de las citadas palas, en caso de fallo de los citados medios de mando (25 a 31), que la citada frecuencia propia bajo fuerza centrífuga de torsión de cada citada pala sea igual a la frecuencia propia de torsión bajo fuerza centrífuga de su parte aerodinámica (A), de modo que se evite cualquier divergencia de resonancia de torsión de las citadas palas.
16. Procedimiento de torsión dinámica de al menos una pala (P) de un ala rotatoria alrededor del cubo (M) de un rotor (RO) de frecuencia de rotación ( $\Omega$ ), comprendida entre una frecuencia de rotación inferior y una frecuencia de rotación superior, comprendiendo la citada pala (P), cuyo acimut de rotación es conocido, que tiene una envergadura (E), una parte (B) de fijación al citado cubo (M) y una parte aerodinámica (A) y teniendo diferentes modos de

deformación especialmente un modo de torsión alrededor de su envergadura (E) de frecuencia propia función de su rigidez de torsión alrededor de la citada envergadura (E), caracterizado por que comprende las funciones siguientes:

- 5 - mandar en tiempo real por medios de torsión dinámica (17), es decir a una frecuencia al menos igual a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor, durante la rotación de cada citada pala (P) y en sincronismo con el acimut de rotación de cada citada pala, el ángulo de torsión dinámica elástica ( $v$ ) de la cuerda en el plano de sección recta de la extremidad libre de cada citada pala, de al menos  $14^\circ$  en picado o en encabritamiento, de modo que estos medios de torsión dinámica (17) puedan generar un paso cíclico incluso en ausencia de plato cíclico;
- 10 - mandar, con la ayuda de los medios (25 a 31), la frecuencia propia, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de la envergadura (E) de cada citada pala (P), de modo que ésta sea sensiblemente igual a la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor (RO) y que por consiguiente la citada torsión dinámica elástica ( $v$ ) se obtenga con un mínimo de potencia por resonancia de torsión; y
- filtrar las frecuencias propias de los diferentes modos de deformación de cada citada pala (P), a fin de evitar su divergencia de resonancia.
- 15 17. Procedimiento de torsión de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por que el mando de los medios de torsión dinámica (17) es multicíclico, es decir a una frecuencia múltiple de la frecuencia de rotación ( $\Omega$ ) del citado rotor (RO), de manera que se controlen activamente los diferentes modos de deformación de las citadas palas además de mandar su paso cíclico.
- 20 18. Procedimiento de torsión de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 o 17, caracterizado por que el mando de los medios de torsión dinámica (17) manda el paso colectivo de las citadas palas (P) además de mandar su paso cíclico.
- 25 19. Procedimiento de torsión de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 18, caracterizado por que el mando de la frecuencia propia, aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de su envergadura (E), de cada citada pala (P), se obtiene por el mando progresivo de la rigidez aparente bajo fuerza centrífuga, de torsión, aproximadamente alrededor de su envergadura (E), de la parte de fijación (B) de cada citada pala (P), pudiendo ser rigidizada la citada parte de fijación (B), más flexible que la parte aerodinámica (A) correspondiente, hasta un valor máximo igual a la rigidez aparente de torsión, alrededor de su envergadura (E), de la citada parte aerodinámica.
- 30 20. Procedimiento de torsión de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 19, caracterizado por que comprende una función que, en caso de fallo de los citados medios de mando (25 a 31), impone que la frecuencia propia bajo fuerza centrífuga de torsión de cada citada pala alrededor de su envergadura, sea igual a la frecuencia propia bajo fuerza centrífuga de torsión de su parte aerodinámica (A) alrededor de su envergadura, de modo que se evite cualquier divergencia de resonancia de torsión de las citadas palas.

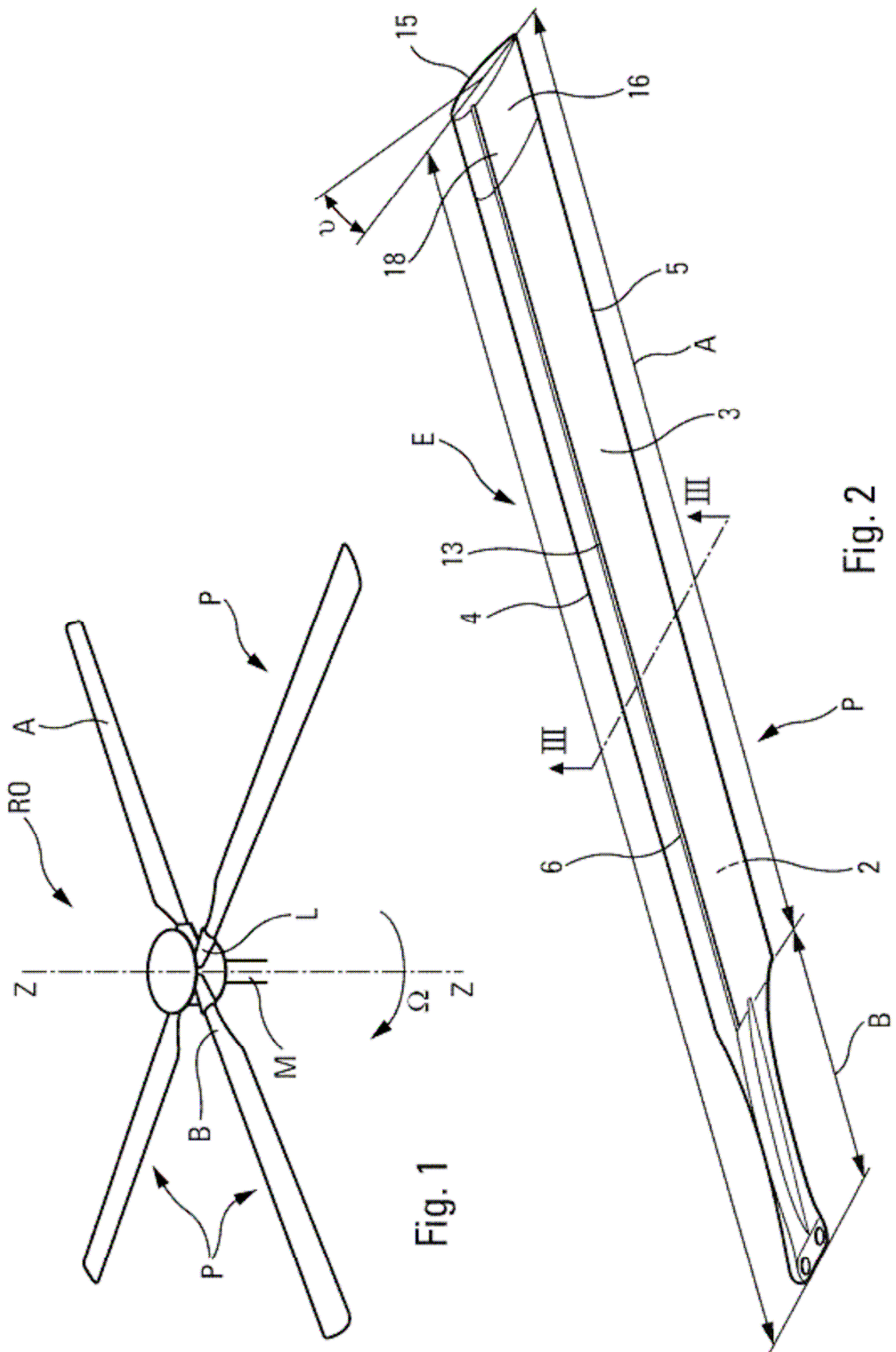


Fig. 1

Fig. 2

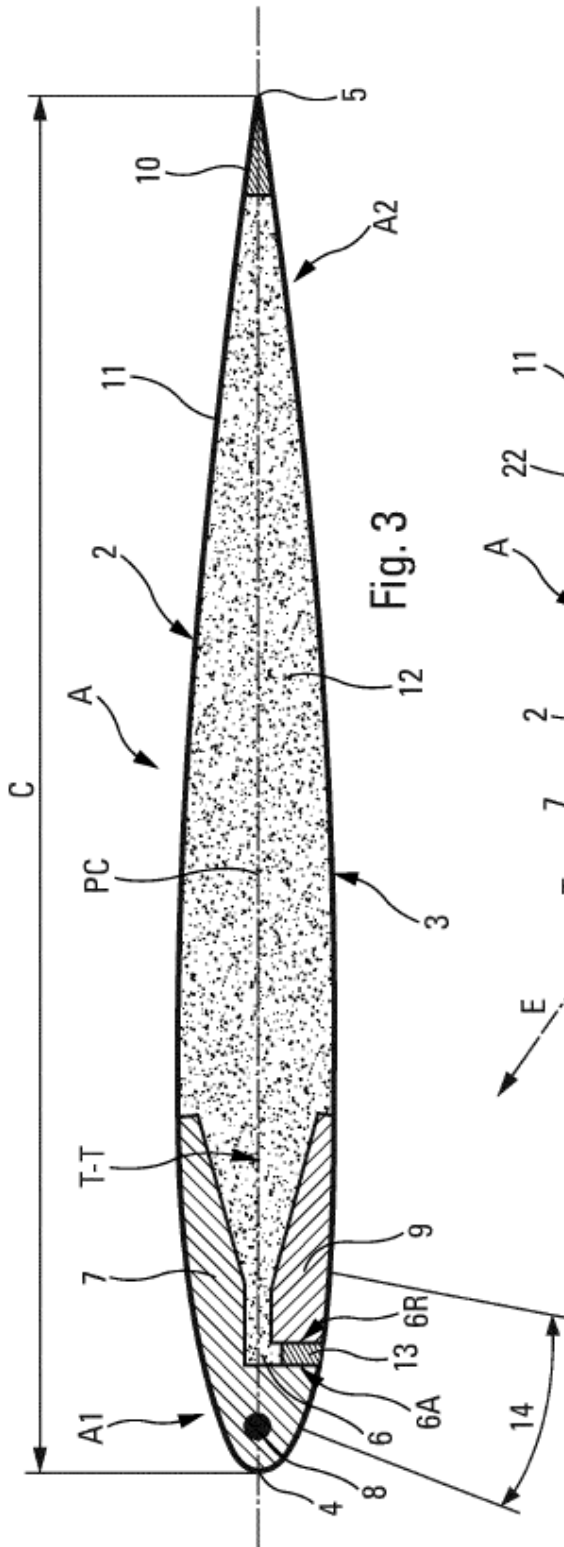


Fig. 3

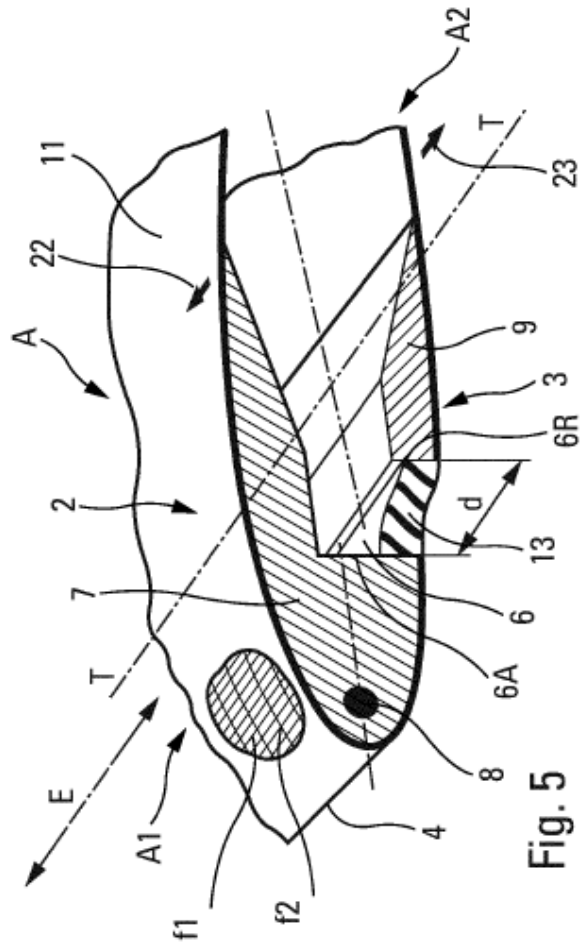


Fig. 5

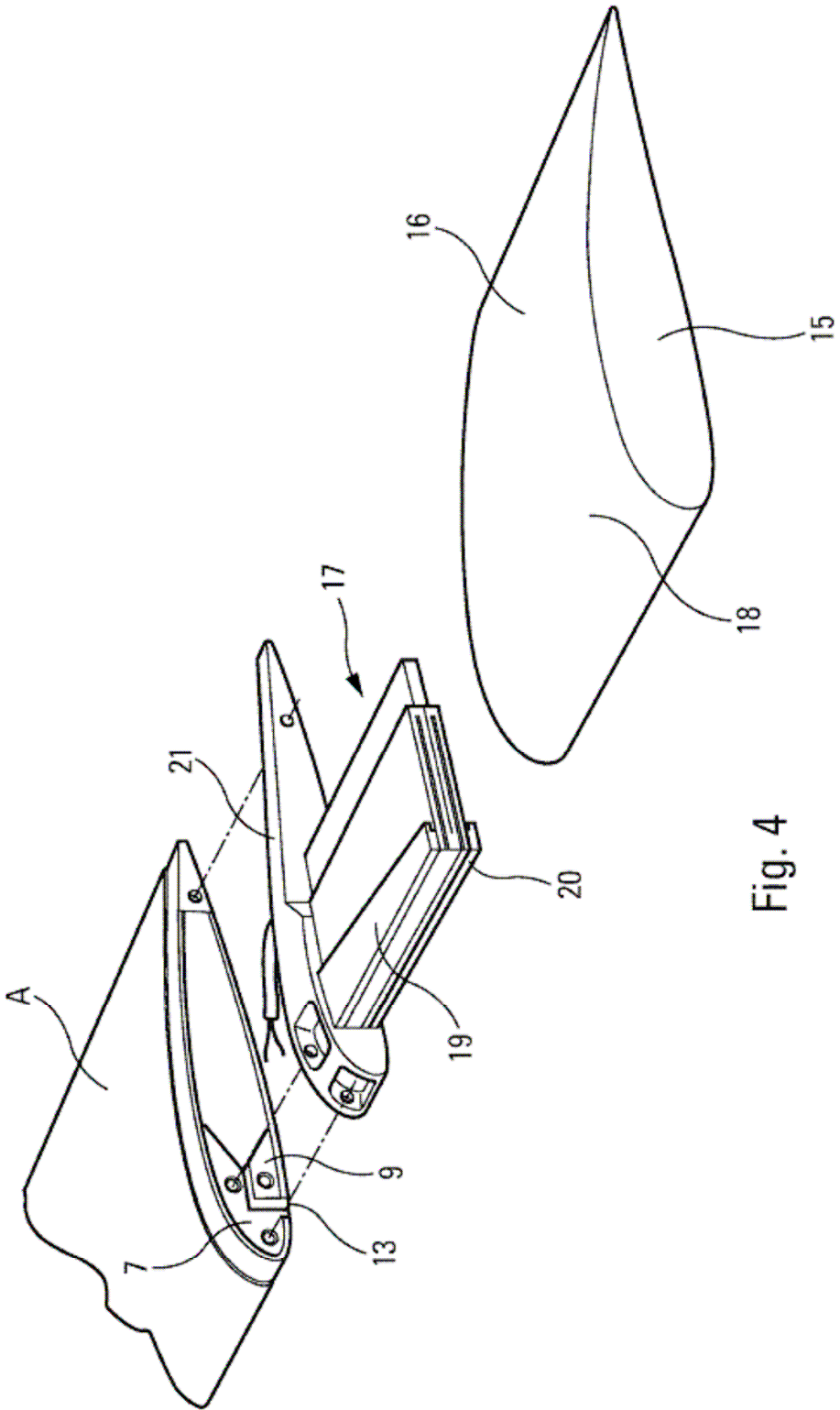


Fig. 4

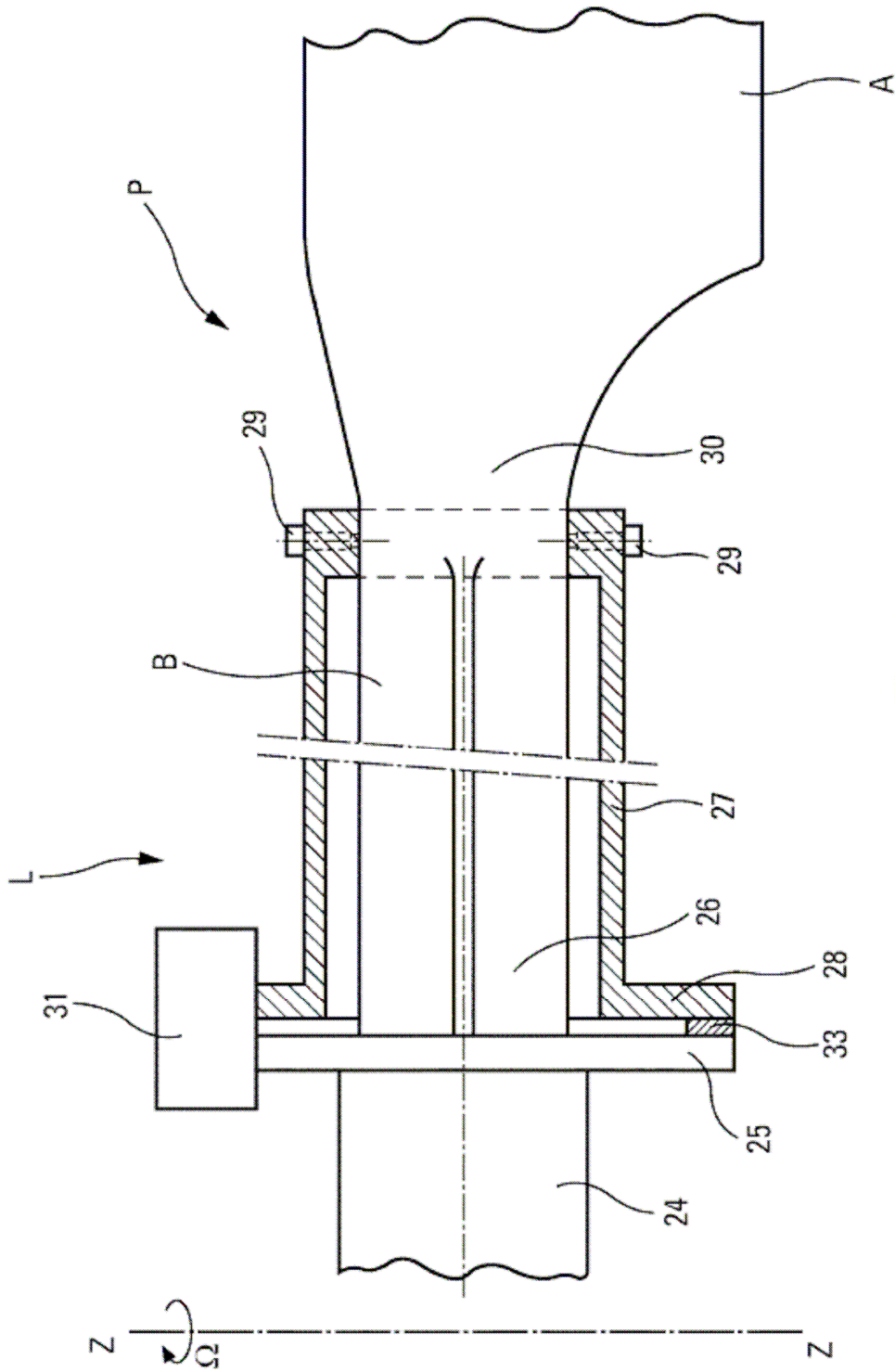


Fig. 6

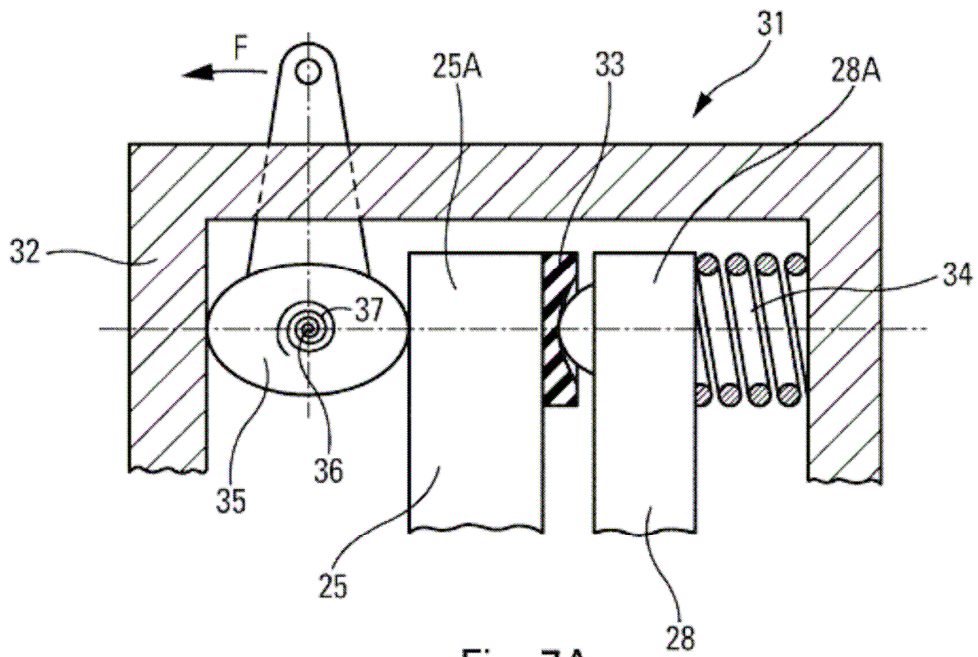


Fig. 7A

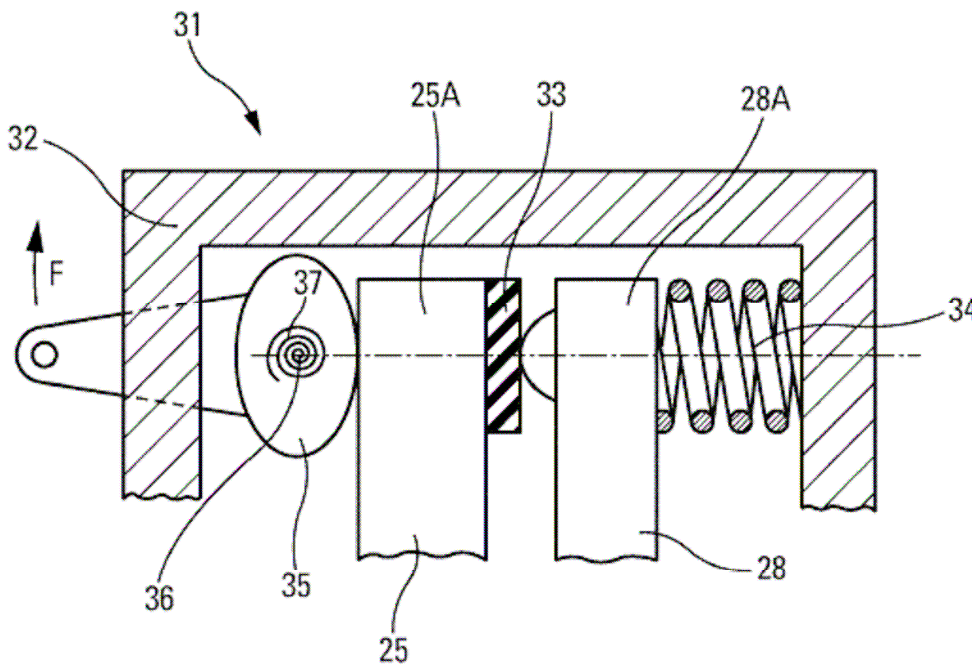


Fig. 7B