



(11) **EP 1 749 969 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
10.09.2008 Bulletin 2008/37

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) **G05B 19/401** (2006.01)
G01B 21/20 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06015205.5**

(22) Date de dépôt: **21.07.2006**

(54) **Contrôle des aubes de turbomachine**

Kontrolle der Schaufelblätter einer Turbine

Inspection of the blades of a turbine

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **28.07.2005 FR 0508046**

(43) Date de publication de la demande:
07.02.2007 Bulletin 2007/06

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Bouron, Alain Henri Daniel**
77000 Melun (FR)
• **Escuret, Jean Francois**
91190 Gif Sur Yvette (FR)
• **Merville, Didier**
91650 Breuillet (FR)

• **Villaines, Laurent Christophe Francis**
77000 Vaux Le Penil (FR)

(74) Mandataire: **Nguyen, Dominique**
Snecma
Département Propriété Intellectuelle - WRS/DJIB
77550 Moissy Cramayel (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 1 498 577 **EP-A2- 0 937 862**
US-A- 4 795 312 **US-A- 5 047 966**
US-A- 5 277 549 **US-A- 6 041 132**

• **WILLI BOHL: "Strömungsmaschinen 2 (3.**
Auflage)" 1988, VOGEL, WÜRZBURG,
XP009064990 * page 89 - page 111 *

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 749 969 B1

Description

[0001] La présente invention concerne le contrôle des aubes de turbomachine.

[0002] Après sa fabrication et avant son montage sur un disque rotor ou un carter, une aube de turbomachine est contrôlée, c'est-à-dire inspectée pour déterminer si cette aube fabriquée industriellement correspond à une aube de référence, c'est-à-dire à l'aube théoriquement souhaitée. Ce contrôle essentiel permet de vérifier les principaux écarts par rapport à la définition et de sanctionner les éventuelles dispersions de performances.

[0003] Ce contrôle se révèle encore plus déterminant pour les moteurs en développement, notamment les démonstrateurs ou les prototypes dans leur mise au point. En effet, la connaissance géométrique des pièces utilisées permet de s'affranchir des éventuels écarts préjudiciables dans la compréhension du fonctionnement de la turbomachine.

[0004] Différentes techniques de contrôle des aubes sont connues de l'art antérieur. Une étape essentielle commune à différentes techniques de contrôle, selon l'art antérieur, consiste à effectuer un relevé tridimensionnel en coordonnées cartésiennes d'une pluralité de points d'une aube inspectée. La mesure s'effectue de manière automatique au moyen d'un dispositif, connu de l'homme du métier, comportant un support sur lequel une aube à mesurer est immobilisée et au moins un palpeur pour la mesure des coordonnées géométriques en différents points de l'aube. Selon une première variante, le support est immobile et le palpeur est mobile mécaniquement. Selon une seconde variante, à l'inverse, le support est mobile mécaniquement et le palpeur est immobile. Selon une troisième variante, le support et le palpeur sont tous deux mécaniquement mobiles.

[0005] Le document US5047966 décrit différentes techniques courantes de mesure géométrique tridimensionnelle d'une aube. Le document US4653011 est une technique avec contact dans laquelle l'extrémité d'un palpeur vient en contact avec l'objet à mesurer. D'autres techniques, sans contact, font appel à des sources de type rayon X (US6041132) ou laser (US4724525).

[0006] Une technique courante de mesure géométrique de points successifs est également décrit dans US5047966 : les coordonnées cartésiennes de points sont relevées selon des sections parallèles de l'aube. Dans l'exemple cité, 840 points discrets sont relevés selon 28 coupes parallèles. Selon la précision souhaitée, le nombre de points peut varier. De nos jours, 300 points peuvent être requis pour une seule coupe. Ces points de l'aube mesurée sont ensuite mémorisés sur un support d'enregistrement informatique.

[0007] Pour déterminer la conformité de l'aube produite industriellement avec l'aube théorique souhaitée, on dispose, d'une part, d'un modèle d'une aube de référence et, d'autre part, des tolérances acceptables.

[0008] Ce modèle de référence définit une aube idéale par différents points géométriques mémorisés sur un

support d'enregistrement informatique. Un tel modèle est illustré dans le document EP 1498577 décrivant une table comportant les coordonnées cartésiennes d'une aube de référence. Dans cet exemple, une tolérance de plus ou moins 0,150 inch selon une direction normale à la surface d'un point quelconque de l'aube contrôlée est fixée. Une aube contrôlée s'écartant de l'aube de référence peut ainsi être écartée.

[0009] Les tolérances peuvent également tenir compte de décalages en translation ou en orientation angulaire, comme décrit dans le document US6748112, sans distinction de points plus pertinents par rapport à d'autres. L'art antérieur fait donc appel à des critères exclusivement géométriques pour valider ou écarter une aube contrôlée.

[0010] Les exigences en terme de précision recherchée aujourd'hui sont telles que la masse d'information, constituée essentiellement par les coordonnées cartésiennes de tous les points mesurés en une pluralité de sections d'aube, devient conséquente et qu'il est difficile de la synthétiser. Par ailleurs, les décalages géométriques ne sont pas directement interprétables d'un point de vue aérodynamique.

[0011] La présente invention a pour but de résoudre les problèmes précités. Contrairement aux procédés de contrôle d'aubes de turbomachine de l'art antérieur, qui contrôlaient la conformité des aubes selon des critères géométriques pour l'ensemble de l'aube, le procédé de contrôle d'aubes selon l'invention propose de contrôler les aubes selon des paramètres aérodynamiques pertinents en des points essentiels pour les qualités aérodynamiques de l'aube.

[0012] Un autre objet de l'invention est de synthétiser la masse d'information, constituée essentiellement par les coordonnées cartésiennes de tous les points mesurés, afin que celle-ci soit traitée plus facilement et plus rapidement.

[0013] Selon l'invention, le procédé de contrôle des aubes de turbomachine, ayant un profil comportant un squelette, un extradados, un intrados, un bord d'attaque et un bord de fuite, consiste à :

- mesurer des coordonnées géométriques d'une pluralité de points situés sur le profil d'au moins une section d'aube;
- calculer au moins un paramètre aérodynamique de la section d'aube en fonction des coordonnées mesurées;
- vérifier si la valeur du paramètre aérodynamique calculé s'écarte d'une plage de validité définie par une valeur du paramètre aérodynamique nominal d'une aube de référence et une tolérance associée; et
- valider l'aube si la valeur du paramètre aérodynamique appartient à la plage de validité ou écarter l'aube si la valeur du paramètre aérodynamique n'appartient pas à la plage de validité,

le paramètre aérodynamique étant choisi parmi les pa-

ramètres aérodynamiques suivants :

- un angle formé par :

■ une tangente au point situé le long du squelette de l'extrados ou de l'intrados, à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale du squelette, de l'extrados ou de l'intrados, en partant du bord d'attaque ou du bord de fuite en abscisse curviligne et
■ l'axe moteur;

- une valeur représentant l'écart maximal entre :

■ la valeur de l'angle, à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale du squelette, de l'extrados ou de l'intrados, en partant du bord d'attaque ou du bord de fuite en abscisse curviligne et

■ l'ensemble des valeurs de l'angle, sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette de l'extrados ou de l'intrados en partant du bord d'attaque ou du bord de fuite en abscisse curviligne, la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2 ; et

- une valeur représentant la valeur moyenne de l'angle sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette de l'extrados ou de l'intrados en partant du bord d'attaque ou du bord de fuite en abscisse curviligne ;

le pourcentage P étant compris entre 1 et 20% de la longueur totale du squelette de l'extrados ou de l'intrados en abscisse curviligne et les valeurs P1 et P2 appartenant à un intervalle [1% ;20%].

[0014] On entend par paramètre nominal, au sens de la présente invention, le paramètre tel que visé.

[0015] Les paramètres aérodynamiques peuvent notamment être l'angle de calage de l'aube, l'angle à l'entrée ou à la sortie de l'aubage sur le squelette, l'extrados ou l'intrados, l'entrée et la sortie de l'aube correspondant à des zones situées respectivement à proximité du bord d'attaque BA et le bord de fuite BF.

[0016] De tels paramètres sont plus facilement interprétables aérodynamiquement et la décision de valider ou écarter une aube contrôlée peut être prise très rapidement.

[0017] Selon l'invention, le contrôle est, de préférence, effectué sur un nombre limité de sections transversales par rapport à l'axe dit radial, ces sections étant situées à proximité de la base, au milieu et à proximité du sommet de l'aube.

[0018] Pour la mise en oeuvre de la plupart des étapes du procédé de contrôle, un programme d'ordinateur, autrement dit une séquence d'instructions et de données

enregistrées sur un support et susceptible d'être traitée par un ordinateur, est, de préférence, utilisé. La présente invention se rapporte donc également à un programme d'ordinateur, chargeable directement dans la mémoire d'un ordinateur, destiné à mettre en oeuvre le procédé selon l'invention.

[0019] Par ailleurs, l'invention se rapporte également à un ensemble de moyens adaptés à mettre en oeuvre le procédé de contrôle, plus exactement à un système de contrôle des aubes de turbomachine, comprenant :

- des moyens de mesure des coordonnées géométriques d'une pluralité de points d'une aube contrôlée,
- un moyen de calcul des paramètres aérodynamiques de l'aube mesurée ;
- un moyen de vérification de la validité des paramètres mesurés avec les paramètres nominaux et leurs tolérances associées d'une aube de référence ; et
- un moyen de validation ou d'écartement de l'aube contrôlée.

[0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la suite de la description en référence aux dessins annexés qui représentent respectivement :

- Figure 1, une vue d'une section d'une aube contrôlée selon une technique de l'art antérieur dans un plan normal à l'axe radial ;
- Figure 2, une première vue d'une section d'une aube contrôlée selon l'invention dans un plan normal à l'axe radial ;
- Figure 3, une deuxième vue d'une section d'une aube contrôlée selon l'invention dans un plan normal à l'axe radial ;
- Figure 4, une troisième vue d'une section d'une aube contrôlée selon l'invention dans un plan normal à l'axe radial ;
- Figure 5, une quatrième vue d'une section d'une aube contrôlée selon l'invention dans un plan normal à l'axe radial ;
- Figure 6, une cinquième vue d'une aube contrôlée selon l'invention dans un plan normal à l'axe tangentiel ; et
- Figure 7, un système de contrôle des aubes de turbomachine.

[0021] La figure 1 représente schématiquement une section d'aube 10. Selon l'art antérieur, une tolérance 4 déterminée en fonction de l'écart géométrique entre l'aube de référence et l'aube mesurée permet de définir les écarts extrêmes 2 et 3 que peut prendre cette aube contrôlée. Ces écarts 2 et 3 délimitent un espace dans lequel l'aube 1 contrôlée doit se situer pour ne pas être écartée.

[0022] Pour la mesure, l'aube est, de préférence, immobilisée sur un support. La figure 2 représente une section d'aube 10 contrôlée selon l'invention, reconstituée

à partir de ses coordonnées cartésiennes mesurées pour une hauteur donnée de l'aube. Compte tenu de de l'aube sur le support, il est possible de définir des axes de références sur cette aube. L'axe moteur m représente l'axe de rotation du moteur si l'aube était installée sur le disque rotor. L'axe r représente un axe radial par rapport l'axe de rotation du moteur. L'axe t représente l'axe tangentiel, normal aux deux autres axes m et r .

[0023] Les différents points d'une section de l'aube 10 permettent par calcul de déterminer la corde 14 et le squelette 11 de l'aube. Sur une pièce aérodynamique, telle qu'une aube ou une aile, la corde 14 est le segment qui a pour extrémité le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF, le bord d'attaque BA étant le point le plus en amont sur le profil d'aube par rapport à un écoulement d'air sur ce profil et le bord de fuite BF étant le point le plus en aval sur le profil d'aube par rapport à un écoulement d'air sur ce profil. Le squelette 11 de l'aube, également appelé ossature ou ligne moyenne, est l'ensemble des points équidistants de l'extrados 12 et de l'intrados 13. Tous les paramètres sont calculés pour une section d'aube 10 donnée.

[0024] Un premier paramètre contrôlé, selon le procédé de l'invention, peut être l'angle de calage γ , c'est-à-dire l'angle défini par la corde 14 de l'aube et l'axe moteur m , comme illustré sur la figure 2.

[0025] La plupart des distances entrant en jeu dans les paramètres sont calculées en abscisse curviligne réduite sur une courbe pouvant être dans la présente invention, le squelette 11, l'extrados 12 ou l'intrados 13 d'une section d'aube 10. L'abscisse curviligne est réduite, ce qui signifie que la longueur de la courbe délimitée par ses deux extrémités n'a pas de dimension et qu'une distance, calculée sur cette courbe en partant d'une de ses extrémités, varie selon une échelle de 0 à 1. Pour des raisons de simplicité, les distances sont exprimées en pourcentage de la longueur totale de la courbe en partant de l'une de ses extrémités.

[0026] Un deuxième paramètre contrôlé peut être un angle β_{as} formé par :

- une tangente au point AS situé le long du squelette 11 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 3.

[0027] Ce pourcentage P doit être compris entre 1% et 20%, le pourcentage P optimal étant de 7,2%, comme dans l'exemple de la figure 2. Il n'est pas nécessaire de contrôler les paramètres sur toute la longueur. En effet, il a été constaté qu'un paramètre correct pour ce pourcentage P implique souvent que ce paramètre est correct sur une grande partie de la longueur. Un gain de temps supplémentaire est donc obtenu en choisissant judicieusement la valeur de ce pourcentage P.

[0028] Un troisième paramètre contrôlé peut être un

angle β_{ae} formé par :

- une tangente au point AE situé le long de l'extrados 12 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 3.

[0029] Un quatrième paramètre contrôlé peut être un angle β_{ai} formé par :

- une tangente au point AI situé le long de l'intrados 13 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 3.

[0030] Un cinquième paramètre contrôlé peut être un angle β_{fs} formé par :

- une tangente au point FS situé le long du squelette 11 à une distance correspondant à un pourcentage de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 4.

[0031] Un sixième paramètre contrôlé peut être un angle β_{fe} formé par :

- une tangente au point FE situé le long de l'extrados 12 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 4.

[0032] Un septième paramètre contrôlé peut être un angle β_{fi} formé par :

- une tangente au point FI situé le long de l'intrados 13 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'axe moteur m ,

comme illustré sur la figure 4.

[0033] Les angles β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} et β_{fi} , encore appelés angles à l'entrée ou à la sortie de l'aubage sur le squelette 11, l'extrados 12 ou l'intrados 13, permettent de rendre compte de la manière dont l'air s'écoule en entrée et en sortie d'aube.

[0034] Un huitième paramètre contrôlé peut être une épaisseur E_a de la section d'aube 10 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale du

squelette 11 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne, comme illustré sur la figure 2. L'épaisseur E_a est calculée selon un segment perpendiculaire au squelette 11 dans le plan de la section d'aube 10.

[0035] Un neuvième paramètre contrôlé peut être une épaisseur E_f de la section d'aube 10 à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne, comme illustré sur la figure 2. L'épaisseur E_f est calculée selon un segment perpendiculaire au squelette 11 dans le plan de la section d'aube 10.

[0036] Un dixième paramètre contrôlé peut être une épaisseur maximale E_{max} de la section d'aube 10, comme illustré sur la figure 2. L'épaisseur E_{max} est calculée selon un segment perpendiculaire au squelette 11 dans le plan de la section d'aube 10, au point du squelette présentant l'épaisseur la plus importante de la section d'aube 10.

[0037] Un onzième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{as}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{as} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{as} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0038] La figure 5 illustre les intervalles définis par les valeurs P1 et P2 ainsi que les points P3. Le mode de calcul des angles impliqués est identique au mode de calcul des angles β_{as} , β_{ai} , β_{ae} , β_{fs} , β_{fe} et β_{fi} .

[0039] Un douzième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{ae}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{ae} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{ae} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0040] Un treizième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{ai}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{ai} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{ai} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'intrados 13 en partant

du bord d'attaque BA en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0041] Un quatorzième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{fs}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{fs} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{fs} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0042] Un quinzième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{fe}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{fe} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{fe} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0043] Un seizième paramètre contrôlé peut être une valeur $VAR\beta_{fi}$ représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle β_{fi} , à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne et
- l'ensemble des valeurs de l'angle β_{fi} , sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2.

[0044] Un dix-septième paramètre contrôlé peut être une valeur $MOY\beta_{as}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{as} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne.

[0045] Un dix-huitième paramètre contrôlé peut être une valeur $MOY\beta_{ae}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{ae} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne.

[0046] Un dix-neuvième paramètre contrôlé peut être une valeur $MOY\beta_{ai}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{ai} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'intra-

dos 13 en partant du bord d'attaque BA en abscisse curviligne.

[0047] Un vingtième paramètre contrôlé peut être la valeur $MOY\beta_{fs}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{fs} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette 11 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne.

[0048] Un vingt-et-unième paramètre contrôlé peut être une valeur $MOY\beta_{fe}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{fe} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'extrados 12 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne.

[0049] Un vingt-deuxième paramètre contrôlé peut être une valeur $MOY\beta_{fi}$ représentant la valeur moyenne de l'angle β_{fi} sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale de l'intrados 13 en partant du bord de fuite BF en abscisse curviligne.

[0050] Les valeurs P1 et P2 appartiennent à un intervalle [1% ; 20%]. Il est préférable que cet intervalle se rapporte une portion représentative du squelette, de l'extrados ou de l'intrados essentiellement en amont du point AS, AE ou AI par rapport au sens d'écoulement de l'air. De même, il est également préférable que cet intervalle se rapporte à une portion représentative du squelette, de l'extrados ou de l'intrados essentiellement en aval du point FS, FE ou FI par rapport au sens d'écoulement de l'air.

[0051] Un intervalle [7% ; 13%] permet d'obtenir des résultats significatifs permettant une précision plus importante du paramètre contrôlé.

[0052] Pour le contrôle des aubes de turbomachine, il est possible de combiner un contrôle tenant compte des paramètres aérodynamiques définis plus haut et un contrôle classique de l'art antérieur.

[0053] Selon un mode de réalisation préférentiel de l'invention, plusieurs paramètres aérodynamiques sont choisis simultanément pour le contrôle de l'aube, ces paramètres étant: l'angle de calage γ , l'angle β_{as} , l'angle β_{ae} , l'angle β_{fs} , l'angle β_{fe} , l'épaisseur E_a , l'épaisseur E_f , l'épaisseur E_{max} , $VAR\beta_{as}$, $VAR\beta_{ae}$ et $VAR\beta_{fe}$ de la section d'aube 10. Cette sélection de paramètres les plus pertinents permet de limiter de nombre de paramètres afin de les rendre plus facilement exploitables. Par ailleurs, il a été constaté que la validité de ces paramètres implique assez systématiquement la validité de l'ensemble de la section d'aube 10.

[0054] Le tableau suivant illustre des exemples de paramètres pour une section d'aube donnée ainsi que la tolérance associée à chaque paramètre :

PARAMETRE	TOLERANCE
γ (degré)	± 0.5
β_{as} (degré)	± 2
β_{ae} (degré)	± 2

(suite)

PARAMETRE	TOLERANCE
β_{fs} (degré)	± 1.5
β_{fe} (degré)	± 1.5
E_a (mm)	± 0.15
E_f (mm)	± 0.15
E_{max} (mm)	± 0.15

[0055] Chaque paramètre aérodynamique nominal définit avec sa tolérance associée une plage de validité dans laquelle le paramètre aérodynamique mesuré doit se situer pour valider l'aube. Lorsque le paramètre aérodynamique mesuré n'appartient pas à cette plage de validité, l'aube mesurée est écartée.

[0056] Dans le cas où une pluralité de paramètres aérodynamiques est prise en considération dans le procédé, un paramètre aérodynamique qui n'appartiendrait pas à sa plage de validité correspondante entraînerait l'écartement de l'aube. L'ensemble des paramètres choisis doit être valide pour que l'aube contrôlée soit validée.

[0057] Ces paramètres peuvent être calculés pour une pluralité de sections d'une aube contrôlée, chacune des sections présentant des paramètres nominaux distincts. Néanmoins, il peut être judicieux de prendre en compte un nombre limité de sections. En effet, il a été constaté que le fait de sélectionner et contrôler trois sections situées respectivement à proximité de la base, au milieu et à proximité du sommet d'une aube suffisait pour avoir une idée de la validité globale de l'aube.

[0058] Une section située à proximité de la base peut être une section comprise entre 0% et 30% de la hauteur d'une aube. Une section située à proximité du milieu peut être une section comprise entre 30% et 70% de la hauteur d'une aube. Une section située à proximité du sommet peut être une section comprise entre 70% et 100% de la hauteur d'une aube. De préférence, les trois sections sont respectivement situées à 10%, 50% et 90% de la hauteur de l'aube, comme illustrées sur la figure 6.

[0059] Une aube, dont les sections 10 à 10%, 50% et 90% de sa hauteur répondent aux critères selon l'invention, présente assez systématiquement des sections valides sur l'ensemble de sa hauteur. A l'inverse, une aube, dont une des trois sections 10 ne répond pas aux critères décrits plus-haut, présente assez systématiquement une pluralité de sections incorrectes sur l'ensemble de sa hauteur. Un gain de temps supplémentaire est donc obtenu en choisissant judicieusement des sections significatives.

[0060] Le procédé selon l'invention permet un gain de temps considérable dans le contrôle des aubes, notamment après leur fabrication.

[0061] Le traitement correspondant à chaque étape du procédé, notamment les calculs des différents paramètres, peut avantageusement être mis en oeuvre par un

programme d'ordinateur organisé en modules 24, 25, 26 et 27, chaque module effectuant une étape du procédé de contrôle.

[0062] L'invention concerne également un système de contrôle des aubes de turbomachine, comprenant des moyens de mesure 21 des coordonnées géométriques d'une pluralité de points d'une aube à contrôler 20, et un moyen de traitement 23 d'un programme d'ordinateur destiné à mettre en oeuvre le procédé de contrôle des aubes de turbomachine.

[0063] Un tel système est illustré par la figure 7 dans laquelle le moyen de mesure 21 peut être un des moyens de mesure connus de l'art antérieur. Le moyen de traitement 23 d'un programme d'ordinateur peut être un ordinateur comportant une mémoire dans laquelle est chargé le programme d'ordinateur destiné à mettre en oeuvre le procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'invention.

[0064] Le système de contrôle des aubes de turbomachine adapté à mettre en oeuvre le procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'invention comprend essentiellement les moyens suivants :

- des moyens de mesure 21 et 24 des coordonnées géométriques d'une pluralité de points d'une aube contrôlée 20,
- un moyen de calcul 25 des paramètres aérodynamiques de l'aube mesurée 20 ;
- un moyen de vérification 26 de la validité des paramètres mesurés avec les paramètres nominaux et leurs tolérances associées d'une aube de référence 22 ; et
- un moyen de validation ou d'écartement 27 de l'aube contrôlée 20.

Revendications

1. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine ayant un profil comportant un squelette (11), un extradados (12), un intrados (13), un bord d'attaque (BA) et un bord de fuite (BF) **caractérisé en ce qu'il** consiste à :

- mesurer des coordonnées géométriques d'une pluralité de points situés sur le profil d'au moins une section d'aube (10);
- calculer au moins un paramètre aérodynamique de la section d'aube (10) en fonction des coordonnées mesurées;
- vérifier si la valeur du paramètre aérodynamique calculé s'écarte d'une plage de validité définie par une valeur du paramètre aérodynamique nominal d'une aube de référence et une tolérance associée; et
- valider l'aube si la valeur du paramètre aérodynamique appartient à la plage de validité ou écarter l'aube si la valeur du paramètre aérodynamique

namique n'appartient pas à la plage de validité,

le paramètre aérodynamique étant choisi parmi les paramètres aérodynamiques suivants :

- un angle (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}) formé par :

- une tangente au point (AS, AE, AI, FS, FE, FI) situé le long du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13), à une distance correspondant à un pourcentage P de la longueur totale du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13), en partant du bord d'attaque (BA) ou du bord de fuite (BF) en abscisse curviligne et

- l'axe moteur (m) ;

- une valeur ($VAR\beta_{as}$, $VAR\beta_{ae}$, $VAR\beta_{ai}$, $VAR\beta_{fs}$, $VAR\beta_{fe}$, $VAR\beta_{fi}$) représentant l'écart maximal entre :

- la valeur de l'angle (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}), à une distance correspondant à un pourcentage P3 de la longueur totale du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13), en partant du bord d'attaque (BA) ou du bord de fuite (BF) en abscisse curviligne et

- l'ensemble des valeurs de l'angle, (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}) sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13) en partant du bord d'attaque (BA) ou du bord de fuite (BF) en abscisse curviligne,

la valeur de P3 étant la moyenne des valeurs de P1 et P2 ; et

- une valeur ($MOY\beta_{as}$, $MOY\beta_{ae}$, $MOY\beta_{ai}$, $MOY\beta_{fs}$, $MOY\beta_{fe}$, $MOY\beta_{fi}$) représentant la valeur moyenne de l'angle (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}) sur une portion comprise entre un pourcentage P1 et un pourcentage P2 de la longueur totale du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13) en partant du bord d'attaque (BA) ou du bord de fuite (BF) en abscisse curviligne ;

le pourcentage P étant compris entre 1 et 20% de la longueur totale du squelette (11), de l'extrados (12) ou de l'intrados (13) en abscisse curviligne et les valeurs P1 et P2 appartenant à un intervalle [1% ; 20%].

2. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon la revendication 1 **caractérisé en ce que**, pour une section d'aube (10), le paramètre aérodynamique est en outre choisi parmi les paramètres aérodynamiques suivants :

- une épaisseur (E_a , E_f) d'une section d'aube (10) à une distance correspondant au pourcentage P de la longueur totale du squelette (11) en partant du bord d'attaque (BA) ou du bord de fuite (BF) en abscisse curviligne ;
- une épaisseur maximale (E_{max}) de la section d'aube (10) ; et
- un angle de calage (γ).

5

3. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon la revendication 2 **caractérisé en ce que** plusieurs paramètres aérodynamiques sont choisis simultanément, ces paramètres étant l'angle de calage (γ), l'angle β_{as} , l'angle β_{ae} , l'angle β_{fs} , l'angle β_{fe} , l'épaisseur E_a , l'épaisseur E_f , l'épaisseur E_{max} , la valeur $VAR\beta_{as}$, la valeur $VAR\beta_{ae}$ et la valeur $VAR\beta_{fe}$, comme définis dans la description.

10

4. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'une des revendications précédentes **caractérisé en ce que** le pourcentage P est de 7,2%.

15

20

5. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine l'une des revendications précédentes **caractérisé en ce que** les valeurs P1 et P2 appartiennent à un intervalle [7% ; 13%].

25

6. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé en ce que** les paramètres sont contrôlés pour trois sections d'aubes 10 situées respectivement à proximité de la base, au milieu et à proximité du sommet d'une aube.

30

7. Procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon la revendication 6 **caractérisé en ce que** les trois sections d'aube (10) situées à proximité de la base, au milieu et à proximité du sommet d'une aube sont respectivement situées à 10%, 50% et 90% de la hauteur de l'aube.

35

40

8. Programme d'ordinateur, chargeable directement dans la mémoire d'un ordinateur, destiné à mettre en oeuvre le procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'une quelconque des revendications précédentes.

45

9. Système de contrôle des aubes de turbomachine adapté à mettre en oeuvre le procédé de contrôle des aubes de turbomachine selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant :

50

- des moyens de mesure (21, 24) des coordonnées géométriques d'une pluralité de points d'une aube contrôlée (20),
- un moyen de calcul (25) des paramètres aérodynamiques de l'aube mesurée (20) ;
- un moyen de vérification (26) de la validité des

55

paramètres mesurés avec les paramètres nominaux et leurs tolérances associées d'une aube de référence (22) ; et

- un moyen de validation ou d'écartement (27) de l'aube contrôlée (20).

Claims

1. Method of checking turbomachine blades having a profile comprising a centerline (11), a suction face (12), a pressure face (13), a leading edge (LE) and a trailing edge (TE), **characterized in that** it consists in:

- measuring geometrical coordinates of a plurality of points located on the profile of at least one blade section (10);
- calculating at least one aerodynamic parameter of the blade section (10) as a function of the measured coordinates;
- verifying whether the value of the calculated aerodynamic parameter departs from a validity range defined by a value of the nominal aerodynamic parameter of a reference blade and an associated tolerance; and
- validating the blade if the value of the aerodynamic parameter falls within the validity range or rejecting the blade if the value of the aerodynamic parameter lies outside the validity range, the aerodynamic parameter being chosen from the following aerodynamic parameters:
- an angle (β_{lc} , β_{ls} , β_{lp} , β_{tc} , β_{ts} , β_{tp}) made by:

■ a tangent to the point (LC, LS, TP, TC, TS, TP) located along the centerline (11), the suction face (12) or the pressure face (13), at a distance corresponding to a percentage P of the total length of the centerline (11), of the suction face (12) or of the pressure face (13), starting from the leading edge (LE) or from the trailing edge (TE) as curvilinear abscissa and

■ the motor axis (m);

- a value ($VAR\beta_{lc}$, $VAR\beta_{ls}$, $VAR\beta_{lp}$, $VAR\beta_{tc}$, $VAR\beta_{ts}$, $VAR\beta_{tp}$) representing the maximum difference between:

■ the value of the angle (β_{lc} , β_{ls} , β_{lp} , β_{tc} , β_{ts} , β_{tp}), at a distance corresponding to a percentage P3 of the total length of the centerline (11), of the suction face (12) or of the pressure face (13), starting from the leading edge (LE) or the trailing edge (TE) as curvilinear abscissa and

■ the set of values of the angle (β_{lc} , β_{ls} , β_{lp} , β_{tc} , β_{ts} , β_{tp}), over a portion lying between a

percentage P1 and a percentage P2 of the total length of the centerline (11), of the suction face (12) or of the pressure face (13) starting from the leading edge (LE) or the trailing edge (TE) as curvilinear abscissa,

the value of P3 being the average of the values of P1 and P2; and

- a value ($AV\beta_{lc}$, $AV\beta_{ls}$, $AV\beta_{lp}$, $AV\beta_{tc}$, $AV\beta_{ts}$, $AV\beta_{tp}$) representing the average value of the angle (β_{lc} , β_{ls} , β_{lp} , β_{tc} , β_{ts} , β_{tp}) over a portion lying between a percentage P1 and a percentage P2 of the total length of the centerline (11), of the suction face (12) or of the pressure face (13) starting from the leading edge (LE) or the trailing edge (TE) as curvilinear abscissa, the percentage P being between 1 and 20% of the total length of the centerline (11), of the suction face (12) or of the pressure face (13) as curvilinear abscissa and the values P1 and P2 lying within the [1%-20%] interval.

2. Method of checking turbomachine blades according to Claim 1, **characterized in that**, for one blade section (10), the aerodynamic parameter is furthermore chosen from the following aerodynamic parameters:

- a thickness (d_l , d_t) of a blade section (10) at a distance corresponding to the percentage P of the total length of the centerline (11) starting from the leading edge (LE) or the trailing edge (TE) as curvilinear abscissa;
- a maximum thickness (d_{max}) of the blade section (10); and
- an angle of attack (γ).

3. Method of checking turbomachine blades according to Claim 2, **characterized in that** several aerodynamic parameters are chosen simultaneously, these parameters being the angle of attack (γ), the angle β_{lc} , the angle β_{ls} , the angle β_{tc} , the angle β_{ts} , the thickness d_l , the thickness d_t , the thickness d_{max} , the value $VAR\beta_{lc}$, the value $VAR\beta_{ls}$ and, as defined in the description $VAR\beta_{ts}$.

4. Method of checking turbomachine blades according to one of the preceding claims, **characterized in that** the percentage P is 7.2%.

5. Method of checking turbomachine blades according to one of the preceding claims, **characterized in that** the values P1 and P2 fall within the [7%-13%] interval.

6. Method of checking turbomachine blades according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the parameters are checked for three blade sections (10) located near the base, in the middle

and near the tip of a blade, respectively.

7. Method of checking turbomachine blades according to Claim 6, **characterized in that** the three blade sections (10) located near the base, the middle and near the tip of a blade are located at 10%, 50% and 90% of the height of the blade, respectively.

8. Computer program, which can be loaded directly into the memory of a computer, intended to implement the method of checking turbomachine blades according to any one of the preceding claims.

9. System for checking turbomachine blades, designed to implement the method of checking turbomachine blades according to one of Claims 1 to 7, which comprises:

- means (21, 24) for measuring the geometrical coordinates of a plurality of points on a checked blade (20);
- a means (25) for calculating the aerodynamic parameters of the measured blade (20);
- a means (26) for verifying the validity of the measured parameters with the nominal parameters and their associated tolerances of a reference blade (22); and
- a means (27) for validating or rejecting the checked blade (20).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine mit einem Profil, das eine Skelettlinie (11), eine Saugseite (12), eine Druckseite (13), eine Vorderkante (BA) und eine Hinterkante (BF) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, daß** es darin besteht:

- geometrische Koordinaten einer Vielzahl von Punkten zu messen, die auf dem Profil wenigstens eines Abschnitts einer Schaufel (10) liegen;
- wenigstens einen aerodynamischen Parameter des Abschnitts einer Schaufel (10) in Abhängigkeit von den gemessenen Koordinaten zu berechnen;
- zu verifizieren, ob der Wert des berechneten aerodynamischen Parameters von einem Gültigkeitsbereich abweicht, der durch einen aerodynamischen Nennwert einer Referenzschaufel und einer zugehörigen Toleranz definiert ist; und
- die Schaufel zu validieren, wenn der Wert des aerodynamischen Parameters zu dem Gültigkeitsbereich gehört, oder die Schaufel zu entfernen, wenn der Wert des aerodynamischen Parameters nicht zu dem Gültigkeitsbereich ge-

hört,

wobei der aerodynamische Parameter aus den folgenden aerodynamischen Parametern gewählt ist:

- einem Winkel (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}), der gebildet ist durch:

- einer Tangente mit dem Punkt (AS, AE, AI, FS, FE, FI), der entlang der Skelettlinie (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) in einem Abstand liegt, der einem Prozentsatz P der Gesamtlänge der Skelettlinie (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) entspricht, ausgehend von der Vorderkante (BA) oder der Hinterkante (BF) in Bogenlänge, und
- der Motorachse (m);
- einem Wert ($VAR\beta_{as}$, $VAR\beta_{ae}$, $VAR\beta_{ai}$, $VAR\beta_{fs}$, $VAR\beta_{fe}$, $VAR\beta_{fi}$), der die maximale Abweichung darstellt zwischen:

- dem Wert des Winkels (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}), in einem Abstand, der einem Prozentsatz P3 der Gesamtlänge der Skelettlinie (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) entspricht, ausgehend von der Vorderkante (BA) oder der Hinterkante (BF) in Bogenlänge, und
- der Gesamtheit der Werte des Winkels (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}), über einen Abschnitt, der zwischen einem Prozentsatz P 1 und einem Prozentsatz P3 der Gesamtlänge der Skelettlinie (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) entspricht, ausgehend von der Vorderkante (BA) oder der Hinterkante (BF) in Bogenlänge,

wobei der Wert von P3 das Mittel der Werte von P1 und P2 ist; und

- einem Wert ($MOY\beta_{as}$, $MOY\beta_{ae}$, $MOY\beta_{ai}$, $MOY\beta_{fs}$, $MOY\beta_{fe}$, $MOY\beta_{fi}$), der den Mittelwert des Winkels (β_{as} , β_{ae} , β_{ai} , β_{fs} , β_{fe} , β_{fi}) über einen Abschnitt entspricht, der zwischen einem Prozentsatz P1 und einem Prozentsatz P2 der Gesamtlänge der Skelettlinie (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) entspricht, ausgehend von der Vorderkante (BA) oder der Hinterkante (BF) in Bogenlänge;

wobei der Prozentsatz P zwischen 1 und 20 % der Gesamtlänge der Skelettlänge (11), der Saugseite (12) oder der Druckseite (13) in Bogenlänge liegt und die Werte P 1 und P2 zu einem Intervall [1 %;

20 %] gehören.

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** für einen Schaufelabschnitt (10) der aerodynamische Parameter ferner unter den folgenden aerodynamischen Parametern gewählt ist:

- einer Dicke (E_a , E_f) eines Abschnitts einer Schaufel (10) in einem Abstand, der einem Prozentsatz P der Gesamtlänge der Skelettlinie (11) entspricht, ausgehend von der Vorderkante (BA) oder der Hinterkante (BF) in Bogenlänge;
- einer maximalen Dicke (E_{max}) des Abschnitts der Schaufel (10); und
- einem Anstellwinkel (γ).

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** mehrere aerodynamische Parameter gleichzeitig gewählt werden, wobei diese Parameter der Anstellwinkel (γ), der Winkel β_{as} , der Winkel β_{ae} , der Winkel β_{fs} , der Winkel β_{fe} , die Dicke E_a , die Dicke E_f , die Dicke E_{max} , der Wert $VAR\beta_{as}$, der Wert $VAR\beta_{fe}$ sind, wie sie in der Beschreibung definiert sind.

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Prozentsatz P 7,2 % ist.

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werte P 1 und P2 zu einem Intervall [7 %; 13 %] gehören.

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Parameter für drei Abschnitte von Schaufeln (10) kontrolliert werden, die in der Nähe der Basis bzw. in der Mitte und in der Nähe des Scheitels einer Schaufel liegen.

- Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die drei Abschnitte der Schaufel (10), die in der Nähe der Basis, in der Mitte und in der Nähe des Scheitels einer Schaufel liegen, bei 10 % bzw. 50 % und 90 % der Höhe der Schaufel liegen.

- Computerprogramm, das direkt in den Speicher eines Computers ladbar ist und dazu bestimmt ist, das Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

- System zur Kontrolle der Schaufeln einer Turboma-

schine, das dazu geeignet ist, das Verfahren zur Kontrolle der Schaufeln einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen, aufweisend:

- Mittel (21, 24) zum Messen der geometrischen Koordinaten einer Vielzahl von Punkten einer kontrollierten Schaufel (20),
- ein Rechenmittel (25) für die aerodynamischen Koordinaten der gemessenen Schaufel (20);
- ein Mittel (26) zur Verifizierung der Gültigkeit der gemessenen Parameter mit den Nennparametern und ihren zugehörigen Toleranzen einer Referenzschaufel (22); und
- ein Mittel (27) zur Validierung oder Entfernung der kontrollierten Schaufel (20).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

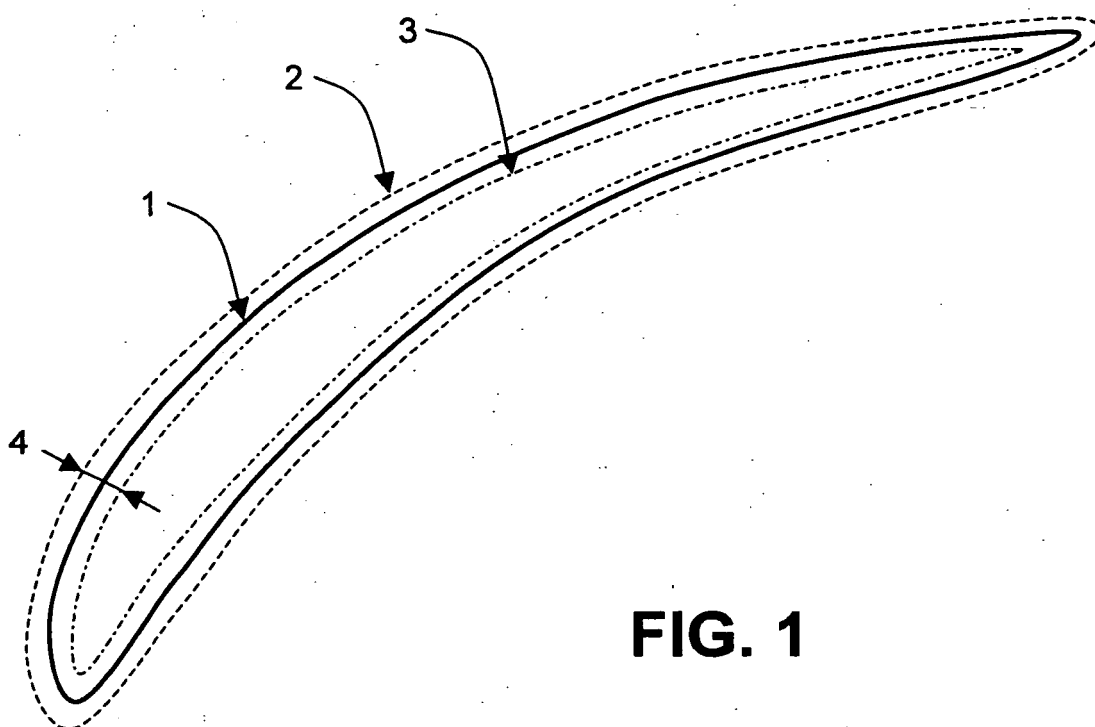
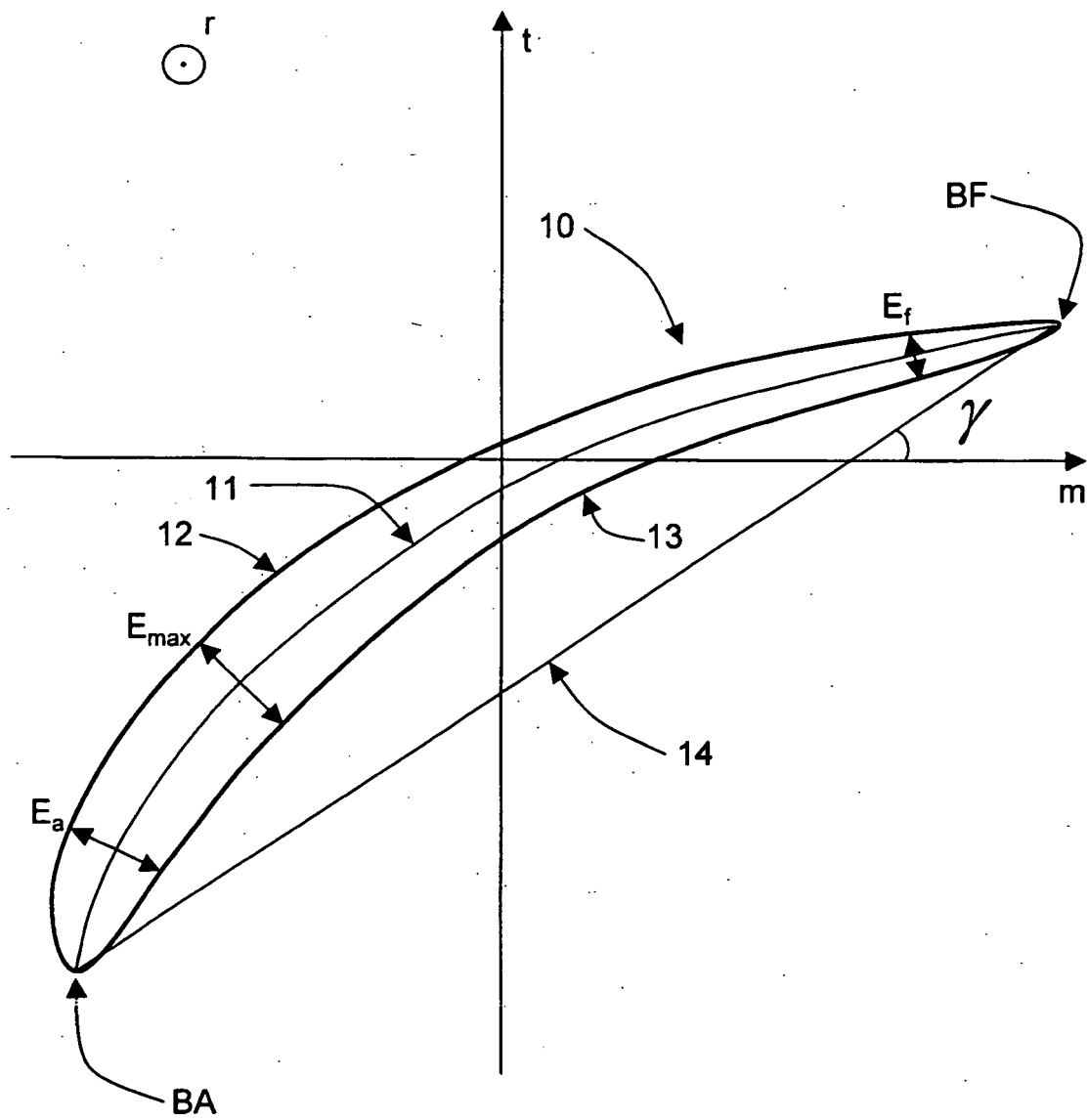


FIG. 1

ART ANTERIEUR

**FIG. 2**

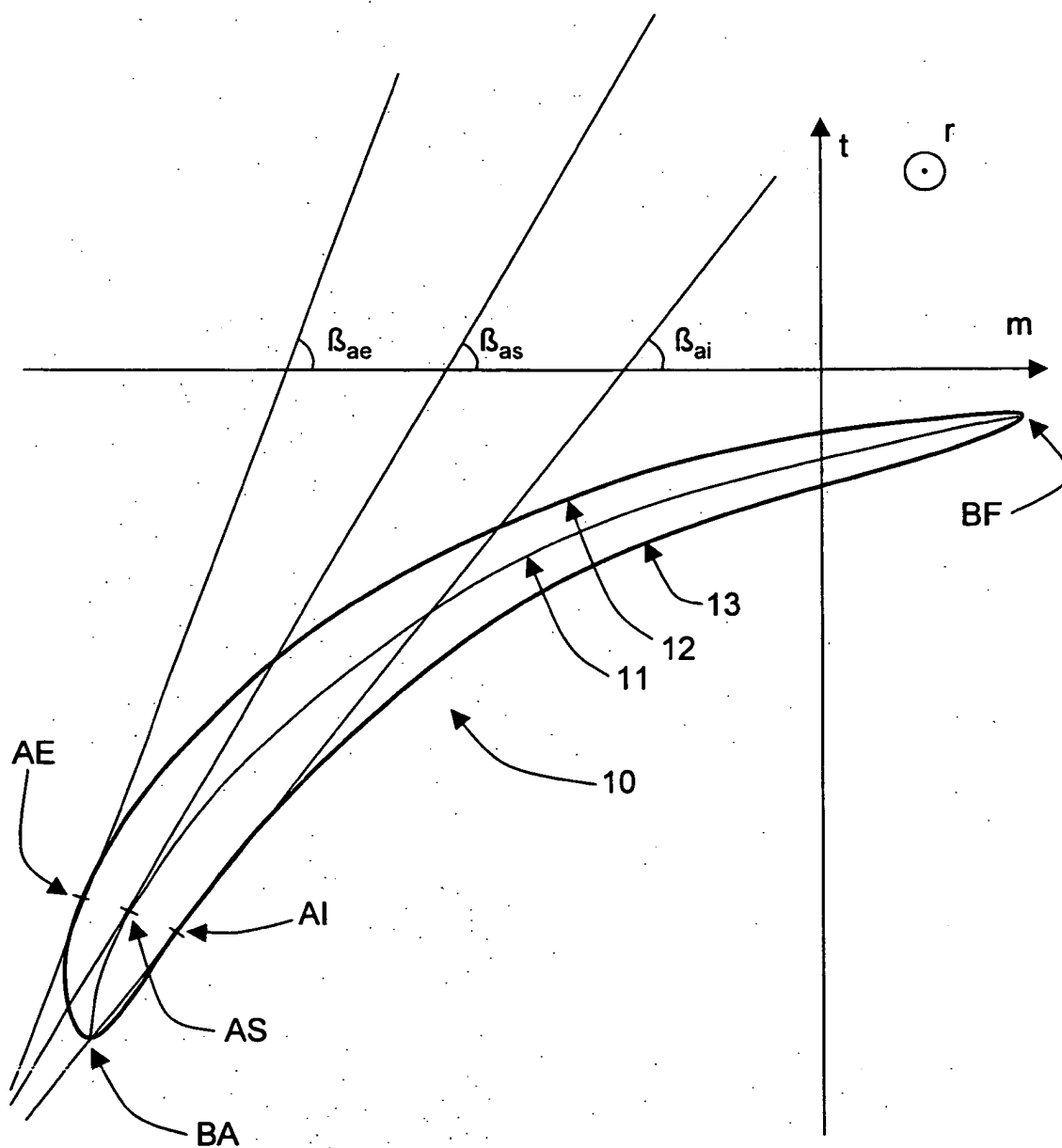


FIG. 3

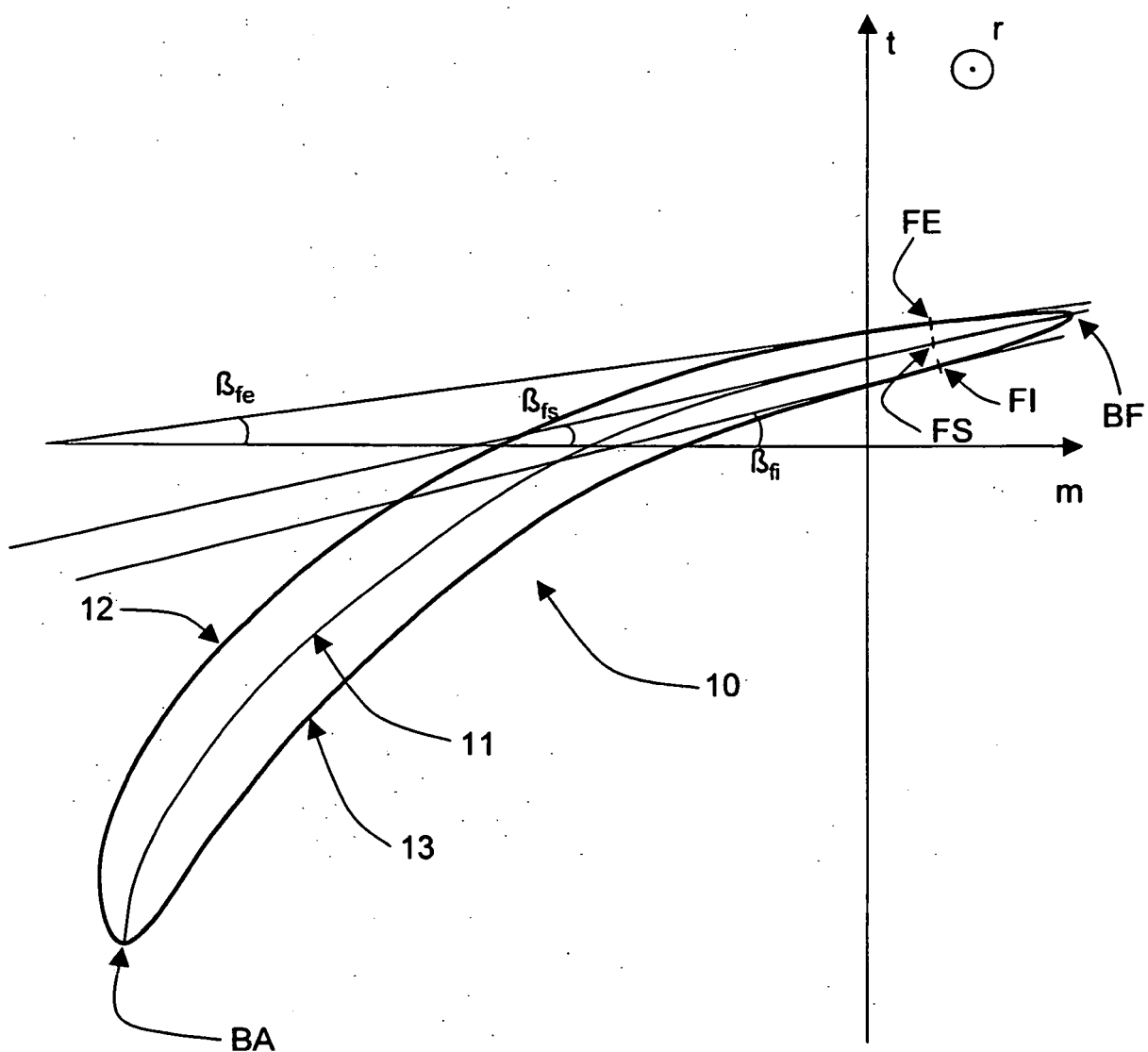


FIG. 4

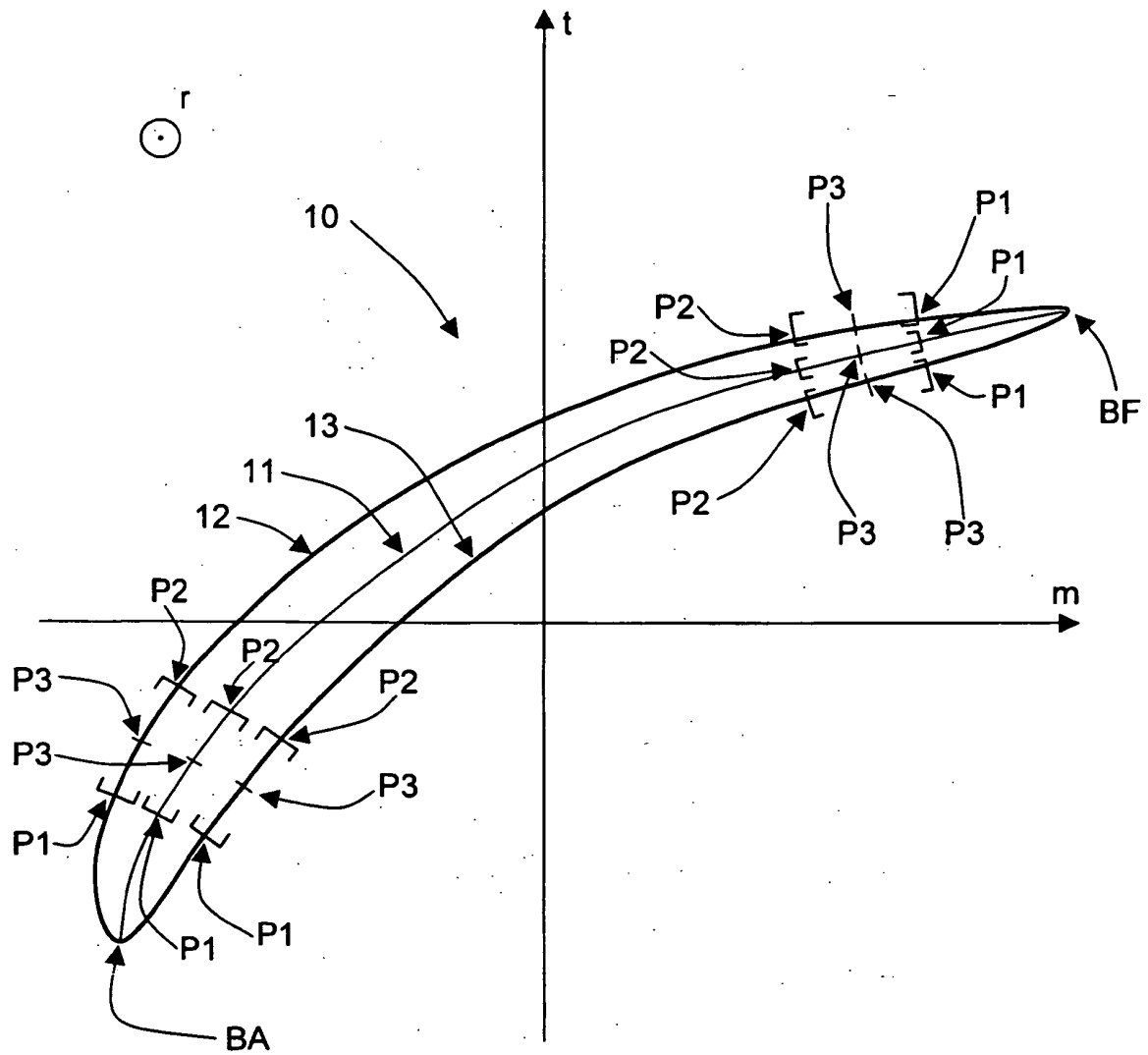


FIG. 5

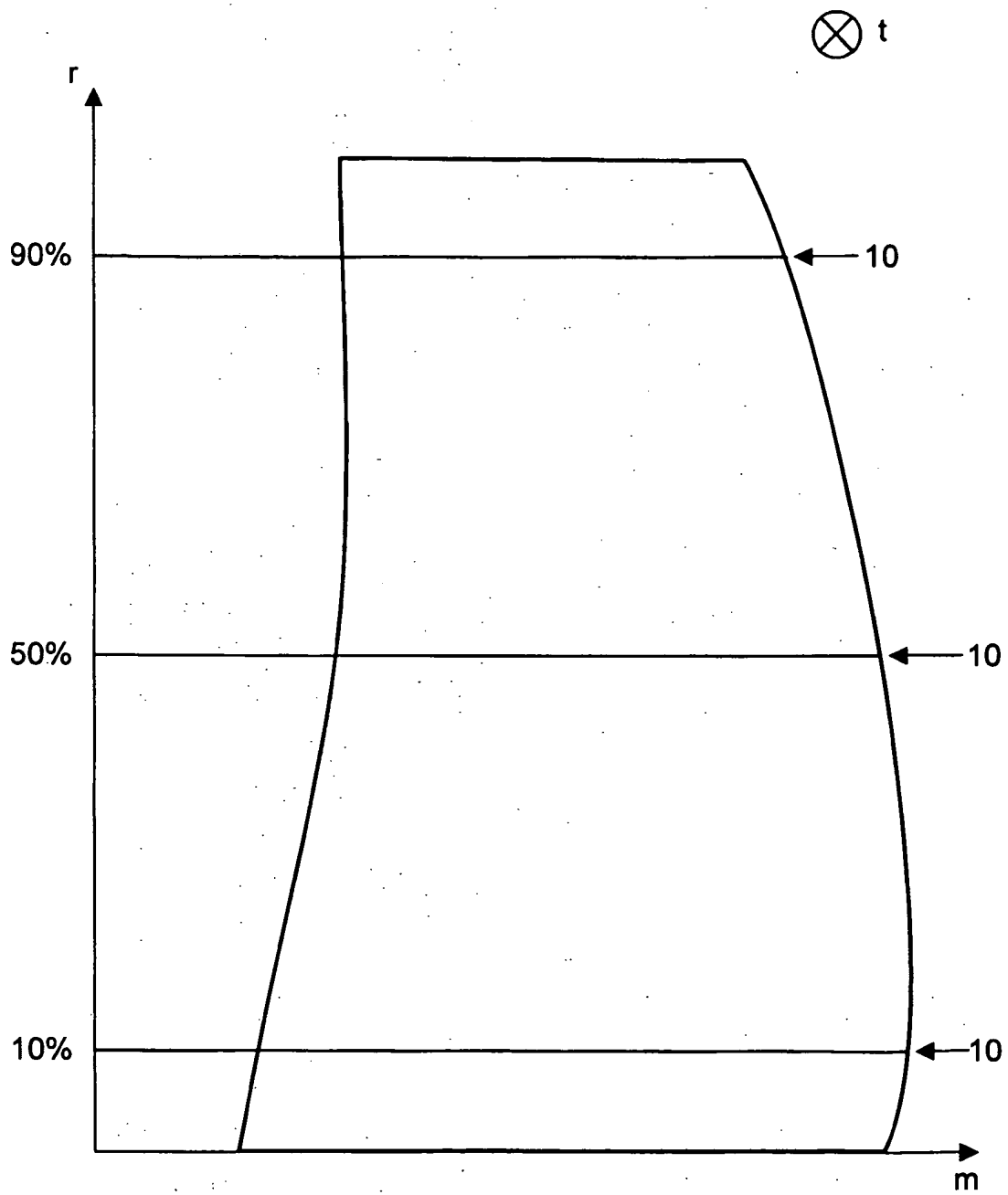


FIG. 6

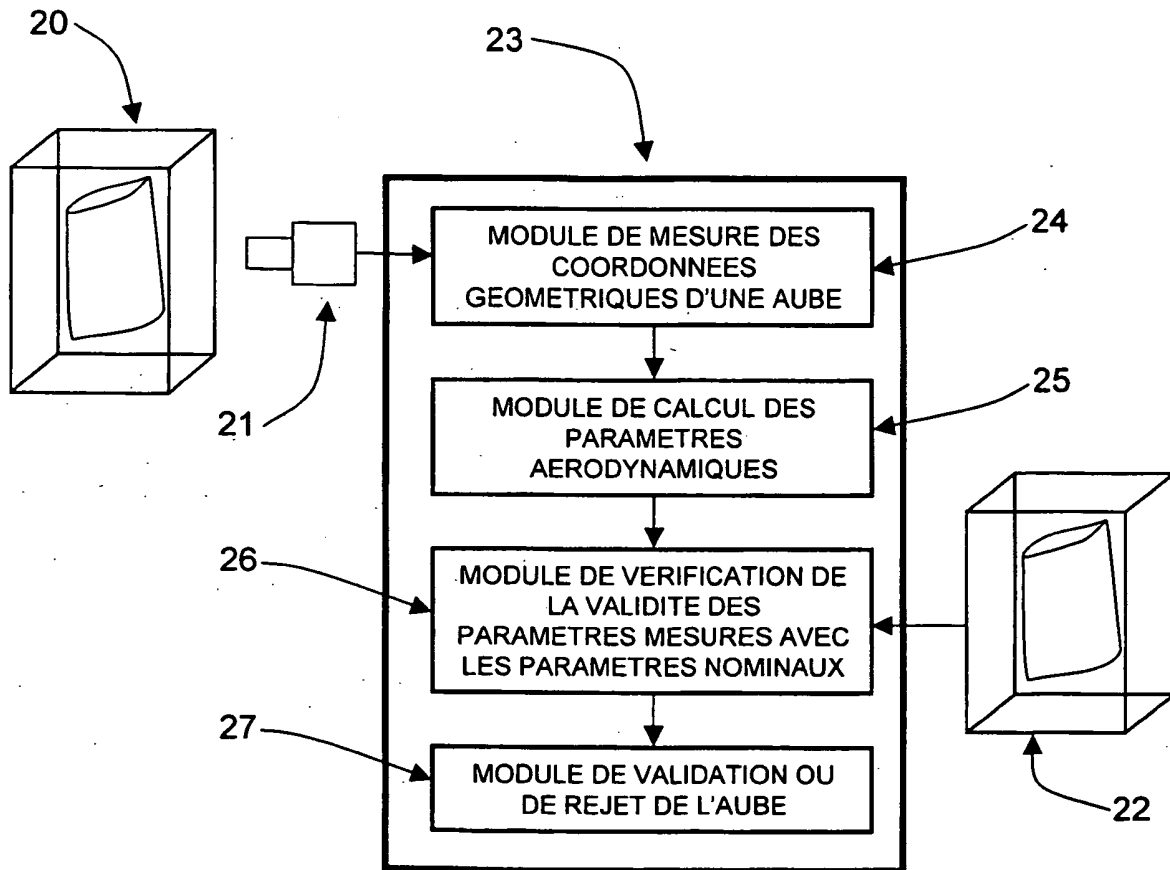


FIG. 7

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5047966 A [0005] [0006]
- US 4653011 A [0005]
- US 6041132 A [0005]
- US 4724525 A [0005]
- EP 1498577 A [0008]
- US 6748112 B [0009]