



(11) **EP 2 090 747 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.09.2011 Bulletin 2011/38

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) F01D 5/28 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09152682.2**

(22) Date de dépôt: **12.02.2009**

(54) **Bord d'attaque de pièce de turbomachine constitué de matériau superélastique**

Vorderkante eines Bauteils eines Turbotriebwerks, die aus superelastischem Material besteht

Leading edge of a turbomachine part made of superelastic material

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **14.02.2008 FR 0850935**

(43) Date de publication de la demande:
19.08.2009 Bulletin 2009/34

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

(72) Inventeur: **Mons, Claude**
77176, Savigny le Temple (FR)

(74) Mandataire: **Cardy, Sophie Marie et al**
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 1 577 422 GB-A- 1 320 539
GB-A- 2 218 473

EP 2 090 747 B1

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).

Description

[0001] La présente invention concerne une pièce de turbomachine comportant une partie principale et un bord d'attaque.

[0002] Dans la description qui suit les termes "amont" et "aval" sont définis par rapport au sens de circulation normal de l'air le long de la pièce. Les termes "longueur" et "hauteur" désignent la plus grande dimension et la plus petite dimension de la pièce perpendiculairement à la direction de circulation de l'air, respectivement.

[0003] Par bord d'attaque d'une pièce, on entend la partie de la pièce qui, en fonctionnement normal lorsqu'elle est soumise à un flux d'air, est impactée directement par ce flux. Le bord d'attaque est donc la partie la plus amont de la pièce. Dans une turbomachine, les aubes sont un exemple de pièces qui sont soumises à un flux d'air.

[0004] Le flux d'air qui circule autour des pièces fixes ou mobiles d'une turbomachine peut charrier des corps étrangers (gravillons, morceaux de glace,...) qui peuvent venir impacter à grande vitesse ces pièces et les endommager. En particulier, c'est le bord d'attaque de ces pièces qui subit les impacts, et est donc déformé de façon indésirable. Cet endommagement est particulièrement préjudiciable en ce qui concerne les aubes de la turbine, notamment les OGV (*outletguide vanes*) et IGV (*inlet guide vanes*), qui participent à création de la poussée développée par la turbomachine. En effet, une collision avec un corps étranger peut d'une part affecter l'intégrité structurelle de l'aube (création de fissures internes ou externes, et de délaminage dans le cas de pièces en matériaux composites), d'où un risque de rupture de la pièce et de dommages sévères aux parties de la turbomachine en aval. D'autre part, cette collision déforme presque systématiquement le bord d'attaque de l'aube, ce qui modifie son profil aérodynamique idéal et perturbe l'écoulement du flux d'air autour de cette aube, ce qui conduit à une diminution des performances de la turbomachine.

[0005] Il est donc indispensable de protéger le bord d'attaque d'une pièce de turbomachine des impacts de corps étrangers que cette pièce peut subir. Cette protection est actuellement effectuée en appliquant sur le bord d'attaque de la pièce une couche métallique en acier ou alliage de titane qui suit le profil du bord d'attaque et est en contact avec ce bord d'attaque. Cette couche a pour rôle d'absorber le plus d'énergie possible de l'impact avec un corps étranger, afin de limiter l'endommagement subi par la pièce. Cependant, la pièce subit malgré tout un endommagement à la suite d'impacts répétés, et la surface de la couche est déformée de façon permanente, ce qui modifie de façon préjudiciable le profil aérodynamique de la pièce. Par ailleurs, un seul impact est souvent suffisamment énergétique pour déformer la couche au-delà de sa limite élastique (c'est-à-dire en y causant des déformations supérieures à la déformation élastique maximale du matériau, qui est

alors déformé dans le domaine plastique, de façon irréversible).

[0006] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients, ou tout au moins à les atténuer.

[0007] On connaît le document GB 2,218,473 qui concerne une pièce de turbomachine comportant une partie principale 13 et un bord d'attaque 2, ce bord d'attaque étant constitué, sur une partie au moins de la longueur de la pièce, d'une feuille 2 de matériau qui est fixée sur la partie principale 13 et qui s'étend de l'intrados à l'extrados de la partie principale en ménageant un espace 3 entre la feuille et l'extrémité amont de la partie principale.

[0008] On connaît également le document EP 1,577,422 qui concerne une pièce de turbomachine comportant une partie principale 14 et un bord d'attaque 16, ce bord d'attaque étant constitué, sur une partie au moins de la longueur de la pièce, d'un matériau qui est fixé sur la partie principale et qui est capable, en dessous d'une déformation maximale, de se déformer de façon réversible superélastique en réponse à un impact par un corps étranger.

[0009] L'invention vise à proposer une pièce qui puisse reprendre sa forme initiale après un impact par un corps étranger, et dont les performances mécaniques ne soient pas affectées par cet impact.

[0010] Ce but est atteint grâce au fait que le bord d'attaque de la pièce est constitué, sur une partie au moins de la longueur de la pièce, d'une feuille de matériau qui est fixée sur la partie principale et qui s'étend de l'intrados à l'extrados de la partie principale en ménageant un espace entre cette feuille et l'extrémité amont de la partie principale, le matériau étant capable, en dessous d'une déformation maximale (ϵ_2), de se déformer de façon réversible superélastique en réponse à un impact par un corps étranger, sans endommager la partie principale.

[0011] Grâce à ces dispositions, le bord d'attaque de la pièce, sous l'effet d'un impact par un corps étranger, se déforme mais sans endommager la partie principale de la pièce, qui est sa partie structurale. De plus, grâce aux propriétés superélastiques du matériau constituant le bord d'attaque, ce bord d'attaque est apte à reprendre sensiblement sa forme initiale avant impact, même en cas d'impact de forte énergie.

[0012] Par exemple, le matériau superélastique est un alliage à mémoire de forme en phase austénite.

[0013] Avantagusement, le matériau est capable, au dessus de la déformation maximale (ϵ_2), de reprendre, par chauffage au dessus d'une température de transition (T_1), sa forme avant déformation.

[0014] Grâce à ces dispositions, le bord d'attaque, même déformé fortement (c'est-à-dire au dessus de la déformation ϵ_2) suite à un impact, est capable, par chauffage du matériau constituant le bord d'attaque au dessus d'une température de transition, de reprendre sensiblement sa forme initiale avant impact.

[0015] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une pièce de turbomachine comportant une

partie principale possédant un bord d'attaque.

[0016] Selon l'invention, ce procédé comprend : la troncature du bord d'attaque de la partie principale; la fixation sur cette partie principale d'une feuille de matériau qui s'étend de l'intrados à l'extrados de la partie principale sur une partie au moins de sa longueur de telle sorte que la feuille reconstitue le profil du bord d'attaque de la partie principale avant la troncature de ce bord d'attaque, ce matériau étant capable, en dessous d'une déformation maximale (ϵ_2), de se déformer de façon réversible superélastique en réponse à un impact par un corps étranger, sans endommager la partie principale.

[0017] L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux, à la lecture de la description détaillée qui suit, d'un mode de réalisation représenté à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue en perspective d'une section d'une aube de turbomachine selon l'art antérieur,
- la figure 2 est une vue en coupe transversale d'une aube de turbomachine selon l'invention,
- la figure 3 est une vue en coupe transversale d'un autre mode de réalisation d'une aube de turbomachine selon l'invention,
- la figure 4 est un exemple de courbe contrainte-déformation d'un alliage à mémoire de forme.

[0018] La description qui suit considère le cas où la pièce possédant un bord d'attaque est une aube. Par exemple, cette aube est une OGV ("outlet guide vane") ou une IGV ("inlet guide vane"). Cependant, l'invention s'applique à toute pièce de turbomachine possédant un bord d'attaque et soumise à un flux d'air, comme par exemple un bras de carter d'entrée.

[0019] La figure 1 représente une section d'aube 10 de turbomachine. Cette aube 10 comprend une extrémité amont 20, un intrados 30, un extrados 50, et une extrémité aval 40. L'extrémité amont 20 est la partie de l'aube qui est touchée en premier par le flux d'air en fonctionnement normal de la turbomachine, et qui constitue dans ce cas le bord d'attaque de l'aube 10. Sur les figures 1 à 3, ce flux d'air se déplace de la droite vers la gauche, selon la flèche. L'intrados 30 est la surface concave de l'aube 10, à savoir la surface le long de laquelle le flux d'air circulant autour de l'aube 10 génère une surpression. L'extrados 50 est la surface convexe de l'aube 10, à savoir la surface le long de laquelle le flux d'air génère une dépression. Ainsi, l'aube 10 a sensiblement une forme de plaque incurvée qui s'épaissit de son extrémité aval 40 vers son extrémité amont 20.

[0020] La figure 2 montre une aube 10 selon l'invention. Cette aube 10 comprend d'une part une partie principale 15 possédant une extrémité amont 20, un intrados 30, un extrados 50, et une extrémité aval 40, d'autre part une feuille 60. La partie principale 15 est identique à l'aube de la figure 1. L'extrémité amont 20 de la partie

principale 15 est recouverte par la feuille 60. La feuille 60 s'étend en longueur dans la direction D dans laquelle s'étend l'extrémité amont 20 de la partie principale 15. La feuille s'étend en largeur dans un plan qui est perpendiculaire à cette direction D (cette direction D est perpendiculaire au plan de la figure 2). Ainsi, dans ce plan, la feuille s'étend d'un premier bord 61 à un second bord 62, chacun de ces bords s'étendant selon la direction D. Le premier bord 61 est fixé, sur toute sa longueur (c'est-à-dire selon la direction D) sur l'extrados 50, à proximité de l'extrémité amont 20, et le second bord 62 est fixé, sur toute sa longueur, sur l'intrados 30, à proximité de l'extrémité amont 20. Ainsi la feuille 60 a sensiblement une forme en U dans un plan perpendiculaire à la direction D.

[0021] Il est important que ces fixations ne génèrent pas de protubérances dépassant de la surface de la pièce, afin de ne pas perturber l'écoulement de l'air le long de l'intrados 30 et de l'extrados 50. Ainsi, ces fixations peuvent se faire par exemple par collage, par brasage, par soudage, ou par rivetage.

[0022] L'extrémité amont 20 de la partie principale est recouverte sur toute sa longueur (direction D) par la feuille 60. Alternativement, la feuille 60 peut ne recouvrir l'extrémité amont 20 que sur une partie de sa longueur.

[0023] Le matériau dans lequel la feuille 60 est fabriquée est un matériau superélastique, c'est-à-dire un matériau qui est capable de reprendre sa forme initiale lorsque la contrainte à laquelle il avait été soumis est retirée (déformation réversible), et ce pour des déformations bien supérieures à la déformation correspondant à la limite élastique usuelle d'alliages. Ainsi, pour un alliage ordinaire la limite élastique, c'est-à-dire la contrainte jusqu'à laquelle la déformation est réversible élastique (élasticité classique), est de l'ordre de 0,1%. Pour un matériau superélastique, il est de l'ordre de plusieurs pourcents.

[0024] Par exemple, le matériau superélastique de la feuille 60 est un alliage à mémoire de forme. Dans les alliages à mémoire de forme, la superélasticité est due à la transformation réversible de la phase austénite (réseau cristallin cubique faces centrées) en la phase martensite (réseau cristallin tétragonal) à température sensiblement constante. Les alliages à mémoire de forme sont par exemple des alliages cuivre-nickel (Cu-Ni), cuivre-zinc-nickel (Cu-Zn-Ni), ou nickel-titane (Ni-Ti, Nitinol®), éventuellement alliés avec d'autres éléments (fer, niobium).

[0025] La figure 4 donne un exemple de courbe contrainte-déformation (ou $\sigma(\epsilon)$) d'un alliage à mémoire de forme. On note que cette courbe comporte trois régions : pour une déformation ϵ inférieure à la déformation minimale ϵ_1 (région I), le matériau est linéaire élastique (élasticité classique); pour une déformation ϵ comprise entre ϵ_1 et une déformation maximale ϵ_2 supérieure à la déformation minimale ϵ_1 (région II), le matériau est superélastique (il se déforme beaucoup sous une contrainte qui augmente peu); pour une déformation ϵ supérieure à la

déformation maximale ε_2 (région III), la déformation n'est pas réversible. La région II constitue la plage des déformations superélastiques. La déformation maximale ε_2 peut par exemple varier entre 3% et 10%.

[0026] Avant application d'une contrainte σ (c'est-à-dire avant impact), l'alliage à mémoire de forme qui constitue la feuille 60 est en austénite. L'énergie de l'impact par un corps étranger provoque la transformation métallurgique de cet alliage en martensite, et entraîne la déformation superélastique réversible de la feuille 60 (c'est-à-dire que la déformation est dans la plage de déformation $[\varepsilon_1; \varepsilon_2]$). Après impact, l'alliage revient donc à sa forme initiale (avant impact).

[0027] Afin d'accommoder la déformation de la feuille 60 résultant de l'impact, il existe un espace 70 entre la feuille 60 et l'extrémité amont 20 de la partie principale 15, comme représenté sur la figure 2. L'espace 70 constitue une cavité vide. Ainsi, la cavité 70 a une taille suffisante pour que la feuille 60 puisse se déformer sans toucher l'extrémité amont 20 de la partie principale 15, ou si elle la touche, sans y causer de dommages préjudiciables à l'intégrité mécanique de la partie principale 15.

[0028] La distance de recul de la feuille 60 dépend de l'énergie et de la forme du projectile d'impact, de l'épaisseur de la feuille, et de la taille de la pièce. La distance de recul est par exemple comprise entre 0,1 mm et 2 mm (millimètres). La feuille a par exemple une épaisseur comprise entre 0,1 et 0,5 mm.

[0029] Afin d'aménager la cavité 70, l'extrémité amont 20 de la partie principale 15 peut être tronquée pour former une face amont 25 qui est sensiblement plane. Ce mode de réalisation est illustré sur la figure 3. La feuille 60 peut ainsi être fixée sur la partie principale 15 de telle sorte qu'elle reconstitue le profil de l'extrémité amont 20 (bord d'attaque) de la partie principale 15 avant la troncature de cette extrémité amont 20. Ainsi, on obtient une pièce 10 dont le bord d'attaque est constitué d'une feuille 60 en matériau superélastique, la forme et le volume de la pièce 10 étant sensiblement identiques à la forme et au volume initiaux de la partie principale 15 avant troncature de son extrémité amont 20. De la sorte, les caractéristiques aérodynamiques de la pièce 10 sont conservées.

[0030] Alternativement, l'espace 70 peut être rempli par un matériau de remplissage dont la rigidité est sensiblement inférieure à la rigidité E_0 du matériau de la partie principale 15. Ce matériau de remplissage (par exemple une mousse solide) permet une fixation plus aisée de la feuille 60 sur la partie principale 15, et fournit un support mécanique à cette feuille 60.

[0031] Avantageusement, la rigidité E du matériau de la feuille 60, dans le cas où ce matériau est soumis à une déformation ε^* inférieure à la déformation minimale ε_1 (région I), est de l'ordre de grandeur de la rigidité E_0 du matériau de la partie principale 15. En conséquence, la déformation ε de la feuille 60 restera dans le domaine élastique I (déformations inférieures à la déformation mi-

nimale ε_1) jusqu'à une contrainte σ plus élevée, en l'espèce égale à la contrainte $\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1$. Ainsi, l'aube 10 pourra résister à des impacts de corps étrangers d'énergie plus importantes (c'est-à-dire jusqu'aux impacts qui génèrent dans la feuille 60 des contraintes σ inférieures à σ_1) en ne se déformant pratiquement pas, et le matériau de la feuille 60 n'entrera dans le domaine superélastique II (domaine des déformations supérieures à la déformation minimale ε_1 et inférieures à la déformation maximale ε_2) que pour des impacts d'énergie importante. Ainsi, la feuille 60 conservera plus longtemps sa capacité à se déformer de façon superélastique. En effet, il est connu que les alliages à mémoire de forme vieillissent au-delà d'un nombre donné de cycles de déformations superélastiques, ce vieillissement se traduisant par une dégradation de la capacité de tels alliages à reprendre leur forme initiale après déformation.

[0032] Les températures de transformation austénite-martensite de l'alliage à mémoire de forme constituant la feuille 60 doivent être inférieures à la plage de fonctionnement en température de la pièce 10 dont la feuille 60 forme le bord d'attaque. En effet, dans le cas contraire, l'effet superélastique (qui est uniquement dû à l'application d'une contrainte mécanique), est perturbé, et la feuille 60 ne revient pas à sa forme initiale avant impact. Dans cette plage de fonctionnement en température, la feuille 60 est donc en phase austénite. Dans une turbomachine, cette plage de températures est typiquement de -50°C à 130°C pour des pièces dites "froides", notamment en amont de la chambre de combustion.

[0033] Il est possible que certains impacts particulièrement énergétiques (masse ou vitesse plus importantes du corps étranger) génèrent dans certaines zones de la feuille 60 des déformations ε_3 supérieures à la déformation maximale ε_2 (région III). Dans ces zones, le matériau subit une déformation partiellement irréversible, la déformation irréversible correspondant à $[\varepsilon_3 - \varepsilon_2]$. Dans le cas d'alliages à mémoire de forme, l'énergie de l'impact a fait passer, dans ces zones, le matériau de phase austénite en phase martensite, et le matériau y est donc, après impact, en phase martensite. Cette déformation irréversible rémanente peut donc être rendue réversible si les zones déformées sont chauffées au dessus de la température de transition T_t qui est la borne maximale de la plage de températures de transition de la martensite vers l'austénite pour l'alliage à mémoire de forme. La température de transition T_t est une caractéristique intrinsèque de l'alliage à mémoire de forme.

[0034] D'une manière générale, le bord d'attaque peut être constitué de tout matériau superélastique qui, soumis à des déformations supérieures à la déformation maximale ε_2 , est apte à reprendre sa forme initiale (avant déformation) par chauffage au dessus d'une température de transition T_t .

Revendications

1. Pièce (10) de turbomachine comportant une partie principale (15) et un bord d'attaque, ledit bord d'attaque étant constitué, sur une partie au moins de la longueur de ladite pièce, d'une feuille (60) de matériau qui est fixée sur ladite partie principale (15) et qui s'étend de l'intrados (30) à l'extrados (50) de ladite partie principale (15) en ménageant un espace (70) entre ladite feuille et l'extrémité amont (20) de ladite partie principale (15), **caractérisée en ce que** ledit matériau est capable, en dessous d'une déformation maximale ε_2 , de se déformer de façon réversible superélastique en réponse à un impact par un corps étranger, sans endommager ladite partie principale (15). 5
2. Pièce (10) de turbomachine selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** ledit matériau est un alliage à mémoire de forme en phase austénite. 20
3. Pièce (10) de turbomachine selon la revendication 1 ou 2 **caractérisée en ce que** la rigidité dudit matériau est de l'ordre de grandeur de la rigidité du matériau de ladite partie principale (15) lorsque ledit matériau est soumis à une déformation inférieure à une déformation minimale (ε_1), cette déformation minimale (ε_1) étant inférieure à la déformation maximale (ε_2). 25
4. Pièce (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 **caractérisée en ce que** ledit matériau étant capable, au dessus de ladite déformation maximale (ε_2), de reprendre, par chauffage au dessus d'une température de transition (T_t), sa forme avant déformation. 30
5. Pièce (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 **caractérisée en ce que** ledit espace (70) constitue une cavité vide. 35
6. Pièce (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 **caractérisée en ce que** l'extrémité amont (20) de ladite partie principale (15) est une face amont (25) sensiblement plane. 40
7. Pièce (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 **caractérisée en ce que** ladite feuille (60) recouvre l'extrémité amont (20) de ladite partie principale (15) sur toute sa longueur. 45
8. Pièce (10) de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 **caractérisée en ce que** ladite pièce (10) est une aube. 50
9. Turbomachine comportant une pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 8. 55

10. Procédé de fabrication d'une pièce (10) de turbomachine comportant une partie principale (15) possédant un bord d'attaque et comprenant: la troncature du bord d'attaque de ladite partie principale (15); la fixation sur ladite partie principale (15) d'une feuille (60) de matériau qui s'étend de l'intrados (30) à l'extrados (50) de ladite partie principale (15) sur une partie au moins de la longueur de ladite partie principale, de telle sorte que ladite feuille (60) reconstitue le profil du bord d'attaque de ladite partie principale (15) avant la troncature de ce bord d'attaque, **caractérisé en ce que** ledit matériau est capable, en dessous d'une déformation maximale (ε_2), de se déformer de façon réversible superélastique en réponse à un impact par un corps étranger, sans endommager la partie principale (15).

Claims

1. A turbomachine part (10) comprising a main portion (15) and a leading edge, said leading edge being constituted over at least a fraction of the length of said part by a sheet (60) of material that is fastened on said main portion (15) and that extends from the pressure side (30) to the suction side (50) of said main portion (15), while leaving a space (70) between said sheet and the upstream end (20) of said main portion (15), **characterized in that** said material is capable, below a maximum deformation ε_2 , of responding to an impact against a foreign body by deforming reversibly in superelastic manner without damaging the main portion (15).
2. A turbomachine part (10) according to claim 1, **characterized in that** said material is a shape memory alloy in the austenite phase.
3. A turbomachine part (10) according to claim 1 or claim 2, **characterized in that** the stiffness of said material is of the same order of magnitude as the stiffness of the material of said main portion (15) when said material is subjected to deformation less than a minimum deformation ε_1 , said minimum deformation ε_1 being less than the maximum deformation ε_2 .
4. A turbomachine part (10) according to any one of claims 1 to 3, **characterized in that** said material is capable, above said maximum deformation ε_2 , of returning to its shape prior to deformation by being heated to above a transition temperature T_t .
5. A turbomachine part (10) according to any one of claims 1 to 4, **characterized in that** said space (70) constitutes an empty cavity.
6. A turbomachine part (10) according to any one of

claims 1 to 5, **characterized in that** the upstream end (20) of said main portion (15) is a substantially plane upstream face (25).

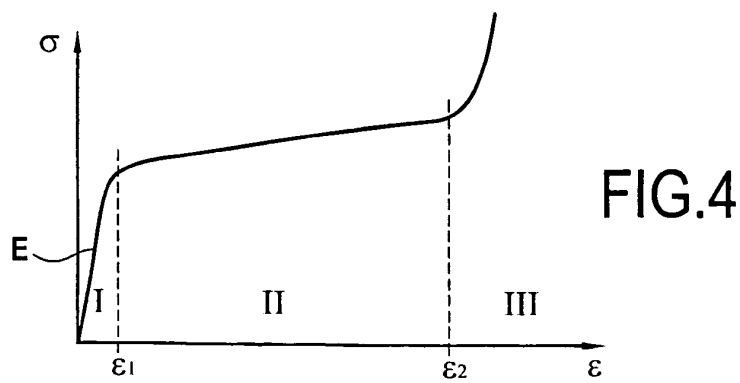
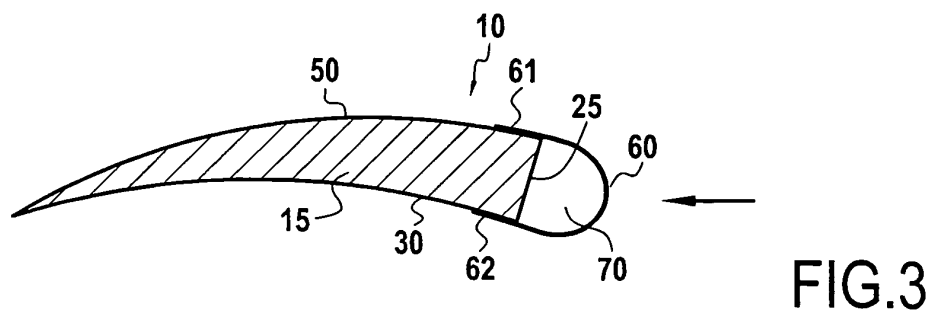
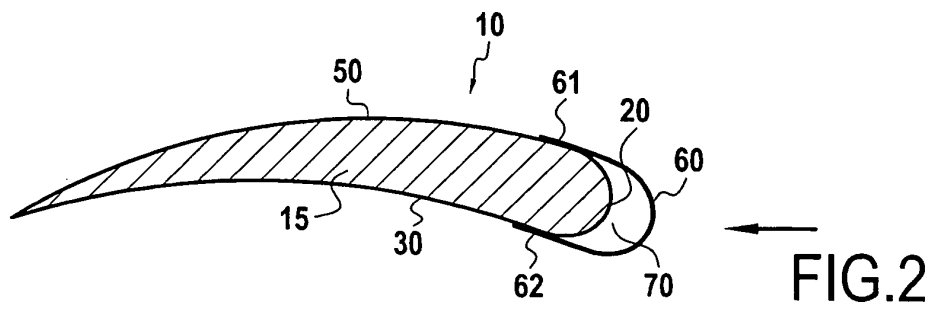
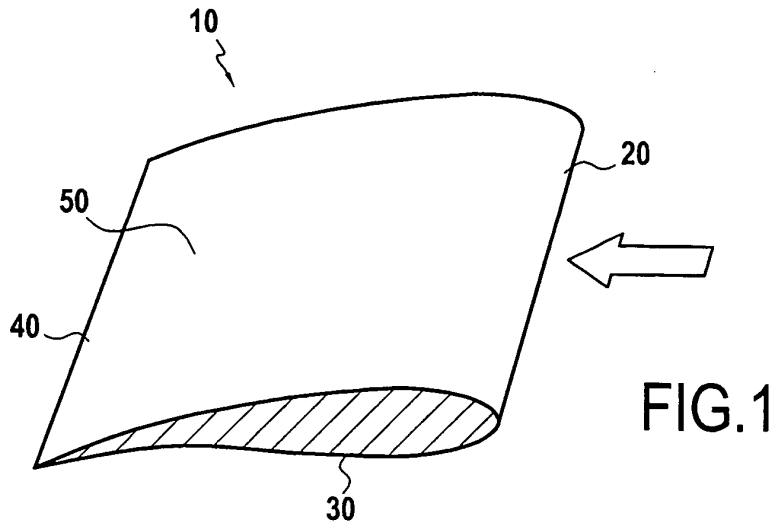
7. A turbomachine part (10) according to any one of claims 1 to 6, **characterized in that** said sheet (60) covers the upstream end (20) of said main portion (15) over its entire length.
8. A turbomachine part (10) according to any one of claims 1 to 7, **characterized in that** said part (10) is an airfoil.
9. A turbomachine including a part according to any one of claims 1 to 8.
10. A method of fabricating a turbomachine part (10) comprising a main portion (15) having a leading edge, the method comprising:

truncating the leading edge of said main portion (15);
fastening on said main portion (15) a sheet (60) of material that extends from the pressure side (30) to the suction side (50) of said main portion (15) over at least a fraction of the length of said main portion, in such a manner that said sheet (15) reconstitutes the profile of the leading edge of said main portion (15) prior to said leading edge being truncated, **characterized in that** said material is capable, below a maximum deformation ϵ_2 , of responding to an impact against a foreign body by deforming reversibly in superelastic manner without damaging the main portion (15).

Patentansprüche

1. Teil (10) einer Turbomaschine, mit einem Hauptteil (15) und einer Vorderkante, wobei die Vorderkante über wenigstens einen Teil der Länge des Teils von einer Materialfolie (60) gebildet ist, die an dem Hauptteil (15) befestigt ist und die sich unter Aussparen eines Raums (70) zwischen der Folie und dem stromaufwärtigen Ende (20) des Hauptteils (15) von der Vorderseite (30) bis zur Rückseite (50) des Hauptteils (15) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Material unterhalb einer maximalen Verformung ($F-2$) in der Lage ist, sich als Reaktion auf einen Einschlag durch einen Fremdkörper reversibel superelastisch zu verformen, ohne das Hauptteil (15) zu beschädigen.
2. Teil (10) einer Turbomaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Material eine Formgedächtnislegierung in austenitischer Phase ist.

3. Teil (10) einer Turbomaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steifigkeit des Materials in der Größenordnung der Steifigkeit des Materials des Hauptteils (15) liegt, wenn das Material einer Verformung unterworfen ist, die geringer als eine minimale Verformung (ϵ_1) ist, wobei diese minimale Verformung (ϵ_1) geringer als die maximale Verformung (ϵ_2) ist.
4. Teil (10) einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Material oberhalb der maximalen Verformung (ϵ_2) in der Lage ist, durch Erhitzen über eine Übergangstemperatur (T_1) wieder seine Form vor der Verformung anzunehmen.
5. Teil (10) einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Raum (70) einen Hohlraum bildet.
6. Teil (10) einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** das stromaufwärtige Ende (20) des Hauptteils (15) eine im wesentlichen ebene stromaufwärtige Seite (25) ist.
7. Teil (10) einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Folie (60) das stromaufwärtige Ende (20) des Hauptteils (15) über seine gesamte Länge bedeckt.
8. Teil (10) einer Turbomaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Teil (10) eine Schaufel ist.
9. Turbomaschine, die ein Teil nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfaßt.
10. Verfahren zur Herstellung eines Teils (10) einer Turbomaschine mit einem Hauptteil (15), das eine Vorderkante besitzt, umfassend: das Stutzen der Vorderkante des Hauptteils (15), das Befestigen - an dem Hauptteil (15) - einer Materialfolie (60), die sich von der Vorderseite (30) bis zur Rückseite (50) des Hauptteils (15) über wenigstens einen Teil der Länge des Hauptteils erstreckt, derart, daß die Folie (60) das Profil der Vorderkante des Hauptteils (15) vor dem Stutzen dieser Vorderkante wiederherstellt, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Material unterhalb einer maximalen Verformung (ϵ_2) in der Lage ist, sich als Reaktion auf einen Einschlag durch einen Fremdkörper reversibel superelastisch zu verformen, ohne das Hauptteil (15) zu beschädigen.



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

- GB 2218473 A [0007]
- EP 1577422 A [0008]