

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

**2 619 331**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

**88 10795**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : B 23 P 15/04, 11/00.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10 août 1988.

③0 Priorité : US, 12 août 1987, n° 084.369.

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPi « Brevets » n° 7 du 17 février 1989.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : UNITED TECHNOLOGIES CORPORA-  
TION. — US.

⑦2 Inventeur(s) : Steven Dale Jenkel.

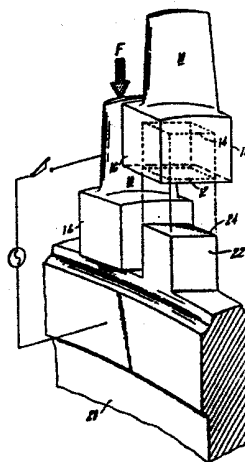
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Michel Bruder.

⑤4 Procédé de fabrication de rotors à ailettes intégrales, notamment pour moteurs à turbine à gaz.

⑤7 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un rotor à ailettes intégrales, notamment pour un moteur à turbine à gaz.

Ce procédé est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à former une cavité 12 dans la partie constituant la racine d'au moins une ailette 10 en superalliage monocristallin, à former une pluralité de saillies 22 sur la périphérie d'un disque 20 en superalliage polycristallin, à assembler au moins une ailette 10 sur au moins une saillie 22 du disque 20, à presser l'ailette 10 et le disque 20 l'un contre l'autre, à chauffer localement la cavité 12 de l'ailette 10 et la saillie 22 du disque 20 à une température élevée et à maintenir l'ensemble disque 20-ailette 10 assemblés dans des conditions de chaleur et de pression jusqu'à ce que leur liaison ait lieu.



R 2 619 331 - A1

La présente invention concerne un procédé de fabrication de rotors à ailettes intégrales.

Les moteurs à turbine à gaz contiennent une pluralité de rotors dont chacun est constitué d'un disque à la périphérie duquel sont montées une pluralité d'ailettes. La pratique courante dans le domaine des moteurs à turbine a consisté à former séparément les disques et les ailettes et à les relier ensuite ensemble, par des moyens mécaniques, afin de constituer un ensemble rotorique. Ceci permet d'utiliser différents matériaux et donne à la pièce assemblée la possibilité de mieux satisfaire aux différentes exigences de fonctionnement que l'on rencontre dans les portions du disque et des ailettes. Les ailettes et les disques sont fabriqués habituellement tous les deux à partir de superalliages qui sont des alliages à base de nickel renforcé par des particules gamma prime ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ,  $\text{Ti}$ ).

Cependant les techniques de fixation mécanique sont inefficaces et elles conduisent à un produit fini qui pèse davantage qu'il ne pèserait s'il pouvait être formé d'une seule pièce, c'est-à-dire avec des liaisons métallurgiques au lieu de fixations mécaniques. Dans les machines tournantes des contraintes notables naissent des effets combinés du poids et de la vitesse de rotation. Ce fait a naturellement été reconnu d'une manière générale et des tentatives ont été faites en vue de fabriquer des rotors à ailettes intégrales, afin de réduire le poids et les contraintes

L'une des tentatives effectuées a consisté à usiner les ailettes à partir de la périphérie d'un disque métallique d'une seule pièce. Ceci constitue un procédé généralement pénible et inefficace et une erreur d'usinage sur l'une des différentes ailettes peut entraîner le rejet de la totalité du disque. En outre un tel procédé exige généralement que les ailettes et le

disque aient une seule et même composition. D'autres tentatives ont consisté à essayer de relier des ailettes individuelles à une portion de disque. Ceci est décrit par exemple dans les brevets US- 3 304 055; 3 609 844; 3 749 514; 4 096 615; 4 152 5 816; 4 270 256 et 4 529 452. Ces procédés ont généralement fait appel à des adjuvants de liaison, tels que des matériaux de brasure, et l'utilisation de tels matériaux ne fournit pas les joints ayant la plus haute résistance qui sont nécessaires dans les moteurs à turbine à gaz.

10 Dans les rotors de turbine à gaz assemblés d'une manière conventionnelle, la tendance récente a été d'utiliser des ailettes de turbine monocristallines ainsi qu'il est décrit par exemple dans les brevets US- 3 494 709; 4 116 723 et 4 209 348, à cause de leurs propriétés mécaniques exceptionnelles à 15 haute température. Le brevet US-4 592 120 suggère que de telles ailettes monocristallines pourraient être fabriquées dans un ensemble de rotor à ailettes intégrales par un procédé de coulée dans lequel un métal liquide serait versé dans un moule contenant des ailettes monocristallines préformées maintenues à 20 l'alignement, en étant espacées, avec une portion de disque centrale. Cette approche présente la difficulté inhérente de limiter les propriétés de la bordure du disque à celles des matériaux coulés, alors qu'il est bien connu que les matériaux forgés assurent de meilleures propriétés d'ensemble pour les 25 applications à des disques.

Par conséquent l'un des buts de la présente invention est de fournir un procédé de fabrication de rotors à ailettes intégrales présentant des liaisons métallurgiques entre les ailettes et la partie constituant le disque. Un autre but de 30 l'invention est de fournir un procédé permettant d'obtenir un rotor à ailettes intégrales comportant des ailettes

monocristallines qui sont liées par voie métallurgique à une portion de disque forgée. Ces buts ainsi que d'autres ressortiront plus clairement de la description de l'invention qui va suivre et qui porte sur la meilleure forme d'exécution 5 de l'invention.

Suivant l'invention un disque façonné est prévu pour son assemblage avec des portions d'ailettes préformées, en vue de former un ensemble de rotor à ailettes intégrales. Le disque 10 est forgé ou il est fabriqué à partir d'une poudre pressée isostatiquement à chaud (l'expression "forgé" sera utilisée présentement pour englober les matériaux pulvérulents pressés isostatiquement à chaud) qui présente des propriétés qui sont bien adaptées aux températures et contraintes rencontrées dans 15 la portion du disque du rotor. La portion du disque présente sur elle-même une pluralité de portions en saillies auxquelles doivent reliées les ailettes monocristallines. Ces ailettes monocristallines sont prévues avec une portion formant racine qui contient un évidement ou une cavité épousant étroitement la 20 saillie du disque. Les ailettes monocristallines sont généralement produites par moulage mais d'autres procédés sont également connus.

Le matériau monocristallin qui définit la cavité est plus robuste et plus résistant à l'égard des déformations à 25 haute température que le matériau polycristallin du disque. Ainsi, lorsque les ailettes et le disque sont assemblés en s'emboîtant étroitement les uns dans les autres et qu'une pression et de la chaleur sont appliquées, chaque saillie du disque se déforme et établit un contact étroit avec la portion 30 monocristalline, pour se lier à celle-ci. La pression est appliquée en utilisant des moyens mécaniques conventionnels et la chaleur est fournie par le passage d'un courant électrique

ou par un chauffage par induction. L'utilisation d'une telle technique de chauffage permet un contrôle précis et une localisation du chauffage.

Un aspect significatif de l'invention est constitué par l'utilisation d'une cavité monocristalline en tant que cavité de matrice intégrale (de forgeage) qui est enlevée plus tard. Un facteur de succès implicite de la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention est la sélection de matériaux et de paramètres du procédé tels que le procédé soit mis en oeuvre dans des conditions dans lesquelles la cavité de chaque ailette est suffisamment résistante pour pouvoir résister à une déformation pendant l'opération de liaison alors qu'un ramollissement et une déformation de la saillie du disque ont lieu. La température de ramollissement peut être définie comme étant la température à laquelle une déformation d'environ 1% du matériau se produit en 1 heure, en présence de la force de liaison sélectionnée. L'ailette monocristalline a une température de ramollissement plus élevée que celle du disque polycristallin et la température de liaison utilisée est une température comprise entre les deux températures de ramollissement précitées.

Après que la liaison a été réalisée, un usinage final enlève les portions du monocristal qui définissaient les parties latérales de la cavité, en laissant après cela une portion monocristalline fermement liée au disque, sans avoir à utiliser des adjuvants de liaison.

On décrira ci-après, à titre d'exemples non limitatifs, diverses formes d'exécution de la présente invention, en référence au dessin annexé sur lequel :

La figure 1 est une vue en perspective de l'ensemble d'une ailette et du disque avant leur liaison, cette figure montrant la relation entre ces éléments.

La figure 2 est une vue en coupe de l'ailette et du 5 disque après leur liaison.

La figure 3 est une vue en coupe de l'ailette et du disque relié l'un à l'autre, après usinage.

La présente invention est particulièrement adaptée à la jonction d'ailettes monocristallines avec un disque 10 polycristallin, afin de constituer un rotor à ailettes intégrales caractérisé par le fait qu'il présente des liaisons métalliques entre les ailettes et le disque, sans utiliser de la brasure ou d'autres adjuvants de liaison. De préférence la portion du disque est formée par forgeage et les ailettes sont 15 des monocristaux, pour des raisons de propriétés mécaniques.

Si on se reporte maintenant aux figures qui illustrent l'invention, on voit que la figure 1 est une vue en perspective montrant une portion de l'ensemble du disque et l'une de plusieurs ailettes qui doivent être fixées à ce disque. Sur la 20 figure 1 l'ailette 10 comporte une cavité 12 qui est adaptée de manière à pouvoir s'emboîter sur une saillie 22 qui fait partie intégrante d'un disque 20. La saillie 22 et la cavité 12 dans l'ailette sont conformées de manière à pouvoir s'emboîter étroitement. Dans ce contexte l'expression "conformées" 25 signifie que les sections droites de la cavité et de la saillie sont étroitement adaptées l'une à l'autre et de préférence la saillie s'étend vers l'extérieur, à partir de la périphérie du disque, sur une distance légèrement supérieure à la profondeur de la cavité, ce surcroît de longueur allant d'environ 0,127mm 30 à environ 1,27mm, afin de pouvoir encaisser la déformation lors de l'opération de liaison. La liaison doit être réalisée sur

les surfaces adaptées en regard 14 et 24 tandis que les portions 16 de l'ailette monocristalline sont présentes uniquement en vue de l'opération de liaison et elles sont ensuite éliminées.

5 Les surfaces affleurantes 14 et 24 entre lesquelles doit être réalisée la liaison doivent être propres et exemptes de toute huile, poussière, oxyde ou élément similaire qui pourrait s'opposer au passage d'un courant électrique ou à l'opération de liaison. Un tel nettoyage peut être effectué par  
10 des techniques bien connues des hommes du métier et on peut citer à cet égard les opérations de dégraissage, de grenailage, de nettoyage chimique et de polissage électrochimique.

Le matériau constitutif du disque peut être, par  
15 exemple, un matériau de référence IN 100 (marque déposée de la société International Nickel Corporation) ayant la composition nominale suivante : 10% Cr, 15% Co, 3% Mo, 5,5% Al, 4,7% Ti, 0,18%C, 0,014% B, 0,06% Zr, 1% V, et le solde en nickel. Le disque est formé par forgeage, par exemple ainsi qu'il est  
20 décrit dans le brevet US-3 529 503, et les formes finales des saillies sont obtenues par usinage. Le matériau des ailettes peut être, par exemple, un matériau ayant la composition nominale suivante : 10% Cr, 5% Al, 1,5% Ti, 4% W, 12% Ta, 5% Co, et le solde en nickel, tel que décrit dans le brevet US-4  
25 209 348, et il est fourni sous forme monocristalline obtenue par des techniques bien connues des hommes du métier. La cavité dans chaque ailette monocristalline peut être réalisé par moulage, usinage, y compris par les techniques ECM et EDM à décharges électriques, ou une combinaison de ces différentes  
30 techniques.

La liaison est réalisée en utilisant une combinaison de la chaleur et de la pression. La liaison est effectuée dans une atmosphère sous vide ou inerte afin de supprimer toute oxydation. Le vide est de beaucoup préféré à cause de la possibilité de piègeage de gaz inerte dans le joint. La pression est appliquée perpendiculairement aux surfaces affleurantes 14 et 24 devant être jointes l'une à l'autre et elle peut être avantageusement produite par des moyens hydrauliques. Des pressions de liaison de l'ordre de 20,67 à 103,35 MPa sont appropriées, bien que la pression de liaison exacte exigée dépende des matériaux spécifiques utilisés et de la température de l'opération de liaison. Les pressions de liaison sont basées sur l'aire de la saillie, c'est-à-dire l'aire du joint 12 ou 14 sur la figure 1. Un chauffage localisé des surfaces affleurantes 12 et 14 est obtenu en faisant passer un courant électrique élevé entre l'ailette et le disque. Le courant peut être continu ou alternatif et en pratique un cycle de chauffage spécifique dont les détails varient d'une application à l'autre, arrivera sans aucun doute à un stade optimisé pour produire des joints à haute résistance d'une manière répétable. Pour ces matériaux particuliers la température appropriée de l'opération de liaison va de 982°C à 1120°C. Une gamme de températures plus large va de 927°C à 1205°C. La température spécifique sélectionnée est une température à laquelle le matériau du disque se ramollit (comme il a été indiqué précédemment), alors que le matériau de l'ailette ne se ramollit pas. Une densité de courant typique, assurant le chauffage nécessaire, va d'environ 558A/cm<sup>2</sup> à 620A/cm<sup>2</sup> et elle est appliquée pendant une période de temps allant d'environ 0,5 à 4 heures. Dans certaines conditions, liées principalement à la géométrie des parties, le chauffage

par passage d'un courant peut être remplacé par un chauffage à induction.

Il entre dans le cadre de l'invention d'utiliser un four conventionnel afin de chauffer l'ensemble du disque et des ailettes à une température élevée (toutefois inférieure à la température désirée pour l'opération de liaison) et d'utiliser ensuite un chauffage par résistance ou induction afin de fournir le chauffage additionnel localisé nécessaire pour l'opération de liaison. Il entre également dans le cadre de l'invention d'utiliser des couches isolantes électriquement, appliquées localement, entre la saillie du disque et l'ailette, afin de localiser et de contrôler le passage du courant électrique.

Ce chauffage localisé, en combinaison avec la pression appliquée dont il a été question précédemment, provoque un ramollissement localisé et une déformation de la portion en saillie du disque à cause de ses propriétés de moindre résistance à haute température, et il provoque la liaison entre les surfaces affleurantes, comme il est illustré sur la figure 2.

A cause de la nécessité de réduire le poids, les portions latérales du monocristal qui étaient présentes initialement pour définir une cavité, sont généralement éliminées par les techniques d'usinage conventionnelles, afin de donner ensuite l'ensemble assemblé tel qu'illustré sur la figure 3, dans lequel la portion monocristalline est reliée par voie métallurgique à la saillie du disque.

Naturellement des variantes géométriques sont possibles. En particulier on peut prévoir, à la place d'une pluralité de saillies individuelles, une saillie ou bordure continue unique s'étendant tout autour de la périphérie du

disque, cette saillie coopérant avec des ailettes présentant des évidements en forme de fentes. De même, alors que la description précédente a impliqué qu'une ailette unique serait reliée à une saillie, une pluralité d'ailettes pourraient être  
5 coulées d'une seule pièce, ou bien encore coulées individuellement et reliées les unes aux autres ensuite, afin de constituer un paquet d'ailettes qui pourraient être alors reliées simultanément à un disque. Le paquet d'ailettes monocristallines pourrait comporter des cavités multiples ou  
10 une cavité unique.

## REVENDEICATIONS

1.-Procédé de fabrication d'un rotor à ailettes intégrales caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

a) former une cavité (12) dans la partie constituant la  
5 racine d'au moins une ailette (10) en superalliage monocristallin;

b) former une pluralité de saillies (22) sur la  
périphérie d'un disque (20) en superalliage polycristallin, ces  
saillies (22) étant façonnées de manière à correspondre  
10 étroitement aux cavités (12) des ailettes (10);

c) assembler au moins une ailette (10) sur au moins une  
saillie (22) du disque (20);

d) presser l'ailette (10) et le disque (20) l'un contre  
l'autre;

15 e) chauffer localement la cavité (12) de l'ailette (10)  
et la saillie (22) du disque (20) à une température élevée et;

f) maintenir l'ensemble disque (20)- ailette (10)  
assemblés dans des conditions de chaleur et de pression jusqu'à  
leur liaison ait lieu.

20 2.- Procédé suivant la revendication 1 caractérisé en  
ce qu'on enlève, après l'opération de liaison, une portion du  
monocristal définissant la cavité (12).

3.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications  
précédentes caractérisé en ce qu'on effectue la liaison à une  
25 température comprise entre 927°C et 1205°C, sous une pression  
appliquée allant de 20,67MPa à 103,35MPa.

4.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on effectue un chauffage local en faisant passer un courant électrique entre les pièces.

5.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 5 1 à 3 caractérisé en ce qu'on effectue un chauffage local par des moyens de chauffage à induction.

6.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on effectue l'opération de liaison sous vide.

10 7.- Procédé de jonctionnement d'une pièce (10) en superalliage monocristallin présentant une cavité (12) et d'une pièce (20) en superalliage polycristallin présentant une saillie (22) de forme correspondant à celle de la cavité (12), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

15 a) assembler les pièces de telle façon que la saillie (22) s'engage étroitement dans la cavité (12);

b) appliquer une pression pour solliciter les pièces monocristalline et polycristalline l'une contre l'autre; et

20 c) chauffer localement la cavité (12) et la saillie (22) à une température élevée, la pression et la température étant choisies de manière à assurer la liaison entre les pièces.

8.- Procédé suivant la revendication 7 caractérisé en ce qu'on effectue la liaison à une température comprise entre 25 927°C et 1205°C, sous une pression appliquée allant de 20,67MPa à 103,35MPa.

9.- Procédé suivant la revendication 7 caractérisé en ce qu'on effectue l'opération de liaison sous vide.

30 10.- Procédé de jonctionnement d'une pièce (10) en superalliage monocristallin contenant une cavité (12) et d'une pièce (20) en superalliage polycristallin présentant une

saillie (22) de forme correspondant à celle de la cavité (12), ce monocristal ayant une première température de ramollissement et la pièce polycristalline ayant une seconde température de ramollissement, cette première température de ramollissement étant supérieure à cette seconde température de ramollissement, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

a) assembler les pièces de telle façon que la saillie (22) s'emboîte étroitement dans la cavité (12); et

b) chauffer la cavité (12) et la saillie (22) à une température comprise entre les première et seconde températures de ramollissement, tout en pressant simultanément les deux pièces l'une contre l'autre si bien que le matériau polycristallin se conforme étroitement au matériau monocristallin et se lie à celui-ci.

11.- Procédé suivant la revendication 10 caractérisé en ce qu'on effectue un chauffage local en faisant passer un courant électrique entre les pièces.

12.- Procédé suivant la revendication 10 caractérisé en ce qu'on effectue l'opération de liaison sous vide.

planche unique

