



(51) Classification internationale des brevets :
C22F 1/18 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2010/052239

(22) Date de dépôt international :
20 octobre 2010 (20.10.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0957356 20 octobre 2009 (20.10.2009) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
AUBERT & DUVAL [FR/FR]; Tour Maine
Montparnasse, 33 avenue du Maine, F-75755 Paris Cedex
15 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DAFFOS,
Christophe [FR/FR]; Appt. 4, 11 rue Lakanal, F-09100

Pamiers (FR). MIQUEL, Michel [FR/FR]; Rue des
Rouges Gorges, F-09100 Pamiers (FR). FOUCHER,
Laurent [FR/FR]; 17 route de Villeneuve, F-09100
Pamiers (FR). ALBERT, Vincent [FR/FR]; 1 lot. Feou,
F-09120 Saint Felix De Rieutord (FR).

(74) Mandataires : PORTAL, Frédéric et al.; Cabinet Beau
De Loménie, 158 rue de l'Université, F-75340 Paris
Cedex 07 (FR).

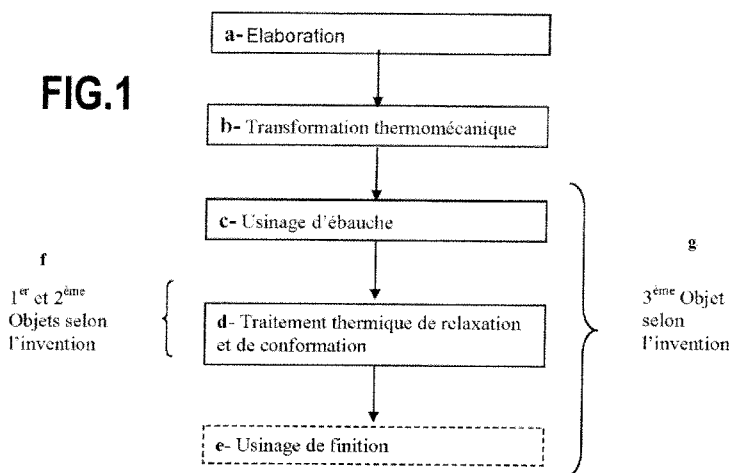
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Titre : THERMAL STRESS-RELIEF TREATMENT

(54) Titre : TRAITEMENT THERMIQUE DE RELAXATION.

FIG.1



- a Production
- b Thermomechanical processing
- c Rough machining
- d Thermal stress-relief and shaping treatment
- e Final machining
- f 1st and 2nd objects according to the invention
- g 3rd object according to the invention

(57) Abstract : The invention relates to a method for preparing a part made of a titanium alloy, including thermal treatment to relieve the internal stress of the part, the thermal treatment including maintaining the part at a temperature "T1" that is higher than the beta transus (beta transition) temperature - the so-called "Tbt" - and the part remaining free to deform by means of creeping. The invention also relates to a tool for implementing said method.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de préparation d'une pièce en alliage de titane, comprenant un traitement thermique pour relaxer les contraintes internes de la pièce, le traitement thermique comprenant un maintien à une température « T1 » supérieure à la température de beta transus (transition beta), le dite « Tbt » et la pièce étant libre de se déformer par fluage. L'invention concerne également un outillage pour mettre en œuvre ce procédé.



(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

Traitement thermique de relaxation

L'invention concerne un traitement thermique de relaxation des contraintes et un outillage de conformation pour réaliser ce traitement thermique
5 de relaxation.

L'invention a trait en particulier à un procédé de traitement thermique pour des pièces élancées ou encore des pièces plus massives mais comportant des variations de sections importantes en alliage de titane notamment du type alpha-beta c'est à dire dont la microstructure présente à température ambiante à
10 la fois de la phase Alpha et de la phase Beta. Un alliage alpha-beta répandu est notamment l'alliage connu sous les désignations commerciales TA6V ou TA6V4 ou encore Ti-6Al-4V.

ETAT DE L'ART

15

Les alliages de Titane alpha-beta et notamment de type TA6V permettent de réaliser des pièces ayant un bon compromis entre résistance mécanique et ténacité, en plus de leur faible densité et de leur bonne résistance à la corrosion. Du fait des propriétés mécaniques qu'il est possible d'atteindre, les
20 alliages de type TA6V sont utilisés dans divers domaines d'application notamment dans le domaine aéronautique pour réaliser des grandes pièces telle que des longerons de mâts réacteurs, des éléments de cadre de porte d'aéronefs ou encore des éléments de cadre de structure pour aéronefs.

Ces pièces sont typiquement obtenues par une succession d'étapes de
25 forgeage et matriçage, traitements thermiques et usinage.

Les grandes pièces précitées sont typiquement soit:

- des pièces élancées c'est-à-dire possédant un élanement important
30 qui est en particulier tel que le rapport longueur/épaisseur moyenne ou longueur/diamètre moyen est supérieur à 10. Des pièces élancées du type visé

peuvent atteindre 5 mètres de longueur pour une épaisseur moyenne inférieure 100 mm, avec ou sans variation de section ; soit

- des pièces plus massives mais avec des différences de sections importantes, c'est-à-dire avec des variations de section ayant des rapports de sections supérieurs à 2/1. Par pièce « plus massive » on entend une pièce dont les dimensions (diamètre, épaisseur, longueur...) sont telles que le diamètre de la plus grande sphère susceptible d'être inscrite dans le volume de la pièce est supérieur à 150 mm. On parle également de « diamètre équivalent » supérieur 150 mm. En particulier, il peut s'agir d'éléments de cadre de structure dont le diamètre équivalent maximal peut atteindre 250 mm.

Les géométries particulières de ces grandes pièces favorisent, après traitements thermomécaniques, opérations usinages et/ou traitements thermiques habituels, l'apparition de contraintes internes d'origine thermique ou cristallographique ainsi que des distorsions et déformations de la pièce.

- Il s'agit de réels problèmes auxquels sont confrontés les industriels mettant en œuvre des procédés de transformation thermomécaniques et d'usinage dans le but d'obtenir à partir de billettes en alliage titane des grandes pièces qui doivent présenter des propriétés mécaniques élevées et respecter des tolérances dimensionnelles précises.

- En effet, plus la pièce est élancée et/ou comporte des différences de sections importantes et plus la pièce aura tendance à se déformer lors des étapes de refroidissements ou se fissurer et rompre prématurément dès qu'elle est sollicitée thermo-mécaniquement. Par exemple, plus la pièce comporte des différences de sections importantes et plus l'hétérogénéité des vitesses de refroidissement est importante d'une section à une autre (vitesse de refroidissement plus rapide au cœur d'une petite section qu'au cœur d'une section plus massive) et plus les concentrations de contraintes aux variations de section sont importantes.

- Du fait de ces problèmes, il est aujourd'hui difficile pour ces types de pièces, de respecter les tolérances dimensionnelles précises et d'atteindre des propriétés mécaniques élevées.

Pour pallier à ces inconvénients, il est connu de mettre en œuvre au cours ou après les étapes de transformation thermo-mécaniques (forgeage et / ou matriçage) des refroidissements lents soit :

- 5- en faisant un refroidissement contrôlé en gardant les pièces dans un four, ou encore
- en laissant les pièces refroidir dans des caissons isolés thermiquement.

Ces refroidissements lents, qui sont réalisés à des vitesses inférieures à 5°C /
10 minute, sont coûteux en terme d'énergie utilisée et en terme d'immobilisation de matière et des outillages. Le fait de devoir refroidir lentement les pièces abaisse considérablement la productivité des installations.

Avant les opérations d'usinage d'ébauche et de finition et pour palier à ces inconvénients, il est également connu de mettre en œuvre un traitement
15 thermique Alpha-Beta (inférieur à 730°C) dit de détensionnement, également connu sous le nom traitement de relaxation des contraintes, pour réduire les contraintes d'origine thermiques ou cristallographiques à l'intérieur de la pièce pour éviter que la pièce ne se déforme lors des opérations d'usinage.

Cependant, ce type de traitement de relaxation ne permet pas de
20 supprimer l'ensemble des contraintes thermiques et peut parfois en introduire des nouvelles si le refroidissement est trop rapide et en fonction de l'importance des variations de section (différences de massivité) et/ou des différences de vitesse refroidissement à l'intérieur de la pièce.

Pour ces grandes pièces requérant d'importantes propriétés mécaniques
25 (et spécifiquement en tolérance au dommage (c'est-à-dire en résistance en propagation de fissures)) il est connu de réaliser en plus un traitement thermique d'amélioration des caractéristiques mécaniques. Ce traitement a pour but d'améliorer les caractéristiques mécaniques de l'alliage et comprend généralement le maintien de la pièce dans une position déterminée (souvent
30 grâce à des outils de bridage). Il s'agit d'un traitement dit « traitement Beta », c'est-à-dire au-dessus de la température de beta transus. Ce traitement permet

d'obtenir une structure à gros grains permettant notamment d'améliorer les caractéristiques de résistances aux propagations de fissures. Cependant ce traitement également réalisé avant les opérations d'usinage a comme inconvénient connu de déformer la pièce soit, par fluage, lors du traitement
5 proprement dit au-dessus du beta transus soit lors du refroidissement depuis cette température.

C'est donc pour éviter ce problème de déformation non-contrôlé lors du traitement beta que la pièce est contrainte par des brides ou tout autre outillage permettant d'empêcher des variations relatives des dimensions de la pièce. Mais
10 une contrepartie conduit à l'introduction de nouvelles contraintes à l'intérieur de la pièce qui sont difficiles à supprimer même en mettant en œuvre après un traitement thermique Alpha-Beta de relaxation tel que celui précité. Une conséquence est que lors des opérations d'usinage ultérieures les contraintes internes qui se sont accumulées en plus de celles issues des traitement-
15 thermomécaniques précédents peuvent se libérer et entraîner des déformations plus importantes de la pièce ou entraîner sous l'effet des pressions supplémentaires exercées par les outils de coupe des micro-fissurations ou déchirures de la pièce aux zones de la pièce les plus chargées en contraintes.

Par ailleurs et dès que les brides sont libérées après traitement thermique
20 beta, la pièce débridée a tendance à se re-déformer sous l'effet des contraintes internes emmagasinées. Ainsi avant la mise en œuvre des opérations d'usinage les pièces sont généralement déformées et de manière différente d'une pièce à une autre de telle sorte que les paramètres et référentiels d'usinage doivent être adaptés d'une pièce à une autre pour éviter d'obtenir une pièce qui ne respecte
25 pas les tolérances dimensionnelles finales requises.

BUTS DE L'INVENTION

L'invention a pour but de pallier aux inconvénients précités et de proposer
30 un procédé de traitement thermique de relaxation des contraintes qui permet d'obtenir des pièces qui respectent les tolérances dimensionnelles finales

requisies et qui sont dépourvues de contraintes internes résiduelles tout en permettant d'atteindre les propriétés mécaniques prescrites.

Un deuxième but de l'invention est de résoudre le nouveau problème technique consistant en la fourniture d'un outillage de conformation permettant à
5 des pièces en alliage de titane de se conformer, à température de traitement, à une empreinte calibrée et de la refroidir sans génération de contraintes thermiques internes et sans déformation, ou avec un minimum de contraintes et déformation, c'est-à-dire de manière significativement inférieure aux contraintes induites par un traitement classique de relaxation des contraintes.

10 L'invention a également pour but de résoudre le nouveau problème technique consistant en fournir un procédé de préparation d'une pièce d'alliage de titane comprenant une étape de transformation thermomécanique et un usinage mais sans qu'il soit nécessaire de mettre en œuvre au préalable une étape de traitement de relaxation.

15

DESCRIPTION DE L'INVENTION

A cet effet, l'invention a pour premier objet un procédé de préparation d'une pièce en alliage de titane, caractérisé en ce que le procédé comprend un
20 traitement thermique pour relaxer les contraintes internes d'une pièce en alliage de titane, par exemple ayant préalablement subi une ou plusieurs étapes de transformation thermomécanique, notamment provoquant des contraintes internes, le procédé étant caractérisé en ce que le traitement thermique comprend un maintien à une température « T1 » supérieure à la température de
25 beta transus (transition beta) dite « Tbt », et en ce que la pièce est libre de se déformer par fluage.

Selon une variante, l'alliage de titane est de type alpha-beta, et en particulier de type TA6V.

Avantageusement, le maintien à la température T1 est réalisé pendant un
30 temps suffisant pour permettre la pleine transformation de la microstructure de l'alliage d'une structure hexagonale compacte à une structure cubique centrée.

De préférence, la température T1 est supérieure d'au moins 5°C à Tbt, et de préférence supérieure d'au moins 10°C à Tbt, et encore de préférence, le procédé comprend un maintien à la température T1 pendant une durée de 5 à 120 minutes, et de préférence pendant 15 à 60 minutes, et de préférence à une
5 température de 1010°C à 1060°C notamment pour un alliage de type TA6V.

Suite au maintien à la température T1, on peut effectuer un refroidissement avec une vitesse de refroidissement supérieure à 5°C/min, de préférence supérieure ou égale à 10°C/min, de préférence comprise entre 10 et 20°C/min, comme par exemple à l'air, de préférence en dehors du four de
10 traitement.

Selon une variante, la pièce en alliage de titane est disposée pour le traitement de relaxation des contraintes dans un outillage de conformation comprenant une ou plusieurs empreintes calibrées pour recevoir une pièce à relaxer, ledit outillage de conformation étant réalisé de préférence d'au moins un
15 matériau unique ou composite dont l'inertie thermique est supérieure à celle du titane, ou de l'alliage de titane utilisé, et dont les variations dimensionnelles liées au fluage à la température T1 sont quasi inexistantes (inférieure à 2 mm en flèche), voire nulles.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, l'outillage de conformation est réalisé en béton ou en béton composite, de préférence
20 comprenant des fibres courbes d'acier inoxydable dont la distribution dans le matériau est isotrope.

L'invention concerne aussi un procédé de préparation d'une pièce en alliage de titane comprenant une ou plusieurs étapes d'usinage d'ébauche
25 préalablement à l'étape de traitement thermique de relaxation des contraintes qui comprend un maintien à une température « T1 » supérieure à la température « Tbt ».

Dans la présente demande, on entend par « une ou plusieurs étapes d'usinage d'ébauche » des usinages permettant de retirer sur une ou plusieurs surfaces
30 données de la pièce au moins 70% de surépaisseurs de matière.

De manière différente et telles que décrites ci-après, des étapes d'usinage de finition sont quant à elles mises en œuvre pour obtenir le dimensionnel final de la pièce et l'état de surface final requis en supprimant les surépaisseurs restantes soit moins de 30% par rapport aux surépaisseurs de départ avant 1^{ère} étape d'usinage.

Avantageusement, la ou les étapes d'usinage d'ébauches sont mis en œuvre pour traiter la quasi-totalité voire la totalité des surfaces de la pièces.

10 Avantageusement l'usinage d'ébauche est réalisé sur une pièce qui n'a pas subi de traitement de relaxation des contraintes, notamment par un maintien à une température inférieure à Tbt, et typiquement inférieure à 730°C.

Avantageusement, lors de l'étape d'usinage la pièce est plaquée et conformée contre au moins un support de référence.

15 Selon un mode de réalisation particulier, la pièce est plaquée et conformée contre ledit support de référence par plaquage contre le support de référence d'une ou plusieurs bavures formées autour de la pièce et issues d'une étape amont de matriçage.

Après traitement thermique de relaxation des contraintes selon
20 l'invention, le procédé peut comprendre une ou plusieurs étapes d'usinage de finition de la pièce en alliage de titane permettant de traiter une ou plusieurs surfaces de la pièce pour éliminer les pollutions superficielles, obtenir une rugosité déterminées et atteindre les cotes finales de la pièce.

Typiquement, la pièce est une pièce élancée telle qu'un longeron de mât réacteur, un élément de cadre de porte ou un élément de cadre de structure pour aéronef.

L'invention concerne également, un outillage de conformation comprenant une zone de conformation comprenant une ou plusieurs empreintes calibrées pour conformer par fluage une ou plusieurs pièces élancées et/ou avec des différences de sections importantes d'alliage de titane , ledit outillage de
30 conformation étant constitué d'au moins un matériau unique ou composite dont

l'inertie thermique est supérieure à celle du titane ou de l'alliage de titane et dont les variations dimensionnelles liées au fluage à une température de 1060°C sont quasi inexistantes, voire nulles.

Selon un mode de réalisation, l'outillage est constitué de béton et
5 comprend éventuellement en outre des fibres courbes d'acier inoxydable distribuées de manière isotrope dans le béton.

Avantageusement, l'outillage est dimensionné de telle sorte que les vitesses de refroidissement soient sensiblement constantes d'une tranche, pièce plus outillage, à une autre.

10 Selon un mode de réalisation préféré, la zone d'empreinte est calibrée pour conformer par fluage une pièce une pièce élancée présentant un élanement supérieur à 10 et/ou différentes sections dont la variation de section est supérieure à 2/1, et de préférence pour recevoir un longeron de mât réacteur, un élément de cadre de porte ou un élément de cadre de structure
15 pour aéronef.

Avantageusement, l'alliage de titane est de type alpha-beta, et de préférence, est un alliage TA6V.

Selon un mode de réalisation particulier, l'empreinte comprend au moins deux surfaces d'appui sur lesquelles la pièce à relaxer peut reposer au moins
20 partiellement, de préférence lesdites surfaces d'appui étant disposées de manière à ce que lorsque l'on réalise un maintien à une température supérieure T1 supérieure à la température Tbt d'une pièce en alliage de titane, ladite pièce peut se positionner par fluage avec un contact plus important, quasi-total, voire total, sur les surfaces d'appui, pour corriger les déformations telles que les
25 défauts de cambrure ou de torsions liés à une étape préalable de préparation de la pièce à conformer, notamment lors d'une transformation thermomécanique, un refroidissement, ou un usinage.

Avantageusement, l'empreinte comprend une butée de positionnement formée dans chaque empreinte calibrée, l'autre extrémité de l'empreinte étant
30 libre, c'est-à-dire sans butée, pour permettre à la pièce de se déformer librement par fluage ou comprend une butée positionnée en tenant compte du fluage et du

coefficient de dilatation thermique de la pièce à relaxer avant et après traitement thermique de relaxation, notamment pour permettre une déformation libre par fluage.

De manière alternative l'empreinte comprend un repère visuel permettant
5 de positionner la pièce dans l'empreinte calibrée.

L'invention concerne donc également un procédé de préparation d'un pièce en alliage de titane mettant en œuvre l'outillage de l'invention, et notamment tel que défini à l'une quelconque des revendications 17 à 25.

10 **DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION**

L'invention concerne un procédé de traitement thermique pour relaxer les contraintes thermiques dans une pièce en alliage de titane ayant subi une ou plusieurs étapes de transformation thermomécaniques caractérisé en ce que la
15 pièce est libre de se déformer par fluage et le traitement thermique est réalisé à une température supérieure à la température de beta transus (transition beta) de l'alliage pour relaxer les contraintes c'est-à-dire au dessus du point où la phase Alpha disparaît complètement au profit de la phase Beta et où la microstructure est transformée en une structure de type cubique centrée.

20 Dans l'invention on entend par « fluage » la déformation d'une pièce induite, pendant le maintien à la température supérieure à celle de beta transus, par le poids propre du matériau ou encore en exerçant une contrainte constante sur la pièce en appliquant une charge sur cette dernière.

Le traitement thermique selon l'invention permet à la fois d'obtenir une
25 structure à gros grains pour améliorer les caractéristiques de résistances aux propagations de fissures et la relaxation des contraintes internes d'origines thermiques et cristallographiques en laissant la pièce libre de se déformer sans utilisation d'outillages spécifiques, telles que des brides, qui par une pression extérieure sur la pièce permettent de contraindre celle-ci dans une forme
30 prédéterminée. On entend par « structure à gros grains » une structure qui

typiquement possède une structure de grains quasi-isotropes de taille inférieure à environ moins 3 ASTM avec des zones de grains à moins 5 ASTM.

Ainsi et grâce au traitement thermique (TTH) selon l'invention, toutes les contraintes internes résiduelles peuvent être supprimées de telle sorte qu'aucune
5 gestion spécifique des contraintes n'est nécessaire avant le traitement thermique car les contraintes thermiques sont supprimées lors du traitement thermique selon l'invention. Il n'est, par exemple, pas nécessaire de veiller à supprimer ou limiter l'apparition de contraintes internes, de mettre en œuvre des refroidissements lents ou des traitements de relaxation spécifiques avant des
10 opérations d'usinages (d'ébauche).

En chauffant l'alliage à une température qui est supérieure à la température de beta transus l'alliage subit une transformation allotropique où la phase Alpha de structure cristallographique hexagonale compacte se transforme en phase cubique centrée dite phase Beta. Lors de cette transformation les
15 contraintes résiduelles, notamment apparues dans la pièce lors des précédentes étapes de transformation thermo-mécaniques, et qui sont d'origines thermiques et cristallographiques sont libérées. Par ailleurs, dans une structure cubique centrée, la mobilité des dislocations est plus grande ce qui favorise également la libération des contraintes internes.

20 Cette relaxation complète des contraintes contribue à éviter lors du refroidissement, depuis la température de traitement selon l'invention, et ultérieurement lorsque la pièce est sollicitée mécaniquement et/ou thermiquement, des déformations de la pièce, des tapures ou l'apparition prématurée de fissures dans la pièces.

25 Pour la mise en œuvre du traitement thermique selon l'invention la pièce est déposée dans une empreinte calibrée formée sur un outillage de conformation supportant au moins une pièce et pendant le traitement thermique la pièce se conforme par fluage à l'empreinte calibrée.

En plus des avantages précités, la structure Cubique centrée est propice
30 au fluage de la pièce. Ainsi, le traitement thermique selon l'invention et de manière contraire à la pratique, est mis en œuvre en laissant la pièce libre de se

déformer par fluage de manière à ce que sous l'effet de son propre poids ou le cas échéant en appliquant une charge supplémentaire, la pièce puisse se déformer pour épouser parfaitement la forme d'une empreinte calibrée réalisée dans l'outillage supportant la pièce et correspondant à la forme finale de la pièce
5 requise.

Comme on l'aura compris, au cours du traitement thermique selon l'invention on n'empêche pas la pièce de se déformer en la contraignant à l'aide par exemple de brides mais au contraire on laisse la pièce se déformer librement
10 par fluage de telle sorte que la pièce vienne librement (sans contrainte) épouser une empreinte qui est elle calibrée.. Ainsi les pièces se déformant par fluage peuvent être facilement conformées à l'empreinte calibrée pour prendre la forme de la pièce finale visée tout en permettant de supprimer les contraintes internes et en évitant d'en générées des nouvelles.

15

Dans le cadre de l'invention les empreintes calibrées permettent de contrôler la déformation des pièces par fluage. Les empreintes calibrées sont dimensionnées pour que la forme et les dimensions de la pièce obtenue après conformation soient celles de la pièces finales moins les usinages de finition.
20 Les dimensions de l'empreinte calibrée sont déterminée par simulation numérique en fonction de la forme de la pièce finale à obtenir, des cinétiques de fluage du titane ou de l'alliage de titane et en prenant en compte le différentiel de dilatation, au voisinage de 1000°C, entre le béton et l'alliage de titane considéré.

25 De manière avantageuse la température de traitement thermique est maintenue 5 à 120 minutes au-dessus de la température de beta transus + 5°C et de préférence entre 15 et 60 minutes de 1010°C à 1060°C par exemple pour un alliage Alpha-beta de type TA6V, tel que ci-après défini, dont le beta transus est compris, en fonction de la composition exacte de l'alliage, entre 980 et
30 1000°C. La température et la durée de traitement dépendent de la composition exacte de l'alliage.

Un alliage $\alpha + \beta$ répandu est notamment l'alliage précité connu sous les désignations commerciales TA6V ou TA6V4 ou encore Ti-6Al-4V dont la composition décrite en pourcentage en poids par rapport au poids total de l'alliage est typiquement la suivante :

- 5- $5,50 \leq Al \leq 6,75$
- $3,50 \leq V \leq 4,50$
- $\text{traces} \leq Fe \leq 0,30$
- $\text{traces} \leq O \leq 0,20$
- $\text{traces} \leq C \leq 0,08$
- 10- $\text{traces} \leq N \leq 0,05$
- $\text{traces} \leq H \leq 0,0125$
- $\text{traces} < Y < 0,005$

le reste étant constitué de Titane et d'impuretés résultant de l'élaboration ;

et de préférence un alliage de titane conforme à l'AMS 4928 GR5 (Aero Material

15 Specification).

Par ailleurs, la température mini de traitement est déterminée pour permettre la pleine transformation allotropique d'une microstructure Hexagonale Compacte à une microstructure Cubique Centrée et pour obtenir une mésostructure en grains Beta. La température maximum de traitement est quant
20 à elle déterminée pour éviter une cinétique de croissance en gros grains avec dans certaines zones de la microstructure une explosion de la taille des grains qui serait néfaste pour l'obtention de bonnes propriétés mécaniques telles que la résistance à la rupture en traction et résistance à la fatigue....

La durée de traitement dépend de la massivité de la pièce. En effet, plus
25 le diamètre équivalent de la pièce est important et plus la durée de traitement est importante. Typiquement pour une pièce en TA6V dont le diamètre équivalent serait de 15 à 30 mm la durée de traitement est de 20 à 40 minutes de manière à permettre la totale mise en solution de la phase beta dans la pièce, la suppression dans la pièce des contraintes thermiques résiduelles et pour
30 permettre à la pièce de fluer et de se conformer parfaitement à l'empreinte

calibrée de l'outillage. Dans un autre exemple : pour une pièce de diamètre équivalent de 80 mm, la durée de traitement est d'environ 1 heure.

La durée de traitement correspond à la durée pendant laquelle le cœur de la pièce sera à température de palier thermique.

- 5 De préférence la pièce est refroidie depuis la température de traitement selon l'invention jusqu'à température ambiante à une vitesse supérieure à 5°C par minute et de préférence supérieure à 10°C par minutes. Les pièces sont typiquement refroidies à l'air en dehors du four de traitement.

- 10 Lors du refroidissement de la pièce traitée depuis une température supérieure au beta transus, l'alliage va traverser le domaine de transformation Alpha-beta au cours duquel la phase Alpha réapparaît. Les inventeurs ont pu constater que dans des alliages de type alpha-beta comme le TA6V et lorsque les vitesses de refroidissement sont trop lentes la germination de la phase Alpha se fait essentiellement aux joints de grains Beta (germination inter-granulaires) sous
- 15 forme de lamelles initiées aux joints de grain beta (connue sous le nom de morphologie Widmanstätten inter-granulaire) et en lamelles épaisses intra-granulaires. A des vitesses de refroidissements supérieures à 5°C / minute, la phase Alpha apparaît avec une morphologie en aiguilles fines intra-granulaire et entrecroisées. Les aiguilles fines s'entrecroisent de manière aléatoire de telle
- 20 sorte que la phase Alpha forme un réseau qui s'oppose à tous nouveaux mouvements de dislocations évitant ainsi à la pièce de se déformer lors de son refroidissement ou lorsque ultérieurement elle est sollicitée mécaniquement. Cette morphologie confère par ailleurs à la pièce de meilleures caractéristiques mécaniques notamment en résistance à la rupture en traction ($R_m > 900 \text{ MPa}$),
- 25 et confère une bonne tenue en propagation de fissures car le chemin de propagation des fissures est plus tortueux ainsi qu'une bonne ténacité.

- L'invention a pour deuxième objet un outillage de conformation sur lequel les pièces à conformer sont déposées. L'outillage se caractérise en ce qu'il est réalisé en un matériau dont l'inertie thermique est supérieure à celle du titane ou
- 30 de l'alliage de titane utilisé et qui ne flue pas jusqu'à des températures proches de 1060°C.

En effet , les inventeurs ont pu constater que grâce à un tel matériau il était possible d'obtenir un refroidissement rapide de la pièce (plus de 10°C par minute, ex : à l'air libre) qui soit homogène à l'intérieur de la pièce permettant d'obtenir des microstructures homogène de l'alliage en aiguilles fines enchevêtrées, et permettant d'éviter lors du refroidissement l'apparition de contraintes thermiques internes et des déformations non-maîtrisées de la pièce lors ou suite au refroidissement.

Dans un mode préféré selon l'invention l'outillage est en béton qui peut éventuellement contenir des fibres courbes en acier inoxydable et qui ont un coefficient de dilation plus important que le béton. De telles fibres permettent de rigidifier la structure de l'outillage (par contraction des fibres) de manière à éviter qu'il ne se déforme à haute températures sous le poids des pièces. On utilise de préférence un béton réfractaire. Le béton peut-être un béton du type BRRFM (Béton Réfractaire Renforcé de Fibres Métalliques) ayant une conductivité thermique d'environ $3,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (Watt / (Mètre *Degré Kelvin)), une chaleur massique mesurée à 500°C d'environ $1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (Joule / (Kilogramme * Degré Kelvin)) et une densité d'environ 3000 kg/m^3 .

L'outillage comporte des empreintes calibrées dans chacune desquelles une pièce à conformer est déposée pour obtenir après un traitement thermique selon le premier objet l'invention une pièce de forme déterminée, forme de la pièce moins les usinages de finition, dépourvue de contraintes (thermiques ou cristallographiques) internes résiduelles .

L'invention a pour troisième objet un procédé comprenant après transformation thermomécanique d'une part un traitement thermique conforme au premier objet de l'invention pour relaxer les contraintes résiduelles et conformer la pièce selon une forme prédéterminée et d'autre part une gamme d'usinage d'ébauche caractérisé en ce que la gamme d'usinage précède ladite gamme de traitement thermique et en ce que lors de l'usinage la pièce est plaquée et conformée contre un support de référence.

De manière contraire à la pratique courante, les inventeurs ont pu constater que grâce au traitement thermique selon le premier objet de

- l'invention, il était possible de réaliser l'usinage d'ébauche avant le traitement thermique de relaxation des contraintes dans la pièce. En effet, la pratique veut que les usinages d'ébauches et de finitions soient réalisés après les traitements thermiques de relaxation, sous la température de beta transus par exemple à des
- 5 températures inférieures à 730°C, pour usiner une pièce ayant au départ un minimum de contraintes internes résiduelles de manière à éviter de fissurer la pièce et qu'elle se déforme lors des opérations usinage. Par ailleurs les usinages sont réalisés après les derniers traitements thermiques pour supprimer les zones de surface contaminées (ex : oxydations de surfaces) suite aux traitements
- 10 thermiques. Avant usinage d'ébauche la pratique veut que la pièce soit également la moins déformée possible et dans une forme déterminée constante pour que les référentiels et paramètres d'usinage soient reproductibles d'une pièce à une autre et pour permettre de respecter les tolérances dimensionnelles requises pour la pièce finale. Il est connu, durant les étapes qui précèdent
- 15 l'usinage d'ébauche, d'essayer d'éviter de déformer la pièce en pratiquant des refroidissements lents et, pendant les phases de traitement thermiques, au-dessus du beta transus, visant à obtenir les propriétés mécaniques de l'alliage de maintenir la pièce dans une forme déterminée en contraignant celle-ci par exemple à l'aide d'outils de bridage.
- 20 Cependant ces refroidissements lents et ces traitements de relaxation pratiqués jusqu'alors n'étaient pas suffisants pour éliminer toutes les contraintes internes dans la pièce et pour conformer la pièce selon une forme déterminée. Par ailleurs le fait de contraindre la pièce selon une forme déterminée lors de traitements thermiques réalisés au-dessus de la température de beta transus
- 25 n'empêchait pas la pièce de se détendre et de se re-déformer une fois la pièce libérée de ses brides. Il arrive donc fréquemment qu'avant usinage la pièce à usiner contienne encore des contraintes internes et soit encore déformée malgré les précautions prises en amont. Il devient alors très difficile de respecter les tolérances dimensionnelles finales visées.
- 30 Par ailleurs, lors des opérations d'usinage, les outils de coupes exercent une pression importante sur la pièce qui génèrent des contraintes internes

supplémentaires surtout lorsqu'il s'agit d'opérations d'usinage d'ébauche où les paramètres d'usinage sont plus contraignants pour la pièce qu'en usinage dit de finition. En effet, pour les types de pièces précitées et lors des opérations d'usinage d'ébauche, les profondeurs de passes d'usinage sont généralement supérieures à celles pratiquées lors des opérations d'usinage de finition. En usinage d'ébauche les vitesses d'avance sont également plus rapide qu'en usinage de finition. Ces contraintes supplémentaires peuvent augmenter les déformations de la pièce ou provoquer des fissurations et/ou ruptures prématurées de la pièce notamment lorsque celle-ci est soumise ultérieurement à des contraintes thermo-mécaniques de fonctionnement.

Après des usinages d'ébauches et de finitions, il était donc fréquent d'être obligé de réaliser un nouveau traitement thermique de relaxation des contraintes.

Les inventeurs ont pu constater que lorsque le traitement thermique permettait de conformer efficacement la pièce selon une forme déterminée et permettait de réduire suffisamment les contraintes internes de manière à éviter que la pièce ne se re-déforme après traitement thermique ou ne fissure prématurément au cours de son utilisation, il n'était pas nécessaire avant le traitement thermique de procéder à une gestion spécifique des contraintes. Par conséquent les inventeurs ont pu déterminer qu'il était possible de réaliser l'usinage d'ébauche avant le traitement thermique de relaxation selon l'invention à condition de pouvoir respecter pour chaque pièce (ou au moins pour les surfaces principales de chaque pièce) pendant les opérations d'usinages d'ébauches, un dimensionnel déterminé et constant d'une pièce à une autre de manière à ce que les paramètres et référentiels d'usinage soient répétables d'une pièce à une autre et de manière à pouvoir respecter les tolérances dimensionnels requises pour la pièce finale.

Ceci est obtenu selon l'invention en plaquant et conformant la pièce contre un support de référence. Plus précisément et comme représenté en figure 7 (vue schématique où les bavures de matriçage (5) sont volontairement exagérées pour la bonne compréhension), il s'agit de la ou des bavures formées

autour de la pièce et issues de la dernière opération de matriçage qui sont pincées contre un ou plusieurs supports de référence pour permettre de conformer l'ensemble de la pièce. En effet en exerçant un ensemble de pressions ponctuelles sur les bavures, pour que les pièces soient plaquées et déformées
5 contre le ou les supports de référence, on provoque indirectement une conformation de l'ensemble de la pièce selon une géométrie déterminée et constante d'une pièce à une autre de telle sorte que :

- les pièces soient toujours usinées dans une position et à partir d'une géométrie donnée,
- 10 - les références d'usinage soient répétables d'une pièce à une autre, et afin que
- chaque pièce usinée puisse respecter les tolérances dimensionnelles finales requises.

La ou les bavures de la pièce sont plaquées contre le ou les supports de
15 référence à l'aide de brides (mécaniques ou hydrauliques) ou tout autres outillages permettant d'appliquer une série de pressions ponctuelles pour pincer les bavures de matriçage contre des appuis ponctuels formés sur le ou les supports. La position des appuis ponctuels détermine donc la géométrie de la pièce.

20 De manière contraire à l'usage, dans le cadre de l'invention les bavures ne sont pas supprimées après la dernière opération de matriçage pour offrir des zones de pincement entre les brides et le/les supports de référence, et de manière à conformer la pièce comme précité sans gêner les opérations d'usinage qui peuvent être réalisées de part et d'autre de la pièce et des bavures en une
25 seule fois, c'est-à-dire sans être obligé de désolidéraliser et repositionner la pièce entre deux étapes d'usinage. Par ailleurs, en pinçant les bavures de la pièce on évite de marquer/détériorer les surfaces fonctionnelles/utiles de la pièce.

A ce stade on précise qu'il est connu de l'art antérieur d'utiliser des brides et des outillages pour fixer et maintenir des pièces à usiner mais jusqu'à présent
30 il n'était pas connu de plaquer et conformer ces pièces contre un ou plusieurs

supports de référence en utilisant de surcroît les bavures de matriçage comme zone de pincement.

Les bavures sont supprimées après les étapes d'usinage d'ébauche et de préférence avant le traitement thermique de relaxation des contraintes. Les
5 bavures sont supprimées par exemple par usinage.

Après usinage, la pièce renferme une quantité importante de contraintes internes qui proviennent :

- des contraintes thermiques et cristallographiques résiduelles issues des étapes thermo-mécaniques et thermiques amonts,
- 10 - des contraintes dues au plaquage et la conformation (à température ambiante) de la pièce contre son support de référence lors de l'usinage, et
- des contraintes introduites par les outils de coupe lors des opérations d'usinage proprement dites.

15-

Du fait de ces contraintes et après usinage, lorsqu' on libère la pièce celle-ci se détend et se re-déforme. Cependant et grâce à l'efficacité du traitement thermique selon l'invention ces derniers défauts sont corrigés lors du traitement thermique selon l'invention qui permet à la pièce de retrouver une forme
20 calibrée avec une réduction importante des contraintes internes pour que la pièce ne se re-déforme pas et ne fissure pas prématurément lors du refroidissement ou ultérieurement lorsqu'elle est soumise à des sollicitations thermo-mécaniques de fonctionnement.

Lors du traitement thermique de relaxation, les pièces sont conformées
25 selon une empreinte calibrée formée dans un outillage de conformation.

Le traitement thermique est suivi d'une gamme d'usinage de finition dans laquelle les paramètres d'usinage (Profondeur de passe, vitesse de coupe, avance...) sont déterminés pour ne pas générer des contraintes à l'intérieur de la pièce qui pourraient entraîner des déformations ou des fissurations prématurées
30 de la pièce.

Les opérations d'usinage de finition génèrent peu de contraintes à l'intérieur de la pièce. Les profondeurs de passe et les vitesses d'avances sont plus faibles que lors des usinages d'ébauche. Après un tel usinage de finition, il n'est pas nécessaire de procéder à un traitement de relaxation des contraintes.

- 5 Par ailleurs, il est préférable de procéder à un usinage de finition après le traitement thermique selon l'invention pour obtenir un bon état de surface (rugosité et dureté) et supprimer les contaminations de surface générées lors du dernier traitement thermique.

- 10 D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront clairement à l'homme de l'art suite à la lecture de la description explicative qui fait référence à des exemples et figures qui sont donnés seulement à titre d'illustration et qui ne sauraient en aucune façon limiter la portée de l'invention.

- 15 Les exemples et figures font partie intégrante de la présente invention et toute caractéristique apparaissant nouvelle par rapport à un état de la technique antérieure quelconque à partir de la description prise dans son ensemble, incluant les exemples et les figures, fait partie intégrante de l'invention dans sa fonction et dans sa généralité.

Ainsi, chaque exemple ou figure a une portée générale.

- 20 D'autre part, dans la description la température est exprimée en degré Celsius sauf indication contraire, et la pression est la pression atmosphérique, sauf indication contraire.

L'invention va maintenant être décrite plus en détails à titre d'exemple non limitatif en se référant aux dessins ci-joints sur lesquels :

- 25- La figure 1 est un logigramme montrant des étapes successives mettant en œuvre un procédé conforme à l'invention pour obtenir une pièce en alliage de Titane ayant les propriétés mécaniques et dimensions finales requises
- La figure 2 est une vue isométrique 3 dimensions schématisée de l'outillage selon l'invention
- 30- La figure 3 correspond à l'outillage selon figure 1 sur lequel est disposé un élément de cadre de porte à traiter de forme schématisée.

- La figure 4 correspond à l'outillage selon figure 1 représenté selon une coupe transversale et sur lequel est disposé plusieurs éléments de cadre de porte.
- La figure 5 représente deux outillages selon l'invention sur une sole mobile sortie d'un four de traitement.
- Les figures 6a, 6b et 6c correspondent à l'outillage selon la figure 1 représenté selon une coupe longitudinale passant par une empreinte de calibration.
- La figure 7 représente une pièce (71) qui est plaquée et conformée contre un ou plusieurs support de référence (715) par pincement de sa bavure de matriçage (75). Les moyens de bridage ou brides (710a –position ouverte (A) et 710b position fermée (B)) permettent de maintenir la pièce (71) par pincement contre le/les supports de référence (715). Les brides de matriçage (710b) exercent un ensemble de pressions ponctuelles en position fermée (B). On note que le ou les supports de référence (715) présentent deux appuis ponctuels. L'utilisation d'un ou de plusieurs supports de référence (715) dépend généralement de la taille de la pièce.

Les procédés et outillage selon l'invention ont été mis en œuvre pour réaliser des éléments formant partie d'un cadre de porte pour aéronef. Ces éléments ont une forme courbe et élancée telle que schématisée en figure 3 avec une épaisseur moyenne typiquement de 25 mm, un diamètre équivalent de 50 mm, une longueur de 4 mètres et présente une cambrure simple. Nous faisons remarquer à ce stade que le procédé selon l'invention est adapté à des formes de pièces plus complexes présentant par exemple plusieurs cambrures avec éventuellement des surfaces vrillées.

Les éléments ont été réalisés à partir de lingots en alliage de Titane TA6V élaboré de manière standard (Figure 1 , étape « a » du logigramme).

La composition exacte du TA6V élaboré était la suivante :

- Al : 6,15
- V : 3,82
- Fe : 0,17
- 5- O : 0,15
- C : 0,05
- N : 0,02
- H : 0,005

le reste étant constitué de Titane et d'impuretés résultant de l'élaboration.

10

Les lingots ont ensuite été transformés par un traitement thermomécanique (cf figure 1 , bloc « b ») connu :

- *Séquences de refoulement-étirage entre 1100 et 1160°C, suivi de*
- *Séquences de refoulement-étirage à 1050°C environ, suivi de*
- 15 ➤ *Corroyage Alpha-Beta de 4 (réduction de section et augmentation de la hauteur H à $4 \cdot H$) entre 900 et 980°C.*

Après forgeage les billettes obtenues ont été débitées pour obtenir des billettes plus petites de volume déterminé correspondant au volume de la préforme de l'élément de cadre de porte avant usinage.

20

Ensuite les billettes de section circulaires ont été forgées pour obtenir des carrés qui ont été matricés en une ou plusieurs étapes pour obtenir des demi-produits ayant déjà une forme proche des pièces finies, ci-après désigné la « préforme » de l'élément de cadre de porte.

25

De manière contraire à ce qui était connu les bavures issues du matriçage ne sont pas supprimées suite à la dernière étape de matriçage mais préservées pour offrir des zones de pincement / bridage sur un support de référence lors de l'usinage.

A ce stade et du aux différentes étapes de transformation thermomécaniques, les préformes sont déformées, et renferment des contraintes internes.

30

Conformément à l'invention les préformes sont préparées pour subir les usinages d'ébauche. De manière contraire à la pratique, les usinages d'ébauche des préformes sont réalisés dans le cadre de l'invention avant le traitement thermique de relaxation des contraintes et de conformation (FIG 1, bloc « c » puis « d »). En effet, bien que les préformes renferment des contraintes internes résultant des étapes précédentes de transformation thermo-mécaniques, les inventeurs ont pu constater, qu'après une succession d'étapes de transformation standards pour ce type de pièces, les contraintes internes étaient suffisamment faibles pour ne pas provoquer d'endommagement des préformes ni risquer de ruptures prématurées des préformes au cours des opérations d'usinage d'ébauche.

Pendant les opérations d'usinage, les préformes (71) sont plaquées via leur bavure de matriçage (75) contre plusieurs supports de référence (715) à l'aide de brides (710a, 10b) (cf figure 7). Chaque bavure (75) est pincée entre des brides (710b, B position fermée) et des supports de référence (715) avec une force suffisante pour conformer les préformes (71) selon une géométrie déterminée. Le fait de pincer les bavures (75) et pas directement chaque préforme (71) permet de conformer cette dernière sans marquer les surfaces fonctionnelles de la préforme (71) et sans gêner les déplacements des outils de coupe lors des usinages proprement dits. Cette conformation permet de préserver une géométrie constante d'une préforme à une autre de telle sorte que les paramètres et référentiels d'usinage soient répétables d'une préforme à une autre et d'une série de préformes à une autre pour respecter les tolérances dimensionnelles requises sur la pièce finale.

Une fois les usinages d'ébauche réalisés les préformes (71) sont libérées des brides (710a, position A- ouverte) et se détendent pour reprendre une forme déformée (voir jeu « J » figures 6a et 6b).

Les préformes usinées (20, 320, 420, 620) sont ensuite préparées pour subir le traitement thermique de relaxation des contraintes et de conformation selon le premier objet de l'invention (FIG 1, bloc « d »). Les préformes usinées (20, 320, 420, 620) sont déposées (cf figures 2, 3 et 4) dans des empreintes

calibrées (15, 315, 415, 615) formées dans un outillage de conformation (10, 310, 410, 610). Les empreintes calibrées (15, 315, 415, 615) comprennent des surfaces (317, 318, 417, 418, 617) déterminées qui correspondent aux formes de l'élément de cadre de porte final à obtenir. Dans le présent exemple et comme
5 on peut le constater sur la figure 4, chaque empreinte calibrée (415) présente 2 surfaces principales d'appui (417, 418) sur lesquelles chaque préforme usinée (420) repose au moins partiellement (car pièce déformée à ce stade cf figures 6a et 6b). En fonction de la géométrie plus ou moins complexe de la pièce à conformer il peut y avoir une ou plusieurs surfaces principales d'appui.

10 Conformément au deuxième objet selon l'invention l'outillage est réalisé en matériau composite en béton dans lequel sont noyées des fibres courbes en acier qui renforcent l'outillage aux hautes températures. Cet outillage permet comme précédemment indiqué de réaliser un refroidissement rapide et homogène des préformes usinées-traitées permettant d'obtenir des
15 microstructures homogène de l'alliage en aiguilles fines enchevêtrées conférant des propriétés mécanique améliorées et permettant d'éviter lors du refroidissement l'apparition de contraintes thermiques internes et des déformations non-maîtrisées de la pièce lors ou suite au refroidissement.

Pour faciliter le positionnement longitudinal des préformes usinées,
20 l'outillage comprend une butée de positionnement formée dans chaque empreinte calibré. L'autre extrémité de l'empreinte est libre, c'est-à-dire sans butée, pour permettre à la pièce de se déformer librement par fluage. Un repère visuel sur l'outillage peut également suffire pour positionner les préformes sur l'outillage pour traitement thermique.

25

L'outillage est dimensionné de telle sorte que les vitesses de refroidissement soient sensiblement constantes quelque soit la section (ou tranche), pièce plus outillage, considérée. Les épaisseurs de l'outillage béton sont ainsi dimensionnées en tenant compte des variations d'épaisseur de la pièce et
30 du rapport des coefficients de diffusion thermique de la pièce par rapport à l'outillage.

On comprend aisément que lorsque la zone de la pièce considérée est épaisse l'épaisseur correspondante de l'outillage sous cette zone est plutôt faible comparée à l'épaisseur moyenne de l'outillage et lorsque la zone de la pièce considérée est mince l'épaisseur correspondante de l'outillage sous cette zone est plutôt importante comparée à l'épaisseur moyenne de l'outillage.

L'outillage de conformation sur lequel les préformes usinées reposent peut par exemple comprendre une dizaine d'empreintes. L'outillage de conformation (510) est placé avec les préformes à traiter dans une enceinte de traitement thermique (550). L'outillage de conformation (510) peut être placé sur une sole mobile (530) avec un ou plusieurs autres outillages de conformation (510) (cf figure 5 montrant 2 outillages de conformation).

Le traitement thermique de relaxation (figure 1 bloc « d ») et de conformation a été effectué comme suit :

Montée en température à une vitesse d'environ 5°C/ min (plus on monte vite et moins on besoin de rester longtemps en beta transus pour relaxer de la pièce pour éviter le grossissement de grains dans des zones qui ont refroidi plus lentement) jusqu'à un palier thermique compris entre 1020-1030°C. Ces températures sont au-dessus du beta transus qui pour le TA6V est dans le cas présent d'environ 1000°C en fonction de la composition exacte. Les préformes usinées ont été maintenues à température du palier pendant 25 minutes.

Comme représenté en figure 6a et 6b avant traitement thermique selon de l'invention, les préformes-usinées (620) présentaient des déformations importantes, notamment torsions et défauts de cambrure, avec des écarts « J » par rapport à la forme calibrée (615) de plusieurs millimètres (5 à 30 mm selon les préformes) en certaines zones des surfaces principales d'appuis (617a,b).

Lors du traitement thermique au-dessus de beta transus, les préformes (620) ont fluées librement sous l'effet de leur propre poids pour prendre la forme des empreintes calibrées (615) et ainsi reposer sur les surfaces principales d'appuis (617c) (cf Figure 6c).

Par ailleurs, à des températures supérieures à la température de beta transus, l'alliage subit une transformation allotropique où la phase Alpha de structure cristallographique hexagonale compacte se transforme en phase cubique centrée dite phase Beta. Lors de cette transformation les contraintes résiduelles, notamment apparues dans la pièce lors des précédentes étapes de transformation thermo-mécaniques, et qui sont d'origines thermiques et cristallographiques sont libérées. Par ailleurs, dans une structure cubique centrée, la mobilité des dislocations est plus grande ce qui favorise également la libération des contraintes internes. Ces relaxations des contraintes permettent d'éviter lors du refroidissement et à des températures de service plus basses : des nouvelles déformations de la pièce, des tapures ou des fissures dans la pièces.

Les préformes ont ensuite été refroidies à l'air en dehors du four de traitement soit à une vitesse de refroidissement comprise entre 10 et 30°C / min.

Les vitesses de refroidissement à l'intérieur des préformes ont été homogènes notamment grâce à l'utilisation de l'outillage composite en béton.

Ainsi le refroidissement rapide des préformes usinées depuis des températures supérieures au beta transus a permis de faire apparaître, dans le domaine Alpha-beta, la phase Alpha avec une morphologie en aiguilles fines intra-granulaire et entrecroisées. Les aiguilles entrecroisées de manière aléatoire s'opposent à tout nouveau mouvement de dislocations et s'opposent également aux propagations de fissures évitant ainsi à la pièce de se déformer lors de son refroidissement ou à température ambiante et conférant par ailleurs à la pièce de meilleures caractéristiques mécaniques notamment de résistance mécanique, bonne tenue en propagation de fissures car le chemin de propagation des fissures est plus tortueux ainsi qu'une bonne ténacité.

Le refroidissement homogène des préformes-usinées obtenu notamment grâce au matériau utilisé pour l'outillage permet d'éviter la génération de contraintes thermiques internes et d'éviter des déformations des préformes lors

du refroidissement ou ultérieurement lorsque les éléments de cadre de porte sont soumis à des contraintes thermo-mécaniques d'usage.

Un avantage du béton est également son coefficient de dilatation thermique proche de celui du titane permettant aux empreintes calibrées d'avoir
5 des variations dimensionnelles dues aux dilations thermiques, par exemple à 1060°C, qui soient proches de celles des pièces en titane ou en alliage de titane selon l'invention. Ainsi, les dimensions des préformes obtenues après traitement sont mieux maîtrisées.

Le béton utilisé pour réaliser l'outillage selon l'invention a de préférence
10 un coefficient de dilatation thermique compris entre environ $3,5$ et $7 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$ alors que celui du titane est compris entre environ 8 et $11 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$ pour une plage de T° comprise entre 100°C et 1100°C.

Le traitement thermique associés à la forme des empreintes calibrées (15, 315, 415, 615) comprenant dans le cas présent 2 surfaces principales d'appui
15 (317, 318, 417, 418, 617) qui se coupent a permis de corriger les défauts de torsion et de cambrure (il est préférable d'avoir au moins deux surfaces d'appui inclinées l'une par rapport à l'autre pour corriger les défauts de torsion). Après le traitement thermique selon l'invention et refroidissement jusqu'à température ambiante, les écarts mesurés par rapport aux dimensions de la pièce visée
20 étaient inférieurs à 4 mm voire inférieure à 2 mm. Les préformes ainsi obtenues après traitement selon l'invention était donc quasi exempt de déformations permettant ainsi de respecter les tolérances dimensionnelles finales requises.

Les pièces obtenues sont retirées de l'outillage de conformation en béton et placées sur l'outillage d'usinage de finition.

25 Ainsi, après traitement thermique les préformes subissent des usinages de finitions pour obtenir la forme finale des éléments de cadre de porte. Parce que les paramètres d'usinage (profondeurs de passe, vitesses de coupe et vitesses d'avances) lors de la finition sont très peu contraignants pour la pièce, il n'est pas nécessaire de procéder à un nouveau traitement de relaxation des
30 contraintes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de préparation d'une pièce en alliage de titane, caractérisé en ce que le procédé comprend un traitement thermique pour relaxer les contraintes
5 internes d'une pièce en alliage de titane ayant préalablement subi au moins une étape de transformation thermomécanique, le procédé étant caractérisé en ce que le traitement thermique comprend un maintien à une température « T1 » supérieure à la température de beta transus (transition beta), le dite « Tbt » et en ce que la pièce est libre de se déformer par fluage.
10
2. Procédé, selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'alliage de titane est de type alpha-beta.
3. Procédé, selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le
15 maintien à la température T1 est réalisé pendant un temps suffisant pour permettre la pleine transformation dans l'alliage d'une microstructure hexagonale compacte à une microstructure cubique centrée.
4. Procédé, selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la
20 température T1 est supérieure d'au moins 5°C à Tbt, et de préférence supérieure d'au moins 10°C à Tbt.
5. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un maintien à la température T1 pendant une
25 durée de 5 à 120 minutes, et de préférence pendant 15 à 60 minutes, et de préférence à une température de 1010°C à 1060°C.
6. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que suite au maintien à la température T1, on effectue un
30 refroidissement avec une vitesse de refroidissement supérieure à 5°C/min, de préférence supérieure ou égale à 10°C/min, de préférence comprise entre 10 et

30°C/min comme par exemple à l'air, de préférence en dehors du four de traitement.

7. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pièce en alliage de titane est disposée pour le traitement de relaxation des contraintes dans un outillage de conformation comprenant une ou plusieurs empreintes calibrées pour recevoir une pièce à relaxer.

8. Procédé, selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'outillage de conformation est réalisé de préférence en au moins un matériau unique ou composite dont l'inertie thermique est supérieure à celle du titane ou de l'alliage de titane et dont les variations dimensionnelles liées au fluage à la température T1 sont quasi inexistantes, voire nulle.

9. Procédé, selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'outillage de conformation est réalisé en béton ou en béton composite, de préférence comprenant des fibres courbes d'acier inoxydable avec une distribution isotrope.

10. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend préalablement à l'étape de traitement thermique de relaxation des contraintes au moins une étape d'usinage d'ébauche.

11. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la ou les étapes d'usinage d'ébauche sont mis en œuvre pour traiter la quasi-totalité voire la totalité des surfaces de la pièces.

12. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que lors de l'étape d'usinage d'ébauche la pièce est plaquée et conformée contre au moins un support de référence.

13. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que la pièce est plaquée et conformée contre ledit support de référence par plaquage contre le support de référence d'une ou plusieurs bavures formées autour de la pièce et issues d'une étape amont de matriçage.

5

14. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend après traitement thermique de relaxation des contraintes une ou plusieurs étapes d'usinage de finition de la pièce d'alliage de titane.

10

15. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'alliage de titane est un alliage de titane TA6V.

16. Procédé, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pièce est une pièce élancée telle qu'un longeron de mât réacteur, ou un élément de cadre de porte ou de cadre de structure pour aéronef.

17. Outillage de conformation comprenant une zone de conformation comprenant une ou plusieurs empreintes calibrées pour conformer par fluage une ou plusieurs pièces élancées et/ou avec des différences de sections importantes d'alliage de titane, ledit outillage de conformation étant constitué d'au moins un matériau unique ou composite dont l'inertie thermique est supérieure à celle du titane ou de l'alliage de titane et dont les variations dimensionnelles liées au fluage à une température de 1060°C sont quasi inexistantes.

18. Outillage selon la revendication 17, caractérisé ce qu'il est constitué de béton et comprend éventuellement en outre des fibres courbes d'acier inoxydable distribuées de manière isotropes dans le béton.

19. Outillage selon la revendication 17 ou 18, caractérisé en ce qu'il est dimensionné de telle sorte que les vitesses de refroidissement soient sensiblement constantes d'une tranche, pièce plus outillage, à une autre.

- 5 20. Outillage, selon la revendication 17, 18 ou 19, caractérisé en ce la zone d'empreinte est calibrée pour conformer par fluage une pièce élancée présentant un élanement supérieur à 10 et/ou différentes sections dont la variation de section est supérieure à 2/1, et de préférence pour recevoir un longeron de mât réacteur, ou un élément de cadre de porte pour aéronef.

10

21. Outillage, selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, caractérisé en ce que l'alliage de titane est de type à phase alpha-beta.

- 15 22. Outillage, selon l'une quelconque des revendications 17 à 21, caractérisé en ce que l'alliage de titane est un alliage TA6V.

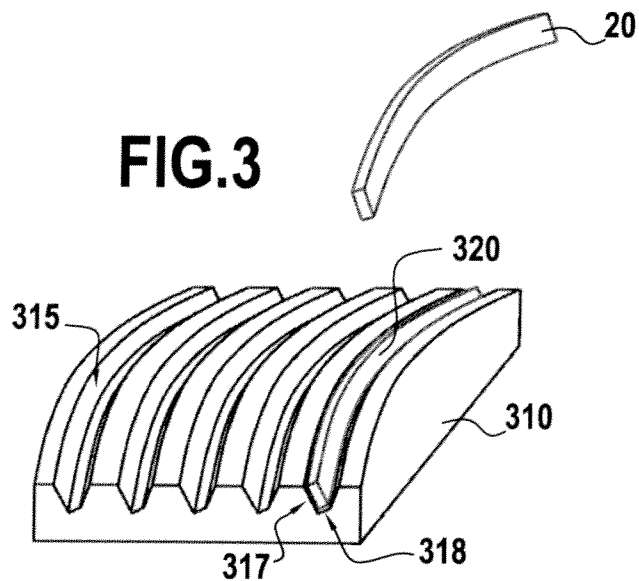
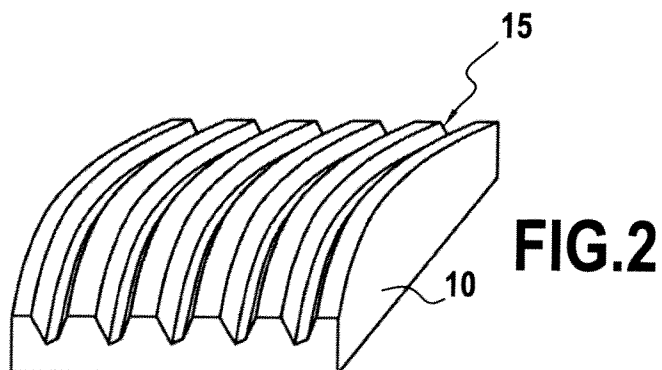
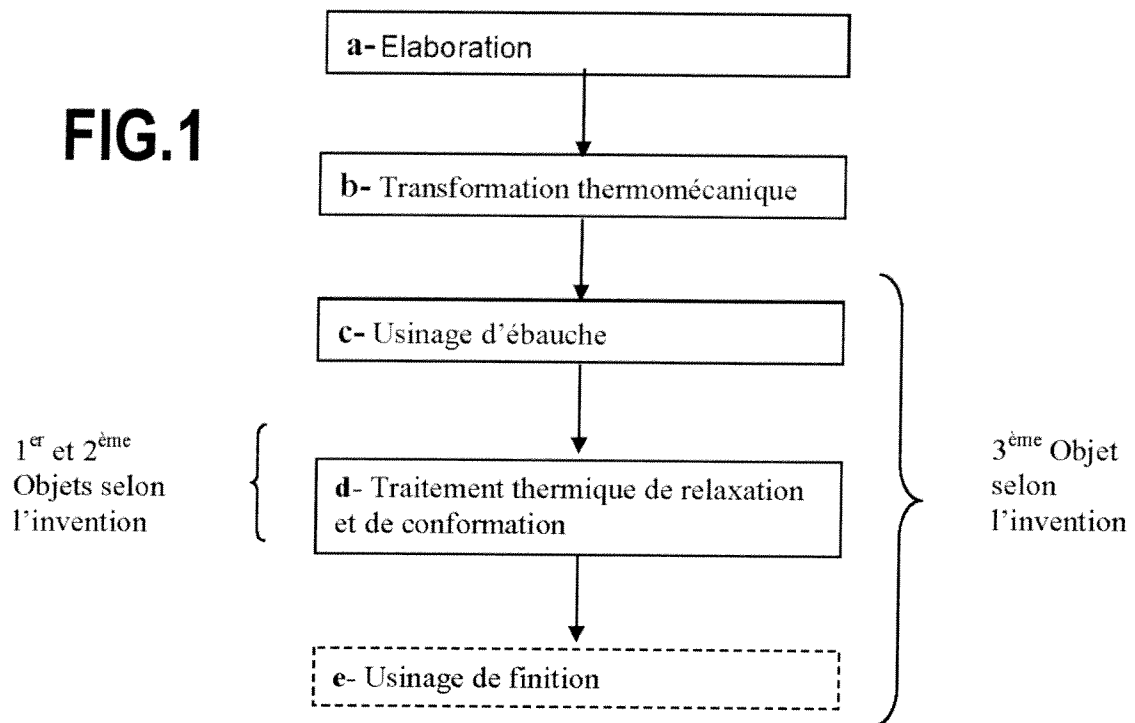
23. Outillage, selon l'une quelconque des revendications 17 à 22, caractérisé en ce que l'empreinte comprend au moins deux surfaces d'appui sur lesquelles la pièce à relaxer peut reposer au moins partiellement, de préférence lesdites
20 surfaces d'appui étant disposées de manière à ce que lorsque l'on réalise un maintien à une température supérieure T1 supérieure à la température Tbt d'une pièce en alliage de titane, ladite pièce peut se positionner par fluage avec un contact plus important, quasi-total, voire total, sur les surfaces d'appui, et de préférence pour corriger les déformations tels que les défauts de torsions et/ou
25 de cambrures liés à une étape préalable de préparation de la pièce à conformer, notamment lors d'une transformation thermomécanique, un refroidissement, ou un usinage.

24. Outillage, selon l'une quelconque des revendications 17 à 23, caractérisé en
30 ce que l'empreinte comprend une butée de positionnement formée dans chaque empreinte calibrée, l'autre extrémité de l'empreinte étant libre pour permettre à

la pièce de se déformer librement par fluage ou comprend une butée positionnée en tenant compte du coefficient de dilatation thermique de la pièce à relaxer avant et après traitement thermique de relaxation, notamment pour permettre une déformation libre par fluage.

5

25. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, mettant en œuvre l'outillage tel que défini à l'une quelconque des revendications 17 à 24.

FIG.1

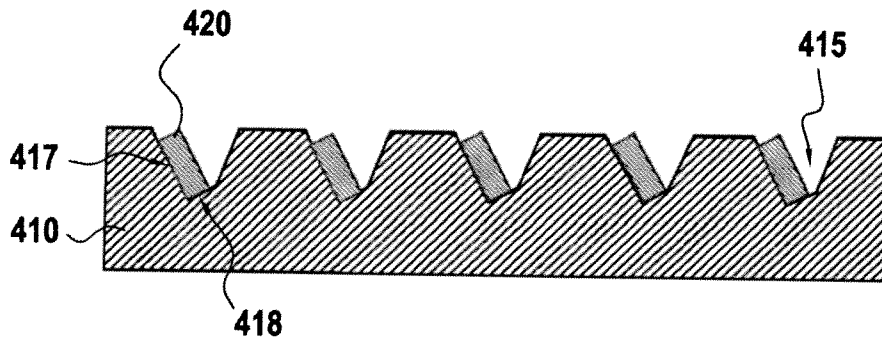


FIG. 4

FIG. 5

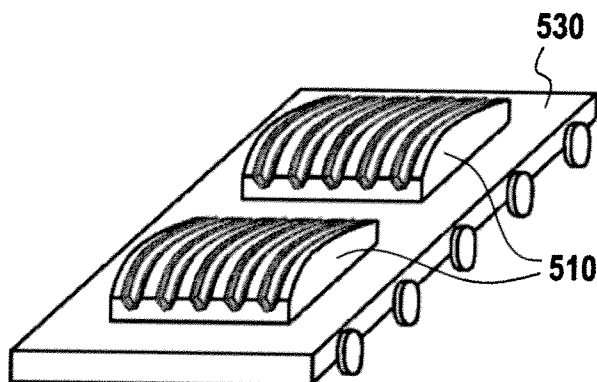
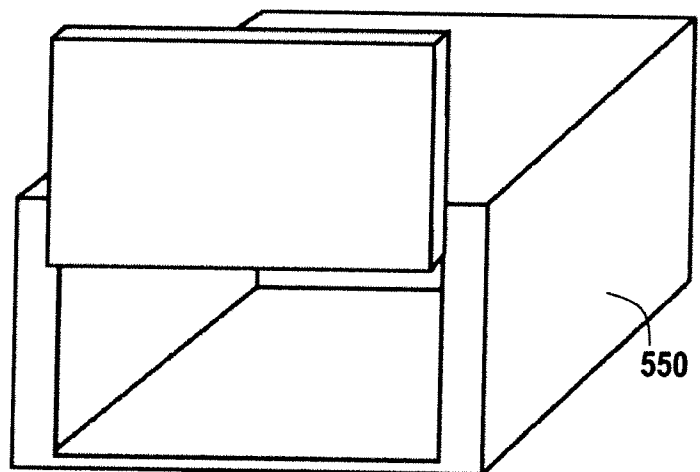


FIG.6A

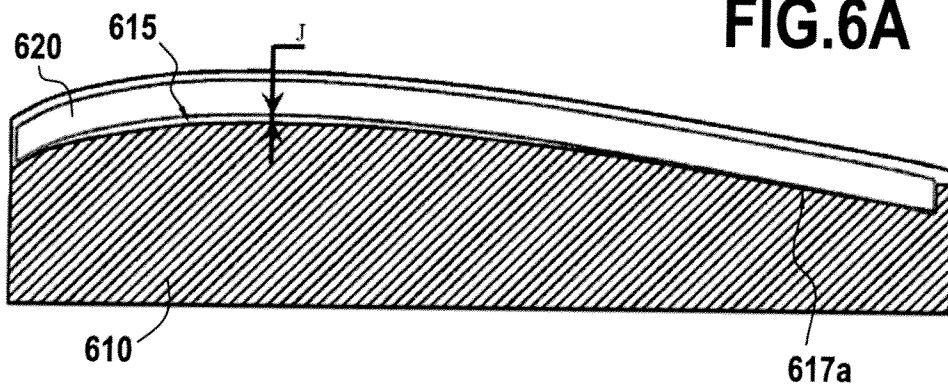


FIG.6B

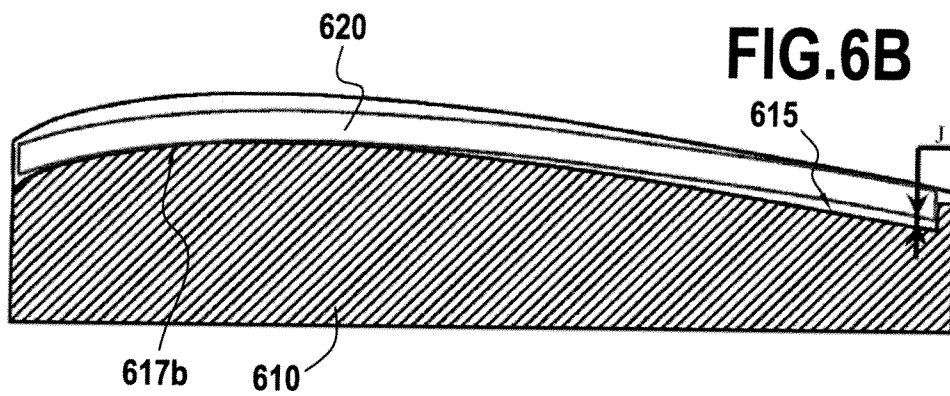


FIG.6C

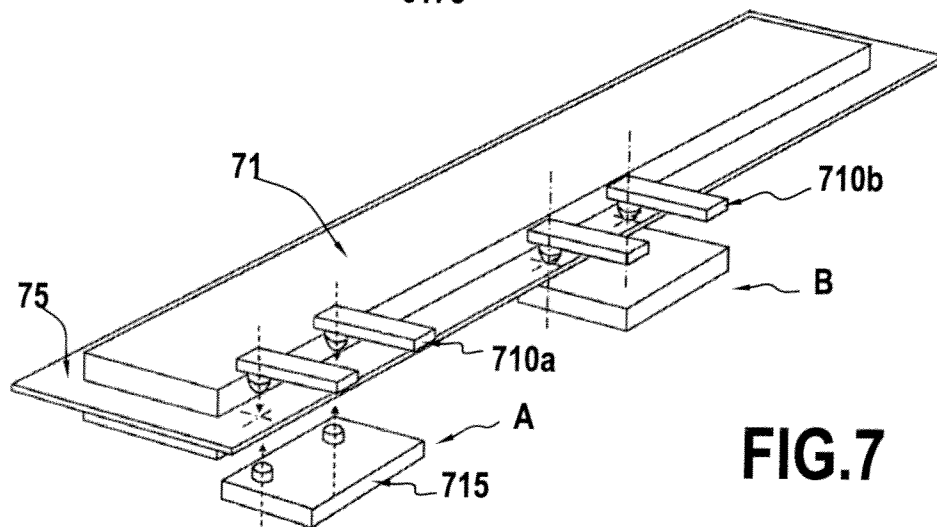
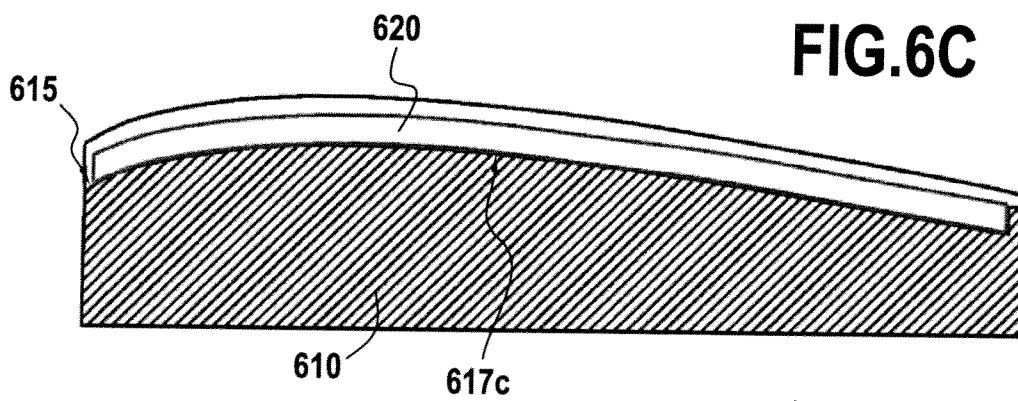


FIG.7