



(11) **EP 2 002 026 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**14.09.2011 Bulletin 2011/37**

(51) Int Cl.:  
**C22F 1/18 (2006.01) C22C 14/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **07731850.9**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2007/051046**

(22) Date de dépôt: **30.03.2007**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2007/113445 (11.10.2007 Gazette 2007/41)**

(54) **PROCEDES DE TRAITEMENT THERMIQUE ET DE FABRICATION D'UNE PIECE  
THERMOMECHANIQUE REALISEE DANS UN ALLIAGE DE TITANE**

VERFAHREN ZUR WÄRMEBEHANDLUNG UND HERSTELLUNG EINES  
THERMOMECHANISCHEN TEILS AUS EINER TITANLEGIERUNG

METHODS FOR HEAT TREATING AND MANUFACTURING A THERMOMECHANICAL PART MADE  
OF A TITANIUM ALLOY

(84) Etats contractants désignés:  
**DE FR GB**

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

(30) Priorité: **30.03.2006 FR 0651111**

(43) Date de publication de la demande:  
**17.12.2008 Bulletin 2008/51**

(56) Documents cités:  
**EP-A- 1 078 997 EP-A- 1 612 289**  
**EP-A1- 0 843 021 DE-A1- 3 804 358**  
**FR-A1- 2 623 523 JP-A- 62 205 253**  
**US-A- 3 901 743 US-A- 4 309 226**

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

(72) Inventeurs:  
• **BARBIER, Blandine**  
**F-91170 Saint Vrain (FR)**  
• **GALLOIS, Philippe**  
**F-91100 Corbeil Essonnes (FR)**  
• **MONS, Claude**  
**F-77176 Savigny le Temple (FR)**  
• **PERROUX, Alain**  
**F-91130 Ris Orangis (FR)**

• **KASSNER M E ET AL: "LOW-CYCLE DWELL-  
TIME FATIGUE IN TI-6242" METALLURGICAL  
AND MATERIALS TRANSACTIONS A: PHYSICAL  
METALLURGY & MATERIALS SCIENCE, ASM  
INTERNATIONAL, MATERIALS PARK, OH, US,  
vol. 30A, no. 9, septembre 1999 (1999-09), pages  
2383-2389, XP001200384 ISSN: 1073-5623**

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

**EP 2 002 026 B1**

## Description

**[0001]** L'invention concerne un procédé de traitement thermique d'une pièce thermomécanique réalisée dans un alliage de titane TA6Zr4DE, et un procédé de fabrication comportant un tel procédé de traitement thermique.

**[0002]** L'invention s'applique tout particulièrement, mais non limitativement aux pièces tournantes de turbomachines, telles que les disques, tourillons et rouets, et en particulier aux disques de compresseurs haute pression.

**[0003]** Actuellement, selon la technique utilisée par la demanderesse, les disques de compresseur haute pression sont obtenus par matriçage dans le domaine bêta de l'alliage de titane. En particulier, on utilise préférentiellement un alliage dénommé «6242» qui comporte environ 6 % d'aluminium, 2 % d'étain, 4 % de zirconium et 2 % de molybdène. Il s'agit plus précisément de l'alliage TA6Zr4DE selon la nomenclature métallurgique. Ce matriçage est réalisé environ à 1030 °C.

**[0004]** Cette étape de matriçage est suivie d'un procédé de traitement thermique comprenant une étape de mise en solution dans le domaine alpha/bêta de l'alliage à la température de 970 °C, correspondant à la température de bêta transus -30°C, pendant une heure. Cette étape de mise en solution est suivie d'une étape de trempe à l'huile ou dans un mélange eau-polymère. Ensuite on réalise un traitement de revenu à 595 °C pendant huit heures puis enfin on réalise un refroidissement à l'air.

**[0005]** Dans le cas de la mise en oeuvre de ce procédé de traitement thermique, on aboutit à un alliage présentant une microstructure grossière qui n'est pas favorable à une bonne tenue de l'alliage de titane, notamment selon un essai de fluage sous une contrainte imposée maintenue pendant un certain temps de maintien, notamment pour une gamme de température d'utilisation comprise entre -50 °C et +250 °C. Il s'agit du «dwell effect», à savoir à un fluage à température peu élevée (inférieure à 200 °C) qui conduit à un endommagement qui, couplé avec la fatigue oligocyclique, provoque une ruine prématurée de la pièce.

**[0006]** En particulier, l'application dans le domaine aéronautique, et en particulier pour un disque de compresseur haute pression est très propice à ce phénomène de «dwell effect» du fait que pendant les phases de décolage et d'atterrissage, les moteurs sont soumis à des conditions de fonctionnement dans le domaine de températures et de contraintes correspondant à ce phénomène. Ce phénomène peut conduire à des amorçages de criques de fatigue prématurées, voire à la rupture de la pièce.

**[0007]** Ce phénomène de «dwell effect» est très bien identifié par les constructeurs de turbomachines et il fait l'objet de nombreuses études ; de plus, il concerne tous les alliages de titane stabilisés en température : alliages de titane des classes bêta, alpha/bêta, presque alpha et alpha.

**[0008]** L'article "Low-Cycle dwell fatigue in Ti-6242" de M.E. Kassner, Y. Kosaka et J.A. Hall, paru dans "Metallurgical and materials transactions", vol. 30A, Sept 1999, pages 2383-2389, décrit un procédé de traitement thermique de pièces en titane Ti-6242, comprenant une étape de mise en solution à une température de T(beta-trans)-3°C à T(beta-trans)-53°C pendant une durée de 1 heure, suivie d'un refroidissement à 17°C/min jusqu'à 537°C. Les auteurs trouvent qu'une température de mise en solution moindre apparaît réduire la résistance de la pièce à la fatigue avec temps de maintien sous charge ("low-cycle dwell fatigue").

**[0009]** La présente invention a pour objectif de fournir un procédé de traitement thermique d'une pièce thermomécaniques réalisée dans un alliage de titane qui peut être mis en oeuvre de façon industrielle et permettant de surmonter les inconvénients de l'art antérieur et en particulier offrant la possibilité de limiter l'étendue du phénomène de «dwell effect».

**[0010]** On cherche donc à améliorer le traitement thermique pour obtenir des pièces dont la durée de vie est augmentée, malgré les sollicitations cycliques subies à basse température.

**[0011]** A cet effet, selon la présente invention, le procédé de traitement thermique est caractérisé en ce qu'on réalise une étape de mise en solution à une température comprise entre  $\beta$  transus - 20°C et  $\beta$  transus - 15°C pendant une durée de 4 à 8 heures; et en ce qu'on réalise après l'étape de mise en solution, une étape de trempe de la pièce à une vitesse de refroidissement supérieure à 200°C/min.

**[0012]** Cette condition de température correspond à une température maximale de 985 °C environ. Cet écart par rapport à la température de  $\beta$  transus est une marge de sécurité, qui est liée à l'écart possible entre la température mesurée et la température réelle de l'alliage, permettant de garantir que l'on reste en dessous de la température de transition bêta. Cette étape de mise en solution est réalisée pendant 4 à 8 heures selon la taille de la pièce.

**[0013]** L'idée à la base de la présente invention correspond au fait qu'il a été constaté qu'il existe au sein du matériau des zones ou colonies, propices au phénomène de «dwell effect». On constate que de telles colonies sont formées de grains allongés de phase alpha, de type aiguilles, relativement gros et jointifs entre eux. Généralement, de tels grains présentent une longueur de plusieurs millimètres sur une largeur de l'ordre de 200 à 300 micromètres. De telles colonies constituent des emplacements au niveau desquels, lorsque des contraintes sont accumulées, il se produit une concentration importante de dislocations qui, lorsqu'elles s'activent, sans effet thermique particulier, peuvent provoquer des glissements entre les grains, ce qui peut conduire à des ruptures.

**[0014]** La présente invention se propose de mettre en oeuvre un traitement thermique permettant d'affiner la microstructure, en particulier la taille des aiguilles préci-

tées, afin de minimiser les effets du «dwell effect», et ceci en diminuant l'étendue de libre circulation des dislocations, afin de minimiser leur accumulation et, de cette façon, le risque de rupture de la pièce.

**[0015]** C'est pour cette raison que de façon caractéristique, selon la présente invention, on réalise l'étape de mise en solution pendant une durée beaucoup plus longue que celle habituellement pratiquée. En effet, cette façon, on permet à la pièce de se rapprocher, voire d'atteindre, son équilibre microstructurale, ce qui permet de diminuer la taille, en longueur et en épaisseur, des aiguilles des colonies susceptibles de provoquer le «dwell effect». Ce traitement permet d'obtenir une microstructure plus fine que celle de l'art antérieur, et donc de minimiser les conséquences du «dwell effect».

**[0016]** De façon étonnante, cette augmentation de la durée de la mise en solution n'a pas pour conséquence, contrairement aux préjugés en vigueur dans ce domaine de la métallurgie, d'affecter les propriétés thermomécaniques du matériau. En effet, de façon tout à fait surprenante, les inventeurs ont, dans le cadre de l'invention présentée ici, mis en oeuvre un procédé de traitement thermique dont l'étape de mise en solution a été réalisée pendant une durée beaucoup plus importante que celle pratiquée habituellement, sans pour autant que le matériau résultant de l'ensemble du procédé de traitement thermique ne présente des caractéristiques thermomécaniques, et en particulier des propriétés de tenue en fatigue sous contrainte imposée, plus faibles que celles des matériaux résultants du procédé de traitement thermique de l'art antérieur.

**[0017]** En outre, la présente invention se propose de réaliser cette étape de mise en solution à une température relativement proche de la température de transition bêta, tout en restant strictement inférieure à cette dernière, et ceci afin d'obtenir une microstructure de la pièce finale dans les classes des alpha/bêta, presque alpha et alpha.

**[0018]** De cette manière, on comprend que par le simple allongement du temps de l'étape de mise en solution, il est possible d'obtenir des pièces thermomécaniques, en particulier des disques pour compresseur haute pression, ayant d'une part des durées de vie supérieure à celle des pièces obtenues selon les techniques précédemment mises en oeuvre, mais en outre présentant des caractéristiques thermomécaniques (traction, fluage, fatigue sous contrainte imposée pendant un temps de maintien...) au moins aussi bonnes, tout en minimisant les risques de rupture par fatigue. Ainsi, le procédé de traitement thermique selon l'invention permet un gain d'un facteur de deux environ sur la tenue au "dwell" (chargement cyclique avec temps de maintien en charge - fluage - à chaque cycle) par rapport à un procédé de traitement, comme montré dans les essais décrits ci-dessous.

**[0019]** En outre, on réalise, après l'étape de mise en solution, une étape de trempe de la pièce à une vitesse de refroidissement supérieure à 200°C / min, et de pré-

férence comprise entre 300 et 450°C. De préférence, cette vitesse de refroidissement est la plus importante possible et de préférence supérieure à ou de l'ordre de 400°C / min.

**[0020]** Ainsi, grâce à ce refroidissement rapide, on fige l'état de la microstructure dans sa situation à la fin de l'étape longue de mise en solution et on évite une nouvelle évolution de cette microstructure avec un grossissement des aiguilles des colonies de phase alpha propices au phénomène de «dwell effect».

**[0021]** Aussi, ce choix de vitesse de trempe élevée permet de favoriser la transformation de type martensitique (qui aboutit à une microstructure plutôt fine) de la phase bêta en phase alpha par rapport au phénomène de type germination/croissance (qui aboutit à une microstructure plutôt grossière).

**[0022]** Egalement, de préférence, à la fin du procédé de traitement thermique conforme à l'invention, le procédé comporte en outre les étapes suivantes :

- on réalise, après l'étape de trempe, une étape de revenu à une température de l'ordre de 595°C pendant une durée de l'ordre de 8h, puis
- on réalise une étape de refroidissement à l'air.

**[0023]** Outre le procédé de traitement thermique qui vient d'être présenté, la présente invention porte également sur un procédé de fabrication d'une pièce thermomécanique réalisée dans un alliage de titane, par matriçage dans le domaine  $\beta$ , comprenant un tel procédé de traitement thermique.

**[0024]** D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 montre la microstructure obtenue selon le procédé de traitement thermique classique de l'art antérieur ;
- la figure 2 montre la microstructure obtenue selon le procédé de traitement thermique classique de l'art antérieur modifié par une vitesse de trempe plus rapide ;
- la figure 3 montre la microstructure obtenue selon le procédé de traitement thermique selon la présente invention ;
- la figure 4 montre la microstructure obtenue selon le procédé de traitement thermique selon la présente invention avec une vitesse de trempe plus rapide ; et,
- la figure 5 montre les résultats d'un test de fluage sous charge cyclique avec un temps de maintien en charge, pour une pièce

**[0025]** résultant du procédé de l'art antérieur et pour une pièce obtenue par le procédé conforme à l'invention.

**[0026]** On rappelle que la présente invention concerne tous les types d'alliage de titane stabilisés en température : alliages de titane des classes bêta, al-

pha/bêta, presque alpha et alpha (on parle ici de la structure de la pièce finie).

**[0027]** On rappelle en quoi consiste le traitement thermique classique de l'art antérieur utilisé notamment par la demanderesse pour des disques de compresseur haute pression réalisés dans un alliage dénommé «6242» cité en introduction.

**[0028]** Ces disques sont obtenus par forgeage par matriçage à chaud dans le domaine bêta de l'alliage de titane.

**[0029]** Cette étape de matriçage est suivie d'un procédé de traitement thermique comprenant une étape de mise en solution dans le domaine alpha/bêta de l'alliage à la température de 970 °C, correspondant à la température de bêta transus -30 °C, pendant une heure. Cette étape de mise en solution est suivie d'une étape de trempe à l'huile ou dans un mélange eau-polymère (vitesse de refroidissement de l'ordre de 200°C/min et compris entre 130 et 250°C/min). Ensuite on réalise un traitement de revenu à 595°C pendant huit heures puis enfin on réalise un refroidissement à l'air.

**[0030]** On obtient un matériau présentant la microstructure visible sur la figure 1, présentant des colonies constituées d'aiguilles de phase bêta parallèles entre elles. Ces aiguilles présentent une section de forme allongée visible sur la figure s'étendant souvent sur plusieurs centaines de micromètres.

**[0031]** Sur la figure 2, la microstructure visible correspond à celle d'un alliage de titane identique à celui de la figure 1, ayant subi le traitement thermique précité aux deux différences suivantes près :

- la température de mise en solution est de bêta transus -20°C (environ 980 °C), au lieu de bêta transus -30 °C, et
- la vitesse de trempe utilisée lors du procédé de traitement thermique est nettement plus rapide : 400°C /min au lieu de 200°C /min, en utilisant par exemple une trempe à l'eau au lieu d'une trempe à l'huile, et en ayant pris soin d'éviter les surépaisseurs de matières par un usinage éventuel préalable des zones les plus épaisses.

**[0032]** Dans ce cas, les colonies d'aiguilles parallèles comporte des aiguilles plus dissemblables en tailles et en particulier il y a moins de grandes aiguilles. Néanmoins, même en moins grand nombre, on peut s'attendre à ce que ces grandes aiguilles soient suffisantes en nombre pour que le phénomène de « dwell effect » entraîne des accumulations de dislocations susceptibles d'engendrer des risques de rupture.

**[0033]** Si on se rapporte maintenant à la figure 3 ou à la figure 4, il s'agit des microstructures obtenues selon le procédé conforme à la présente invention.

**[0034]** Plus précisément, par rapport au procédé de traitement thermique classique exposé précédemment en relation avec la figure 1, le traitement mis en oeuvre pour aboutir à la microstructure de la figure 3, on réalise :

- une mise en solution à la température de bêta transus -20 °C (environ 980 °C), au lieu de bêta transus -30 °C, et
- cette mise en solution est effectuée pendant 8 heures au lieu d'1 heure.

**[0035]** Dans ce cas, comme il ressort de la figure 3, les aiguilles sont toutes de taille plus petite en section, leur longueur restant inférieure à 100 micromètres, et généralement de l'ordre de 50 micromètres.

**[0036]** Ainsi, on comprend que la diminution de la taille des aiguilles s'accompagne d'une diminution de leur volume et des surfaces jointives entre aiguilles, ce qui freine l'aptitude au déplacement des défauts tels que les dislocations ou les lacunes, qui parcourent ainsi des distances plus faibles et présentent moins de possibilités de s'accumuler.

**[0037]** Dans le cas de la figure 4, par rapport au traitement thermique de l'alliage visible à la figure 3, on a en outre réalisé une trempe à une vitesse plus importante, de 400°C /min au lieu de 200°C /min.

**[0038]** On recherchera donc à augmenter la vitesse de trempe au dessus de la valeur de 200°C /min, en approchant si possible 400°C /min. Il faut cependant éviter une vitesse de refroidissement trop importante, risquant l'apparition de tapures de trempe. Notamment, au-delà de 450°C/min, on risque d'induire des contraintes rédhibitoires à tout usinage ultérieur, voire on risque de casser la pièce.

**[0039]** En terme de microstructure, comme on le voit sur la figure 4, le résultat est similaire à celui de la figure 3.

**[0040]** Ainsi, il apparaît que l'augmentation de la vitesse de trempe et/ou l'allongement de la durée de l'étape de mise en solution permet de diminuer les endommagements du matériau entraînés par une sollicitation cyclique, qui est un autre facteur de ruine du matériau, venant classiquement s'ajouter à l'endommagement par fluage.

**[0041]** Plus précisément, par ces modifications de traitements, on fige davantage les microstructures à une taille plus petite que celles qui génèrent les endommagements du matériau. Ainsi, on évite l'accumulation d'aiguilles ou grains, sous la forme de paquets d'aiguilles parallèles de taille importante qui, à la façon d'un grain unique, concentrent les défauts, au bord de leur interface.

**[0042]** Ainsi, en diminuant à la fois la taille des colonies formées de paquets d'aiguilles parallèles et la taille des aiguilles elles-mêmes, on crée pour les défauts, et en particulier pour les lacunes, davantage d'obstacles dans leur progression avant leur possible regroupement.

**[0043]** Des échantillons provenant, d'une part, de matériaux obtenus selon le procédé de traitement thermique de l'art antérieur et conformes à la microstructure de la figure 1, et d'autre part, de matériaux obtenus selon le procédé de traitement thermique de la présente invention et conformes à la microstructure de la figure 3, ont été testés en fluage.

**[0044]** Plus précisément, on a réalisé un test sous chargement cyclique avec temps de maintien en charge, de type cycle en forme de trapèze : montée en charge pendant 1s, palier de maintien en charge de 120s à 868 MPa, puis descente à charge nulle pendant 1s.

**[0045]** Les résultats de ce test sont visibles sur la figure 5 qui est un graphique indiquant le rapport déformation sur allongement sous chargement cyclique avec temps de maintien en fonction du nombre de cycles, jusqu'à la rupture.

**[0046]** La courbe A représente le résultat de cet essai pour des matériaux obtenus selon le procédé de traitement thermique de l'art antérieur et conformes à la microstructure de la figure 1

**[0047]** La courbe B représente le résultat de cet essai pour des matériaux obtenus selon le procédé de traitement thermique de la présente invention et conformes à la microstructure de la figure 4.

**[0048]** Cet essai normalisé montre donc que le procédé de traitement thermique de la présente invention permet de pratiquement doubler le nombre de cycles avant rupture puisqu'on passe de 5500 cycles à 10000 cycles.

**[0049]** Ainsi, la présente invention permet, de façon surprenante, notamment grâce au rallongement de la durée de l'étape de mise en solution, d'améliorer notablement la durée de vie en test de tenue à la fatigue avec temps de maintien. Ceci est principalement dû au fait que cet allongement permet d'affiner la microstructure et notamment de diminuer la taille des aiguilles de phase alpha formant les colonies sensibles au phénomène de « dwell effect ».

**[0050]** En pratique, pour des grosses pièces qui n'autorisent pas des vitesses de trempe importantes, on choisit des temps de mise en solution plus long (par exemple 8 heures) et pour des pièces plus fines pour lesquelles la vitesse de trempe de 400°C/min peut être atteinte, des temps de mise en solution plus courts (par exemple 4 heures) peuvent être appliqués.

**[0051]** D'autre part, on sait que l'augmentation de la température de mise en solution favorise la mise en solution de la phase alpha primaire grossière pour la transformer en phase bêta. Toutefois, puisqu'il est fondamental de ne pas dépasser la température transus bêta de l'alliage, on choisira une température qui ne dépasse pas la température transus bêta -15 °C. Cette limite haute de la température de mise en solution est choisie suivant la précision de la connaissance la température de transus bêta et la classe des fours de traitement. De plus, dans le cas d'un forgeage sub transus, c'est à dire au-dessus de la température de transition bêta, on choisira bien entendu une température de mise en solution supérieure à la température de forgeage.

**[0052]** D'autres essais (traction, fluage, fatigue avec temps de maintien sous contrainte maximale...) mesurant la tenue mécanique des matériaux obtenus par le procédé conforme à l'invention ont confirmés qu'ils ont globalement conservé leurs propriétés mécaniques par rapport aux alliages de titane obtenus par le procédé

classique, c'est-à-dire que ces résultats restent dans la moyenne des statistiques des résultats obtenus pour des pièces analogues pour lesquelles le traitement thermique n'a pas été modifié conformément à la présente invention.

## Revendications

1. Procédé de traitement thermique d'une pièce thermomécanique réalisée dans un alliage de titane TA6Zr4DE (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo), **caractérisé en ce qu'on** réalise une étape de mise en solution à une température comprise entre  $\beta$  transus - 20°C et  $\beta$  transus - 15°C pendant une durée de 4 à 8 heures, et **en ce qu'on** réalise, après l'étape de mise en solution, une étape de trempe de la pièce à une vitesse de refroidissement supérieure à 200°C / min.
2. Procédé de traitement thermique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la vitesse de refroidissement, lors de l'étape de trempe de la pièce est comprise entre 300 et 450°C.
3. Procédé de traitement thermique selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre les étapes suivantes :
  - on réalise, après l'étape de trempe, une étape de revenu à une température de l'ordre de 595°C pendant une durée de l'ordre de 8h, puis
  - on réalise une étape de refroidissement à l'air.
4. Procédé de fabrication d'une pièce thermomécanique réalisée dans un alliage de titane, par matriçage dans le domaine  $\beta$ , comprenant un procédé de traitement thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes.

## Claims

1. A method of heat treatment for a thermomechanical part made out of a TA6Zr4DE titanium alloy (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo), the method being **characterized in that** a solution-annealing step is performed at a temperature lying in the range beta transus -20°C and beta transus -15°C for a duration lying in the range four hours to eight hours, and **in that** after the solution-annealing step, it is implemented a step of quenching the part at a cooling rate greater than 200°C/min.
2. A heat treatment method according to claim 1, **characterized in that** the cooling rate, during the step of quenching the part, lies in the range 300°C/min to 450°C/min.

3. A heat treatment method according to claim 1 or claim 2, **characterized in that** it further includes the following steps:

after the quenching step, a tempering step at a temperature of about 595°C for a duration of about eight hours; and then a step of cooling in air.

4. A method of fabricating a thermomechanical part made of a titanium alloy, the fabrication being by stamping in the beta domain, and the method including a heat treatment method according to any preceding claim.

15

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmebehandlung eines thermomechanischen Teils, welches aus einer Titanlegierung TA6Zr4DE (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo) gefertigt ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Lösungsschritt bei einer Temperatur im Bereich zwischen  $\beta$  transus - 20 °C und  $\beta$  transus - 15 °C über eine Dauer von 4 bis 8 Stunden durchgeführt wird und daß nach dem Lösungsschritt ein Schritt zum Härten des Teils mit einer Abkühlgeschwindigkeit von über 200 °C/Min. durchgeführt wird.

20

25

2. Wärmebehandlungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Abkühlgeschwindigkeit während des Schrittes zum Härten des Teils zwischen 300 und 450 °C liegt.

30

3. Wärmebehandlungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** es ferner die folgenden Schritte umfaßt:

35

- nach dem Härtungsschritt wird ein Anlaßschritt bei einer Temperatur in der Größenordnung von 595 °C über eine Dauer in der Größenordnung von 8 Std. durchgeführt, anschließend
- wird ein Schritt zum Abkühlen an der Luft durchgeführt.

40

45

4. Verfahren zur Herstellung eines aus einer Titanlegierung gefertigten thermomechanischen Teils durch Gesenkschmieden im  $\beta$ -Bereich, umfassend ein Wärmebehandlungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

50

55



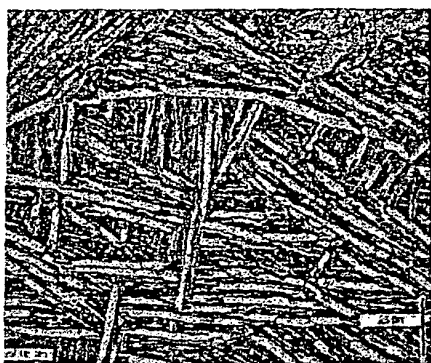
Traitement classique  $\beta$ t-30°C/1h/200°Cmin

FIG.1



Traitement proposé  $\beta$ t-20°C/8h/200°Cmin-1

FIG.3



Traitement avec trempe plus rapide  
 $\beta$ t-20°C/1h/400°Cmin-1

FIG.2



Traitement avec trempe plus rapide  
 $\beta$ t-20°C/8h/400°Cmin-1

FIG.4

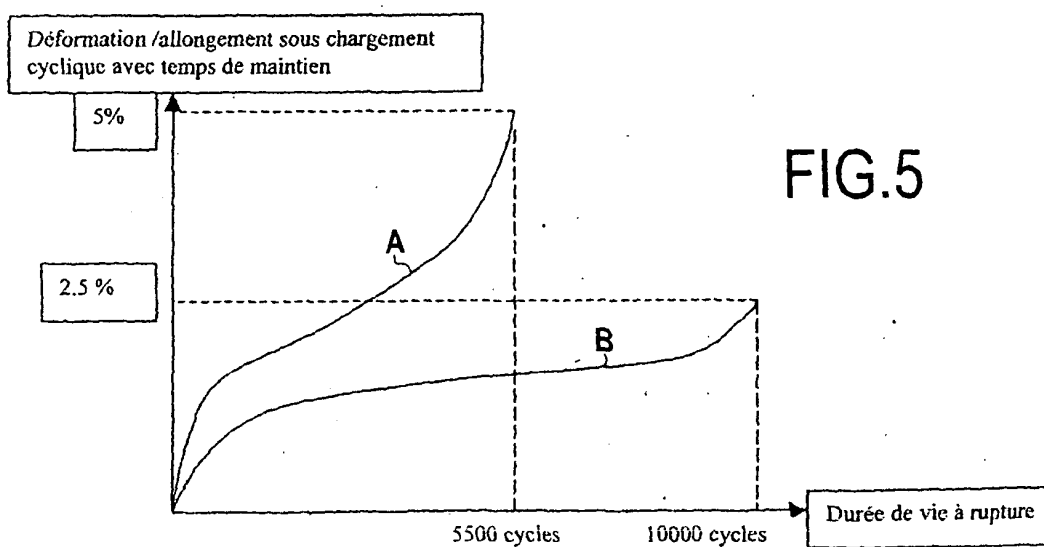


FIG.5

**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.*

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- **M.E. Kassner, Y. Kosaka ; J.A. Hall.** Low-Cycle dwell fatigue in Ti-6242. *Metallurgical and materials transactions*, Septembre 1999, vol. 30A, 2383-2389  
**[0008]**