



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.01.2016 Bulletin 2016/04

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

(21) Numéro de dépôt: **15177409.8**

(22) Date de dépôt: **17.07.2015**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA

(71) Demandeur: **Messier-Bugatti-Dowty**
78140 Vélizy-Villacoublay (FR)

(72) Inventeur: **Soniak, Francis**
78140 Veliz-Villacoublay (FR)

(74) Mandataire: **Lavialle, Bruno François Stéphane et al**
Cabinet Boettcher
16, rue Médéric
75017 Paris (FR)

(30) Priorité: **23.07.2014 FR 1457114**

(54) **PROCÉDÉ D'ÉLABORATION D'UNE PIÈCE EN ALLIAGE MÉTALLIQUE**

(57) Procédé de conversion d'un alliage comportant majoritairement du titane, le procédé comportant :

- une étape de fabrication d'un lingot (1) ;
- des étapes d'un premier type (A, B, C) de déformation plastique d'alliage à une température supérieure à transus β ($T\beta$);
- des étapes d'un second type (A', B') de déformation plastique d'alliage à une température inférieure à la température de transus β ($T\beta$).

Ces étapes des premier et second types (A, A', B,

B', C) sont mises en oeuvre suivant la séquence :

- première étape du premier type (A) à une première température (T_1) ;
- première étape du second type (A') ;
- seconde étape du premier type (B) à une seconde température (T_2) inférieure à T_1 ;
- seconde étape du second type (B') ;
- troisième étape du premier type (C) à une troisième température (T_3) inférieure à T_2 .

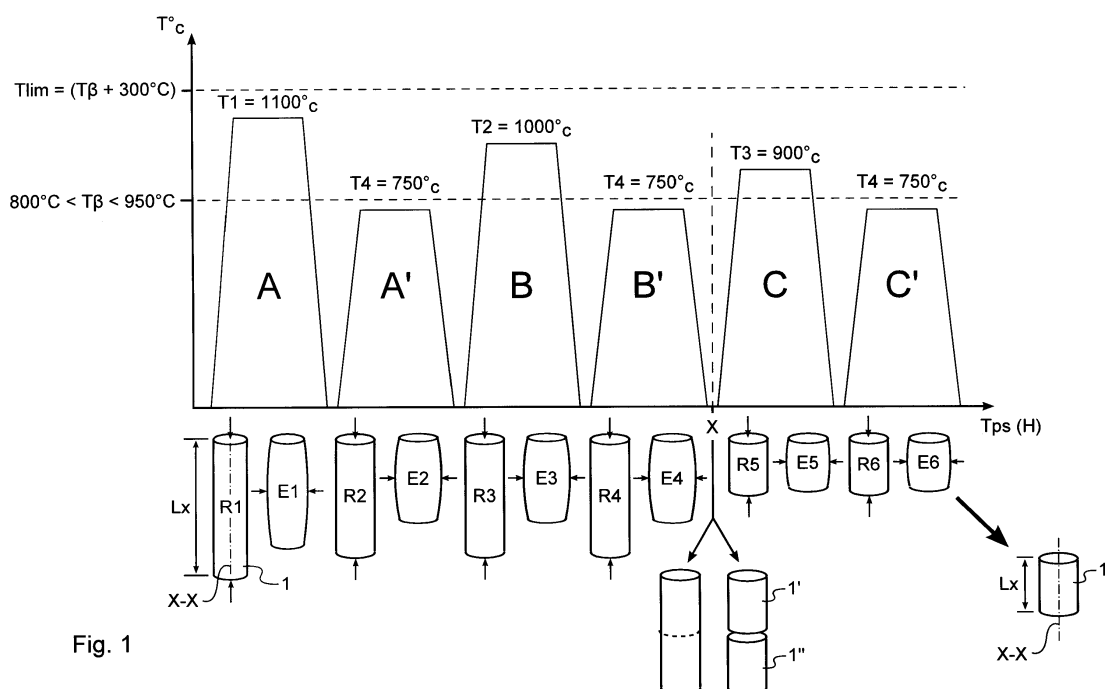


Fig. 1

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de conversion d'alliage contenant majoritairement du titane.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

[0002] Plus particulièrement, l'invention concerne un procédé de conversion d'un alliage comportant, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane, cet alliage présentant une température de transus β à partir de laquelle on observe une transition de structures de l'alliage en phase α vers des structures de l'alliage en phase β , le procédé comportant :

- une étape de fabrication d'un lingot (1) composé dudit alliage ;
- au moins des première, seconde et troisième étapes d'un premier type consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement supérieure à la température de transus β ; et
- au moins des première et seconde étapes d'un second type consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement inférieure à la température de transus β .

[0003] Les alliages titane contiennent, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane et en particulier au moins 60% de la masse de l'alliage est formée de titane.

[0004] On a constaté une hétérogénéité de résistance mécanique entre des pièces appartenant à un même lot de pièces obtenues à partir d'un même alliage.

[0005] Pour des questions de qualité de production, il est souhaitable que des pièces similaires obtenues à partir d'un même alliage titane présentent une homogénéité de résistance mécanique.

OBJET DE L'INVENTION

[0006] L'invention a pour objet l'obtention d'un procédé de conversion d'un alliage comportant, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane, ce procédé devant favoriser l'amélioration de la qualité de pièces produites à l'aide de l'alliage converti suivant le procédé de l'invention.

RESUME DE L'INVENTION

[0007] En vue de réaliser cet objet, il est proposé selon l'invention, un procédé de conversion d'un alliage comportant, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane, cet alliage présentant une température de transus β à partir de laquelle on observe une transition de structures de l'alliage en phase α vers des structures de l'alliage en phase β , le procédé comportant :

- une étape de fabrication d'un lingot composé dudit alliage ;
- au moins des première, seconde et troisième étapes d'un premier type A, B, C consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement supérieure à la température de transus β T β ; et
- au moins des première et seconde étapes d'un second type A', B' consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement inférieure à la température de transus β T β .

[0008] Le procédé de conversion selon l'invention est essentiellement caractérisé en ce que les étapes des premier et second types A, A', B, B', C sont appliquées selon la séquence consistant en :

- la mise en oeuvre de la première étape du premier type A alors que l'alliage se trouve à une première température T1; suivie de
- la mise en oeuvre de la première étape du second type A'; suivie de
- la mise en oeuvre de la seconde étape du premier type B alors que l'alliage se trouve à une seconde température T2 strictement inférieure à ladite première température T1; suivie de
- la mise en oeuvre de la seconde étape du second type B'; suivie de
- la mise en oeuvre de la troisième étape du premier type C alors que l'alliage se trouve à une troisième température T3 strictement inférieure à ladite seconde température T2.

[0009] Pour la compréhension de l'invention, la température de transus β , T β , est la température au-dessus de laquelle on observe une transition de certaines au moins des structures de l'alliage qui sont en phase α vers des structures de l'alliage en phase β .

[0010] La portion d'alliage en phase α présente une micro structure cristallographique hexagonale compacte.

[0011] La portion d'alliage en phase β présente une micro structure cristallographique cubique centrée.

[0012] Ainsi, lorsque l'on passe au-dessus de cette température de transus β , on constate que des portions de l'alliage qui se présentaient sous forme hexagonale compacte, se transforment en portions d'alliage cubique centrée. L'enchaînement d'étapes selon le procédé de l'invention combine traitements thermiques et déformations mécaniques plastiques de l'alliage accomplies de manière à homogénéiser la micro structure interne de l'alliage en homogénéisant progressivement la taille des cristaux / grains qui composent l'alliage.

[0013] Ainsi, les pièces d'un lot de pièces produit à partir de l'alliage titane converti suivant le procédé de l'invention présentent des caractéristiques homogénéisées du point de vu de la micro structure, du point de

vue de la répartition des tailles des grains en phases β contenus dans l'alliage et du point de vue de composition chimique (les espèces chimiques sont mieux réparties dans l'alliage converti suivant le procédé de l'invention qu'elles ne l'étaient dans le lingot avant mise en oeuvre des différentes étapes du procédé de l'invention).

[0014] Ainsi, la qualité globale du lot de pièces est améliorée car l'alliage constituant ces pièces présente des caractéristiques homogènes entre les pièces du lot.

[0015] Lors de la formation du lingot, qui pèse plusieurs tonnes, typiquement un lingot pèse de 3 à 7 tonnes et mesure plus de 2 mètres de hauteur, on constate une stratification du lingot telle que la partie inférieure et centrale du lingot présente des cristaux allongés de longueur et section moyenne largement supérieure à la longueur et à la section moyenne des cristaux se trouvant en partie supérieure du lingot.

[0016] La première étape du premier type A est réalisée à une première température T1 supérieure à la température de transus β ce qui permet d'avoir une transformation d'une partie au moins des structures cristallographiques d'alliage qui sont en phase α vers des structures cristallographiques en phase β . La déformation mécanique / déformation plastique des gros grains de l'alliage en phase β entraîne une cassure de ces gros grains en phase β qui sont alors recristallisés en petits grains toujours en phase β . On a ici un début d'homogénéisation de l'alliage du lingot en termes de nature de phases α et β présentes dans l'alliage et de taille de grains β .

[0017] La première étape du second type A' qui est réalisée en dessous de la température de transus β , en l'occurrence à une température T4, pour conserver la nature des phases α et β présentes dans le matériau tout en appliquant à ce même alliage, une déformation mécanique plastique qui a pour effet de créer / accumuler des contraintes mécaniques internes dans l'alliage et autour des grains en phase β .

[0018] Lors de l'étape d'après qui est la seconde étape du premier type B, on remonte alors la température de l'alliage au-dessus de la température de transus β jusqu'à atteindre une seconde température T2 qui est strictement inférieure à la première température T1. Lors de cette étape B, les contraintes mécaniques accumulées autour des grains en phase β lors de la première étape du second type A', génèrent à nouveau des ruptures / dislocations des grains β qui ont les plus grandes tailles et qui sont soumis aux plus grandes contraintes. L'effet de ces dislocations est de favoriser la recristallisation des grains d'alliage β les plus gros. Cette seconde étape du premier type B est une étape de recristallisation, qui permet de préparer une première homogénéisation la taille des grains β , par accumulation de dislocations dans les grains les plus gros, ou les moins bien orientés par rapport à l'essentiel de la microstructure.

[0019] Lors de l'étape d'après, qui est la seconde étape du second type B', on abaisse à nouveau la température de l'alliage pour qu'il ait une température courante T4 inférieure à la température de transus β , T β , et on appli-

que à nouveau une déformation plastique à l'alliage pour à nouveau créer de nouvelles contraintes mécaniques dans l'alliage et autour des grains en phase β .

[0020] Comme cette étape B' est réalisée en dessous de la température de transus β , les phases α et β des grains en présence dans l'alliage sont conservées et seules des contraintes mécaniques sont générées autour des grains β les plus hétérogènes par rapport à la microstructure.

[0021] Lors de l'étape d'après, qui est la troisième étape du premier type C, on augmente à nouveau la température de l'alliage pour qu'il ait une température courante, dite troisième température T3, qui soit supérieure à la température de transus β , mais strictement inférieure à la seconde température T2 qui avait été atteinte lors de la seconde étape du premier type B. Lors de cette troisième étape du premier type C, les contraintes mécaniques accumulées, autour des grains β , lors de la seconde étape du second type B', génèrent à nouveau des ruptures / dislocations des grains β qui ont les plus grandes tailles et qui sont soumis aux plus grandes contraintes. L'effet de ces nouvelles dislocations est toujours de favoriser la recristallisation des grains β qui contiennent le plus de dislocations. L'alliage est ainsi à nouveau homogénéisé.

[0022] Le fait que les première, second et troisième étapes du premier type soient réalisées en abaissant progressivement la température tout en restant au-dessus de la température de transus β permet de créer progressivement des dislocations de plus en plus fines pour favoriser la précipitation des grains d'alliage en phase β les plus hétérogènes. Toutes ces étapes du procédé de conversion selon l'invention permettent d'homogénéiser la structure cristallographique de l'alliage tant au niveau de la répartition des grains de phases α et des grains de phase β dans l'alliage qu'au niveau des dimensions de ces grains respectifs.

[0023] L'alliage ainsi converti présente des caractéristiques mécaniques plus homogènes ce qui permet d'homogénéiser les caractéristiques en fonction des directions envisagées des pièces métalliques obtenue à partir de cet alliage.

[0024] Dans un mode de réalisation préférentiel du procédé selon l'invention, on fait en sorte que :

- la première température T1 soit supérieure à la température de transus β T β d'au moins 200°C et d'au plus 300°C ; que
- la seconde température T2 soit supérieure à la température de transus β T β d'au moins 100°C et d'au plus 200°C ; et que
- la troisième température T3 soit supérieure à la température de transus β T β d'au moins 50°C et d'au plus 150°C.

[0025] Le fait :

- d'une part de limiter progressivement l'écart entre la

température de transus β T_β et les températures T_1 , T_2 , T_3 successivement mises en oeuvre pour les première, seconde et troisième étapes du premier type A, B, C ; tout en s'assurant

- d'autre part de ne pas dépasser une température limite T_{lim} au-dessus de la température de transus β T_β ;

permet d'éviter le risque que des grains en phase β , voisins les uns des autres ne se recombinent en un seul gros grain en phase β , ce qui irait à l'encontre de l'effet recherché d'homogénéisation de l'alliage.

[0026] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention combiné à l'un quelconque des modes précités, on fait en sorte que chaque déformation plastique mise en oeuvre lors d'une étape du second type A', B', C' est telle qu'elle tend à inverser au moins partiellement l'effet de déformation appliquée à l'alliage lors de l'étape du premier type précédant immédiatement cette étape du second type.

[0027] Par inversion d'effet de déformation, on entend une inversion d'au moins une des déformations subies par l'alliage. Ainsi, si une première déformation a conduit à une diminution de la longueur de la billette composée de l'alliage, alors la déformation inversant l'effet de cette première déformation doit être réalisée de manière à obtenir une augmentation de la longueur de la billette.

[0028] En inversant, lors d'une étape du second type A', B', C', l'effet de la déformation appliquée lors de l'étape précédente du premier type A, B ou C, on augmente la capacité de déformation pouvant être mise en oeuvre lors d'une étape du premier type ultérieure. En effet, si l'on ne réalisait pas une déformation inversant au moins partiellement l'effet de la déformation réalisée lors d'une étape du premier type, on aurait alors une capacité de déformation de l'alliage beaucoup plus limitée lors de l'étape du premier type suivante. En effet, les déformations réalisées entre deux étapes successives du premier type A, B, C s'additionneraient jusqu'à atteindre une déformation telle qu'elle conduit à une rupture complète locale de l'alliage.

[0029] En conséquence, l'inversion de l'effet de déformation permet de limiter les effets délétères associés aux multiples déformations réalisées durant les étapes du premier type.

[0030] Dans un mode de réalisation préférentiel, chacune des déformations plastiques mises en oeuvre lors des étapes du premier type sont des déformations par compression de l'alliage suivant une direction de compression d'alliage commune à toutes les étapes du premier type, ces déformations plastiques mises en oeuvre lors des étapes du premier type ont chacune un effet de réduction de la longueur L_x de l'alliage.

[0031] La longueur L_x de l'alliage est la plus grande dimension de l'alliage ou du bloc d'alliage soumis à une déformation. Que l'alliage soit sous forme de lingot ou billette, cette longueur L_x d'alliage reste toujours la plus grande dimension mesurable sur cet alliage et cette lon-

gueur L_x est donc une longueur courante de l'alliage mesurée avant de faire subir à l'alliage une nouvelle étape de déformation.

[0032] Ainsi, lors des étapes du premier type, on tend à compacter l'alliage en en réduisant sa dimension courante L_x la plus importante la déformation. Ce type de déformation réalisée à température supérieure à T_β est moins fragilisante qu'une déformation tendant à étirer l'alliage.

[0033] Préférentiellement, chacune des déformations plastiques mise en oeuvre lors des étapes du second type A', B', C' sont des déformations par compression de l'alliage orientées de manière à obtenir à chaque étape du second type une augmentation de la longueur (L_x) de l'alliage.

[0034] Typiquement, les déformations plastiques mises en oeuvre lors des opérations du deuxième type sont obtenues en comprimant l'alliage selon des directions de compression perpendiculaires à la direction de compression d'alliage commune à toutes les étapes du premier type.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0035] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins de la figure 1 qui illustre le procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0036] Le procédé selon l'invention a pour but de permettre une conversion d'un alliage de titane se présentant au départ sous forme de lingot, ce procédé de conversion permettant d'homogénéiser les caractéristiques micro-structurelles de l'alliage.

[0037] L'alliage converti suivant le procédé de conversion selon l'invention se présente sous la forme d'une ou plusieurs billettes. L'alliage ainsi obtenu se présente sous forme de billette et est alors successivement :

- forgé pour générer des formes particulières nécessaires à la pièce finale qui est préférentiellement une grosse pièce d'atterrisseur comme une tige ou un bogie ; puis
- usinée pour retirer une partie de l'alliage présent sur la pièce forgée ; puis éventuellement
- mis en solution et trempé à l'eau ou l'air ; puis
- vieilli thermiquement pour être durci, l'alliage ainsi vieilli étant un alliage quasi β contenant des nodules d'alliage en phase α primaire entre les grains β , ainsi qu'une précipitation de α secondaire à l'intérieur des grains β .

[0038] Bien que l'invention concerne essentiellement le procédé de conversion selon l'invention, elle peut éga-

lement concerner un procédé de production de pièce telle qu'une tige un bogie ou un caisson d'atterrisseur d'aéronef, ou toute pièce de taille comparable à une tige d'atterrisseur (longueur supérieure à 1 mètre), fabriquée à partir d'un alliage converti conformément au procédé de conversion d'alliage selon l'invention.

[0039] Ce procédé de production comporte, outre le procédé de conversion d'alliage selon l'invention, des étapes ultérieures précitées de forgeage, d'usinage et de vieillissement pour obtenir une grosse pièce d'atterrisseur quasi finie, comme une tige, un bogie, un caisson d'atterrisseur.

[0040] La présente description va maintenant présenter le procédé de conversion selon l'invention.

[0041] La première étape du procédé de conversion selon l'invention consiste à produire un alliage comportant, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane. Cet alliage est choisi pour présenter une température de transus β $T\beta$ comprise entre 800°C et 950°C et préférentiellement de 900°C.

[0042] Plus particulièrement, cet alliage est choisi dans le groupe d'alliages comprenant :

- un premier alliage (Ti 10-2-3) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Aluminium, Al	2.6 - 3.4 %
Carbone, C	<= 0.050 %
Hydrogène H	<= 0.015 %
Fer, Fe	1.6 - 2.2 %
Azote, N	<= 0.050 %
Oxygène, O	<= 0.13 %
Titane, Ti	83 - 86.8 %
Vanadium, V	9.0 - 11 % ;

- un second alliage de type (Ti 5-5-5-3) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Fer Fe	0.5 - 1.5%
Carbone C	maximum 0.1%
Silicium Si	maximum 0.15%
Chrome Cr	0.5 - 1.5%
Molybdène Mo	4 - 5.5%
Vanadium V	4 - 5.5%
Azote N	maximum 0.05%
Titane Ti	79.4 - 86.3%
Aluminium Al	4.4% - 5.7%
Zirconium Zr	maximum 0.3%
Oxygène O	maximum 0.18%
Hydrogène H	maximum 0.15%
Impuretés 0.3%;	

- un troisième alliage de type (Ti 5-5-5-3-1) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Fer Fe	0.5 - 1.5%
--------	------------

(suite)

Carbone C	maximum 0.1%
Silicium Si	maximum 0.15%
Chrome Cr	0.5 - 1.5%
Molybdène Mo	4 - 5.5%
Vanadium V	4 - 5.5%
Azote N	maximum 0.05%
Titane Ti	79.4 - 86.3%
Aluminium Al	4.4% - 5.7%
Zirconium Zr	1%

Oxygène O	maximum 0.18%
Hydrogène H	maximum 0.15%
Impuretés 0.3%;	

- un quatrième alliage de type (Ti18) décrit dans le document brevet GB2470613A, et comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Aluminium	5.3-5.7 %
Vanadium V	4.8-5.2 %
Fer Fe	0.7-0.9 %
Molybdène Mo	4.6-5.3 %
Chrome Cr	2.0-2.5 %
Oxygène O	0.12-0.16 %

le reste étant au moins du Titane et de impuretés ;
- un cinquième alliage comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Titane au moins	84%
Aluminium Al	4%-7.5%
Oxygène au moins	0,1%
Carbone C au moins	0,01%

au moins un élément choisi parmi le vanadium, le molybdène, le chrome ou le fer, ce cinquième alliage comportant également du Hafnium et du Zirconium en addition dans une proportion massique d'au moins 0,1%.

[0043] Le cinquième alliage est particulièrement adapté pour être converti à l'aide du procédé selon l'invention car il présente une température de transus β , $T\beta$, comprise entre 800°C et 950°C et plus particulièrement une température de transus β , $T\beta$ =900°C.

[0044] Plus particulièrement, ce cinquième alliage, comporte, en proportion massique, au moins 84% de Titane et au moins les éléments suivants :

- Aluminium 4,0 - 7,5%
- Vanadium 3,5 - 5,5%
- Molybdène 4,5-7,5%
- Chrome 1,8-3,6%
- Fer 0,2-0,5%
- Hafnium 0,1-1,1%

- Oxygène 0,1-0,3%
- Carbone 0,01-0,2%.

[0045] Chacun de ces alliages de titane présente une température de transus β T_β qui lui est propre.

[0046] Typiquement, la température du cinquième alliage préférentiel est de $T_\beta = 900^\circ\text{C}$.

[0047] Comme indiqué précédemment, la température de transus β est la température à partir de laquelle on observe une transition de structures de l'alliage en phase α vers des structures de l'alliage en phase β .

[0048] L'alliage ainsi produit est coulé pour fabriquer un lingot 1 composé dudit alliage.

[0049] Comme on le voit sur la figure 1, le procédé de conversion selon l'invention comporte :

- au moins des première, seconde et troisième étapes d'un premier type A, B, C consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement supérieure à la température de transus β T_β et inférieure à une température limite $T_{\text{lim}} = T_\beta + 300^\circ\text{C}$; et
- au moins des première et seconde étapes d'un second type A', B' consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement inférieure à la température de transus β T_β .

[0050] Dans le cas présent, le procédé comporte une troisième étape du second type C'.

[0051] Ces étapes des premier et second types A, A', B, B', C sont mises en oeuvre pour une même portion de l'alliage en suivant la séquence consistant en :

- réalisation de la première étape du premier type A alors que l'alliage se trouve à une première température T_1 ; puis
- réalisation de la première étape du second type A' alors que l'alliage se trouve à une température T_4 , dite quatrième température; puis
- réalisation de la seconde étape du premier type B alors que l'alliage se trouve à une seconde température T_2 strictement inférieure à ladite première température T_1 ; puis
- réalisation de la seconde étape du second type B' alors que l'alliage est à T_4 ; puis
- réalisation de la troisième étape du premier type C alors que l'alliage se trouve à une troisième température T_3 strictement inférieure à ladite seconde température T_2 ; puis
- réalisation de la troisième étape du second type C' alors que l'alliage est à T_4 .

[0052] Typiquement, on a

* T_1 défini par $(T_\beta + 200^\circ\text{C}) < T_1 < (T_\beta + 300^\circ\text{C})$;

* T_2 défini par $T_2 < T_1$ et $(T_\beta + 100^\circ\text{C}) < T_2 < (T_\beta + 200^\circ\text{C})$;

* T_3 défini par $T_3 < T_2 < T_1$ et $(T_\beta + 50^\circ\text{C}) < T_3 < (T_\beta + 150^\circ\text{C})$.

* T_4 qui est la quatrième température mise en oeuvre à chacune des étapes du second type est définie par $(T_\beta - 65^\circ\text{C}) < T_4 < (T_\beta - 35^\circ\text{C})$ ou préférentiellement par $(T_\beta - 55^\circ\text{C}) < T_4 < (T_\beta - 45^\circ\text{C})$.

[0053] Dans le cas de la figure 1,

$T_\beta = 800^\circ\text{C}$, $T_1 = 1100^\circ\text{C}$, $T_2 = 1000^\circ\text{C}$, $T_3 = 900^\circ\text{C}$, $T_4 = 750^\circ\text{C}$.

[0054] Ces températures T_1 , T_2 , T_3 , T_4 sont vérifiées si elles sont entre $\pm 15^\circ\text{C}$ de la température indiquée et préférentiellement entre $\pm 5^\circ\text{C}$ de cette température. Le choix de la quatrième température T_4 permet de conserver les phases α et β en présence dans l'alliage sans trop accumuler de contraintes autour des grains β .

[0055] Bien que l'on ait décrit que les températures auxquelles sont mises en oeuvre les étapes du second type A', B', C' sont identiques, il est possible qu'elles diffèrent entre elles.

[0056] Avant la première étape du premier type A, le lingot 1 formé de l'alliage présente une longueur courante L_x définissant un axe principal X-X de l'alliage.

[0057] Dans toutes les étapes du premier type, A, B, C, la direction de compression d'alliage est orientée parallèlement à cet axe principal d'alliage, et plus particulièrement parallèlement à cette longueur du lingot.

[0058] Les directions de compression de l'alliage qui sont mises en oeuvre lors des étapes du second type A', B', C' sont perpendiculaires à la longueur du lingot, c'est-à-dire perpendiculaires à l'axe principal X-X.

[0059] Typiquement, les compressions mises en oeuvre lors des étapes du premier type A, B, C sont réalisées en plaçant le lingot entre des éléments d'une presse se rapprochant l'un de l'autre suivant une direction parallèle à la longueur du lingot.

[0060] Typiquement, les compressions mises en oeuvre lors des étapes du deuxième type A', B', C' sont obtenues par écrasement de l'alliage entre des outils de forme ou non placés en vis-à-vis pour entraîner une réduction de section de l'alliage et ainsi un allongement progressif de l'alliage. La déformation réalisée au cours de la première étape du premier type A comprend au moins une opération de refoulement R réduisant la longueur L_x de l'alliage de 20 à 30% de la longueur L_x d'alliage mesurée avant mise en oeuvre de cette première étape du premier type A.

[0061] La déformation réalisée au cours de la seconde étape du premier type B comprend également une opération de refoulement R réduisant la longueur L_x de l'alliage de 20 à 30% de la longueur L_x d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la première étape du second type A' et avant mise en oeuvre de la seconde étape du premier type B.

[0062] La déformation réalisée au cours de la troisième étape du premier type C comprend aussi un refoulement R réduisant la longueur L_x de l'alliage de 15 à 20% de la longueur L_x d'alliage mesurée après mise en oeuvre

de la seconde étape du second type B' et avant mise en oeuvre de la troisième étape du premier type C.

[0063] Le refoulement R est une opération de compression de l'alliage selon sa longueur Lx, c'est-à-dire selon l'axe X-X de l'alliage.

[0064] La déformation E1 réalisée au cours de la première étape du second type A' est réalisée pour augmenter la longueur Lx de l'alliage de 20 à 30% de la longueur Lx d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la première étape du premier type A et avant cette augmentation de longueur Lx mise en oeuvre de la première étape du second type A'.

[0065] La déformation E4 réalisée au cours de la seconde étape du second type B' est adaptée à augmenter la longueur Lx de l'alliage de 20 à 30% de la longueur Lx d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la seconde étape du premier type B et avant l'augmentation de longueur Lx réalisée lors de cette seconde étape du second type B'.

[0066] Postérieurement à la troisième étape du premier type C, on met en oeuvre une troisième étape du second type C', cette troisième étape C' permet de donner à l'alliage une forme et des dimensions propres à son forgeage ultérieur pour l'obtention d'une pièce forgée.

[0067] Cette troisième étape du second type C' peut être adaptée à augmenter la longueur Lx de l'alliage d'au moins 30% de la longueur Lx d'alliage Lx mesurée après mise en oeuvre de la troisième étape du premier type C et avant mise en oeuvre de cette augmentation de longueur Lx réalisée à la troisième étape du second type C'.

[0068] On note que postérieurement à la seconde étape du premier type B et avant la troisième étape du second type C', de préférence entre les étapes B' et C, on met en oeuvre une étape de découpe X selon un plan transversal de l'alliage de manière à obtenir deux parties allongées en forme de barres nommées billettes 1', 1".

[0069] Idéalement, ces parties/billettes 1', 1" sont de formes identiques entre elles. La forme d'une billette destinée à former une grosse pièce d'atterrisseur d'aéronef est sensiblement cylindrique droite de longueur comprise entre 2 m et 3 m et de diamètre compris entre 0.4 et 0.5 m.

[0070] A l'origine, le lingot d'alliage, avant mise en oeuvre de la première étape du premier type A est de forme cylindrique droite de longueur comprise entre 3 m et 5 m et de diamètre compris entre 0.6 m et 1.2 m.

[0071] Le volume de deux billettes 1', 1" est inférieur au volume du lingot ce qui implique qu'une partie de l'alliage a été évacuée lors des différentes étapes du procédé de conversion d'alliage selon l'invention.

[0072] Dans le cas présent :

- à l'étape A, on réalise une opération de refoulement R1 suivie d'une opération d'étirage E1 ;
- à l'étape A', on réalise une opération de refoulement R2 suivie d'une opération d'étirage E2 ;
- à l'étape B, on réalise une opération de refoulement R3 suivie d'une opération d'étirage E3 ;

- à l'étape B', on réalise une opération de refoulement R4 suivie d'une opération d'étirage E4 ;
- à l'étape C, on réalise une opération de refoulement R5 suivie d'une opération d'étirage E5 ;
- à l'étape C', on réalise une opération de refoulement R6 suivie d'une opération d'étirage E6 qui conduit à la billette 1' finie et prête à être forgée.

[0073] Ces étirements E1, E2, E3, E4, E5, E6 sont des allongements de la longueur courante d'alliage Lx obtenus par compression latérale de l'alliage et non par traction.

[0074] La billette 1' issue du procédé est formée d'un alliage converti dont la microstructure est homogénéisée au moins en terme de dimensions de grains en phase β et de répartition de ces grains dans l'alliage par rapport à la microstructure observée avant mise en oeuvre de l'étape A du procédé.

[0075] Bien que le procédé selon l'invention ait été présenté avec trois étapes du premier type et trois étapes du second type, on note qu'il peut aussi comporter un plus grand nombre d'étapes du premier type et un plus grand nombre d'étapes du second type.

[0076] Quel que soit le nombre d'étapes du second type mises en oeuvre on fait préférentiellement en sorte que l'on ait au moins une étape du second type mise en oeuvre entre deux étapes successives du premier type.

30 Revendications

1. Procédé de conversion d'un alliage comportant, en pourcentage massique de l'alliage, majoritairement du titane, cet alliage présentant une température de transus β à partir de laquelle on observe une transition de structures de l'alliage en phase α vers des structures de l'alliage en phase β , le procédé comportant :

- une étape de fabrication d'un lingot (1) composé dudit alliage ;
- au moins des première, seconde et troisième étapes d'un premier type (A, B, C) consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement supérieure à la température de transus β (T_β); et
- au moins des première et seconde étapes d'un second type (A', B') consistant à déformer plastiquement l'alliage issu dudit lingot alors qu'il est à une température courante strictement inférieure à la température de transus β (T_β), **caractérisé en ce que** ces étapes des premier et second types (A, A', B, B', C) sont appliquées selon la séquence consistant en :
 - la mise en oeuvre de la première étape du premier type (A) alors que l'alliage se trouve à une première température (T_1); suivie de

- la mise en oeuvre de la première étape du second type (A') ; suivie de
 - la mise en oeuvre de la seconde étape du premier type (B) alors que l'alliage se trouve à une seconde température (T2) strictement inférieure à ladite première température (T1); suivie de
 - la mise en oeuvre de la seconde étape du second type (B') ; suivie de
 - la mise en oeuvre de la troisième étape du premier type (C) alors que l'alliage se trouve à une troisième température (T3) strictement inférieure à ladite seconde température (T2).
2. Procédé de conversion d'alliage selon la revendication 1, dans lequel :
- la première température (T1) est supérieure à la température de transus β ($T\beta$) d'au moins 200°C et d'au plus 300°C ;
 - la seconde température (T2) est supérieure à la température de transus β ($T\beta$) d'au moins 100°C et d'au plus 200°C ;
 - la troisième température (T3) est supérieure à la température de transus β ($T\beta$) d'au moins 50°C et d'au plus 150°C.
3. Procédé de conversion d'alliage selon l'une au moins des revendications 1 ou 2, dans lequel chaque déformation plastique mise en oeuvre lors d'une étape du second type (A', B', C') est telle qu'elle tend à inverser au moins partiellement l'effet de déformation appliquée à l'alliage lors de l'étape du premier type précédant cette étape du second type.
4. Procédé de conversion d'alliage selon l'une au moins des revendications 1 à 3, dans lequel chacune des déformations plastiques mises en oeuvre lors des étapes du premier type sont des déformations par compression de l'alliage suivant une direction de compression d'alliage commune à toutes les étapes du premier type, ces déformations plastiques mises en oeuvre lors des étapes du premier type ayant chacune un effet de réduction de la longueur (Lx) de l'alliage.
5. Procédé de conversion d'alliage suivant la revendication 4, dans lequel chacune des déformations plastiques mise en oeuvre lors des étapes du second type sont des déformations par compression de l'alliage orientées de manière à obtenir à chaque étape du second type une augmentation de la longueur (Lx) de l'alliage.
6. Procédé de conversion d'alliage selon la revendication 5, dans lequel la déformation (R1) réalisée au cours de la première étape du premier type (A) est adaptée à réduire la longueur (Lx) de l'alliage de 20 à 30% de la longueur (Lx) d'alliage mesurée avant
- mise en oeuvre de cette première étape du premier type (A).
7. Procédé de conversion selon la revendication 6, dans lequel la déformation (R3) réalisée au cours de la seconde étape du premier type (B) est adaptée à réduire la longueur (Lx) de l'alliage de 20 à 30% de la longueur (Lx) d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la première étape du second type (A') et avant mise en oeuvre de cette seconde étape du premier type (B).
8. Procédé de conversion selon l'une au moins des revendications 6 ou 7, dans lequel la déformation (R5) réalisée au cours de la troisième étape du premier type (C) est adaptée à réduire la longueur (Lx) de l'alliage de 15 à 20% de la longueur (Lx) d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la seconde étape du second type (B') et avant mise en oeuvre de cette troisième étape du premier type (C).
9. Procédé de conversion selon l'une au moins des revendications 6 à 8, dans lequel la déformation (E2) réalisée au cours de la première étape du second type (A') est adaptée à augmenter la longueur (Lx) de l'alliage de 20 à 30% de la longueur (Lx) d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la première étape du premier type (A) et avant l'augmentation de longueur (Lx) mise en oeuvre lors de cette première étape du second type (A').
10. Procédé de conversion selon la revendication 9, dans lequel la déformation (E4) réalisée au cours de la seconde étape du second type (B') est adaptée à augmenter la longueur (Lx) de l'alliage de 20 à 30% de la longueur (Lx) d'alliage mesurée après mise en oeuvre de la seconde étape du premier type (B) et avant l'augmentation de longueur (Lx) mise en oeuvre lors de cette seconde étape du second type (B').
11. Procédé de conversion d'alliage selon l'une au moins des revendications 1 à 10, dans lequel postérieurement à la troisième étape du premier type (C), on met en oeuvre une troisième étape du second type (C').
12. Procédé de conversion d'alliage selon la revendication 11, dans lequel postérieurement à la seconde étape du premier type (B) et avant la troisième étape du second type (C'), on met en oeuvre une étape de découpe selon un plan transversal de l'alliage de manière à obtenir deux parties allongées en forme de barres nommées billettes.
13. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chacune des étapes du premier type est mise en oeuvre à

une quatrième température (T4) comprise entre la température de transus β ($T\beta$) moins 50°C à plus ou moins 15°C près et préférentiellement à plus ou moins 5°C près.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel l'alliage est choisi pour présenter une température de transus β ($T\beta$) comprise entre 800°C et 950°C et préférentiellement de 900°C.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel l'alliage est choisi dans le groupe d'alliages comprenant :

- un premier alliage (Ti 10-2-3) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Aluminium, Al	2.6 - 3.4 %
Carbone, C	<= 0.050 %
Hydrogène H	<= 0.015 %
Fer, Fe	1.6 - 2.2 %
Azote, N	<= 0.050 %
Oxygène, O	<= 0.13 %
Titane, Ti	83 - 86.8 %
Vanadium, V	9.0 - 11 % ;

- un second alliage de type (Ti 5-5-5-3) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Fer Fe	0.5 - 1.5%
Carbone C	maximum 0.1%
Silicium Si	maximum 0.15%
Chrome Cr	0.5 - 1.5%
Molybdène Mo	4 - 5.5%
Vanadium V	4 - 5.5%
Azote N	maximum 0.05%
Titane Ti	79.4 - 86.3%
Aluminium Al	4.4% - 5.7%
Zirconium Zr	maximum 0.3%
Oxygène O	maximum 0.18%
Hydrogène H	maximum 0.15%
Impuretés 0.3%;	

- un troisième alliage de type (Ti 5553-1) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Fer Fe	0.5 - 1.5%
Carbone C	maximum 0.1%
Silicium Si	maximum 0.15%
Chrome Cr	0.5 - 1.5%
Molybdène Mo	4 - 5.5%
Vanadium V	4 - 5.5%

(suite)

Azote N	maximum 0.05%
Titane Ti	79.4 - 86.3%
Aluminium Al	4.4% - 5.7%
Zirconium Zr	1%

Oxygène O	maximum 0.18%
Hydrogène H	maximum 0.15%
Impuretés 0.3%;	

- un quatrième alliage de type (Ti18) comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Aluminium	5.3-5.7 %
Vanadium V	4.8-5.2 %
Fer Fe	0.7-0.9 %
Molybdène Mo	4.6-5.3 %
Chrome Cr	2.0-2.5 %
Oxygène O	0.12-0.16 %

le reste étant au moins du Titane et de impuretés ;

- un cinquième alliage comportant, en proportion massique, les éléments suivants :

Titane au moins 84%
Aluminium Al 4%
Oxygène au moins 0,1%
Carbone C au moins 0,01%
au moins un élément choisi parmi le vanadium, le molybdène, le chrome ou le fer, ce cinquième alliage comportant également du Hafnium et du Zirconium en addition dans une proportion massique d'au moins 0,1%.

16. Pièce d'atterrisseur d'aéronef, telle qu'une tige d'atterrisseur, un bogie, ou un caisson fabriquée à partir d'un alliage converti conformément au procédé de conversion d'alliage selon l'une quelconque des revendications 1 à 15.

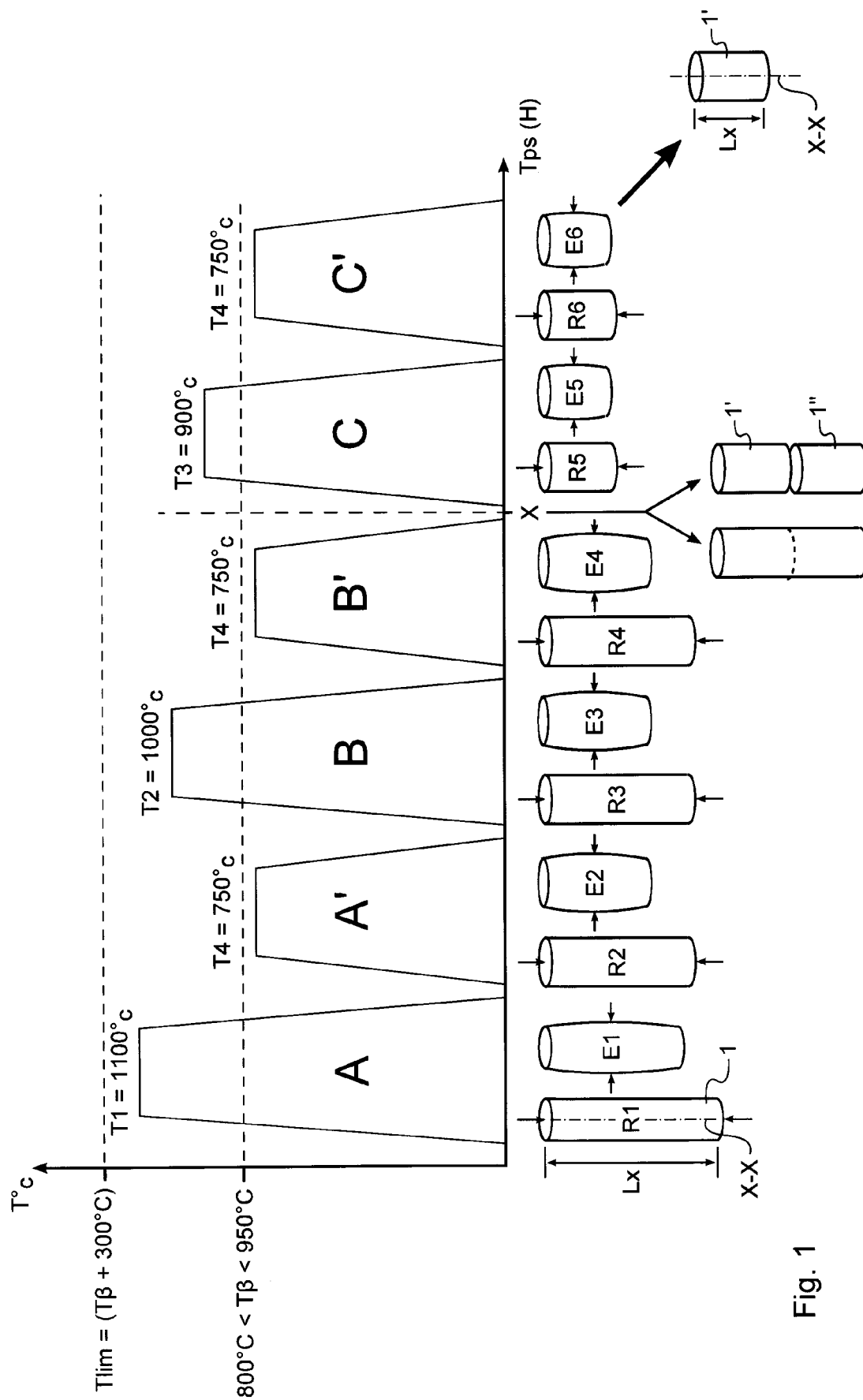


Fig. 1



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 15 17 7409

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 1 136 582 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 26 septembre 2001 (2001-09-26)	1,13-15	INV. C22C14/00
A	* le document en entier *	2-12,16	C22F1/18
A	US 3 470 034 A (KASTANEK JOSEPH ET AL) 30 septembre 1969 (1969-09-30)	1-16	
A	FR 2 475 952 A1 (ROLLS ROYCE [GB]) 21 août 1981 (1981-08-21)	1-16	
A	FR 2 936 172 A1 (SNECMA [FR]) 26 mars 2010 (2010-03-26)	1-16	
A	FR 2 836 640 A1 (SNECMA MOTEURS [FR]) 5 septembre 2003 (2003-09-05)	1-16	
A	US 2012/060981 A1 (FORBES JONES ROBIN M [US] ET AL) 15 mars 2012 (2012-03-15)	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	SEMIATIN S L ET AL: "The Thermomechanical Processing of Alpha/Beta Titanium Alloys", JOURNAL OF METALS, AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, NEW YORK, NY, US, 1 juin 1997 (1997-06-01), pages 33-39,68, XP002272446, ISSN: 0022-2674	1-16	C22F C22C
A	US 2012/107132 A1 (THOMAS ROGER [GB] ET AL) 3 mai 2012 (2012-05-03)	1-16	
-/--			
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 5 août 2015	Examineur Abrasonis, Gintautas
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 15 17 7409

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	BAO R Q ET AL: "Optimisation of hot die forging processes of Ti-10V-2Fe-3Al alloy", MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY, MANEY PUBLISHING, GB, vol. 21, no. 4, 1 avril 2005 (2005-04-01), pages 451-458, XP009181661, ISSN: 0267-0836 * le document en entier * -----	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 5 août 2015	Examineur Abrasonis, Gintautas
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 15 17 7409

5

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

05-08-2015

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1136582 A1	26-09-2001	EP 1136582 A1	26-09-2001
		US 6332935 B1	25-12-2001
US 3470034 A	30-09-1969	AUCUN	
FR 2475952 A1	21-08-1981	FR 2475952 A1	21-08-1981
		GB 2070055 A	03-09-1981
		JP 556131036 A	14-10-1981
FR 2936172 A1	26-03-2010	CA 2737412 A1	25-03-2010
		CN 102159340 A	17-08-2011
		EP 2344290 A1	20-07-2011
		FR 2936172 A1	26-03-2010
		JP 2012502803 A	02-02-2012
		RU 2011115813 A	27-10-2012
		US 2011192509 A1	11-08-2011
		WO 2010031982 A1	25-03-2010
FR 2836640 A1	05-09-2003	DE 60313065 T2	03-01-2008
		EP 1340832 A1	03-09-2003
		FR 2836640 A1	05-09-2003
		JP 4022482 B2	19-12-2007
		JP 2003253361 A	10-09-2003
		RU 2303642 C2	27-07-2007
		UA 77399 C2	15-09-2003
		US 2003209298 A1	13-11-2003
		US 2006157170 A1	20-07-2006
US 2012060981 A1	15-03-2012	AU 2011302567 A1	11-04-2013
		CA 2810388 A1	22-03-2012
		CN 103189530 A	03-07-2013
		EP 2616563 A1	24-07-2013
		EP 2848708 A1	18-03-2015
		JP 2013539820 A	28-10-2013
		KR 20140034715 A	20-03-2014
		RU 2013116806 A	20-10-2014
		TW 201221662 A	01-06-2012
		US 2012060981 A1	15-03-2012
		US 2014076471 A1	20-03-2014
		WO 2012036841 A1	22-03-2012
US 2012107132 A1	03-05-2012	CA 2861163 A1	18-07-2013
		CN 104169449 A	26-11-2014
		EP 2802676 A1	19-11-2014
		GB 2498408 A	17-07-2013
		JP 2015510035 A	02-04-2015

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 15 17 7409

5

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

05-08-2015

10

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		US 2012107132 A1	03-05-2012
		WO 2013106788 A1	18-07-2013

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- GB 2470613 A [0042]