

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2015/086921 A2

(43) Date de la publication internationale  
18 juin 2015 (18.06.2015)

WIPO | PCT

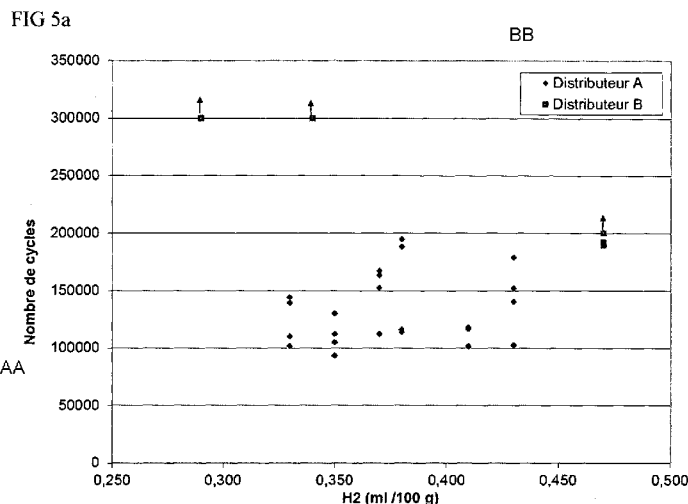
- (51) Classification internationale des brevets : Non classée
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2014/000271
- (22) Date de dépôt international : 11 décembre 2014 (11.12.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 13/02932 13 décembre 2013 (13.12.2013) FR
- (71) Déposant : CONSTELLIUM FRANCE [FR/FR]; 40-44, rue Washington, F-75008 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : DANIELOU, Armelle; Les Modelons, 73360 Les Echelles (FR). BLAIS, Soizic; 5, Lotissement Le Dauphin, F-38960 Saint Etienne De Crossey (FR). JARRY, Philippe; 22, quai Perrière, F-38000 Grenoble (FR). RI-BAUD, Olivier; 270 Montée de la Rua, F-38140 Renage (FR). VALENTIN, Bernard; 8, Rue des Chamois, F-38500 Voiron (FR).
- (74) Mandataire : BUTRUILLE, Jean-Rémi; Constellium CRV, 725, rue Aristide Bergès, CS10027, 38341 Voreppe (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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

[Suite sur la page suivante]

- (54) Title : PRODUCTS MADE OF ALUMINIUM-COPPER-LITHIUM ALLOY WITH IMPROVED FATIGUE PROPERTIES
- (54) Titre : PRODUITS EN ALLIAGE D'ALUMINIUM - CUIVRE - LITHIUM À PROPRIÉTÉS EN FATIGUE AMÉLIORÉES



AA... Number of cycles  
BB... Distributor A  
Distributor B

(57) Abstract : The invention relates to a metal sheet with a thickness of at least 80 mm made of an aluminium alloy including, as weight percentages: Cu: 2.0 - 6.0; Li: 0.5 - 2.0; Mg: 0 - 1.0; Ag: 0 - 0.7; Zn 0 - 1.0; and at least one element selected among Zr, Mn, Cr, Se, Hf and Ti, the amount of said element, if chosen, being 0.05 to 0.20 wt % for Zr, 0.05 to 0.8 wt % for Mn, 0.05 to 0.3 wt % for Cr and for Se, 0.05 to 0.5 wt % for Hf and 0.01 to 0.15 wt % for Ti, Si ≤ 0.1; Fe ≤ 0.1; others ≤ 0.05 each and ≤ 0.15 in total, characterised in that in the tempered state the logarithmic mean of the fatigue thereof, as measured at mid-thickness in the TL direction on smooth test pieces with a maximum amplitude constraint of 242 MPa, a frequency of 50 Hz and a stress ratio of R = 0.1, is at least 250,000 cycles. The product according to the invention is obtained by a method which, in particular, has specific casting conditions. The use of a metal sheet according to an invention is advantageous for manufacturing an aeroplane structural element, preferably a spar, ribs or a frame.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/086921 A2

**Publiée :**

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

---

L'invention concerne une tôle dont l'épaisseur est au moins 80 mm en alliage d'aluminium comprenant, en % en poids, Cu : 2,0 - 6,0; Li : 0,5 - 2,0; Mg : 0- 1,0; Ag : 0 - 0,7; Zn 0 - 1,0; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Se, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Se, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, Si  $\leq$  0,1; Fe  $\leq$  0,1; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total, caractérisé en ce que à l'état revenu sa moyenne logarithmique de fatigue mesurée à mi- épaisseur dans la direction TL sur éprouvettes lisses à une contrainte d'amplitude maximale de 242 MPa, une fréquence de 50 Hz, un rapport de contrainte R = 0,1 est au moins 250 000 cycles. Le produit selon l'invention est obtenu par un procédé dans lequel notamment les conditions de coulées sont spécifiques. L'utilisation d'une tôle selon une l'invention pour réaliser un élément de structure d'avion, de préférence un longeron, une nervures ou un cadre est avantageuse.

**Produits en alliage d'aluminium – cuivre – lithium à propriétés en fatigue améliorées****5 Domaine de l'invention**

L'invention concerne les produits laminés alliages aluminium – cuivre – lithium, plus particulièrement, de tels produits, leurs procédés de fabrication et d'utilisation, destinés notamment à la construction aéronautique et aérospatiale.

10

**Etat de la technique**

Des produits laminés en alliage d'aluminium sont développés pour produire des éléments structuraux destinés notamment à l'industrie aéronautique et à l'industrie aérospatiale.

15 Les alliages aluminium – cuivre – lithium sont particulièrement prometteurs pour fabriquer ce type de produit. Les spécifications imposées par l'industrie aéronautique pour la tenue en fatigue sont élevées. Pour les produits épais elles sont particulièrement difficiles à atteindre. En effet compte tenu des épaisseurs possibles des plaques coulées, la réduction d'épaisseur par déformation à chaud est assez faible et par conséquent les sites liés à la  
20 coulée sur lesquels s'initient les fissures de fatigue ne voient pas leur taille réduite au cours de la déformation à chaud.

Le lithium étant particulièrement oxydable, la coulée des alliages aluminium-cuivre-lithium génère d'une manière générale des sites d'initiation de fissure en fatigue plus nombreux que pour les alliages de type 2XXX sans lithium ou 7XXX. Ainsi les solutions  
25 habituellement trouvées pour l'obtention de produits laminés épais en alliages de type 2XXX sans lithium ou 7XXX ne permettent pas d'obtenir des propriétés en fatigue suffisantes pour les alliages aluminium – cuivre – lithium.

Des produits épais en alliage Al-Cu-Li sont notamment décrits dans les demandes US2005/0006008 et US2009/0159159.

30 Dans la demande WO2012/110717, il est proposé pour améliorer les propriétés, notamment en fatigue, des alliages d'aluminium contenant en particulier au moins 0,1 % de Mg et/ou

0,1 % de Li de réaliser lors de la coulée un traitement ultrason. Cependant ce type de traitement reste difficile à effectuer pour les quantités nécessaires à la fabrication de tôles épaisses.

La demande US 2009/0142222 décrit des alliages pouvant inclure 3,4-4,2 % en poids de Cu, 0,9 - 1,4 % en poids de Li, 0,3 - 0,7 % en poids de Ag, 0,1 - 0,6 % en poids de Mg, 0,2 - 0,8 % en poids de Zn, 0,1 - 0,6 % en poids de Mn et 0,01 - 0,6 % en poids d'au moins élément contrôlant la structure granulaire, le reste étant d'aluminium, des éléments incidents et des impuretés.

Il existe un besoin pour des produits épais en alliage aluminium - cuivre - lithium présentant des propriétés améliorées par rapport à celles des produits connus, en particulier en termes de propriétés en fatigue tout en ayant des propriétés de ténacité et des propriétés de résistance mécanique statique avantageuses. Par ailleurs il existe un besoin pour un procédé simple et économique d'obtention de ces produits.

## 15 **Objet de l'invention**

Un premier objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une tôle, dont l'épaisseur est au moins 80 mm, en alliage d'aluminium comprenant les étapes dans lesquelles

(a) on élabore un bain de métal liquide en alliage comprenant, en % en poids, Cu : 2,0 - 6,0 ; Li : 0,5 - 2,0 ; Mg : 0 - 1,0 ; Ag : 0 - 0,7 ; Zn 0 - 1,0 ; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, Si  $\leq$  0,1 ; Fe  $\leq$  0,1 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total,

(b) on coule ledit alliage par coulée semi-continue verticale pour obtenir une plaque d'épaisseur T et de largeur W de telle façon que, lors de la solidification,

- la teneur en hydrogène dudit bain de métal liquide (1) soit inférieure à 0,4 ml/100g,

- la teneur en oxygène mesurée au-dessus de la surface liquide (14,15) soit inférieure à 0,5 % en volume,

- le distributeur utilisé (7) pour la coulée soit réalisé en tissu comprenant essentiellement du carbone, qu'il comprenne une face inférieure (76), une face supérieure définissant l'orifice par lequel le métal liquide est introduit (71) et une paroi de section substantiellement

rectangulaire, la paroi comprenant deux parties longitudinales parallèles à la largeur W (720, 721) et deux parties transversales parallèles à l'épaisseur T (730, 731) lesdites parties transversales et longitudinales étant formées d'au moins deux tissus, un premier tissu sensiblement obturant et semi-rigide (77) assurant le maintien de la forme du distributeur pendant la coulée et un second tissu non obturant (78) permettant le passage et la filtration du liquide, lesdits premier et deuxième tissu étant liés l'un à l'autre sans recouvrement ou avec recouvrement et sans interstice les séparant, ledit premier tissu couvrant de façon continue au moins 30 % de la surface desdites parties de paroi (720,721, 730, 731) et étant positionné de manière à ce que la surface liquide soit en contact avec lui sur l'ensemble de la section,

- (c) on homogénéise avant ou après avoir optionnellement usiné ladite plaque pour obtenir une plaque de laminage pouvant être déformée à chaud,
- (d) on lamine à chaud et optionnellement à froid ladite plaque de laminage ainsi homogénéisée pour obtenir une tôle dont l'épaisseur est au moins 80 mm,
- (e) on met en solution et on trempe ladite tôle,
- (f) optionnellement on détensionne ladite tôle ainsi mise en solution par déformation plastique avec une déformation d'au moins 1%,
- (g) on fait subir un revenu à ladite tôle ainsi mise en solution et optionnellement détensionnée.

Un autre objet de l'invention est une tôle dont l'épaisseur est au moins 80 mm, susceptible d'être obtenue par le procédé selon l'invention, en alliage d'aluminium comprenant, en % en poids, Cu : 2,0 – 6,0 ; Li : 0,5 – 2,0 ; Mg : 0 – 1,0 ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn 0 – 1,0 ; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, Si  $\leq$  0,1 ; Fe  $\leq$  0,1 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total, caractérisé en ce que à l'état revenu sa moyenne logarithmique de fatigue mesurée à mi-épaisseur dans la direction TL sur éprouvettes lisses selon la Figure 1a à une contrainte d'amplitude maximale de 242 MPa, une fréquence de 50 Hz, un rapport de contrainte R = 0,1 est au moins 250 000 cycles.

Encore un autre objet de l'invention est l'utilisation d'une tôle selon l'invention pour réaliser un élément de structure d'avion, de préférence un longeron, une nervure ou un cadre.

## 5 Description des figures

La Figure 1 est le schéma des éprouvettes utilisées pour les essais en fatigue lisse (Fig 1a) et en fatigue à trou (Fig 1b). Les dimensions sont données en mm.

La Figure 2 est un schéma général du dispositif de solidification utilisé dans un mode de réalisation de l'invention.

La Figure 3 est un schéma général du distributeur utilisé dans le procédé selon l'invention.

La Figure 4 présente des représentations du fond et des parties latérales et longitudinales de la paroi du distributeur selon un mode de réalisation de l'invention.

La Figure 5 montre la relation entre la performance en fatigue lisse et la teneur en hydrogène du bain de métal liquide lors de la solidification (Fig 5a) ou la teneur en oxygène mesurée au-dessus de la surface liquide lors de la solidification (Fig. 5b).

La Figure 6 montre les courbes de Wöhler obtenues avec les essais 3, 7 et 8 dans la direction L-T (Figure 6a) et T-L (figure 6b).

## 20 Description de l'invention

Sauf mention contraire, toutes les indications concernant la composition chimique des alliages sont exprimées comme un pourcentage en poids basé sur le poids total de l'alliage. L'expression 1,4 Cu signifie que la teneur en cuivre exprimée en % en poids est multipliée par 1,4. La désignation des alliages se fait en conformité avec les règlements de The Aluminium Association, connus de l'homme du métier. Sauf mention contraire les définitions des états métallurgiques indiquées dans la norme européenne EN 515 s'appliquent.

Les caractéristiques mécaniques statiques en traction, en d'autres termes la résistance à la rupture  $R_m$ , la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2% d'allongement  $R_{p0,2}$ , et

l'allongement à la rupture A%, sont déterminés par un essai de traction selon la norme NF EN ISO 6892-1, le prélèvement et le sens de l'essai étant définis par la norme EN 485-1.

Le facteur d'intensité de contrainte ( $K_{IC}$ ) est déterminé selon la norme ASTM E 399.

Les propriétés en fatigue sur éprouvettes lisses sont mesurées à l'air ambiant à une  
 5 contrainte d'amplitude maximale de 242 MPa, une fréquence de 50 Hz, un rapport de  
 contrainte  $R = 0,1$ , sur des éprouvettes telles que représentées sur la Figure 1a, prélevées à  
 mi-largeur et à mi-épaisseur des tôles dans la direction TL. Les conditions de test obéissent  
 à la norme ASTM E466. On détermine la moyenne logarithmique des résultats obtenus sur  
 au moins 4 éprouvettes.

10 Les propriétés en fatigue sur éprouvettes à trou sont mesurées à l'air ambiant pour des  
 niveaux de contrainte variables, à une fréquence de 50 Hz, un rapport de contrainte  $R = 0,1$ ,  
 sur des éprouvettes telles que représentées sur la Figure 1b,  $K_t = 2,3$ , prélevées au centre et  
 à mi-épaisseur des tôles dans la direction L-T et T-L. L'équation de Walker a été utilisée  
 pour déterminer une valeur de contrainte maximale représentative de 50 % de non rupture à  
 15 100 000 cycles. Pour ce faire un indice de qualité fatigue (IQF) est calculé pour chaque  
 point de la courbe de Wöhler avec la formule

$$IQF = \sigma_{\max} \left( \frac{N_0}{N} \right)^{1/n}$$

où  $\sigma_{\max}$  est la contrainte maximale appliquée à un échantillon donné, N est le nombre de  
 cycles jusqu'à la rupture,  $N_0$  est égale à 100 000 et  $n = -4,5$ . On rapporte l'IQF  
 20 correspondant à la médiane, soit 50% rupture pour 100 000 cycles.

Dans le cadre de l'invention, une tôle corroyée épaisse est un produit dont l'épaisseur est au  
 moins 80 mm et de manière préférée au moins 100 mm. Dans un mode de réalisation de  
 l'invention l'épaisseur des tôles est au moins 120 mm ou de préférence 140 mm.  
 25 L'épaisseur des tôles épaisses selon l'invention est typiquement au plus de 240 mm,  
 généralement au plus de 220 mm et préférentiellement au plus de 180 mm.

Sauf mention contraire, les définitions de la norme EN 12258 s'appliquent. Notamment,  
 une tôle est selon l'invention un produit laminé de section transversale rectangulaire dont  
 30 l'épaisseur uniforme est au moins de 6 mm et n'excède pas 1/10ème de la largeur.

On appelle ici « élément de structure » ou « élément structural » d'une construction mécanique une pièce mécanique pour laquelle les propriétés mécaniques statiques et/ou dynamiques sont particulièrement importantes pour la performance de la structure, et pour laquelle un calcul de structure est habituellement prescrit ou réalisé. Il s'agit typiquement d'éléments dont la défaillance est susceptible de mettre en danger la sécurité de ladite construction, de ses utilisateurs, de ses usagers ou d'autrui. Pour un avion, ces éléments de structure comprennent notamment les éléments qui composent le fuselage (tels que la peau de fuselage (fuselage skin en anglais), les raidisseurs ou lisses de fuselage (stringers), les cloisons étanches (bulkheads), les cadres de fuselage (circumferential frames), les ailes (tels que la peau de voilure (wing skin), les raidisseurs (stringers ou stiffeners), les nervures (ribs) et longerons (spars)) et l'empennage composé notamment de stabilisateurs horizontaux et verticaux (horizontal or vertical stabilisers), ainsi que les profilés de plancher (floor beams), les rails de sièges (seat tracks) et les portes.

On appelle ici « ensemble de l'installation de coulée » l'ensemble des dispositifs permettant de transformer un métal sous forme quelconque en demi-produit de forme brute en passant par la phase liquide. Une installation de coulée peut comprendre de nombreux dispositifs tels que un ou plusieurs fours nécessaires à la fusion du métal (« four de fusion ») et/ou à son maintien (« four de maintien ») en température et/ou à des opérations de préparation du métal liquide et d'ajustement de la composition (« four d'élaboration »), une ou plusieurs cuves (ou « poches ») destinées à effectuer un traitement d'élimination des impuretés dissoutes et/ou en suspension dans le métal liquide, ce traitement pouvant consister à filtrer le métal liquide sur un média filtrant dans une « poche de filtration » ou à introduire dans le bain un gaz dit « de traitement » pouvant être inerte ou réactif dans une « poche de dégazage », un dispositif de solidification du métal liquide (ou « métier de coulée »), par coulée semi-continue verticale par refroidissement direct dans un puits de coulée, pouvant comprendre des dispositifs tels que un moule (ou « lingotière ») un dispositif d'approvisionnement du métal liquide (ou « busette ») et un système de refroidissement, ces différents fours, cuves et dispositifs de solidification étant reliés entre eux par des dispositifs de transfert ou chenaux appelés « goulottes » dans lesquels le métal liquide peut être transporté.

Les présents inventeurs ont constaté que de manière surprenante on peut obtenir des tôles épaisses en alliage aluminium cuivre lithium présentant une performance en fatigue améliorée en préparant ces tôles à l'aide du procédé suivant.

5 Dans une première étape on élabore un bain de métal liquide en alliage comprenant, en % en poids Cu : 2,0 – 6,0 ; Li : 0,5 – 2,0 ; Mg : 0 – 1,0 ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn 0 – 1,0 ; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, Si  $\leq$  0,1 ; Fe  $\leq$  0,1 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total, reste aluminium.

10 Un alliage avantageux pour le procédé selon l'invention comprend, en % en poids, Cu : 3,0 – 3,9 ; Li : 0,7 – 1,3 ; Mg : 0,1 – 1,0, au moins un élément choisi parmi Zr, Mn et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,06 à 0,15 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn  $\leq$  0,25 ; Si  $\leq$  0,08 ; Fe  $\leq$  0,10 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total, reste aluminium.

15 Avantagement la teneur en cuivre est au moins de 3,2 % en poids. La teneur en lithium est de préférence comprise entre 0,85 et 1,15 % en poids et de préférence entre 0,90 et 1,10 % en poids. La teneur en magnésium est de préférence comprise entre 0,20 et 0,6 % en poids. L'addition simultanée de manganèse et de zirconium est généralement avantageuse. De façon préférée la teneur en manganèse est comprise entre 0,20 et 0,50 % en poids et la

20 teneur en zirconium est comprise entre 0,06 et 0,14 % en poids. Avantagement la teneur en argent est comprise entre 0,20 et 0,7 % en poids. Il est avantageux que la teneur en argent soit au moins 0,1 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en argent est au moins 0,20 % en poids. Dans un autre mode de réalisation, la teneur en argent est limitée à 0,15 % en poids et la teneur en zinc est d'au moins 0,3 % en poids.

25 Préférentiellement la teneur en argent est au plus 0,5 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en argent est limitée à 0,3 % en poids. Préférentiellement la teneur en silicium est au plus de 0,05 % en poids et la teneur en fer est au plus de 0,06 % en poids. Avantagement la teneur en titane est comprise entre 0,01 et 0,08 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en zinc est au plus de 0,15 % en poids.

30 Un alliage aluminium-cuivre-lithium préféré est l'alliage AA2050.

Ce bain de métal liquide est préparé dans un four de l'installation de coulée. Il est connu, par exemple de US 5,415,220 d'utiliser des sels fondus contenant du lithium tels que des mélanges KCl/LiCl dans le four de fusion pour passiver l'alliage lors de son transfert vers l'installation de coulée. Les présents inventeurs ont cependant obtenu d'excellentes propriétés de fatigue pour des tôles épaisses sans utiliser de sel fondu contenant du lithium dans le four de fusion, mais en maintenant dans ce four une atmosphère pauvre en oxygène et pensent que la présence de sel dans le four de fusion pourrait avoir dans certains cas un effet néfaste sur les propriétés en fatigue des produits corroyés épais. Avantagement, on n'utilise pas de sel fondu contenant du lithium dans l'ensemble de l'installation de coulée.

5

10 Dans un mode de réalisation avantageux on n'utilise pas de sel fondu dans l'ensemble de l'installation de coulée. Préférentiellement on maintient dans le ou les fours de l'installation de coulée une teneur en oxygène inférieure à 0,5 % en volume et de préférence inférieure à 0,3 % en volume. Cependant on peut tolérer une teneur en oxygène d'au moins 0,05 % en volume et même d'au moins 0,1 % en volume dans le ou les fours de

15 l'installation de coulée, ce qui est avantageux notamment pour les aspects économiques du procédé. Avantagement le ou les fours de l'installation de coulée sont des fours à induction. Les présents inventeurs ont constaté que ce type de four est avantageux malgré le brassage généré par le chauffage par induction.

Ce bain de métal liquide est ensuite traité dans une poche de dégazage et dans une poche de

20 filtration de façon notamment à ce que sa teneur en hydrogène soit inférieure à 0,4 ml/100g et de préférence inférieure à 0,35 ml/100g. La teneur en hydrogène du métal liquide est mesurée à l'aide d'un appareillage commercial tel que l'appareil commercialisé sous la marque ALSCAN<sup>TM</sup>, connu de l'homme du métier, la sonde étant maintenue sous un balayage d'azote. Avantagement la teneur en oxygène de l'atmosphère en contact avec

25 le bain de métal liquide dans le four de fusion et lors des étapes de dégazage, filtration est inférieure à 0,5 % en volume et de préférence inférieure à 0,3 % en volume. De préférence, la teneur en oxygène de l'atmosphère en contact avec le bain de métal liquide est inférieure à 0,5 % en volume et de préférence inférieure à 0,3 % en volume pour l'ensemble de l'installation de coulée. Cependant on peut tolérer une teneur en oxygène d'au moins 0,05

30 % en volume et même d'au moins 0,1 % en volume pour l'ensemble de l'installation de coulée ce qui est avantageux notamment pour les aspects économiques du procédé.

Le bain de métal liquide est ensuite solidifié sous forme de plaque. Une plaque est un bloc d'aluminium de forme substantiellement parallélépipédique, de longueur L, de largeur W et d'épaisseur T. On contrôle l'atmosphère au-dessus de la surface liquide lors de la solidification. Un exemple de dispositif permettant de contrôler l'atmosphère au-dessus de la surface liquide lors de la solidification est présenté sur la Figure 2.

Dans cet exemple de dispositif approprié, le métal liquide provenant d'une goulotte (63) est introduit dans une busette (4) contrôlée par une quenouille (8) pouvant se déplacer vers le haut et vers le bas (81), dans une lingotière (31) placée sur un faux fond (21). L'alliage d'aluminium est solidifié par refroidissement direct (5). L'alliage d'aluminium (1) a au moins une surface solide (11, 12, 13) et au moins une surface liquide (14, 15). Un ascenseur (2) permet de maintenir le niveau de la surface liquide (14, 15) sensiblement constant. Un distributeur (7) permet la répartition du métal liquide. Un couvercle (62) recouvre la surface liquide. Le couvercle peut comprendre des joints (61) pour assurer une étanchéité avec la table de coulée (32). Le métal liquide dans la goulotte (63) peut être avantageusement protégé par un couvercle (64). Un gaz inerte (9) est introduit dans la chambre (65) définie entre le couvercle et la table de coulée. Le gaz inerte est avantageusement choisi parmi les gaz rares, l'azote et le dioxyde de carbone ou des mélanges de ces gaz. Un gaz inerte préféré est l'argon. La teneur en oxygène est mesurée dans la chambre (65) au-dessus de la surface liquide. Le débit de gaz inerte peut être ajusté pour atteindre la teneur en oxygène désirée. Cependant il est avantageux de maintenir une aspiration suffisante dans le puits de coulée (10) grâce à une pompe (101). En effet les présents inventeurs ont constaté qu'il n'existe pas en général une étanchéité suffisante entre la lingotière (31) et le métal solidifié (5) ce qui conduit à une diffusion de l'atmosphère du puits de coulée (10) vers la chambre (65). Avantageusement l'aspiration de la pompe (101) est telle que la pression dans l'enceinte (10) soit inférieure à la pression dans la chambre (65), ce qui est peut être obtenu de préférence en imposant une vitesse de l'atmosphère au travers des surfaces ouvertes du puits de coulée d'au moins de 2 m/s et de préférence d'au moins de 2,5 m/s. Typiquement la pression dans la chambre (65) est proche de la pression atmosphérique et la pression dans l'enceinte (10) est inférieure à la pression atmosphérique, typiquement 0,95 fois la pression atmosphérique. Dans le cadre du procédé selon

l'invention, on maintient dans la chambre (65), grâce aux dispositifs décrits, une teneur en oxygène inférieure à 0,5 % en volume et de préférence inférieure à 0,3 % en volume.

Un exemple de distributeur (7) du procédé selon l'invention est présenté sur les figures 3 et 4. Le distributeur du procédé selon l'invention est réalisé en tissu comprenant

5 essentiellement du carbone, il comprend une face inférieure (76), une face supérieure typiquement vide définissant l'orifice par lequel le métal liquide est introduit (71) et paroi de section substantiellement rectangulaire typiquement substantiellement constante et de hauteur h typiquement substantiellement constante, la paroi comprenant deux parties longitudinales parallèles à la largeur W de la plaque (720, 721) et deux parties transversales

10 parallèles à l'épaisseur T de la plaque (730, 731) lesdites parties transversales et longitudinales étant formées d'au moins deux tissus, un premier tissu sensiblement obturant et semi-rigide (77) assurant le maintien de la forme du distributeur pendant la coulée et un second tissu non obturant (78) permettant le passage et la filtration du liquide, lesdits premier et deuxième tissu étant liés l'un à l'autre sans recouvrement ou avec recouvrement

15 et sans interstice les séparant, ledit premier tissu couvrant de façon continue au moins 30 % de la surface desdites parties de paroi (720, 721, 730, 731) et étant positionné de manière à ce que la surface liquide soit en contact avec lui sur l'ensemble de la section du distributeur. Dans un mode de réalisation de l'invention la section de la paroi du distributeur évolue linéairement en fonction de la hauteur h, typiquement de façon à ce que

20 la surface de la face inférieure du distributeur soit supérieure ou inférieure d'au plus 10% à la surface de la face supérieure du distributeur ; ainsi l'angle formé entre les parois latérales et la verticale peut atteindre jusqu'à environ 5°. Les premier et deuxième tissus étant cousus l'un à l'autre sans recouvrement ou avec recouvrement et sans interstice les séparant, c'est-à-dire en contact, le métal liquide ne peut pas traverser le premier tissu et être dévié par le

25 second tissu comme c'est le cas par exemple dans un combo-bag tel que décrit dans la demande WO 99/44719 Fig 2 à 5. Grâce au maintien assuré par le premier tissu, le distributeur est semi-rigide et ne se déforme pas sensiblement lors de la coulée. Dans une réalisation avantageuse le premier tissu a une hauteur, h1, mesurée à partir de la face supérieure sur la circonférence de la paroi (720, 721, 730, 731) telle que  $h1 \geq 0,3 h$  et de

30 préférence  $h1 \geq 0,5 h$ , où h désigne la hauteur totale de la paroi du distributeur.

La surface liquide étant en contact avec ledit premier tissu obturant le métal liquide ne traverse le distributeur que sous la surface liquide dans certaines directions de chaque partie de la paroi. De préférence la hauteur immergée dans le métal liquide de paroi (720, 721, 730, 731) du distributeur (7) couverte par le premier tissu est au moins égale à 20 %, 5 préférentiellement 40 % et de manière préférée 60 % de la hauteur totale de paroi immergée.

La figure 4 représente le fond et les parties de paroi longitudinales. Le fond (76) est typiquement couvert par le premier et/ou le second tissu. Avantageusement le premier tissu est au moins situé dans la partie centrale du fond (76) sur une longueur L1 et/ou dans la 10 partie centrale des parties longitudinales (720) et (721) sur l'ensemble de la hauteur h et sur une longueur L2.

Avantageusement, la portion de surface couverte par le premier tissu est comprise entre 30 et 90 % et de préférence entre 50 et 80 % pour les parties longitudinales (720) et (721), et/ou entre 30 et 70 % et de préférence entre 40 et 60 % pour les parties latérales (730, 731) 15 et/ou entre 30 et 100 % et de préférence entre 50 et 80 % pour le fond (76).

Il est avantageux que la longueur L1 de premier tissu situé dans le fond (76) soit supérieure à la longueur L2 de premier tissu situé dans la partie des parois longitudinales (720) et (721) en contact avec le fond.

Les présents inventeurs pensent que la géométrie du distributeur permet notamment 20 d'améliorer la qualité du flux du métal liquide, de réduire les turbulences et d'améliorer la distribution de température.

Le premier tissu et le deuxième tissu sont avantageusement obtenus par tissage d'un fil comprenant essentiellement du carbone. Le tissage de fil graphite est particulièrement avantageux. Les tissus sont typiquement cousus l'un à l'autre. Il est possible également en 25 lieu et place d'un premier et deuxième tissus d'utiliser un tissu diffuseur unique présentant au moins deux zones de tissage, plus ou moins denses.

Il est avantageux pour la facilité du tissage que le fil comprenant du carbone soit revêtu d'une couche facilitant le glissement. Cette couche peut par exemple comprendre un polymère fluoré tel que le Teflon ou une polyamide telle que le xylon.

30 Le premier tissu est sensiblement obturant. Typiquement il s'agit d'un tissu présentant des mailles de dimension inférieure à 0,5 mm, de préférence inférieure à 0,2 mm. Le second

tissu est non obturant et permet le passage du métal en fusion. Typiquement, il s'agit d'un tissu présentant des mailles de dimension comprise entre 1 et 5 mm, de préférence de 2 à 4 mm. Dans un mode de réalisation de l'invention le premier tissu recouvre localement le second tissu, tout en étant en contact intime de façon à ne pas laisser d'interstice entre les deux tissus.

La plaque ainsi obtenue est ensuite homogénéisée avant ou après avoir optionnellement été usinée pour obtenir une forme pouvant être déformée à chaud. La plaque est usinée sous forme de plaque de laminage de façon à ensuite être déformée à chaud par laminage. De préférence l'homogénéisation est réalisée à une température comprise entre 470 et 540 °C pendant une durée comprise entre 2 et 30 heures.

On lamine à chaud et optionnellement à froid ladite plaque de laminage ainsi homogénéisée pour obtenir un produit corroyé dont l'épaisseur est au moins 80 mm. La température de laminage à chaud est avantageusement au moins 350 °C et de préférence au moins 400 °C. Le taux de déformation à chaud et optionnellement à froid, c'est-à-dire le rapport entre d'une part la différence entre l'épaisseur initiale, avant déformation mais après l'éventuel usinage, et l'épaisseur finale et d'autre part l'épaisseur initiale est inférieur à 85% et de préférence inférieur à 80 %. Dans un mode de réalisation le taux de déformation lors de la déformation est inférieur à 75% et de préférence inférieur à 70 %.

Le produit corroyé ainsi obtenu est ensuite mis en solution et trempé. La température de mise en solution est avantageusement comprise entre 470 et 540 °C et de préférence entre 490 et 530 °C et la durée est adaptée à l'épaisseur du produit.

Optionnellement on détensionne ledit produit corroyé ainsi mis en solution par déformation plastique avec une déformation d'au moins 1%. Il est avantageux de détensionner par traction contrôlée ledit produit corroyé ainsi mis en solution avec un allongement permanent d'au moins 1% et de préférence compris entre 2 et 5 %.

Enfin on fait subir un revenu au produit ainsi mis en solution et optionnellement détensionné. Le revenu est effectué en un ou plusieurs paliers à une température avantageusement comprise entre 130 et 160 °C pendant une durée de 5 à 60 heures. De

préférence on obtient à l'issue du revenu un état métallurgique T8, tel que notamment T851, T83, T84, ou T85.

Les tôles dont l'épaisseur est au moins 80 mm obtenues par le procédé selon l'invention présentent des propriétés avantageuses.

- 5 La moyenne logarithmique de fatigue des tôles dont l'épaisseur est au moins 80 mm, obtenues par le procédé selon l'invention, mesurée à mi-épaisseur dans la direction TL sur éprouvettes lisses selon la Figure 1a à une contrainte d'amplitude maximale de 242 MPa, une fréquence de 50 Hz, un rapport de contrainte  $R = 0,1$  est au moins 250 000 cycles, avantageusement la propriété en fatigue est obtenue pour les produits corroyés obtenus par
- 10 le procédé selon l'invention dont l'épaisseur est au moins 100 mm ou de préférence au moins 120 mm ou même au moins 140 mm.

- Les tôles selon l'invention d'épaisseur au moins 80 mm présentent également des propriétés en fatigue avantageuse pour des éprouvettes à trou, ainsi l'indice de qualité fatigue IQF obtenu sur des éprouvettes à trou  $K_t = 2,3$  selon la Figure 1b à une fréquence
- 15 de 50 Hz à l'air ambiant avec une valeur  $R = 0,1$  est au moins 180 MPa et de préférence est au moins 190 MPa dans le sens T-L.

- De plus les tôles obtenues par le procédé selon l'invention ont des caractéristiques mécaniques statiques avantageuses. Ainsi pour les tôles dont l'épaisseur est au moins 80 mm comprenant en % en poids, Cu : 3,0 – 3,9 ; Li : 0,7 – 1,3 ; Mg : 0,1 – 1,0, au moins un
- 20 élément choisi parmi Zr, Mn et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,06 à 0,15 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn  $\leq 0,25$  ; Si  $\leq 0,08$  ; Fe  $\leq 0,10$  ; autres  $\leq 0,05$  chacun et  $\leq 0,15$  au total , reste aluminium, la limite d'élasticité mesurée à quart épaisseur dans le sens L est au moins 450 MPa et de préférence au moins 470 MPa et/ou la résistance à la rupture mesurée est au
- 25 moins 480 MPa et de préférence au moins 500 MPa et/ou l'allongement est au moins 5% et de préférence au moins 6%. Préférentiellement, la ténacité des tôles selon l'invention dont l'épaisseur est au moins 80 mm, mesurée à quart épaisseur, est telle que  $K_{IC}$  (L-T) est au moins 25 MPa $\sqrt{m}$  et de préférence au moins 27 MPa $\sqrt{m}$ ,  $K_{IC}$  (T-L) est au moins 23 MPa $\sqrt{m}$  et de préférence au moins 25 MPa $\sqrt{m}$ ,  $K_{IC}$  (S-L) est au moins 19 MPa $\sqrt{m}$  et de
- 30 préférence au moins 21 MPa $\sqrt{m}$ .

Les tôles selon l'invention peuvent de manière avantageuse être utilisées pour réaliser des éléments de structure, de préférence des éléments de structure d'avion. Des éléments de structure d'avion préférés sont les longerons, nervures ou cadres de fuselage. L'invention est particulièrement avantageuse pour des pièces de forme complexe obtenues par usinage  
5 intégral, utilisées en particulier pour la fabrication d'ailes d'avion ainsi que pour n'importe quel autre usage pour lequel les propriétés des produits selon l'invention sont avantageuses.

### Exemple

10

Dans cet exemple, on a préparé des tôles épaisses en alliage AA2050. Des plaques en alliage AA2050 ont été coulées par coulée semi-continue verticale à refroidissement direct. L'alliage a été préparé dans un four de fusion. Pour les exemples 1 à 7 on a utilisé un mélange KCL/LiCl en surface du métal liquide dans le four de fusion. Pour les exemples 8  
15 à 9 on n'a pas utilisé de sel dans le four de fusion. Pour les exemples 8 à 9 l'atmosphère en contact avec le métal liquide avec une teneur en oxygène inférieure à 0,3 % en volume pour l'ensemble de l'installation de coulée. L'installation de coulée comprenait un capot disposé au-dessus du puits de coulée permettant de limiter la teneur en oxygène. Pour les essais 8 et 9 on avait en plus utilisé une aspiration (101) telle que la pression dans l'enceinte (10)  
20 était inférieure à la pression dans la chambre (65) et telle que la vitesse de l'atmosphère au travers des surfaces ouvertes du puits de coulée était au moins de 2 m/s. La teneur en oxygène a été mesurée à l'aide d'un oxymètre lors de la coulée. Par ailleurs, la teneur en hydrogène dans l'aluminium liquide a été mesurée à l'aide d'une sonde de type Alscan<sup>TM</sup> sous balayage d'azote. Deux types de distributeurs de métal liquide ont été  
25 utilisés. Un premier distributeur de type « Combo Bag » tel que décrit par exemple dans les Figures 2 à 6 de la demande internationale WO99/44719 mais réalisé en tissu comprenant essentiellement du carbone, référencé ci-dessous « distributeur A » et un second distributeur tel que décrit figure 3 référencé ci-dessous « distributeur B » est réalisé en tissu de fil de graphite.

30 Les conditions de coulée des différents essais réalisés sont données dans le tableau 1.

Table 1 – Conditions de coulée pour les différents essais

Essai	H2 [ml/100g]	O2 mesuré au dessus du puits de coulée (% en volume)	Distributeur
1	0,41	0,3	A
2	0,43	0,1	A
3	0,37	0,1	A
4	0,33	0,1	A
5	0,35	0,4	A
6	0,38	0,3	A
7	0,47	0,7	B
8	0,34	0,1	B
9	0,29	0,1	B

Les plaques ont été homogénéisées 12 heures à 505 °C, usinées jusqu'à une épaisseur d'environ 365 mm, laminées à chaud jusqu'à des tôles d'épaisseur finale comprise entre 154 et 158 mm, mises en solution à 504 °C, trempées et détensionnée par traction contrôlée avec un allongement permanent de 3,5%. Les tôles ainsi obtenues ont subi un revenu de 18 heures à 155 °C.

- 10 Les propriétés mécaniques statiques et de ténacité ont été caractérisées à quart-épaisseur. Les caractéristiques mécaniques statiques et la ténacité sont données dans le Tableau 2.

Tableau 2 Caractéristiques mécaniques

Essai	Epaisseur [mm]	Rm (L) MPa	Rp0,2 (L) MPa	A % (L)	K <sub>1C</sub> (L-T) MPa√m	K <sub>1C</sub> (T-L) MPa√m	K <sub>1C</sub> (S-L) MPa√m
1	158	528	495	6,5	31,7	27,8	24,2
2	155	538	507	7,0			
3	155	525	493	8,3	28,3	25,5	25,3
4	158	528	497	7,0	29,0	27,0	22,5
5	158	529	495	6,0	28,0	25,8	23,0
6	158	527	496	6,8	29,0	26,9	23,2
7	154	514	486	8,3	29,9	25,7	23,0
8	158	533	502	6,3	27,4	26,2	23,9
9	158	542	512	5,8	28,0	25,6	21,5

Les propriétés en fatigue ont été caractérisées sur des éprouvettes lisses et sur des éprouvettes à trou pour certains échantillons prélevées à mi-épaisseur.

5 Pour les caractérisations de fatigue lisse, quatre éprouvettes, dont le schéma est donné en Figure 1a, ont été testées à mi-épaisseur et mi-largeur dans le sens TL, les conditions de test étant  $\sigma = 242$  MPa,  $R = 0,1$ . Certains tests ont été arrêtés après 200 000 cycles et d'autres tests ont été arrêtés après 300 000 cycles.

10 Pour les caractérisations de fatigue à trou, on a utilisé l'éprouvette reproduite sur la Figure 1b, dont la valeur  $K_t$  est 2,3. Les éprouvettes ont été testées à une fréquence de 50 Hz à l'air ambiant avec une valeur  $R = 0,1$ . Les courbes de Wöhler correspondantes sont présentées sur les Figures 6a et 6b. On a calculé l'indice de qualité de fatigue IQF.

Tableau 3 – Résultats des essais en fatigue

Essai	Résultats de fatigue lisse (nombre de cycles)					Résultats de fatigue à trou IQF (MPa), 50% rupture pour 100 000 cycles	
	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3	Eprouvette 4	Moyenne logarithmique	L-T	T-L
1	101423	101761	116820	118212	109263		
2	102570	140030	152120	178860	140600		
3	112453	163422	152620	167113	147138	175	152
4	101900	110300	139400	144100	122580		
5	93400	105000	112600	129900	109439		
6	114000	116500	188100	195000	148564		
7	192300	>200000	189600	>200000	>195400	183	168
8	>300000	>300000	>300000	>300000	>300000	186	196
9	>300000	>300000	>300000	>300000	>300000		

15 La combinaison d'une teneur en hydrogène inférieure à 0,4 ml/100g d'une teneur en oxygène mesurée au-dessus de la surface liquide inférieure à 0,3 % en volume et du distributeur B permet d'atteindre un excellent niveau de performance en fatigue. Ces résultats sont présentés sur la Figure 5. Les flèches positionnées au dessus de certains

points indiquent qu'il s'agit d'une valeur minimum puisque l'essai n'a pas été poursuivi jusqu'à la rupture.

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'une tôle, dont l'épaisseur est au moins 80 mm, en alliage d'aluminium comprenant les étapes dans lesquelles
- 5 (a) on élabore un bain de métal liquide en alliage comprenant, en % en poids, Cu : 2,0 – 6,0 ; Li : 0,5 – 2,0 ; Mg : 0 – 1,0 ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn 0 – 1,0 ; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en
- 10 poids pour Ti,  $Si \leq 0,1$  ;  $Fe \leq 0,1$  ; autres  $\leq 0,05$  chacun et  $\leq 0,15$  au total,
- (b) on coule ledit alliage par coulée semi-continue verticale pour obtenir une plaque d'épaisseur T et de largeur W de telle façon que, lors de la solidification,
- la teneur en hydrogène dudit bain de métal liquide (1) soit inférieure à 0,4 ml/100g,
  - 15 - la teneur en oxygène mesurée au-dessus de la surface liquide (14,15) soit inférieure à 0,5 % en volume,
  - le distributeur utilisé (7) pour la coulée soit réalisé en tissu comprenant essentiellement du carbone, qu'il comprenne une face inférieure (76), une face supérieure définissant l'orifice par lequel le métal liquide est introduit (71) et
  - 20 une paroi de section substantiellement rectangulaire, la paroi comprenant deux parties longitudinales parallèles à la largeur W (720, 721) et deux parties transversales parallèles à l'épaisseur T (730, 731) lesdites parties transversales et longitudinales étant formées d'au moins deux tissus, un premier tissu sensiblement obturant et semi-rigide (77) assurant le maintien de la forme du
  - 25 distributeur pendant la coulée et un second tissu non obturant (78) permettant le passage et la filtration du liquide, lesdits premier et deuxième tissu étant liés l'un à l'autre sans recouvrement ou avec recouvrement et sans interstice les séparant, ledit premier tissu couvrant de façon continue au moins 30 % de la surface desdites parties de paroi (720, 721, 730, 731) et étant positionné de manière à ce
  - 30 que la surface liquide soit en contact avec lui sur l'ensemble de la section,

- (c) on homogénéise avant ou après avoir optionnellement usiné ladite plaque pour obtenir une plaque de laminage pouvant être déformée à chaud,
- (d) on lamine à chaud et optionnellement à froid ladite plaque de laminage ainsi homogénéisée pour obtenir une tôle dont l'épaisseur est au moins 80 mm,
- 5 (e) on met en solution et on trempe ladite tôle,
- (f) optionnellement on détensionne ladite tôle ainsi mise en solution par déformation plastique avec une déformation d'au moins 1%,
- (g) on fait subir un revenu à ladite tôle ainsi mise en solution et optionnellement détensionnée.

10

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la teneur en oxygène de l'atmosphère en contact avec le bain de métal liquide dans le four de fusion et lors des étapes de dégazage, filtration est inférieure à 0,5 % en volume et de préférence dans lequel la teneur en oxygène de l'atmosphère en contact avec le bain de métal liquide est
- 15 inférieure à 0,5 % en volume pour l'ensemble de l'installation de coulée.

15

3. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 2 dans lequel un couvercle (62) recouvre la surface liquide lors de la solidification (14,15), ledit couvercle comprenant préférentiellement des joints (61) pour assurer une étanchéité avec la
- 20 table de coulée (32) et dans lequel un gaz inerte (9) est introduit dans la chambre (65) définie entre le couvercle et la table de coulée et dans lequel on maintient une aspiration dans le puits de coulée (10) grâce à une pompe (101), préférentiellement de façon à ce que la pression dans l'enceinte (10) soit inférieure à la pression dans la chambre (65).

20

25

4. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel on n'utilise pas de sel fondu contenant du lithium dans l'ensemble de l'installation de coulée.

5. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel ledit distributeur
- 30 (7) est tel que le premier tissu a une hauteur,  $h_1$ , mesurée à partir de la face

30

supérieure sur la circonférence de la paroi (720, 721, 730, 731) telle que  $h_1 \geq 0,3 h$  et de préférence  $h_1 \geq 0,5 h$ , où  $h$  désigne la hauteur totale de la paroi du distributeur.

- 5 6. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel la hauteur immergée dans le métal liquide de paroi (720, 721, 730, 731) du distributeur (7) couverte par le premier tissu est au moins égale à 20 %, préférentiellement 40 % et de manière préférée 60 % de la hauteur totale de paroi immergée.
- 10 7. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel la portion de surface couverte par le premier tissu est comprise entre 30 et 90 % et de préférence entre 50 et 80 % pour les parties longitudinales (720) et (721), et/ou entre 30 et 70 % et de préférence entre 40 et 60 % pour les parties latérales (730, 731) et/ou entre 30 et 100 % et de préférence entre 50 et 80 % pour le fond (76).
- 15 8. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel le taux de déformation lors de l'étape (d) est inférieur à 85% et de préférence inférieur à 80 %.
- 20 9. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel l'alliage comprend, en % en poids, Cu : 3,0 – 3,9 ; Li : 0,7 – 1,3 ; Mg : 0,1 – 1,0, au moins un élément choisi parmi Zr, Mn et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,06 à 0,15 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn  $\leq$  0,25 ; Si  $\leq$  0,08 ; Fe  $\leq$  0,10 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total.
- 25 10. Tôle dont l'épaisseur est au moins 80 mm, susceptible d'être obtenue par le procédé selon une quelconque des revendications 1 à 9, en alliage d'aluminium comprenant, en % en poids, Cu : 2,0 – 6,0 ; Li : 0,5 – 2,0 ; Mg : 0 – 1,0 ; Ag : 0 – 0,7 ; Zn 0 – 1,0 ; et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,20 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids
- 30

pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, Si  $\leq$  0,1 ; Fe  $\leq$  0,1; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total, caractérisé en ce que à l'état revenu sa moyenne logarithmique de fatigue mesurée à mi-épaisseur dans la direction TL sur éprouvettes lisses selon la Figure 1a à une contrainte d'amplitude maximale de 242 MPa, une fréquence de 50 Hz, un rapport de contrainte R = 0,1 est au moins 250 000 cycles.

5

11. Tôle selon la revendication 10 dont l'épaisseur est au moins 100 mm et de préférence au moins 120 mm.

10

12. Tôle selon une quelconque des revendications 10 à 11 comprenant en % en poids, Cu : 3,0 – 3,9 ; Li : 0,7 – 1,3 ; Mg : 0,1 – 1,0, au moins un élément choisi parmi Zr, Mn et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,06 à 0,15 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti,; Ag : 0 – 0,7 ; Zn  $\leq$  0,25 ; Si  $\leq$  0,08 ; Fe  $\leq$  0,10 ; autres  $\leq$  0,05 chacun et  $\leq$  0,15 au total , et caractérisé en ce que sa limite d'élasticité mesurée à quart-épaisseur dans le sens L est au moins 450 MPa et de préférence au moins 470 MPa.

15

13. Tôle selon une quelconque des revendications 10 à 12 dont la ténacité mesurée à quart-épaisseur est telle que  $K_{IC}$  (L-T) est au moins 25 MPa $\sqrt{m}$  et de préférence au moins 27 MPa $\sqrt{m}$ ,  $K_{IC}$  (T-L) est au moins 23 MPa $\sqrt{m}$  et de préférence au moins 25 MPa $\sqrt{m}$ ,  $K_{IC}$  (S-L) est au moins 19 MPa $\sqrt{m}$  et de préférence au moins 21 MPa $\sqrt{m}$ .

20

14. Tôle selon une quelconque des revendications 10 à 13 dont l'indice de qualité fatigue IQF obtenu sur des éprouvettes à trou  $K_t = 2,3$  à une fréquence de 50 Hz à l'air ambiant avec une valeur R = 0,1 est au moins 180 MPa et de préférence est au moins 190 MPa dans le sens T-L.

25

15. Tôle selon une quelconque des revendications 10 à 14 dont l'alliage d'aluminium est l'alliage AA2050.

30

16. Utilisation d'une tôle selon une quelconque des revendications 10 à 15 pour réaliser un élément de structure d'avion, de préférence un longeron, une nervures ou un cadre de fuselage.

5

FIG 1

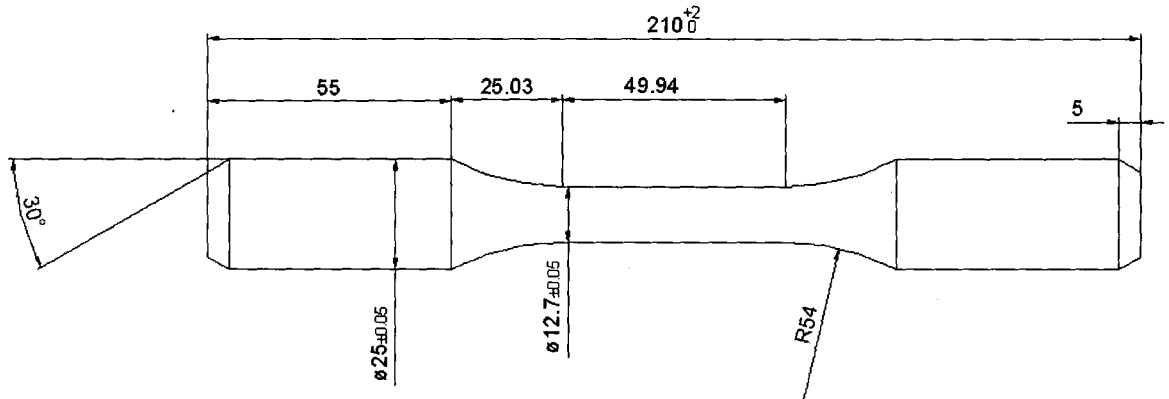


Fig 1b

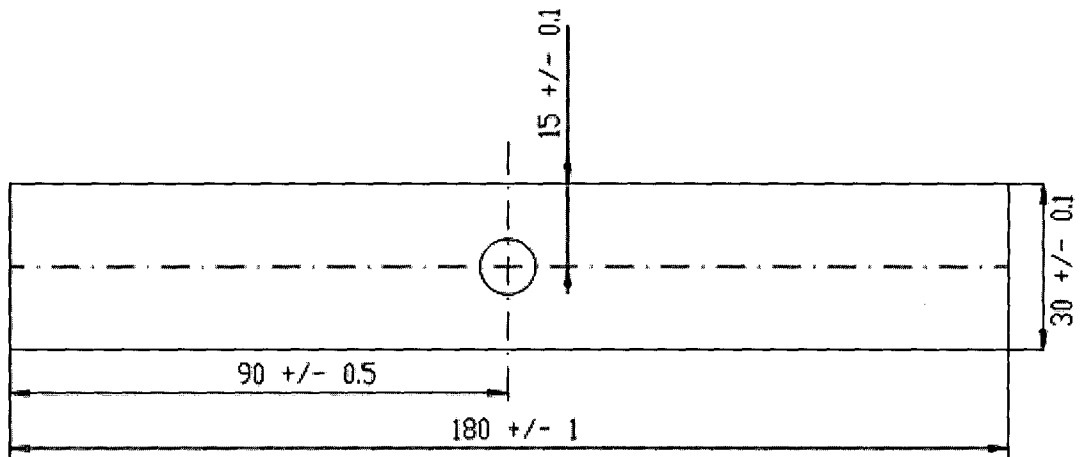




FIG 3

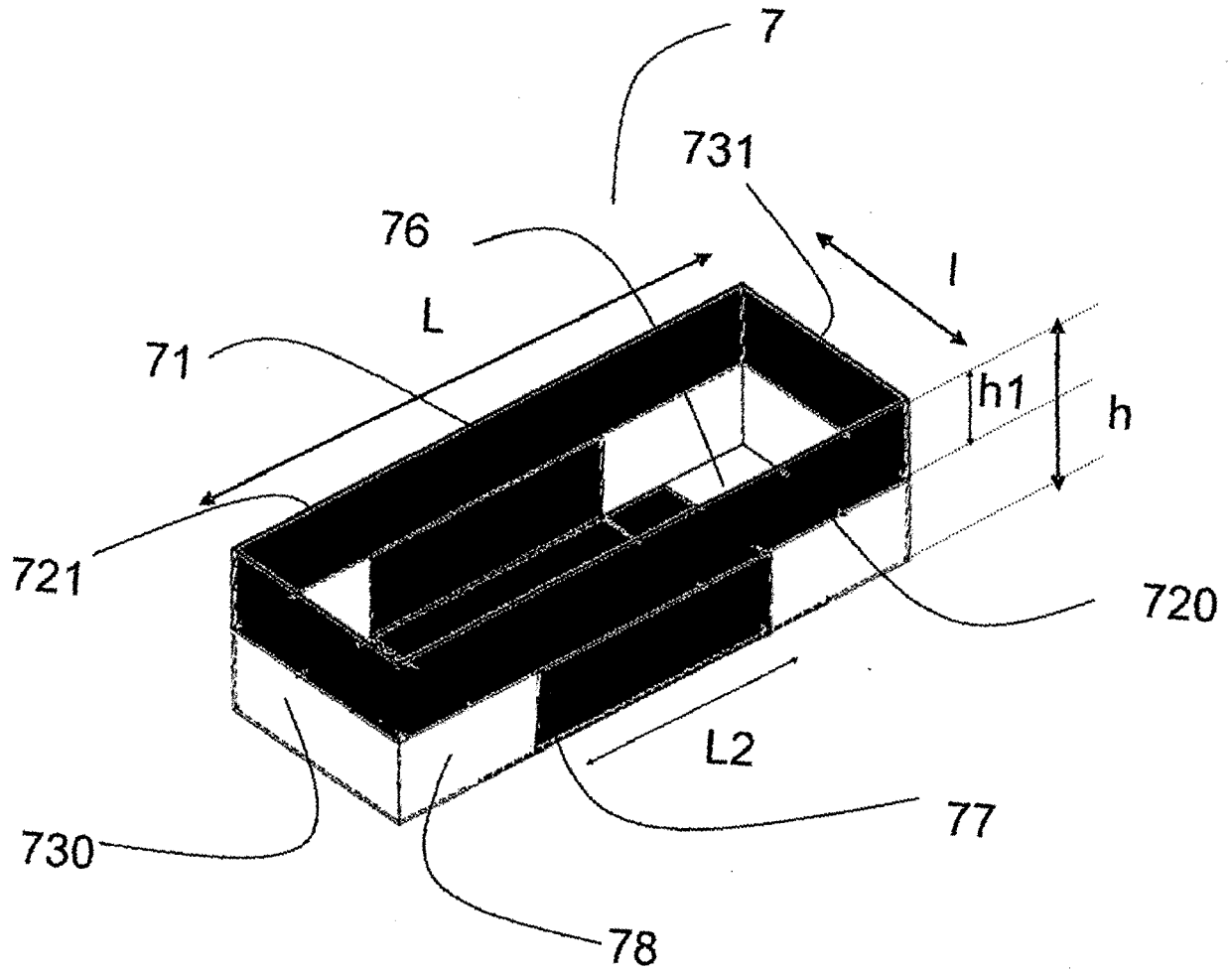


FIG 4

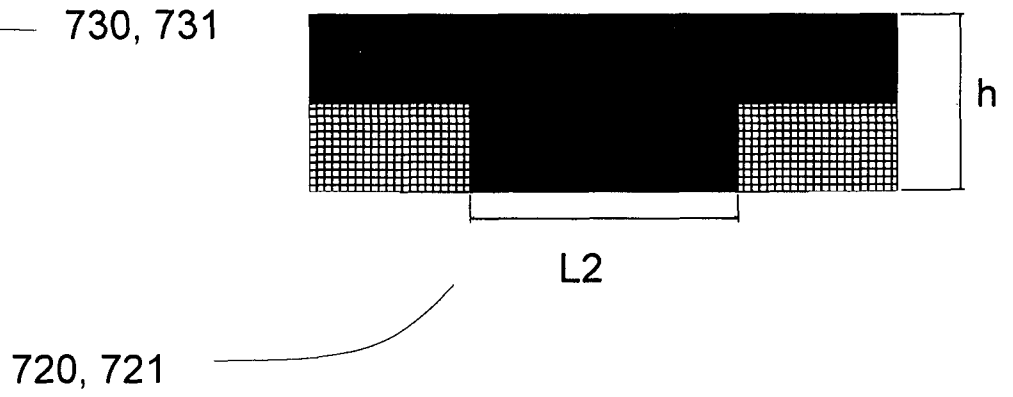
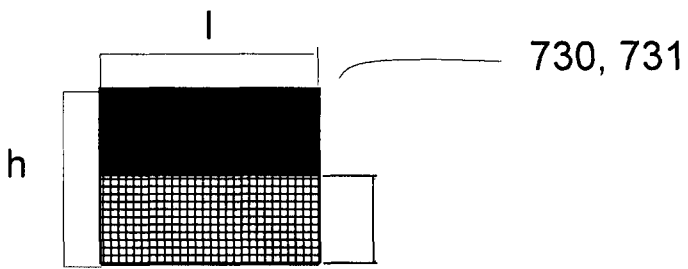
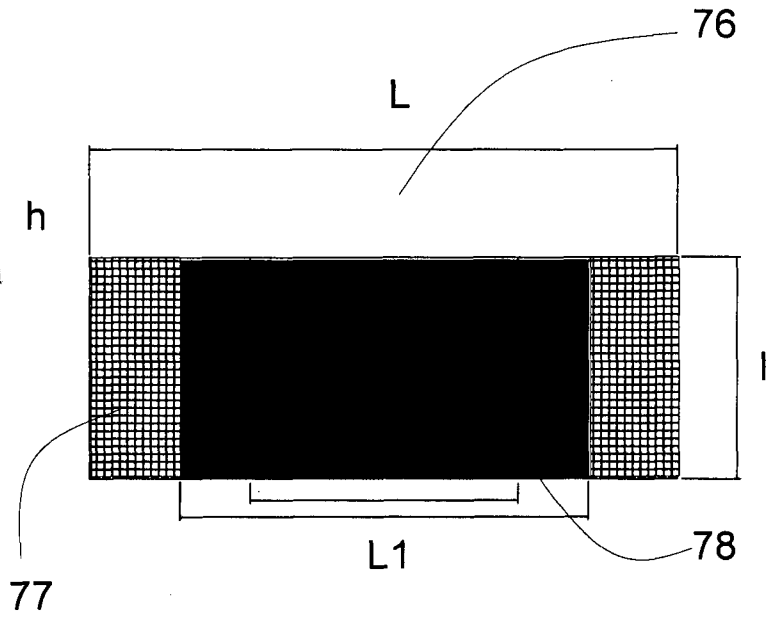
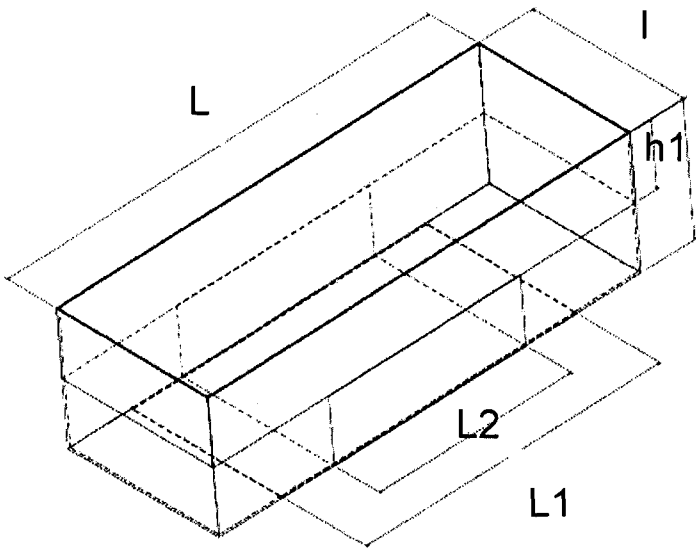


FIG 5a

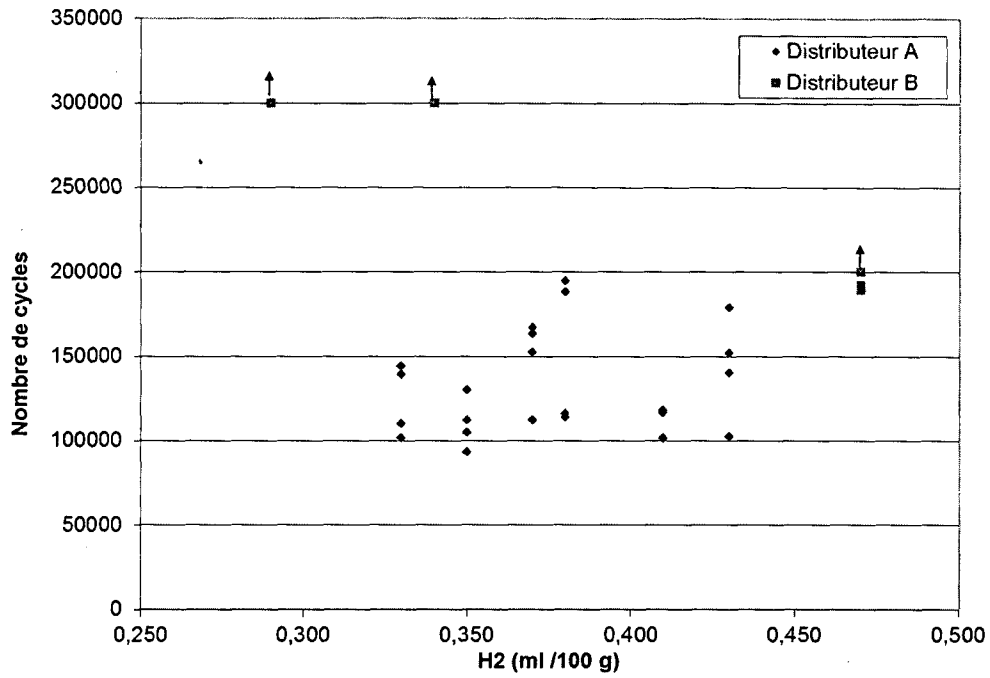


FIG 5b

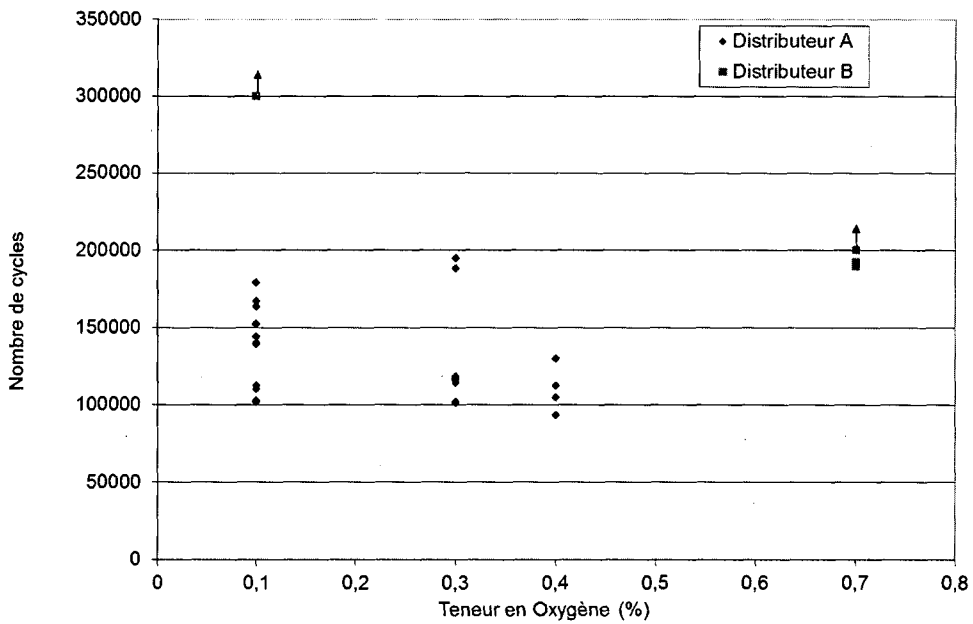


FIG 6a

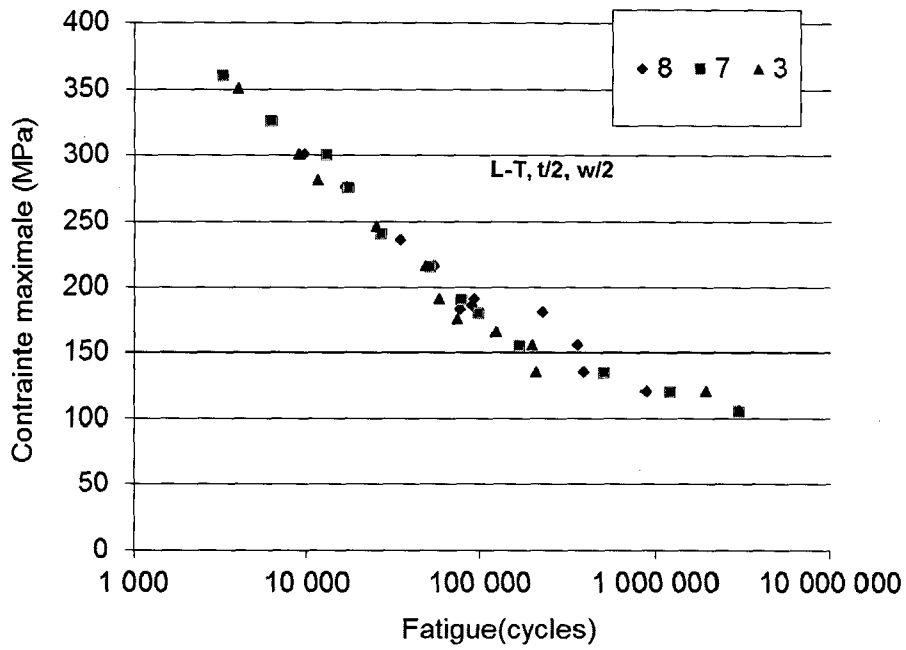


FIG6b

