

Description**Titre : Tôles pour éléments de chambres à vide en alliage d'aluminium****Domaine technique**

L'invention concerne des produits en alliage d'aluminium destinés à être utilisés comme
5 éléments de chambres à vide notamment pour la fabrication de circuits électroniques intégrés
à base de semi-conducteurs, d'écrans d'affichage plats ainsi que de panneaux photovoltaïques
et leur procédé de fabrication.

Art antérieur

Les éléments de chambres à vide pour la fabrication de circuits électroniques intégrés à base de
10 semi-conducteurs, d'écrans d'affichage plats ainsi que de panneaux photovoltaïques, peuvent
typiquement être obtenus à partir de tôles en alliage d'aluminium.

Les éléments de chambre à vide sont des éléments destinés à la fabrication des structures de
chambre à vide et des composants internes de chambre à vide notamment des corps de
chambres à vide, des corps de vanne, des brides, des éléments de connexion, des éléments
15 d'étanchéité, des passages, des diffuseurs, des électrodes. Ils sont notamment obtenus par
usinage et traitement de surface de tôles en alliage d'aluminium. Une excellente stabilité
dimensionnelle est très importante pour les tôles utilisées pour réaliser ces éléments de
chambre à vide. Il est ainsi particulièrement important de réduire autant que possible toute
déformation de la tôle lors son usinage, ce qui permet d'éviter des opérations supplémentaires
20 de pré-usinage ou de retouche finale.

La demande de brevet EP2263811 concerne des produits laminés dont la surface est usinée
ayant une planéité de 0,2 mm ou moins. Selon un mode de réalisation de cette demande de
brevet, l'alliage contient 0,3 à 1,5% en masse de Mg, 0,2 à 1,6% en masse de Si, et en outre un
ou plusieurs éléments choisis dans le groupe constitué par de 0,8% en masse ou moins de Fe,
25 1,0% en masse ou moins de Cu, 0,6% en masse ou moins de Mn, 0,5% en masse ou moins de Cr,
0,4% en masse ou moins de Zn, et 0,1% en masse ou moins de Ti, le reste étant Al et les
impuretés inévitables.

La demande de brevet WO2014/060660 concerne un élément de chambre à vide obtenu par
usinage et traitement de surface d'une tôle d'épaisseur au moins égale à 10 mm en alliage
30 d'aluminium de composition, en % en poids, Si : 0,4 - 0,7; Mg : 0,4 - 0,7; Ti 0,01 - < 0,15, Fe < 0,25;
Cu < 0,04; Mn < 0,4; Cr 0,01 < 0,1; Zn < 0,04; autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total,
reste aluminium.

La demande de brevet WO2018/162823 concerne un élément de chambre à vide obtenu par
usinage et traitement de surface d'une tôle d'épaisseur au moins égale à 10 mm en alliage

d'aluminium de composition, en % en poids, Si : 0,4 -0,7; Mg: 0,4 -1,0; le rapport en % en poids Mg/Si étant inférieur à 1,8; Ti: 0,01 -0,15, Fe 0,08 - 0,25; Cu < 0,35; Mn < 0,4; Cr: < 0,25; Zn < 0,04; autres éléments < 0,05 chacun et <0,15 au total, reste aluminium, caractérisée en ce que la taille de grain de ladite tôle est telle que la longueur moyenne d'interception linéaire mesurée
5 dans le plan L/TC selon la norme ASTM E112, est au moins égale à 350 µm entre surface et 1/2 épaisseur.

La demande de brevet US2010018617 divulgue un alliage d'aluminium pour le traitement d'oxydation anodique qui comprend comme éléments d'alliage 0,1 à 2,0% de Mg, 0,1 à 2,0% de Si et 0,1 à 2,0% de Mn, chaque teneur en Fe, Cr et Cu étant limitée à 0,03 masse. % ou moins, et
10 dans lequel le reste est composé de Al et d'impuretés inévitables. Cette demande enseigne en particulier un traitement d'homogénéisation à une température supérieure à 550 ° C et inférieure ou égale à 600 ° C.

La demande de brevet CN108239712 concerne une plaque en alliage d'aluminium 6082 pour l'aviation et un procédé de fabrication de celle-ci. Les composants chimiques de la plaque en
15 alliage d'aluminium 6082 comprennent, en pourcentage en poids, 1,0% à 1,3% de Si, 0,1% à 0,3% de Fe, 0,05% à 0,10% de Cu, 0,5% à 0,8% de Mn, 0,6% à 0,9%. % de Mg, 0,06% à 0,12% de Zn, pas plus de 0,05% de Cr, pas plus de 0,05% de Ti et le reste Al et d'éléments inévitables.

La demande de brevet CN108239713 concerne une plaque en alliage d'aluminium pour un produit électronique et un procédé de fabrication de la plaque en alliage d'aluminium. Les
20 composants chimiques de la plaque en alliage d'aluminium pour l'apparition du produit électronique comprennent, en pourcentage en poids, 0,3% à 0,4% de Si, pas plus de 0,10% de Fe, pas plus de 0,05% de Cu, pas plus de 0,05% de Mn, 0,45% à 0,55% de Mg, pas plus de 0,05% de Zn, pas plus de 0,05% de Cr, pas plus de 0,05% de Ti et le reste Al et des éléments inévitables.

La demande de brevet WO2021/064320 concerne des tôles d'épaisseur comprise entre 8 et 50
25 mm en alliage d'aluminium de composition, en % en poids, Si : 0,7 – 1,3 ; Mg : 0,6 – 1,2 ; Mn : 0,65 – 1,0 ; Fe : 0,05 – 0,35 ; au moins un élément choisi parmi Cr : 0,1 – 0,3 et Zr : 0,06 – 0,15 ; Ti < 0,15 ; Cu < 0,4 ; Zn < 0,1 ; autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total, reste aluminium et leur procédé de fabrication. L'addition de Cr et/ou Zr permet notamment d'obtenir une stabilité dimensionnelle améliorée notamment lors des étapes d'usinage, tout en ayant des
30 propriétés mécaniques statiques suffisantes, et une excellente aptitude à l'anodisation. L'addition de Cr et/ou de Zr peut cependant s'avérer défavorable pour certaines applications liées aux chambres à vide.

La demande de brevet WO2021/250545 concerne un procédé de fabrication d'une plaque d'alliage d'aluminium pour des éléments de chambre à vide, des vannes ou des ensembles
35 totaux, le procédé comprenant les étapes consistant à : (a) fournir un matériau de charge de

laminage d'un alliage d'aluminium Al-Mg-Si ayant une composition comprenant de, en poids. %, Mg 0,80 %-1,05 %, Si 0,70 %-1,0 %, Mn 0,70 %-0,90 %, Fe jusqu'à 0,20 %, Zn jusqu'à 0,08 %, Cu jusqu'à 0,05 %, Cr jusqu'à 0,03 %, Ti jusqu'à 0,06 %, impuretés inévitables et reste aluminium ;
(b) homogénéisation de la charge de laminage à une température dans une plage de 550 à 595°C
5 ; (c) laminage à chaud de la charge de laminage homogénéisée en une ou plusieurs étapes de laminage en une plaque laminée à chaud ayant une épaisseur d'au moins 10 mm ; (d) traitement de mise en solution de la tôle laminée à chaud à une température dans une plage de 540 à 590°C; (e) refroidissement rapide de la plaque mise en solution; (f) la traction contrôlée par un allongement permanent de 1 à 5 % de la plaque mise en solution et refroidie; (g) vieillissement
10 artificiel de la plaque étirée.

Il existe un besoin de produits en alliage d'aluminium destinés à la réalisation d'éléments de chambres à vide, présentant des caractéristiques mécaniques suffisantes, une stabilité dimensionnelle améliorée pour les étapes d'usinage ainsi qu'une aptitude optimale à la création de couches d'oxydes avec résistance chimique élevée.

15 **Exposé de l'invention**

Un premier objet de l'invention est un procédé de fabrication d'une tôle d'épaisseur finale comprise entre 6 et 50 mm dans lequel

- a) on coule une plaque de laminage en alliage d'aluminium de composition, en % en poids, Si : 0,6 – 1,3 ; Mg : 0,6 – 1,2 ; Mn : 0,65 – 1,0 ; Fe : 0,04 – 0,20 ; Cr ≤ 0,05 ; Ti ≤ 0,15 ; Cu ≤ 0,1 ;
20 autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total, reste aluminium,
- b) on homogénéise ladite plaque de laminage,
- c) on lamine ladite plaque de laminage avec une température d'entrée d'au moins 500°C pour obtenir une tôle d'épaisseur au moins égale à 8 mm,
- d) optionnellement on réalise un recuit,
- 25 e) on réalise un laminage à froid de la tôle laminée à chaud et optionnellement recuite avec une réduction d'au moins 20%,
- f) on réalise un traitement de mise en solution de la tôle ainsi laminée à froid et on la trempe,
- g) on détensionne par traction contrôlée avec un allongement permanent de 1 à 5% ladite tôle ainsi mise en solution et trempée,
- 30 h) on réalise un traitement thermique de revenu de la tôle ainsi tractionnée,
- i) optionnellement on usine ladite tôle ainsi revenue.

Un autre objet de l'invention est une tôle susceptible d'être obtenue par le procédé selon l'invention.

Encore un autre objet de l'invention est l'utilisation d'une tôle selon l'invention pour réaliser un élément de chambre à vide.

Figures

[Fig. 1] La Figure 1 illustre la mesure de contraintes résiduelles.

5 Description détaillée de l'invention

La désignation des alliages se fait en conformité avec les règlements de The Aluminium Association (AA), connus de l'homme du métier. Les définitions des états métallurgiques sont indiquées dans la norme européenne EN 515. Sauf mention contraire, les définitions de la norme EN12258-1 s'appliquent.

10 Sauf mention contraire les compositions sont exprimées en % en poids.

Sauf mention contraire, les caractéristiques mécaniques statiques, 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 déterminées par un essai de traction selon la norme ISO 6892-1, le prélèvement et le sens de l'essai étant définis par la norme EN 485-1, la direction ou
15 sens L correspond au sens de la longueur par rapport au sens principal de laminage et la direction ou sens TL correspond au sens travers-long .

Dans le cadre de la présente invention, les contraintes résiduelles ont été déterminées à l'aide de la méthode du barreau basée sur l'enlèvement successif de couches décrite notamment dans la publication "Development of New Alloy for Distortion Free Machined Aluminum Aircraft
20 Components", F.Heymes, B.Commet, B.Dubost, P.Lassince, P.Lequeu, GM.Raynaud, in 1st International Non-Ferrous Processing & Technology Conference, 10-12 March 1997 – Adams's Mark Hotel, St Louis, Missouri et dans les demandes de brevet WO2004/053180 ou WO2006/064113.

Cette méthode s'applique surtout aux tôles fortes tractionnées, dans lesquelles l'état de
25 contrainte peut être considéré comme homogène dans la zone de prélèvement des barreaux et biaxial ; les deux composantes principales étant situées dans les directions L et TL, et il n'y a donc pas de composante dans la direction TC. Cette méthode est basée sur la détermination des déflexions de deux barres rectangulaires, coupées en pleine épaisseur de la tôle dans le sens parallèle aux directions L and TL. Ces barres sont usinées dans le sens TC étape par étape. Après
30 chaque étape on mesure la déformation et/ou la déflexion et on relève l'épaisseur de la barre. Dans le cadre de la présente invention, on a mesuré la déflexion à l'aide d'un capteur de déplacement. Ainsi on a pu calculer les profils de contraintes résiduelles dans les directions L et TL.

On effectue une mesure après chaque passe d'usinage. On prend typiquement entre 18 et 25 passes pour obtenir un nombre de points suffisant pour calculer le profil de contraintes. La profondeur d'usinage ne doit pas être inférieure à 1 mm, afin d'obtenir une bonne qualité de coupe et doit être inférieure à 4mm (pour les tôles très épaisses, on ne mesure pas toutes les passes). On peut aussi utiliser l'usinage chimique pour enlever une très faible épaisseur de métal. Le pas d'usinage devrait être le même pour les deux échantillons (*i.e.* dans le sens L et dans le sens TL).

Après chaque passe d'usinage, la barre est détachée de l'étau, et on laisse la température se stabiliser avant de mesurer la déformation. A chaque pas i , on relève l'épaisseur $h(i)$ et la flèche $f(i)$. Le schéma de la figure 1 montre comment on collecte ces données.

Ces données permettent de calculer le profil de contraintes dans chaque barre sous la forme d'une courbe $u(i)_L$, qui correspond à la contrainte moyenne dans la couche enlevée lors du pas d'usinage i , donnée par les équations suivantes :

Pour $i = 1$ à $N-1$

$$u(i)_L = -\frac{4}{3} \frac{E}{lf^2} [f(i+1)_L - f(i)_L] \frac{h(i+1)^3}{h(i)(h(i)-h(i+1))} - S(i)_L$$

$$S(i)_L = \frac{4E}{lf^2} \sum_{k=1}^{i-1} [f(k+1)_L - f(k)_L] \left[-(h(i) + h(i+1)) + \frac{h(k+1)(3h(k) - h(k+1))}{3h(k)} \right]$$

où E est le module de Young de la tôle épaisse et l la longueur entre les points support pendant la mesure de la déflexion. On obtient ainsi deux profils : $u(i)_L$ et $u(i)_{LT}$ qui correspondent à des barres à section rectangulaire dans les directions L et TL.

Les profils de contraintes dans la tôle sont obtenus par les équations suivantes :

Pour $i = 1$ à $N-1$

$$\sigma(i)_L = \frac{u(i)_L + \nu u(i)_{LT}}{1 - \nu^2}$$

$$\sigma(i)_{LT} = \frac{u(i)_{LT} + \nu u(i)_L}{1 - \nu^2}$$

où ν est le coefficient de Poisson de la tôle forte.

On peut ensuite calculer l'énergie élastique stockée dans la tôle (W_L , W_{LT} et W_{tot} en KJ/m3) à partir des équations :

$$W_L = \frac{500}{Eh} \sum_{i=1}^{N-1} \sigma(i)_L [\sigma(i)_L - \nu \sigma(i)_{LT}] dh(i)$$

$$W_{LT} = \frac{500}{Eh} \sum_{i=1}^{N-1} \sigma(i)_{LT} [\sigma(i)_{LT} - \nu \sigma(i)_L] dh(i)$$

$$W_{tot}=W_L+W_{LT}$$

où W_{tot} est l'énergie élastique totale dans la tôle (exprimée en kJ/m^3) et h est l'épaisseur totale de la tôle.

Selon l'invention, des tôles améliorées en alliage d'aluminium de la série 6XXX, notamment des tôles destinées à la réalisation d'éléments de chambres à vide, sont obtenues par un procédé comprenant des étapes de coulée, homogénéisation, laminage à chaud, optionnellement recuit, laminage à froid, mise en solution, trempe, détensionnement, revenu et optionnellement
5 usinage.

Dans une première étape on coule une plaque de laminage en alliage d'aluminium de composition selon l'invention.

La composition selon l'invention permet notamment d'obtenir un compromis avantageux entre les propriétés mécaniques, la stabilité dimensionnelle lors des étapes d'usinage et les propriétés
10 d'usage en construction et utilisation d'éléments de chambres à vide, notamment l'aptitude à la création de couches d'oxydes avec résistance chimique élevée.

Les présents inventeurs ont constaté en particulier que par rapport à une composition standard de l'alliage AA6082, la présence d'une quantité élevée de Mn permet d'améliorer les propriétés, en favorisant notamment une microstructure fibreuse.

15 Par microstructure fibreuse on entend une microstructure dont les grains présentent dans une coupe L/TC un aspect ratio entre les directions L et TC d'au moins 4, de préférence au moins 8 et de manière préférée d'au moins 12.

Ainsi, la teneur en Mn est de 0,65 à 1,0 % en poids. De préférence, la teneur minimale de Mn est 0,70%, avantageusement 0,75% et préférentiellement 0,80% ou même 0,85 %. Dans un
20 mode de réalisation de l'invention, la teneur en Mn est de 0,8 à 1,0 % en poids.

L'addition de Fe est également nécessaire. Ainsi, la teneur en Fe est de 0,04 à 0,20 % en poids. De préférence, la teneur minimale en Fe est 0,06%, avantageusement 0,07% et préférentiellement 0,08%. De préférence, la teneur maximale en Fe est 0,18% ce qui peut contribuer notamment à obtenir la structure granulaire désirée. Dans un mode de réalisation de
25 l'invention, la teneur en Fe est de 0,08 à 0,18 % en poids.

Mg et Si sont ajoutés pour atteindre les caractéristiques mécaniques souhaitées grâce à la formation de Mg_2Si .

La teneur en Mg est de 0,6 à 1,2 % en poids. De préférence, la teneur minimale en Mg est 0,63%, avantageusement 0,66% et préférentiellement 0,70%. De préférence, la teneur maximale en Mg
30 est 1,1%, avantageusement 1,0% et préférentiellement 0,9% ou même 0,85%. Dans un mode de réalisation de l'invention, la teneur en Mg est de 0,70 à 0,85 % en poids.

La teneur en Si est de 0,6 à 1,3 % en poids. De préférence, la teneur minimale en Si est 0,63%, avantageusement 0,66% et préférentiellement 0,70%. De préférence, la teneur maximale en Si est 1,2% ou 1,1%, avantageusement 1,0% et préférentiellement 0,9% ou même 0,85%. Dans un mode de réalisation de l'invention, la teneur en Si est de 0,70 à 0,85 % en poids.

5 Les teneurs en Mg et Si sont équilibrées, en effet un excès de Si peut impacter la performance à l'anodisation et nuire à la performance en utilisation de composants de chambres à vide. De préférence, la teneur en Mg et la teneur en Si diffèrent au plus de 0,05 % en poids.

La teneur en Ti est au maximum de 0,15 % en poids. Il peut être avantageux d'ajouter Ti, notamment pour le contrôle de la taille de grain lors de la coulée. Dans un mode de réalisation
10 de l'invention, la teneur en Ti est de 0,01 à 0,05 % en poids.

La teneur en Cu est au maximum de 0,1 % en poids. Avantageusement la teneur en Cu est au maximum de à 0,07 % en poids et de préférence au maximum de à 0,07 % en poids de façon notamment à ne pas dégrader l'aptitude à la création de couches d'oxydes anodiques avec résistance chimique élevée.

15 La teneur en Cr est au maximum de 0,03 % en poids. Avantageusement la teneur en Cr est au maximum de à 0,02 % en poids et de préférence au maximum de à 0,01 % en poids de façon notamment à éviter la formation de précipités AlCr ou Al(Fe,Cr) dont la formation peut nuire à la performance en utilisation des couches anodiques créées sur des composants de chambres à vide.

20 Les autres éléments sont présents à titre d'impuretés inévitables avec une teneur inférieure à 0,05 % en poids chacun et inférieure à 0,15 % en poids au total, le reste est l'aluminium. Avantageusement la teneur en Zr est au maximum de à 0,03 % en poids et de préférence au maximum de à 0,02 % en poids de façon notamment à éviter la formation de précipités Al_3Zr ou Al(Fe,Zr) dont la formation peut nuire à la performance en utilisation de couches anodiques
25 créées sur des composants de chambres à vide.

De préférence l'alliage selon l'invention est coulé par coulée semi-continue verticale à refroidissement direct. La plaque ainsi obtenue peut être scalpée, c'est-à-dire usinée, avant les étapes ultérieures. La plaque de laminage est ensuite homogénéisée. De préférence, la température d'homogénéisation est inférieure à 580 °C. Dans un mode de réalisation
30 avantageux de l'invention la température d'homogénéisation est de 520°C à 570 °C. Le laminage à chaud est ensuite réalisé pour obtenir une tôle d'épaisseur au moins égale à 8 mm. La température d'entrée de laminage à chaud est d'au moins 500 °C, de préférence au moins 520 °C et préférentiellement au moins 530 °C.

Un traitement thermique intermédiaire, permettant notamment de restaurer la tôle ainsi laminée à chaud peut optionnellement être réalisé ensuite, avantageusement à une température comprise entre 300 °C et 400 °C.

Un laminage à froid, avec un taux de réduction d'au moins 20% est réalisé suite au laminage au
5 chaud ou au traitement thermique intermédiaire s'il est effectué. Les présents inventeurs ont constaté que la présence d'une étape de laminage à froid avant la mise en solution et la trempe permet d'améliorer les propriétés de stabilité dimensionnelles lors de l'usinage. Avantageusement le taux de réduction par laminage à froid est de 25% à 35%.

La tôle ainsi laminée à froid subit ensuite une mise en solution suivie d'une trempe. La mise en
10 solution est de préférence effectuée à une température de 510 °C à 570 °C. La trempe est typiquement réalisée par immersion ou aspersion d'eau froide. On détensionne ensuite par traction contrôlée avec un allongement permanent de 1 à 5%, préférentiellement de 1,5 à 3%, ladite tôle ainsi mise en solution et trempée. Le détensionnement est de préférence effectué dans les directions longitudinale et transversale.

15 On réalise enfin un revenu, typiquement à une température comprise entre 150 °C et 210 °C, pour obtenir de préférence un état TX51.

Optionnellement on usine la tôle ainsi revenue jusqu'à son épaisseur finale.

Les tôles susceptibles d'être obtenues par le procédé selon l'invention ont des propriétés particulièrement avantageuses.

20 Les propriétés mécaniques des tôles selon l'invention sont particulièrement avantageuses. De préférence, les tôles selon l'invention présentent une limite d'élasticité $R_{p0,2}(TL)$ d'au moins 230 MPa, préférentiellement d'au moins 240 MPa et de manière préférée d'au moins 250 MPa, et/ou une résistance à rupture $R_m(TL)$ d'au moins 255 MPa, préférentiellement d'au moins 265 MPa et de manière préférée d'au moins 275 MPa et/ou un allongement à rupture $A\%$ d'au moins
25 10%, préférentiellement d'au moins 12% et de manière préférée d'au moins 14%.

Les tôles selon l'invention ont un faible niveau de contraintes internes. Ainsi l'énergie élastique totale W_{tot} est inférieure à 0,5 kJ/m³, de préférence inférieure à 0,4 kJ/m³, préférentiellement inférieure à 0,3 kJ/m³, et de manière préférée inférieure à 0,2 kJ/m³.

De préférence les tôles selon l'invention ont une microstructure fibreuse.

30 Selon l'invention, on utilise des tôles selon l'invention pour réaliser un élément de chambre à vide. Ainsi les tôles selon l'invention sont usinées et anodisées pour réaliser des éléments de chambre à vide, tels que des corps de chambres à vide, des corps de vanne, des brides, des éléments de connexion, des éléments d'étanchéité, des passages, des diffuseurs, des électrodes. En effet, les tôles selon l'invention présentent une stabilité dimensionnelle améliorée
35 notamment lors des étapes d'usinage, tout en ayant des propriétés mécaniques statiques

suffisantes, et une aptitude optimale à la création de couches d'oxydes avec résistance chimique élevée.

Exemple

Dans cet exemple, on a préparé des plaques de laminage en alliage dont la composition est donnée dans le Tableau 1.

[Tableau 1]

Alliage	Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Ti	Cu	Autres éléments
I	0,76	0,76	0,80	0,18	0,002	0,013	0,004	< 0,05
II	0,73	0,73	0,82	0,17	0,007	0,019	0,033	< 0,05
III	0,75	0,72	0,83	0,17	0,009	0,022	0,029	< 0,05

Composition des alliages en pourcentage en poids

Les plaques ont été homogénéisées à 540 °C. Les plaques ont été laminées à chaud jusqu'à une épaisseur de 14 à 32 mm selon les cas. La température d'entrée de laminage à chaud était comprise entre 530 et 550 °C. Dans un procédé A, de référence, l'épaisseur finale a été obtenue par laminage à chaud. Dans un procédé B, selon l'invention, on a réalisé après le laminage à chaud un laminage à froid de 30% pour obtenir l'épaisseur finale. Les tôles ainsi obtenues ont été mises en solution à 540 °C, trempées, détentionnées par traction contrôlée dans les directions longitudinale et transverse avec un allongement permanent de 2% et traitées thermiquement pour obtenir un état sur revenu.

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%, ont été déterminés par un essai de traction selon la norme NF EN ISO 6892-1 (2016) dans le sens travers long (TL), le prélèvement et le sens de l'essai étant définis par la norme EN 485 (2016). Les caractérisations ont été effectuées dans la direction travers long.

Les résultats sont donnés dans le Tableau 2

[Tableau 2]

Essai	Procédé	Alliage	Epaisseur finale (mm)	R_m (TL) MPa	$R_{p0,2}$ (TL) MPa	A %
1	A	I	14	260	234	11
2	A	I	17	270	245	13
3	A	I	22	265	239	11
4	B	II	14	277	250	14
5	B	II	14	283	259	14

6	B	II	17	278	250	14
7	B	III	17	283	257	14
8	B	III	22	284	258	14
9	B	II	22	284	258	16

Propriétés mécaniques statiques

L'énergie élastique a été mesurée selon la méthode du barreau déjà décrite.

[Tableau 3]

Procédé	Essai	Epaisseur finale (mm)	Energie élastique moyenne W_{tot}
A	1	14	0.56
A	2	17	0.90
A	3	22	1.37
B	4, 5	14	0.08
B	6, 7	17	0.18
B	8, 9	22	0.15

5 **Energies élastiques moyennes déterminées par la méthode du barreau** (3 mesures par pièce, 6 mesures dans le cas où 2 pièces sont concernées)

Les pièces obtenues avec le procédé selon l'invention présentent une énergie élastique très nettement inférieure à celle obtenue avec le procédé de référence, tout en ayant des caractéristiques mécaniques plus avantageuses.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une tôle d'épaisseur finale comprise entre 6 et 50 mm dans lequel
 - a) on coule une plaque de laminage en alliage d'aluminium de composition, en % en poids,
5 Si : 0,6 – 1,3 ; Mg : 0,6 – 1,2 ; Mn : 0,65 – 1,0 ; Fe : 0,04 – 0,20 ; Cr ≤ 0,05 ; Ti ≤ 0,15 ; Cu ≤ 0,1 ;
autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total, reste aluminium,
 - b) on homogénéise ladite plaque de laminage,
 - c) on lamine ladite plaque de laminage avec une température d'entrée d'au moins 500°C
pour obtenir une tôle d'épaisseur au moins égale à 8 mm,
 - 10 d) optionnellement on réalise un traitement thermique intermédiaire,
 - e) on réalise un laminage à froid de la tôle laminée à chaud et optionnellement traitée
thermiquement avec une réduction d'au moins 20%,
 - f) on réalise un traitement de mise en solution de la tôle ainsi laminée à froid et on la
trempe,
 - 15 g) on détensionne par traction contrôlée avec un allongement permanent de 1 à 5% ladite
tôle ainsi mise en solution et trempée,
 - h) on réalise un revenu de la tôle ainsi tractionnée,
 - i) optionnellement on usine ladite tôle ainsi revenue.
2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la teneur en Mn est de 0,8 à 1,0 % à poids.
- 20 3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel la teneur en Fe est de
0,08 à 0,18 % en poids.
4. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel le taux de réduction
par laminage à froid est de 25% à 35%.
5. Tôle susceptible d'être obtenue par le procédé selon une quelconque des revendications
25 1 à 4.
6. Tôle selon la revendication 5 ayant une limite d'élasticité $R_{p0,2}(TL)$ d'au moins 230 MPa,
préférentiellement d'au moins 240 MPa et de manière préférée d'au moins 250 MPa, et/ou
une résistance à rupture $R_m(TL)$ d'au moins 255 MPa, préférentiellement d'au moins 265
MPa et de manière préférée d'au moins 275 MPa et/ou un allongement à rupture A% d'au
30 moins 10%, préférentiellement d'au moins 12% et de manière préférée d'au moins 14%.
7. Tôle selon la revendication 5 ou la revendication 6 telle que l'énergie élastique totale
 W_{tot} est inférieure à 0,5 kJ/m³, de préférence inférieure à 0,4 kJ/m³, préférentiellement
inférieure à 0,3 kJ/m³, et de manière préférée inférieure à 0,2 kJ/m³.

8. Tôle selon une quelconque des revendications 5 à 7 dont la microstructure est fibreuse.
9. Utilisation d'une tôle selon une quelconque des revendications 5 à 8 pour réaliser un élément de chambre à vide.
10. Utilisation selon la revendication 9 dans laquelle les tôles selon l'invention sont usinées et
5 anodisées pour réaliser des éléments de chambre à vide, tels que des corps de chambres à vide, des corps de vanne, des brides, des éléments de connexion, des éléments d'étanchéité, des passages, des diffuseurs, des électrodes.