

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 666 333 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
30.06.1999 Bulletin 1999/26

(51) Int Cl.⁶: **C22F 1/053, C22F 1/04**

(21) Numéro de dépôt: **95420013.5**

(22) Date de dépôt: **23.01.1995**

(54) **Tôles fortes en alliages d'aluminium résistant à la fatigue et procédé d'obtention**

Ermüdungsbeständiges Grobblech aus Aluminium-Legierung und Verfahren zur Herstellung

Fatigue-resistant aluminium alloy thick plate and process for making

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **25.01.1994 FR 9401044**
23.03.1994 FR 9403712

(43) Date de publication de la demande:
09.08.1995 Bulletin 1995/32

(73) Titulaire: **PECHINEY RHENALU**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:

- **Dermarkar, Salim**
F-63500 Issoire (FR)
- **Mace, Robert**
F-38430 Saint Jean de Moirans (FR)
- **Lassince, Philippe**
F-63500 Issoire (FR)
- **Ehrström, Jean-Christophe**
F-38130 Echirolles (FR)
- **Muller, Jean**
F-38500 Voiron (FR)

(74) Mandataire: **Mougeot, Jean-Claude et al**
PECHINEY
28, rue de Bonnel
69433 Lyon Cedex 03 (FR)

(56) Documents cités:

FR-A- 2 529 578 **US-A- 5 277 719**

- **JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION, vol. 18, PHILADELPHIA, US, pages 439-445, P.E.MAGNUSEN ET AL 'DURABILITY ASSESSMENT BASED ON INITIAL MATERIAL QUALITY'**
- **EDITORS K.SALAMA ET AL 'ADVANCES IN FRACTURE RESEARCH PROC. 7TH INT. CONF. ON FRACTURE HOUSTON 20-24 MARCH 1989' 1989, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB P.E. MAGNUSEN ET AL "THE INFLUENCE OF MATERIAL QUALITY ON AIRFRAME STRUCTURAL DURABILITY" * page 999 - page 1007 ***
- **TRANS AMERICAN FOUNDRYMANS SOCIETY, vol. 94, 1986 US, pages 47-56, M.ABBAS ET AL 'MICROPOROSITY OF AIRCAST AND VACUUM CAST ALUMINUM ALLOYS'**
- **METALLURGICAL TRANSACTIONS, vol. 4, - 1973 NEW YORK US, pages 1069-1076, K-H. GHIEEN ET AL 'CAST MICROSTRUCTURE AND FATIGUE BEHAVIOR OF A HIGH STRENGTH ALUMINUM ALLOY (KO-1)'**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 666 333 B1

Description

[0001] L'invention est relative à des tôles fortes en alliages d'Al résistant à la fatigue et à un procédé d'obtention de celles-ci.

[0002] On sait, d'après la publication de Magnusen et al. dans "Journal of testing and evaluation", vol. 18, Philadelphia, US, pages 439-445, que les microporosités et les phases intermétalliques formées à la coulée sont des sites d'initiation préférentiels des fissures de fatigue; or la présence de celles-ci est inévitable en particulier dans les produits métallurgiques de forte section obtenus par coulée verticale conventionnelle.

[0003] Jusqu'ici, et afin de minimiser à la fois la densité et/ou la taille maximale des microporosités et des phases intermétalliques, on a cherché à couler des plaques très épaisses, afin de reboucher la plupart des microporosités et de fragmenter la plupart des phases intermétalliques, généralement concentrés au voisinage du grand plan médian de la plaque, lors du laminage à chaud en utilisant des corroyages $C = E_i/E_f$ élevés, E_i étant l'épaisseur initiale et E_f l'épaisseur finale.

[0004] On sait que le procédé habituel d'obtention de tôles épaisses (épaisseur > 10 mm) consiste en la coulée de plaques, leur scalpage, leur homogénéisation, leur laminage à chaud. Les tôles ainsi obtenues sont mises en solution et trempées, subissent éventuellement une traction contrôlée pour réduire le niveau des contraintes internes et puis sont muries (états T 351 ou T4) ou revenues aux états T 651 ou T 7x51, suivant la nomenclature de l'Aluminum Association.

[0005] Ainsi par exemple pour des tôles ayant des épaisseurs finales E_f comprises entre 100 mm et 150 mm, on part généralement de plaques ayant une épaisseur après scalpage > 3,5 E_f , soit des corroyages $C > 3,5$.

[0006] Le brevet FR 2529578 (=US 4511409) de la demanderesse et le brevet US 5277719 (ALCOA) décrivent un procédé pour augmenter la résistance à la fatigue des tôles épaisses en alliage d'aluminium en diminuant les microporosités, procédé comportant une étape initiale de forgeage.

Le second de ces brevets décrit un exemple dans lequel le taux de corroyage (forgeage et laminage) est de 2,6. Mais l'introduction d'une étape de préforgeage impose un double réchauffage des plaques et leur transport sur deux sites de production différents, ce qui entraîne une augmentation significative du coût de transformation.

[0007] La présente invention qui est définie par la revendication 1, est relative à des tôles ayant des épaisseurs finales > 110 mm. Elle concerne des tôles en alliage d'Al à durcissement structural qui à l'état traité (trempe mûri, ou trempé et revenu, ou trempé mûri et revenu) possèdent une bonne santé interne, ainsi qu'une durée de vie en fatigue supérieure à 100.000 cycles en traction ondulée ($R = 0,1$) sous une contrainte maximale égale à 50% (et même 60%) de la limite élastique $R_{p0,2}$.

La présente invention concerne également une méthode d'obtention de tôles d'épaisseur comprise entre 110 et 250 mm en alliage d'aluminium à durcissement structural telle que définie par la revendication 6.

Contrairement à l'enseignement de l'art antérieur, la demanderesse a constaté, avec surprise, que des propriétés de fatigue nettement améliorées pouvaient être obtenues en limitant le corroyage à des valeurs $C < 2,4$ pour des tôles ayant des épaisseurs finales comprises entre 110 mm et 150 mm (et donc avec des épaisseurs de plaques scalpées < 360 mm), et même à des valeurs $C < 2$ pour des tôles ayant des épaisseurs finales comprises entre 150 mm et 250 mm (et donc avec des épaisseurs de plaques scalpées < 500 mm). Ce corroyage à chaud est obtenu de préférence uniquement par laminage, sans forgeage préalable.

[0008] Il a été également constaté que les propriétés de tenue à la fatigue sont encore améliorées si le métal liquide au moment de la coulée a été convenablement dégazé par des procédés connus de l'homme du métier (dégazage par du chlore ou par des produits contenant du chlore, poches de dégazage à l'argon), de manière à ce que les teneurs en hydrogène dans le métal liquide soient inférieures à 0,15 $\text{cm}^3/100 \text{ g}$. Il a été également constaté que les propriétés de fatigue sont encore améliorées si au cours du laminage à chaud les deux dernières passes de laminage (épaisseur d'entrée-épaisseur de sortie) sont supérieures à 25 mm chacune.

[0009] Les produits selon l'invention résistant à la fatigue sont caractérisés par une bonne santé interne, déterminée par un contrôle U.S au voisinage du plan médian des tôles épaisses.

L'appareil de contrôle utilisé est un émetteur-récepteur PR 02 de Synergetics ou 5052 de Panametrics avec les réglages suivants : US focalisés : tache focale (à -6 dB ou mi-amplitude) en forme d'ellipsoïde allongé 100 μm x 600 μm

fréquence : 50 MHz

Palpeur à large bande ($\frac{\Delta f}{f_0} = 70\%$)

[0010] Il est associé à des moyens d'acquisition numérique et de traitement du signal, avec déplacement asservi du palpeur en xy au pas de 0,02 mm.

L'appareil est étalonné à l'aide d'un bloc étalon de même nature et dans le même état de traitement thermique que le produit testé, comportant des trous à fond plat 0 50 et 100 μm , auquel on attribue conventionnellement l'amplitude maximale de 80% sur l'écran de contrôle, ce qui fixe le gain global G_0 .

Le volume examiné, sur une tranche d'épaisseur maximale de 20 mm, est de 20 x 20 x 0,6 mm^3 .

[0011] Les mesures sont repérées sur plusieurs localisations pour obtenir des valeurs statistiques fiables.

Les porosités sont définies par les pics dépassant un seuil, réglable, et fixé légèrement au-dessus du bruit de fond.

[0012] On détermine :

- le nombre de porosités (de taille équivalente $> 20 \mu\text{m}$, seuil de détection) par unité de volume
- la moyenne arithmétique des amplitudes maximales A_{max} , A_{max} étant la valeur maximum de l'écho sur une porosité,
- la moyenne arithmétique des amplitudes moyennes $\bar{A}$, $\bar{A}$ étant égale à

$$\frac{1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} A \, dx \, dy,$$

x et y étant les distances sur l'image de la porosité considérée (voir fig. 7).

[0013] Dans les conditions définies ci-dessus, les produits selon l'invention respectent les limites suivantes :

Nombre de porosités $\leq 800/\text{cm}^3$

Moyenne des Amplitudes moyennes $\bar{A} \leq 22 \%$

Moyenne des Amplitudes maximales $A_{\text{max}} \leq 50 \%$

[0014] Dans la suite du texte nous utiliserons les abréviations ou notations suivantes:

L = sens long

TL = sens travers long

TC = sens travers court

R = contrainte maximale/contrainte minimale d'un cycle lors des essais de fatigue

Kt = coefficient d'entaille

ΔK = variation du facteur d'intensité de contrainte lors des essais de fatigue

da/dn = vitesse de propagation des fissures de fatigue

[0015] L'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples suivants, illustrés par les figures 1 à 7.

[0016] La figure 1 représente une coupe macrographique suivant le plan L/TC (long/travers court) d'une tôle de 118 mm d'épaisseur issue du format A de l'exemple 1.

[0017] La figure 2 représente une coupe macrographique suivant le plan L/TC d'une tôle de 125 mm issue du format B de l'exemple 1.

[0018] Les figures 3 et 4 représentent la densité et la répartition des phases intermétalliques des tôles issues respectivement de format A et B de l'exemple 1, plan L/TC.

[0019] Les figures 5 et 6 représentent dans un diagramme amplitude - nombre de porosités/ cm^3 , les résultats des micrographies acoustiques réalisées sur le produit de l'exemple 4, l'étalon étant un trou à fond plat $100 \mu\text{m}$.

[0020] La figure 7 représente le principe de détermination des grandeurs A_{max} et $\bar{A}$.

[0021] Les alliages seront désignés suivant la nomenclature de l'Aluminum Association.

EXEMPLE 1

[0022] Des plaques en alliage 7010 ont été élaborés d'une part en formats d'épaisseur 420 mm après scalpage (hors invention : format A) et d'autre part en format d'épaisseur 260 mm après scalpage (selon l'invention : format B). L'épaisseur de métal enlevée au scalpage est identique dans les deux cas. La teneur en hydrogène dans le métal liquide est dans les deux cas $< 0,15 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$.

[0023] Ces plaques scalpées ont été homogénéisées dans des conditions identiques (30 heures à 470°C), puis laminées à chaud à 390°C dans des conditions identiques, avec la séquence suivante de passes de laminage :

Format A	20-30-40-40-34-34 mm
Format B	22-23-26-28-32 mm

[0024] L'épaisseur finale des tôles est de 118 mm pour le format A, ce qui conduit à un facteur de corroyage C de 3,56 pour le format A et de 125 mm pour le format B, ce qui conduit à un facteur de corroyage C de 2,08 pour le format B. On dispose d'un traceur du facteur de corroyage révélé par le facteur de forme du grain métallurgique dans une coupe L/TC (figures 1 et 2). Le facteur de forme du grain de coulée est de l'ordre de 4 à 6 pour le format A et de l'ordre

de 2 à 3 pour le format B.

[0025] Les deux tôles ont ensuite subi un traitement de mise en solution de 8 heures à 480°C suivi d'une trempe à l'eau, d'une traction contrôlée de 2,1% et d'un traitement de revenu de 10 heures à 120°C suivi de 8 heures à 170°C, de manière à leur conférer les caractéristiques de l'état T 7651.

[0026] Les deux tôles ont fait l'objet d'une caractérisation complète en fatigue avec des essais "stair-case" à 10^5 cycles dans le sens TL à mi-épaisseur avec $R = 0,05$. Les éprouvettes de fatigue de l'essai "stair-case" ont été utilisées pour mesurer par analyse d'image sur coupe micrographique la taille et le nombre des microposités. Les mesures par analyse d'image ont été effectuées sur coupe polie dans un plan L - TC à mi-épaisseur, sous grossissement $\times 100$, avec examen de 150 champs de 1 mm x 1 mm, soit une surface totale examinée de 150 mm² par éprouvette. Le paramètre mesuré est le Dmax, plus grande dimension dans le plan d'observation, pour tous les Dmax > à 20 microns. Les résultats des caractérisations en fatigue "stair-case" et des mesures de la densité surfacique des microposités sont rassemblées au Tableau I. Les résultats de vitesses de propagation de fissures sont rassemblées dans le tableau II.

TABLEAU I

Format	Epais.finale de la Tôle (mm)	Contrainte à 10^5 cycles (MPa)	Nombre de porosités /cm ² ayant $20 < D_{max} < 100 \mu m$	Nombre de porosités /cm ² ayant $D_{max} > 100 \mu m$	Rp0,2 TL (MPa)
A-coulée 92990	118	212 ± 15	107	3	455
A-coulée 92292	118	210 ± 5	110	10	455
B-coulée 93193	125	246 ± 5	67	0	453

TABLEAU II

Format	Epaisseur finale de la tôle (mm)	da/dN à 10MPa $\sqrt{m}$ (mm/cycle)	da/dN à 20MPa $\sqrt{m}$ (mm/cycle)
A-coulée 92990	118	$1,8 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
B-coulée 93139	125	10^{-4}	10^{-3}

[0027] Il apparaît clairement à l'examen de ces résultats que l'utilisation du format de coulée selon l'invention (Format B) permet d'améliorer très significativement le niveau de contrainte admissible à 10^5 cycles et la vitesse de propagation des fissures da/dN à $\Delta K = 10 \text{ MPa } \sqrt{m}$. Cette amélioration est corrélée à une diminution de l'ordre de 40% des porosités ayant des Dmax compris entre 20 μm (limite de détection) et 100 μm , et à la disparition des porosités ayant un Dmax > 100 μm .

[0028] Les figures 3 et 4 montrent la taille et la répartition des intermétalliques dans le cas des deux formats. On constate une taille et une densité d'intermétalliques réduites dans le cas du format B.

EXEMPLE 2

[0029] Des plaques en alliage 7050 ont été élaborées d'une part en formats d'épaisseur 420 mm après scalpage (hors invention : format A) et d'autre part en format d'épaisseur 260 mm après scalpage (selon l'invention : format B). L'épaisseur de métal enlevée au scalpage est identique dans les deux cas. La teneur en hydrogène dans le métal est dans les deux cas < 0,15 cm³/100 g.

[0030] Ces plaques ont été homogénéisées dans des conditions identiques (16 heures à 475°C), puis laminées à chaud avec la séquence suivante des 2 dernières passes de laminage :

Format A	28 mm/32 mm	épaisseur finale 204 mm
Format B	34 mm/34 mm	épaisseur finale 204 mm

[0031] Ceci conduit à un facteur de corroyage C de 2,05 pour le format A et de 1,27 pour le format B.

[0032] Les deux tôles ont ensuite subi un traitement de remise en solution de 20 heures à 478°C suivi d'une trempe à l'eau, une traction contrôlée de 1,6% et un traitement de revenu de 6 heures à 120°C suivi de 21 heures à 165°C de manière à leur conférer les caractéristiques de l'état T 7451.

[0033] Les deux tôles ont fait l'objet d'une caractérisation en durée de vie en fatigue sous 242 MPa; $R = 0,1$; $K_t = 1$. Les moyennes logarithmiques de durée de vie sur 8 éprouvettes prélevées dans le sens TL à mi-largeur et mi-épaisseur des tôles sont regroupées dans le Tableau III, ainsi que le nombre maximum de porosités par cm². A cet état la limite élastique est de 411 MPa dans le sens TL pour la tôle issue du format B (selon l'invention) et de 420 MPa dans le sens TL pour la tôle issue du format A (hors invention).

TABLEAU III

Format	Epaisseur finale de la tôle (mm)	Moyenne logarithmique de durée de vie (en cycles)	Nombre maximum de porosités/(cm ²)	Rp0,2 TL (MPa)
A-coulée 96343	204	71000	7	420
B-coulée 96381	204	118000	4	411

[0034] Il apparaît clairement à l'examen de ces résultats que l'utilisation du format de coulée selon l'invention (format B) permet d'améliorer très significativement le niveau de durée de vie en fatigue et de réduire la densité des microporosités.

EXEMPLE 3

[0035] Quatre plaques en alliage 7010 ont été élaborées en format d'épaisseur 260 mm après scalpage (selon l'invention : format B). Les teneurs en hydrogène dans le métal coulé et les valeurs des dernières passes de laminage sont reportées au Tableau IV. Les limites élastiques et la limite de fatigue à 10⁶ cycles ont été mesurées à l'état T7651 et figurent au Tableau IV (sens TL).

TABLEAU IV

Format	H2 cm ³ /100 g	2 dernières Passes (mm)	Porosités/cm ² (> 20 µm)	Contrainte de rupture à 10 ⁶ cycles (MPa)	Rp0,2 TL (MPa)
B/1	0,3	7/5	109	115 ± 5,9	446
B/2	0,3	17/16	90	112 ± 3,8	443
B/3	< 0,15	6/5	16	200 ± 26,1	451
B/4	< 0,15	19/18	7	215 ± 11,3	455

[0036] L'effet de la teneur en hydrogène est très significatif, l'effet des passes rebouchantes au laminage est moins marqué et sensible seulement sur les faibles niveaux d'hydrogène.

EXEMPLE 4

[0037] Quatre plaques en alliage 7050 ont été élaborées en format d'épaisseur 260 mm (selon l'invention : format B). Deux de ces plaques ont été élaborées avec un lit de fusion ne comportant pas de copeaux recyclés, les deux autres plaques ont été élaborées avec un lit de fusion comportant 10% de copeaux recyclés.

Ces plaques ont été transformées selon la gamme décrite dans l'exemple 2, et conduites jusqu'à des épaisseurs finales de 200 mm et 150 mm. Les moyennes logarithmiques de durée de vie en fatigue sous 242 MPa, $R = 0,1$, $K_t = 1$ à l'état T 7451 ont été mesurées dans chaque cas. Les résultats sont regroupés dans le Tableau V.

TABLEAU V

Repère	Teneur en copeaux de lit de fusion (%)	Epaisseur finale (mm)	Moyenne logarithmique de durée de vie (cycles)	Rp0,2 TL (MPa)
201	0%	200	118000	411
202	0%	150	145000	436
203	10%	200	93000	413
204	10%	150	112000	447

[0038] Nous avons utilisé dans ce cas la technique de caractérisation des porosités par ultrasons à 50 MHz comme décrit ci-dessus.

[0039] Les résultats obtenus sont groupés à la figure 5. On vérifie bien en comparant les domaines caractéristiques 201 et 203 un effet marqué de la composition du lit de fusion pour les tôles de 200 mm d'épaisseur, le produit 201 sans copeaux présentant le nombre de porosités le plus faible corrélé au niveau de fatigue le plus élevé. Cette différence est atténuée pour le moindre nombre de porosités sur des tôles de 150 mm d'épaisseur (comparaison des domaines caractéristiques 202 et 204) du fait de l'écrouissage plus élevé. Cependant, le niveau de fatigue du produit 202 reste significativement plus élevé que celui du produit 204, confirmant l'importance de la qualité du lit de fusion.

Revendications

1. Tôles d'épaisseur > 110 mm en alliage d'aluminium à durcissement structural résistant à la fatigue, caractérisées en ce que la densité des porosités de taille équivalente comprise entre 20 et 100 μm , et situées au voisinage du plan médian de laminage, est inférieure à 800 par cm^3 .
2. Tôles selon la revendication 1, caractérisées en ce que la moyenne des amplitudes maximum des défauts, mesurées par les valeurs maximum de l'écho aux ultrasons sur les porosités, est inférieure à 50% lorsque l'amplitude maximale de 80% est attribuée conventionnellement à un trou à fond plat de 100 μm .
3. Tôles selon la revendication 1, caractérisées en ce que la moyenne des amplitudes moyennes des défauts, mesurées par les valeurs

$$\frac{1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} A dx dy,$$

x et y étant les distances sur l'image des porosités, est inférieure à 22% lorsque l'amplitude maximale de 80% est attribuée conventionnellement à un trou à fond plat de 100 μm .

4. Tôles selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisées en ce qu'à l'état traité (trempé mûri, ou trempé revenu, ou trempé mûri revenu) elles possèdent une durée de vie en fatigue > 100000 cycles en traction ondulée ($R = 0,1$) sous une contrainte maximale égale à 50% de la limite élastique $R_{p0,2}$.
5. Tôles selon la revendication 4, caractérisées en ce que la durée de vie en fatigue dépasse 100000 cycles sous une contrainte maximale égale à 60% de $R_{p0,2}$.
6. Méthode d'obtention de tôles d'épaisseur comprise entre 110 et 250 mm en alliage d'aluminium à durcissement structural, résistant à la fatigue et présentant une densité de porosités de taille équivalente comprise entre 20 et 100 μm , situées au voisinage du plan médian de laminage, inférieure à 800 par cm^3 , comportant la coulée d'une plaque, le scalpage de cette plaque, une homogénéisation, un corroyage à chaud, une mise en solution, une trempe, éventuellement une traction contrôlée, une maturation pour obtenir les états T351 ou T4 ou un revenu pour obtenir les états T651 ou T7x51, caractérisée en ce que le corroyage à chaud C est inférieur à 2,4 pour les épaisseurs comprises entre 110 et 150 mm, et inférieur à 2 pour les épaisseurs comprises entre 150 et 250 mm.
7. Méthode selon la revendication 6, caractérisée en ce que le corroyage à chaud est uniquement un laminage.
8. Méthode selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisée en ce que la teneur en hydrogène du métal liquide de départ est inférieure à 0,15 $\text{cm}^3/100 \text{ g}$.
9. Méthode selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisée en ce que les deux dernières passes de laminage à chaud sont supérieures à 25 mm chacune.

Patentansprüche

1. Ermüdungsbeständige Bleche aus Al-Legierungen mit Gefügeaushärtung mit einer Dicke > 110 mm, dadurch gekennzeichnet, dass die Dichte der Porositäten, die eine äquivalente Abmessung zwischen 20 und 100 μm auf-

weisen und sich in der Nähe der mittleren Walzebene befinden, unter 800 je cm³ ist.

2. Bleche nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel der, bei der maximalen Werten des Ultraschallechos auf der Porositäten gemessenen, maximalen Amplituden der Fehler unter 50% ist, wenn die maximale Amplitude von 80% einem Loch mit einem ebenen Grund von 100 µm zugeteilt ist.

3. Bleche nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass das Mittel der mittleren Amplituden von Fehlern, die bei der Formel

$$\frac{1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} A dx dy$$

gemessen wird, wobei x und y die Abstände zwischen der Porositäten auf der Mikrographie sind, unter 22% ist.

4. Bleche nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie im behandelten (d. h. abgeschreckten und kaltausgelagerten, oder abgechreckten und warmausgelagerten, oder abgeschreckten und kalt- und warmausgelagerten) Zustand eine Ermüdungslebensdauer über 10 000 Zyklen im Schwingungszug (R = 0,1) unter einer Maximalbelastung gleich 50% der Dehngrenze R_{p0,2} besitzen.

5. Bleche nach dem Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet dass ihre Ermüdungslebensdauer über 100 000 Zyklen unter einer Maximalbelastung gleich 60% von R_{p0,2} übersteigt.

6. Verfahren zur Herstellung von ermüdungsbeständige Bleche aus Al-Legierungen mit Gefügeaushärtung mit einer Dicke zwischen 110 und 250 mm und einer Dichte der Porositäten, die eine äquivalente Abmessung zwischen 20 und 100 µm aufweisen und sich in der Nähe der mittleren Walzebene befinden, unter 800 je cm³, das den Abguss einer Platte, das Scalpieren dieser Platte, eine Homogenisierung, eine Warmumformung, ein Lösungsglühen, ein Abschrecken, gegebenenfalls ein kontrolliertes Recken, eine Kaltauslagerung um die T351 oder T4 Zustände zu erhalten, oder eine Warmauslagerung um die Zustände T651 ou T7x51 zu erhalten, enthält, dadurch gekennzeichnet dass das Warmumformungsverhältnis C für Dicken im Bereich von 110 bis 150 mm unter 2,4 ist, und für Dicken im Bereich von 150 bis 250 mm unter 2 ist.

7. Verfahren nach dem Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Warmumformung einzig ein Walzen ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Gehalt des flüssigen Metalls an Wasserstoff unter 0,15 cm³/100 g ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei letzten Warmwalzstiche über je 25 mm sind.

Claims

1. Fatigue resistant thick plates of heat-treatable aluminium alloys of a thickness > 110 mm, characterised in that the density of the porosities of an equivalent size between 20 and 100 µm, in the vicinity of the medial rolling plane, is lower than 800 per cm³.

2. Plates according to claim 1, characterised in that the mean of the maximum amplitudes of the defects, measured by the maximum value of the ultrasonic echo on the porosities, is less than 50%, when the maximum amplitude of 80% is conventionally assigned to a flat bottom hole of 100 µm.

3. Plates according to claim 1, characterised in that the mean of the medium amplitudes of the defects, measured by the values

$$\frac{1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} A dx dy ,$$

x and y being the distances of the porosities on the image, is less than 22%.

4. Plates according to one of claims 1 to 3, characterised in that in the treated temper (quenched and naturally aged, or quenched and artificially aged, or quenched and naturally and artificially aged) they have a fatigue service life under cyclic axial load ($R = 0,1$) > 100000 cycles under a maximum stress equal to 50% of the yield strength $R_{p0,2}$.
5. Plates according to claim 4, characterised in that the fatigue service life exceeds 100000 cycles under a maximum stress equal to 60% of the yield strength $R_{p0,2}$.
6. A method for producing fatigue-resistant thick plates of heat-treatable aluminium alloys, having a thickness between 110 and 250 mm, and exhibiting a density of the porosities of an equivalent size between 20 and 100 μm , in the vicinity of the medial rolling plane, lower than 800 per cm^3 , comprising casting of a plate, scalping of this plate, homogenising, hot working, solution heat treating, quenching, optionally controlled stretching, naturally ageing to obtain the T351 ou T4 tempers, or artificially ageing to obtain the T651 ou T7x51 tempers, characterised in that the hot working factor C is lower than 2,4 for thicknesses of between 110 and 150 mm, and lower than 2 for thicknesses of between 150 and 250 mm.
7. A method according to claim 6, characterised in that the hot working operation is solely a rolling operation.
8. A method according to either claim 6 or claim 7, characterised in that the hydrogen content of the starting liquid metal is less than 0,15 $\text{cm}^3/100 \text{ g}$.
9. A method according to one of claims 6 to 8, characterised in that the last two hot rolling passes are each greater than 25 mm.



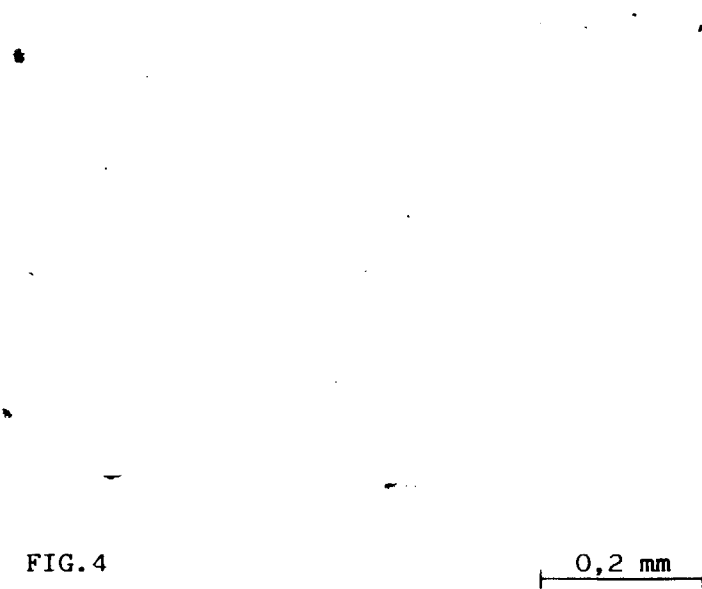
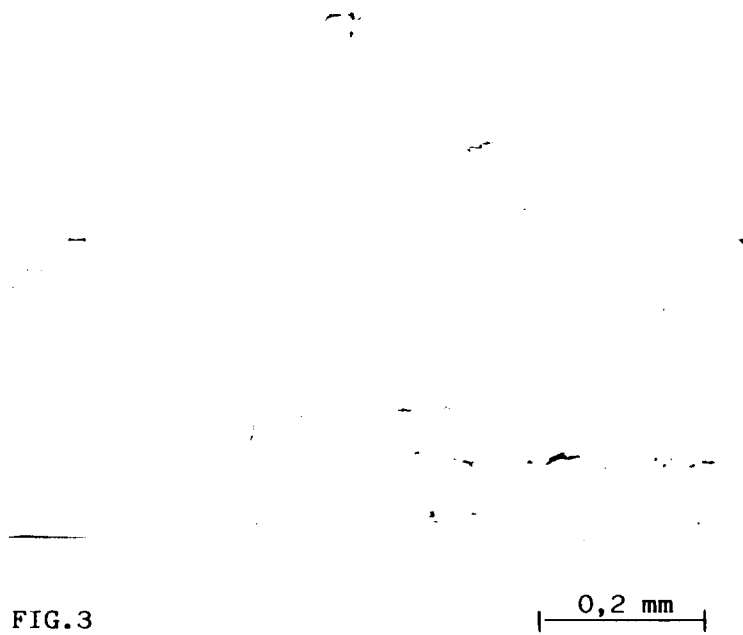
FIG.1

0,5 mm



FIG.2

0,5 mm



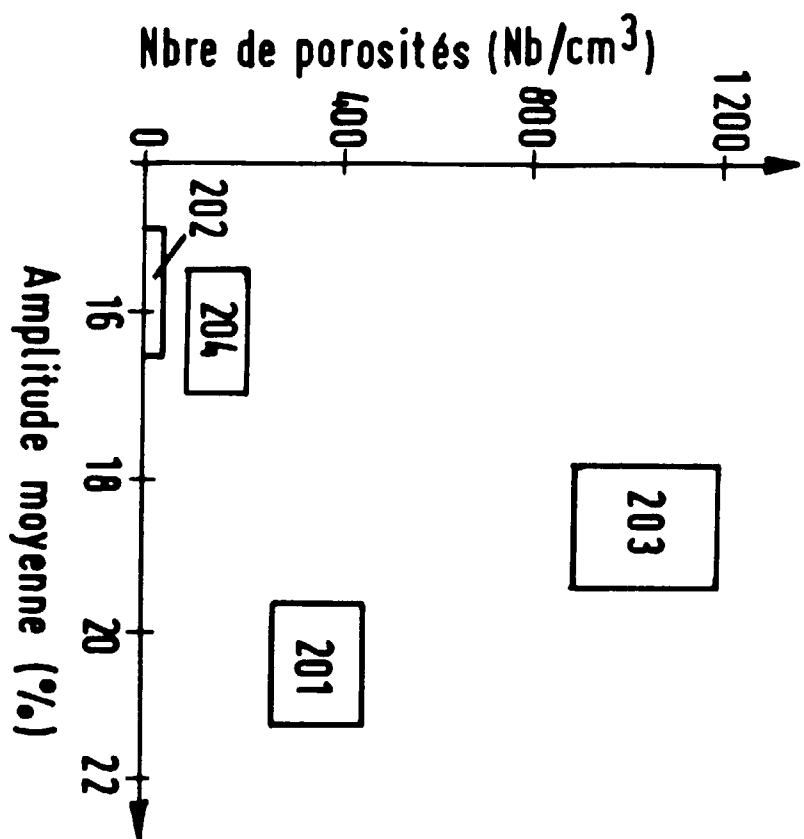


FIG. 5

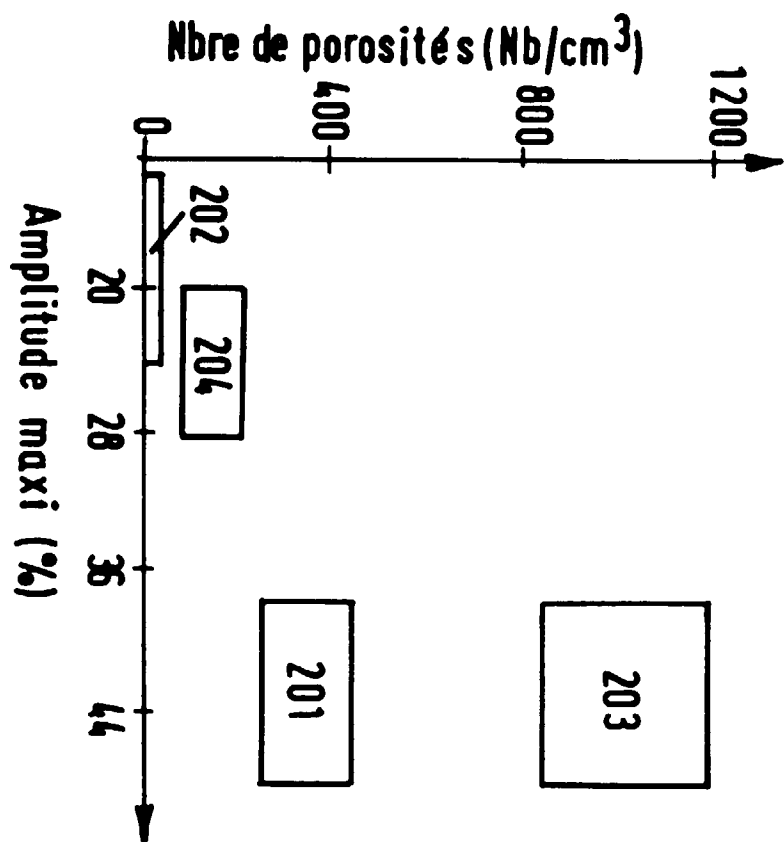


FIG. 6

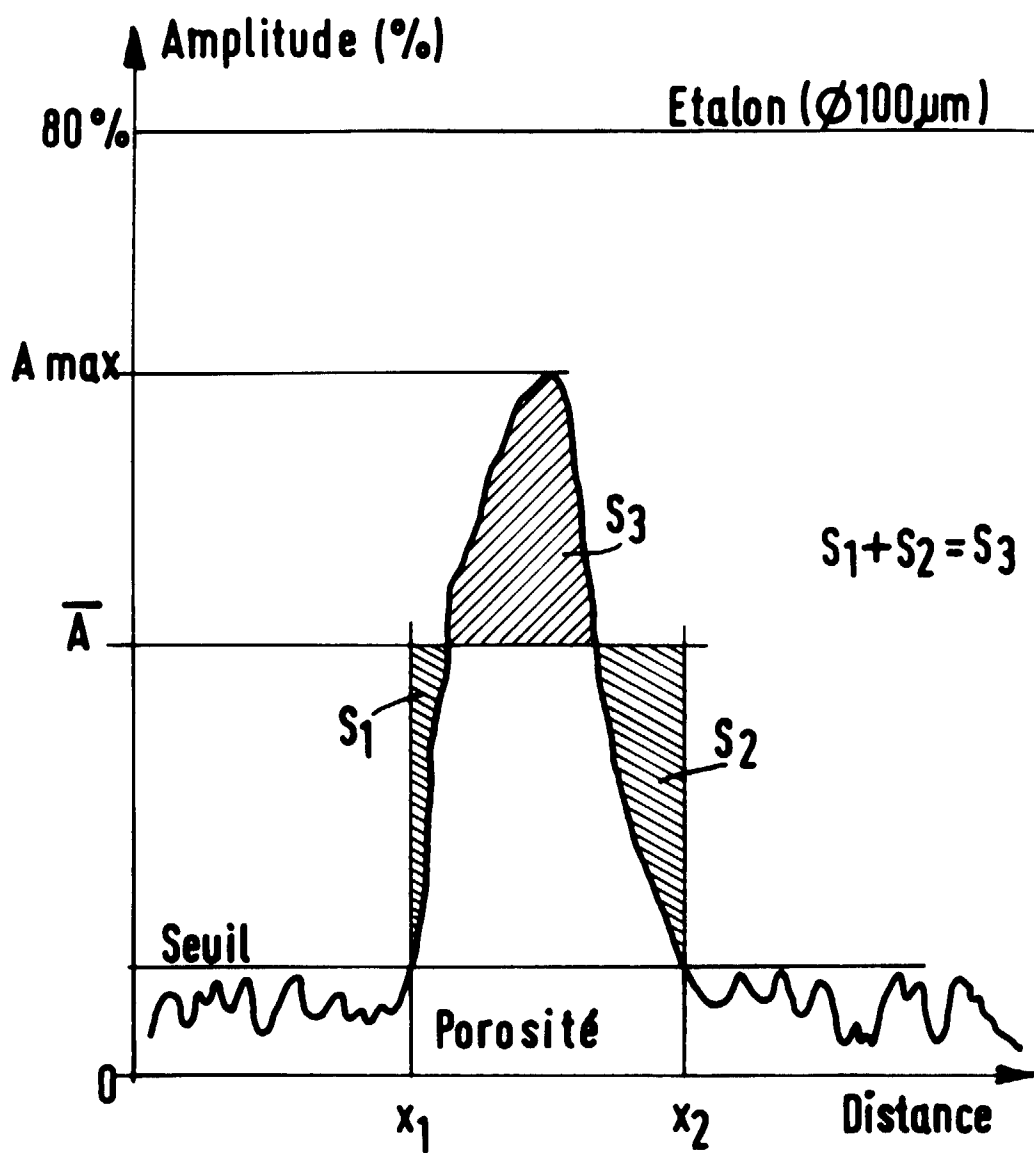


FIG.7