



(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2013/05/27  
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2013/12/05  
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2014/11/07  
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** IB 2013/001057  
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2013/179115  
 (30) **Priorité/Priority:** 2012/05/31 (FR PCT/FR2012/000220)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. C22C 38/02** (2006.01),  
**C21D 8/02** (2006.01), **C21D 9/46** (2006.01),  
**C22C 38/04** (2006.01), **C22C 38/06** (2006.01)  
 (71) **Demandeur/Applicant:**  
 ARCELORMITTAL INVESTIGACION Y DESARROLLO,  
 S.L., ES  
 (72) **Inventeurs/Inventors:**  
 ZUAZO RODRIGUEZ, IAN ALBERTO, FR;  
 PERLADE, ASTRID, FR;  
 GARAT, XAVIER, FR  
 (74) **Agent:** SMART & BIGGAR

(54) **Titre : ACIER LAMINE A CHAUD OU A FROID A FAIBLE DENSITE, SON PROCEDE DE MISE EN OEUVRE ET SON UTILISATION**  
 (54) **Title: LOW-DENSITY HOT- OR COLD-ROLLED STEEL, METHOD FOR IMPLEMENTING SAME AND USE THEREOF**

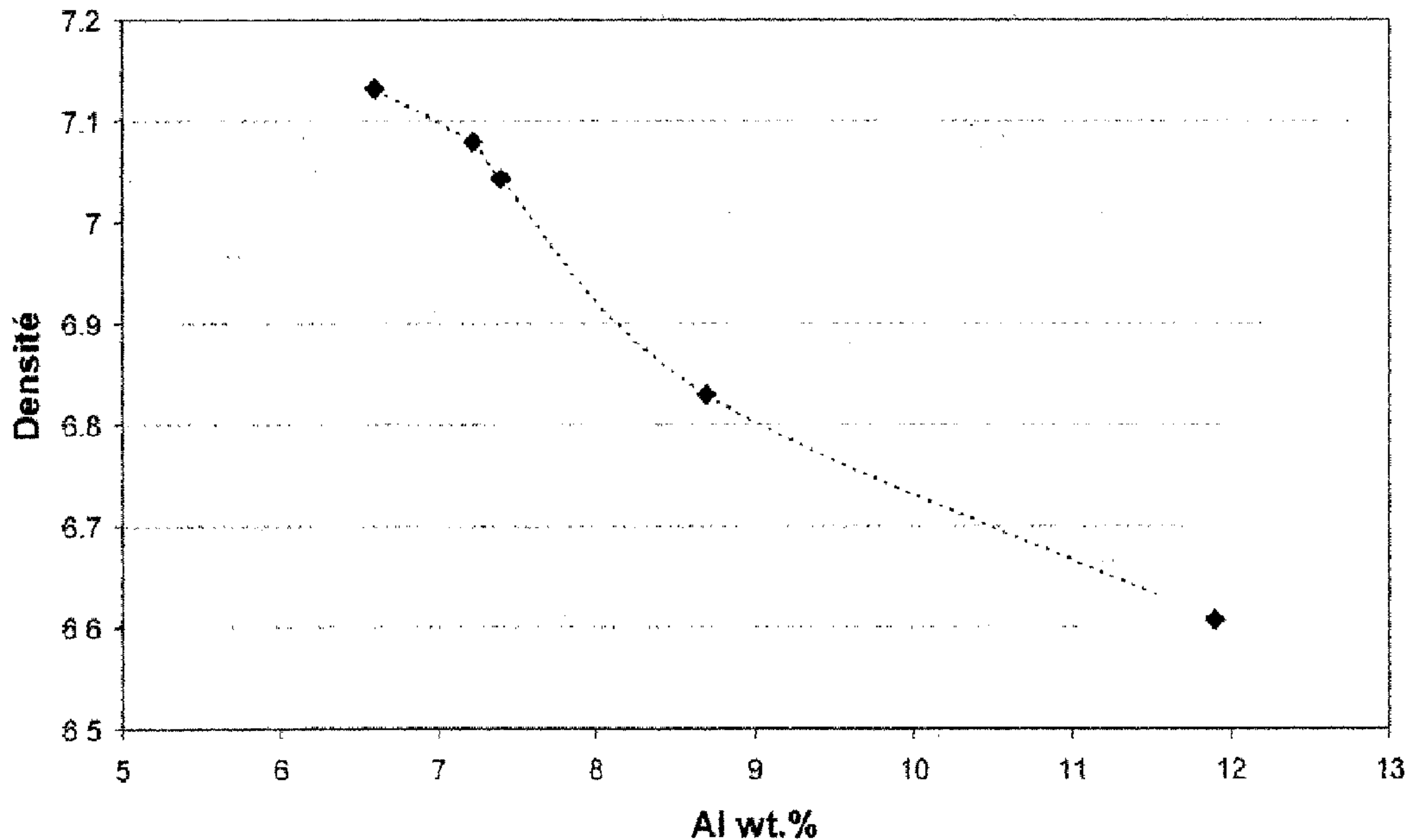


Figure 8

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne une tôle d'acier laminée dont la résistance mécanique est supérieure ou égale à 600 MPa et l'allongement à rupture est supérieur ou égale à 20% ainsi que son procédé de fabrication. La composition chimique de la tôle de l'invention

**(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

comprend : 0,10 = C = 0,30 %, 6,0 = Mn = 15,0 %, 6,0 = Al = 15,0 %, et à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi: Si = 2,0%, Ti = 0,2%, V = 0,6% et Nb = 0,3% le reste de la composition étant composé de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration. Le rapport du poids du manganèse sur celui d'aluminium est tel que :  $Mn / Al > 1,0$ . La microstructure de la tôle selon l'invention est constituée de ferrite, d'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique.

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

VERSION CORRIGÉE

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
5 décembre 2013 (05.12.2013)

WIPO | PCT

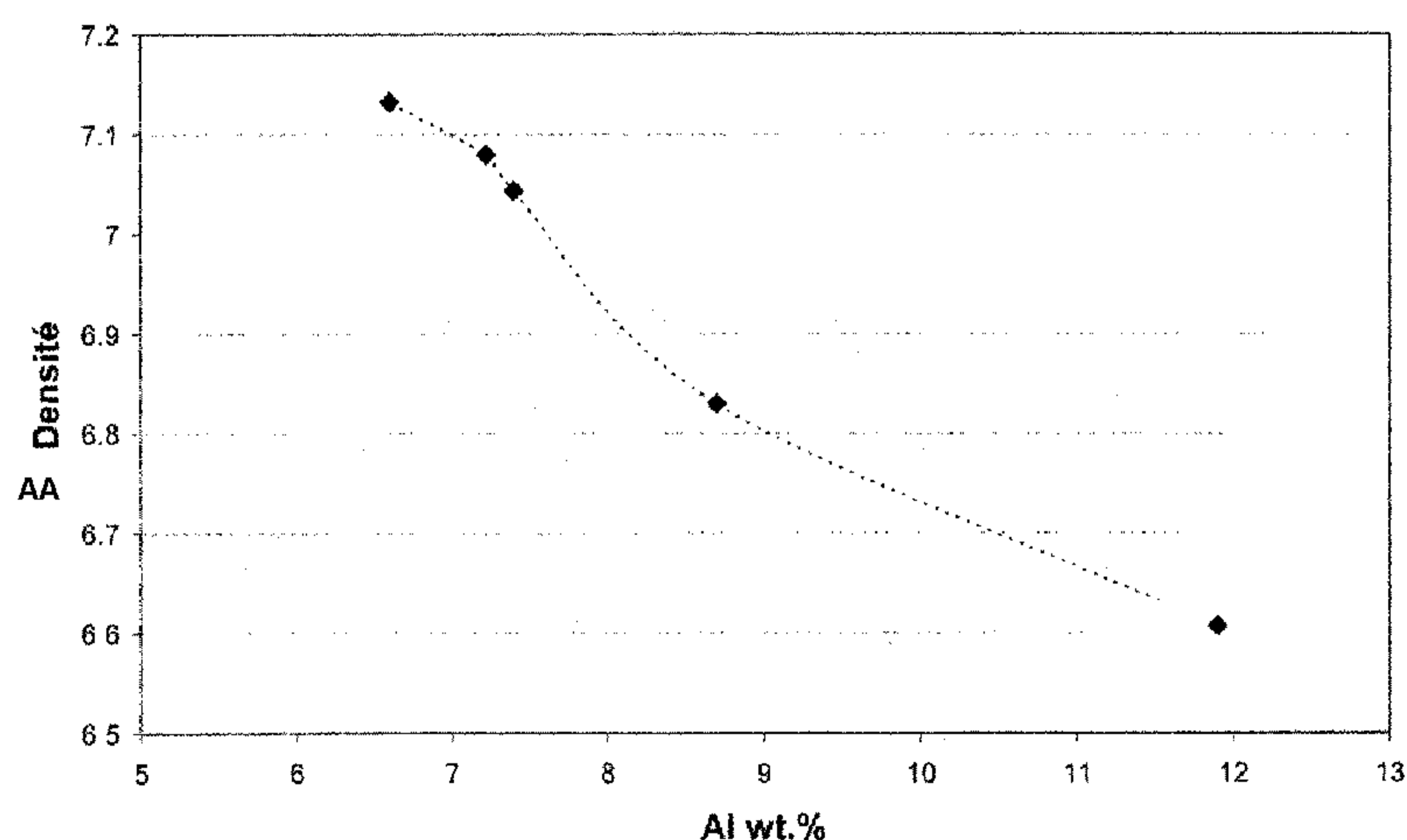
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2013/179115 A8**(51) Classification internationale des brevets :  
C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)  
C22C 38/04 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)  
C22C 38/06 (2006.01)(74) Mandataire : PLAISANT, Sophie; ArcelorMittal France,  
Research & Development Intellectual Property, 6, rue An-  
dré Campra, F-93200 Saint-Denis (FR).(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2013/001057(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, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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.(22) Date de dépôt international :  
27 mai 2013 (27.05.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
PCT/FR2012/000220 31 mai 2012 (31.05.2012) FR(71) Déposant : ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO, S.L. [ES/ES]; CL/Chavarri, 6, E-48910  
Sestao, Bizkaia (ES).(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, 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).(72) Inventeurs : ZUAZO RODRIGUEZ, Ian Alberto; 2, rue  
Dom Calmet, F-57000 Metz (FR). PERLADE, Astrid; 10  
Parc de l'Abbaye, F-57050 Le Ban Saint-Martin (FR). GA-  
RAT, Xavier; 31 rue du bois de la Sarre, F-54310 Home-  
court (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : LOW-DENSITY HOT- OR COLD-ROLLED STEEL, METHOD FOR IMPLEMENTING SAME AND USE THE-  
REOF(54) Titre : ACIER LAMINE A CHAUD OU A FROID A FAIBLE DENSITE, SON PROCÉDE DE MISE EN OEUVRE ET SON  
UTILISATION

AA DENSITY

Figure 8

(57) Abstract : The invention relates to a sheet of rolled steel having mechanical strength no lower than 600 MPa and elongation at break no lower than 20 % as well as to the method for manufacturing same. The chemical composition of the sheet of the invention includes: 0.10 % ≤ C ≤ 0.30 %, 6.0 % ≤ Mn ≤ 15.0 %, 6.0 % ≤ Al ≤ 15.0 %, and optionally one or more elements selected among: Si ≤ 2.0 %, Ti ≤ 0.2 %, V ≤ 0.6 % and Nb ≤ 0.3 %, the rest of the composition comprising iron and inevitable impurities that result from the production process. The weight ratio of manganese to aluminium is such that: Mn / Al &gt; 1.0. The microstructure of the sheet according to the invention consists of ferrite, austenite and up to 5 % of kappa precipitates as a surface fraction.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/179115 A8

**WO 2013/179115 A8****Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

**(15) Renseignements relatifs à la correction :**

voir la Notice du 6 novembre 2014

**(48) Date de publication de la présente version corrigée :**

6 novembre 2014

---

L'invention concerne une tôle d'acier laminée dont la résistance mécanique est supérieure ou égale à 600 MPa et l'allongement à rupture est supérieur ou égale à 20% ainsi que son procédé de fabrication. La composition chimique de la tôle de l'invention comprend :  $0,10 \leq C \leq 0,30$  %,  $6,0 \leq Mn \leq 15,0$  %,  $6,0 \leq Al \leq 15,0$  %, et à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi: Si  $\leq 2,0$ %, Ti  $\leq 0,2$ %, V  $\leq 0,6$ % et Nb  $\leq 0,3$ % le reste de la composition étant composé de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration. Le rapport du poids du manganèse sur celui d'aluminium est tel que :  $Mn / Al > 1,0$ . La microstructure de la tôle selon l'invention est constituée de ferrite, d'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique.

## ACIER LAMINÉ A CHAUD OU A FROID A FAIBLE DENSITE, SON PROCEDE DE MISE EN OEUVRE ET SON UTILISATION

La présente invention concerne une tôle d'acier laminée possédant une résistance mécanique supérieure ou égale à 600 MPa et un allongement à rupture supérieur ou égal à 20% ainsi que son procédé de fabrication.

Les contraintes environnementales poussent, de manière continue, les constructeurs automobiles à abaisser les émissions de CO<sub>2</sub> de leurs véhicules. Pour y parvenir, ces derniers ont plusieurs options parmi lesquelles les principales consistent soit à diminuer le poids des véhicules soit à améliorer le rendement de leur motorisation. Les avancées se font souvent de manière combinée. La présente invention concerne la première option, à savoir la réduction du poids des véhicules motorisés. Dans ce domaine bien précis, il existe une alternative à deux voies:

- La première consiste à diminuer les épaisseurs des aciers tout en augmentant leurs niveaux de résistance mécanique. Hélas, cette solution trouve ses limites à cause d'une diminution de rigidité rédhibitoire à certaines pièces automobiles, et de l'apparition de problèmes acoustiques nuisibles au confort sonore du passager, sans compter l'incontournable perte de ductilité associée à la hausse de résistance mécanique.
- La seconde voie consiste à diminuer la densité des aciers en les alliant à d'autres métaux plus légers. Parmi ces alliages, ceux à basse densité dits Fer-Aluminium présentent des propriétés mécaniques et physiques intéressantes tout en permettant d'abaisser considérablement le

poids. On entendra par faible ou basse densité, une densité inférieure ou égale à 7,3.

Ainsi, l'addition d'aluminium au fer, du fait de sa faible densité par rapport à ce dernier, a permis d'espérer de substantielles réductions de poids pour les pièces de structure automobile. C'est dans cette optique que la demande de brevet EP2128293 décrit une tôle laminée à chaud ou à froid de composition 0,2-0,8%C, 2-10%Mn, 3-15%Al, et une structure contenant moins de 99% de ferrite et plus d'1% d'austénite résiduelle. La tôle présente une résistance mécanique comprise dans l'intervalle 600-1000MPa et une densité inférieure à 7,2 et est revêtable. Le procédé de fabrication de la tôle à chaud consiste à réchauffer entre 1000 et 1200°C, laminier avec une température de fin de laminage comprise entre 700 et 850°C et à bobiner à une température inférieure à 600°C. Pour la tôle à froid, on lamine à froid la tôle à chaud avec une réduction comprise entre 40 et 90%, on réchauffe à une vitesse comprise entre 1 et 20°C/s à une température comprise entre la température de recristallisation et 900°C pendant 10 à 180 secondes. Cette demande de brevet vise à éviter le chiffonnage et l'apparition de criques au laminage en limitant le rapport Mn/Al à une valeur comprise entre 0,4 et 1,0. Il y apparaît qu'au-delà d'un rapport de 1,0, la laminabilité à froid mène à l'apparition de fissures.

La demande de brevet JP2006118000 vise un acier léger et présentant une haute résistance ainsi qu'une bonne ductilité. Pour ce faire, la composition de l'acier proposé contient en pourcentage de poids : 0,1 à 1,0% C, moins de 3,0% Si, 10,0 à 50,0% Mn, moins de 0,01% P, moins de 0,01% S, 5,0 à 15,0% Al et 0,001 à 0,05% N, le reste étant du fer et d'inévitables impuretés, l'équation (1) ci-dessous devant être satisfaite, l'acier présentera une densité inférieure ou égale à 7,0.

$$C \leq 0,020 \times Mn + Al / 15 + 0,53 \quad (1).$$

Il aura une microstructure contenant de la ferrite et de l'austénite. Le produit de la résistance mécanique par l'allongement total satisfaisant l'inéquation suivante:  $TS \times EI \geq 20000$  (MPa x %). La laminabilité des aciers avec de si forts taux d'alliage en Mn et Al est connue pour être sujette à des forts risques d'apparition de criques.

La demande de brevet WO2007/024092 vise à fournir des tôles laminées à chaud facilement emboutissables. Cette demande concerne une tôle contenant 0,2-1%C, 8-15%Mn, avec un produit de résistance mécanique par allongement de 24000MPa%. Il apparaît que cette demande vise une structure totalement austénitique, or ce type de microstructure est particulièrement difficile à laminier.

L'invention vise à résoudre ces difficultés en proposant des tôles d'acier laminé à chaud ou à froid présentant simultanément :

- Une densité inférieure ou égale à 7,3
- Une résistance mécanique supérieure ou égale à 600 MPa
- Un allongement à rupture supérieur ou égal à 20%
- Une bonne aptitude au formage, particulièrement au laminage
- Une bonne soudabilité et une bonne revêtabilité

Un des buts de l'invention est également de fournir un procédé de fabrication de ces tôles qui soit compatible avec les applications industrielles usuelles tout en étant peu sensible aux conditions de fabrication.

L'invention a pour premier objet une tôle d'acier laminée dont la densité est inférieure ou égale à 7,3 et dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10 \leq C \leq 0,30 \%$$

$6,0 \leq \text{Mn} \leq 15,0 \%$

$6,0 \leq \text{Al} \leq 15,0 \%$

et à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi :

$\text{Si} \leq 2,0\%$

$\text{Ti} \leq 0,2 \%$

$\text{V} \leq 0,6 \%$

$\text{Nb} \leq 0,3 \%$

le reste de la composition étant composé de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, le rapport du poids du manganèse sur celui d'aluminium étant tel que  $\frac{\text{Mn}}{\text{Al}} > 1,0$ , la microstructure de la tôle étant constituée de ferrite, d'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, la composition comprend, la teneur étant exprimée en poids:

$0,18 \leq \text{C} \leq 0,21\%$

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la composition comprend, la teneur étant exprimée en poids:

$7,0 \leq \text{Mn} \leq 10,0\%$

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la composition comprend, la teneur étant exprimée en poids:

$6,0 \leq \text{Al} \leq 12,0\%$

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la composition comprend, la teneur étant exprimée en poids:

$6,0 \leq \text{Al} \leq 9,0\%$

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la composition comprend, la teneur étant exprimée en poids:

Si  $\leq 1\%$

De manière préférentielle, le rapport du poids du manganèse sur celui

d'aluminium est tel que:  $\frac{Mn}{Al} \geq 1,1$ , de manière encore préférée, le rapport est

tel que  $\frac{Mn}{Al} \geq 1,5$ , voire de manière encore plus préférée, le rapport est tel que

$\frac{Mn}{Al} \geq 2,0$ .

De manière encore préférentielle, la tôle selon l'invention est telle que la résistance mécanique en traction est supérieure ou égale à 600 MPa et l'allongement à rupture est supérieur ou égal à 20%.

L'invention a pour second objet un procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée ayant une densité inférieure ou égale à 7,3 qui comprend les étapes consistant à :

- Approvisionner un acier dont la composition est conforme à l'invention,
- Couler ledit acier pour former un demi produit,
- Réchauffer ledit demi-produit à une température  $T_{rech}$  comprise entre 1000°C et 1280°C,
- laminer à chaud ledit demi-produit réchauffé avec au moins une passe en présence de ferrite pour obtenir une tôle,
- La dernière passe de laminage se fera à une température de fin de

laminage TFL supérieure ou égale à 850°C.

-Refroidir ladite tôle à une vitesse de refroidissement  $V_{ref1}$  jusqu'à la température de bobinage  $T_{bob}$  inférieure ou égale à 600°C,

-Puis, bobiner ladite tôle refroidie jusque  $T_{bob}$ ,

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une tôle laminée tel que ledit demi-produit est coulé directement sous forme de brames minces ou de bandes minces.

De manière préférentielle, la température de fin de laminage  $T_{FL}$  est comprise entre 900 et 980°C.

De manière préférentielle, la vitesse de refroidissement  $V_{ref1}$  est inférieure ou égale à 55°C/s.

De manière préférée, la température de bobinage est comprise entre 450 et 550°C.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée à froid et recuite avec une densité inférieure ou égale à 7,3 qui comprend les étapes consistant à :

-Approvisionner une tôle d'acier laminée, puis

-Laminer à froid ladite tôle laminée avec un taux de réduction compris entre 35 et 90% de façon à obtenir une tôle à froid, puis

-Chauffer ladite tôle avec une vitesse  $V_c$  jusqu'à une température de maintien  $T_m$  comprise entre 800 et 950°C pendant un temps  $t_m$  inférieur à 600 secondes, puis

-Refroidir ladite tôle à vitesse  $V_{ref2}$  jusqu'à une température inférieure ou égale à 500°C.

De manière préférée, la température  $T_m$  est comprise entre 800 et 900°C.

De manière préférée, la vitesse de refroidissement  $V_{ref2}$  est supérieure ou égale à 30°C/s.

De manière préférée, la vitesse de refroidissement  $V_{ref2}$  est maintenue jusqu'à une température comprise entre 500°C et 460°C.

De manière préférée, la tôle refroidie est revêtue de zinc, d'un alliage de zinc ou d'un alliage à base zinc.

Les tôles d'acier selon l'invention pourront être utilisées pour la fabrication de pièces de structures ou de pièces de peau pour véhicules terrestres à moteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au travers de la présente description. Les figures annexées ci-jointes sont données à titre d'exemple et de manière non limitative, elles sont telles que:

- La figure 1 illustre la microstructure d'une tôle d'acier laminée à chaud selon l'invention.
- La figure 2 illustre la microstructure d'une tôle d'acier laminée à chaud ne satisfaisant pas aux conditions selon l'invention.
- La figure 3 présente le comportement mécanique en traction à chaud représentant la laminabilité à chaud en fonction de la température de traction en °C.
- La figure 4 illustre la microstructure d'une tôle d'acier laminée à chaud ne

satisfaisant pas aux conditions selon l'invention.

-La figure 5 illustre la microstructure d'une tôle d'acier laminée à froid selon l'invention.

-La figure 6 présente un cliché de diffraction en axe de zone [110] ayant permis d'identifier le précipité Kappa sur une tôle d'acier laminée à chaud selon l'invention.

-La figure 7 illustre une microstructure de tôle à froid ne satisfaisant pas aux conditions de l'invention.

-La figure 8 illustre l'évolution de la densité en fonction de la teneur en aluminium.

La présente invention est relative à des tôles d'acier laminées à chaud ou à froid présentant une densité réduite par rapport aux aciers conventionnels et inférieure ou égale à 7,3, et ce en conservant des caractéristiques mécaniques de mise en forme, de résistance mécanique, de soudabilité et de revêtabilité satisfaisante. L'invention est aussi relative à un procédé de fabrication permettant de laminier à chaud ou à froid l'acier de l'invention pour obtenir une tôle à chaud ou à froid ayant une microstructure comprenant de la ferrite, de l'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique.

Pour ce faire, la composition chimique de l'acier est très importante aussi bien pour le comportement mécanique de la tôle que pour son élaboration. Les teneurs en éléments de composition chimique qui vont suivre sont donnés en pourcentage du poids.

-Selon l'invention, la teneur en carbone est comprise entre 0,10 et 0,30%. Le carbone est un élément gammagène. Il favorise, avec le Mn, l'apparition de l'austénite et, avec l'aluminium, la formation des précipités Kappa basés sur la stœchiométrie  $(Fe,Mn)_3AlC_x$ , où x est strictement inférieur à 1. En dessous

de 0,10%, la résistance mécanique de 600 MPa n'est pas atteinte. Si la teneur en carbone est supérieure à 0,30%, la formation de précipités Kappa sera excessive car au dessus de 5% et le laminage de la tôle d'acier va mener à des fissures. De manière préférentielle, on limitera la teneur en carbone à 0,21% inclus afin de minimiser les risques d'apparition de criques au laminage. Préférentiellement, la teneur minimale en carbone sera aussi supérieure ou égale à 0,18% pour atteindre plus aisément la résistance mécanique de 600 MPa.

-Le manganèse doit voir sa teneur comprise entre 6,0% et 15,0%. Cet élément est, lui aussi, gammagène. L'ajout du manganèse servira donc essentiellement à l'obtention d'une structure contenant de l'austénite en plus de la ferrite. Il a aussi un effet durcissant en solution solide et stabilisant sur l'austénite. Le ratio de la teneur en manganèse sur celle de l'aluminium aura une forte influence sur les structures obtenues en fin de laminage. Pour une teneur en Mn inférieure à 6,0%, l'allongement à rupture de 20% n'est pas atteint, en outre l'austénite sera insuffisamment stabilisée avec le risque de se transformer prématurément en martensite lors d'un refroidissement rapide, aussi bien en sortie de laminage à chaud que sur une ligne de recuit. Au dessus de 15,0%, du fait de son effet gammagène, le Mn augmente de manière excessive la fraction volumique d'austénite, réduisant de fait la concentration en carbone de la phase austénitique, ce qui empêcherait d'atteindre les 600 MPa de résistance. De manière préférée, on limitera l'addition de Mn à 10,0%. Pour la limite inférieure, de manière préférée, la teneur en Mn sera de 7,0% afin d'atteindre l'allongement de 20% plus facilement.

-En ce qui concerne l'aluminium, sa teneur doit aussi être comprise entre 6,0% et 15,0%. L'aluminium est un élément alphagène, il diminue donc le

domaine austénitique et cet élément tend à promouvoir la formation de précipités Kappa en se combinant avec le carbone. L'aluminium présente une densité de 2,7 et influe fortement sur les propriétés mécaniques. Quand la teneur en aluminium augmente, la résistance mécanique et la limite élastique augmentent, alors que l'allongement à rupture diminue, ce qui s'explique par une diminution de la mobilité des dislocations. En dessous de 6,0%, l'effet de réduction de densité dû à la présence d'aluminium perd de son intérêt. Au dessus de 15,0%, une précipitation incontrôlée de Kappa avec une densité surfacique supérieure à 5% apparaît et nuit à la ductilité du matériau. On souhaite limiter, de manière préférentielle, la teneur en aluminium à strictement moins de 9,0% afin d'éviter une précipitation d'intermétalliques fragiles. La figure 7 illustre une microstructure dans laquelle les précipités Kappa se sont formés de manière incontrôlée.

-Le rapport de la teneur pondérale du manganèse sur celle de l'aluminium est primordial car il gouverne la stabilité de l'austénite et la nature des structures formées lors du cycle de fabrication. En dessous d'un rapport égal à 1,0 inclus, la nature des phases formées dépend trop fortement de la vitesse de refroidissement, aussi bien après le laminage à chaud qu'après le recuit de recristallisation pour la tôle à froid. On risque ainsi de former de la martensite à partir de l'austénite voire de voir disparaître cette dernière au profit de la ferrite et de précipités Kappa tel qu'illustré dans la figure 7. La microstructure de la tôle de l'invention écarte la présence de la martensite et assure la présence d'austénite stable. Ainsi, on ne souhaite pas avoir un rapport  $\frac{Mn}{Al} \leq 1,0$  pour s'assurer d'avoir une bonne laminabilité et une tôle peu sensible aux conditions de fabrication.

Au dessus d'un rapport de la teneur pondérale en manganèse sur celle de

l'aluminium égal à 1,0, la tôle produite est peu sensible aux conditions de fabrication tout en étant aisément laminable aussi bien à chaud qu'à froid. Cette baisse de sensibilité est améliorée en augmentant le rapport, ainsi il est préféré un rapport supérieur ou égal respectivement à 1,1, de manière préférentielle, un rapport supérieur ou égal à 1,5 voire de manière encore plus préférée, un rapport supérieur ou égal à 2,0.

-Au même titre que l'aluminium, le silicium est un élément permettant de réduire la densité de l'acier et réduit l'énergie de défaut d'empilement. Cette réduction permet d'obtenir un effet TRIP connu de l'homme de métier. Néanmoins sa teneur est limitée à 2,0%, car au-delà, cet élément a tendance à former des oxydes fortement adhérents générant des défauts de surface. En effet, la présence d'oxydes de surface mène à des défauts de mouillabilité lors d'une éventuelle opération de dépôt de zinc au trempé par exemple. Préférentiellement, on limitera le Si à 1%.

-des éléments de micro alliages tels que le titane, le vanadium et le niobium peuvent être ajoutés en quantité respectivement inférieures à 0,2%, 0,6% et 0,3% afin d'obtenir un durcissement supplémentaire par précipitation. En particulier le titane et le niobium permettent de contrôler la taille de grain au cours de la solidification. Une limitation est cependant nécessaire car au-delà, on obtient un effet de saturation.

D'autres éléments tels que le cérium, le bore, le magnésium, ou le zirconium peuvent être ajoutés seuls ou en combinaison dans les proportions suivantes:  $Ce \leq 0,1\%$ ,  $B \leq 0,01$ ,  $Mg \leq 0,010$ , et  $Zr \leq 0,010$ . Jusqu'aux teneurs maximum indiquées, ces éléments permettent d'affiner le grain ferritique lors de la solidification.

Le reste de la composition est constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration.

-La microstructure de la tôle selon l'invention est constituée de ferrite, d'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique. La ferrite présente une solubilité du carbone croissante avec la température. Or, le carbone en solution solide est très fragilisant pour les aciers à basse densité, car il réduit davantage la mobilité des dislocations déjà basse du fait de la présence de l'aluminium. Une saturation de carbone dans la ferrite peut donc conduire à l'activation d'un mécanisme de maclage au sein de cette dernière. Ainsi, sans être lié par cette théorie, les inventeurs avancent que l'austénite et les précipités servent de pièges à carbone efficaces et facilitent le laminage dans le domaine intercritique. Cette approche est surprenante car on pourrait croire qu'il faudrait éviter de former ces phases dures pour faciliter le laminage mais la solubilité du carbone dans l'austénite et dans les précipités est plus élevée que dans la ferrite. Cette combinaison de structure contenant de la ferrite, de l'austénite jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique confère donc à la tôle la ductilité nécessaire autant à sa laminabilité lors du laminage que lors de fabrication de pièces de structure. Il est précisé que le taux de recristallisation de la ferrite après le recuit ou après le bobinage sera supérieur à 90% et idéalement égal à 100%. Si la fraction recristallisée de ferrite est inférieure à 90%, la tôle obtenue ne présentera pas les 20% d'allongement requis par l'invention.

De nombreuses expériences et études métallographiques ont permis aux inventeurs de mettre en évidence que la présence localisée de précipités de type Kappa en forme de liseré autour des joints de grain ferritique réduit, quant à elle, la laminabilité de la tôle.

La densité surfacique des précipités Kappa peut aller jusque 5% car au dessus de 5%, la ductilité chute et on n'atteint pas les 20% d'allongement à rupture de l'invention. En outre, on risque aussi d'avoir une précipitation

incontrôlée de Kappa autour des joints de grain ferritique, ce qui augmenterait les efforts de laminage de la tôle de l'invention avec les outils usuels de laminage d'acier à l'échelle industrielle. Ainsi de manière préférentielle, on envisage moins de 2% de précipités Kappa. Il est précisé que la microstructure étant uniforme, la fraction surfacique est égale à la fraction volumique.

La mise en œuvre du procédé de fabrication d'une tôle laminée à chaud selon l'invention est la suivante :

-On approvisionne un acier de composition selon l'invention

-On procède à la coulée d'un demi-produit à partir de cet acier. La coulée peut s'effectuer soit en lingot, soit en continu soit sous forme de brames minces ou bandes minces. C'est-à-dire avec une épaisseur allant d'environ 220 mm pour les brames et pouvant aller jusque quelques dizaines de mm pour les bandes minces.

-Les demi-produits coulés sont ensuite réchauffés à une température comprise entre 1000°C et 1280°C afin d'avoir en tout point une température favorable aux fortes déformations de laminage. Au-delà de 1280°C, on risque de former des grains ferritiques particulièrement grossiers, les nombreux essais des inventeurs ont indiqué une corrélation entre la taille de grain ferritique initiale et la capacité de ces derniers à recristalliser lors du laminage à chaud. Plus la taille de grain ferritique initiale est grande, moins il recristallise facilement, ainsi on évite des températures de réchauffage au-delà de 1280°C car celles-ci sont industriellement coûteuses et peu favorables à la recristallisation de la ferrite. Cela peut, d'autre part, amplifier le phénomène de chiffonnage (encore appelé « roping »). Il est précisé que le chiffonnage est dû à un ensemble de grains de petite taille, faiblement désorientés, au sein de grains de plus grande taille. Ce phénomène est visible par une localisation préférentielle des déformations au sein de

bandes dans la direction de laminage. Il est dû à la présence de grains non recristallisés restaurés. On le mesure par un faible allongement réparti dans la direction transverse.

En dessous de 1000°C, il devient de plus en plus difficile d'avoir une température de fin de laminage au dessus de 850°C. De manière préférée, la température de réchauffage est comprise entre 1150 et 1280°C.

Les étapes suivantes permettent d'éviter le phénomène de chiffonnage et d'avoir une bonne ductilité et une bonne emboutissabilité :

-Il est nécessaire d'effectuer le laminage avec une moins une passe de laminage en présence de ferrite, c'est-à-dire dans le domaine partiellement ou totalement ferritique. Ceci afin d'éviter une saturation de carbone dans la ferrite pouvant mener au maclage. L'austénite sert ainsi de pièges à carbone efficace car la solubilité du carbone dans l'austénite est plus élevée que dans la ferrite.

-La dernière passe de laminage est effectuée à une température supérieure à 850°C car en dessous de cette température, la tôle d'acier selon l'invention présente une chute notable de laminabilité comme le montre la figure 3 qui présente la striction d'éprouvettes soumises à une traction à chaud à différentes températures. Une température de fin de laminage comprise entre 900 et 980°C est préférée afin d'avoir une structure propice à la recristallisation et laminable.

-On refroidit ensuite la tôle obtenue à une vitesse de refroidissement jusqu'à la température de bobinage  $T_{bob}$ . De manière préférentielle, on préférera une vitesse de refroidissement  $V_{ref1}$  inférieure ou égale à 55°C/s afin de mieux contrôler la précipitation des kappa.

-On bobine ensuite la tôle à une température de bobinage inférieure à 600°C car au dessus, on risque de ne pas pouvoir contrôler la précipitation de kappa, et d'avoir plus de 5% de ce dernier suite à une décomposition

importante l'austénite tel qu'illustré dans les figures 2 et 4. De manière préférentielle, on bobine la tôle à une température comprise entre 450 et 550°C.

A ce stade, on obtient une tôle laminée à chaud et si on souhaite obtenir une tôle laminée à froid avec une épaisseur inférieure par exemple à 5 mm, on procède aux étapes suivantes :

-On effectue un laminage à froid avec une réduction d'épaisseur comprise entre 35 et 90%.

-On chauffe ensuite la tôle laminée à froid à une vitesse de chauffe  $V_c$  que l'on préfère supérieure à 3°C jusqu'à une température de maintien  $T_m$  comprise entre 800 et 950°C pendant un temps inférieur à 600 secondes afin de s'assurer d'un taux de recristallisation supérieur à 90% de la structure initiale fortement écrouie.

-On refroidit ensuite la tôle à une vitesse  $V_{ref2}$  jusqu'à une température inférieure ou égale à 500°C, on préfère une vitesse de refroidissement supérieure à 30°C/s pour mieux contrôler la formation des précipités Kappa et ne pas dépasser les 5% en teneur surfacique. En dessous de 500°C, un traitement thermique supplémentaire afin de faciliter un dépôt de revêtement au trempé avec par exemple du zinc ne changera pas les propriétés mécaniques de la tôle de l'invention. Les inventeurs ont pu montrer qu'en arrêtant le refroidissement à la vitesse  $V_{ref2}$  entre 500 et 460°C, pour effectuer un maintien avant trempe dans un bain de zinc, les propriétés visées par la tôle de l'invention restent inchangées. A titre illustratif et non limitatif, les essais suivants vont montrer les caractéristiques avantageuses pouvant émaner de la mise en œuvre de tôles d'acier selon l'invention.

Exemple 1 : Tôles laminées à chaud

Des demi-produits ont été élaborés à partir de coulées d'acier. Les compositions des demi-produits, exprimées en pourcentage pondéral, figurent dans le tableau 1 ci-dessous :

Le reste de la composition des aciers figurant dans le tableau 1 est constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration.

|    | C     | Mn          | Al   | Si     | Ti     | V      | Nb     | Mn/Al       |
|----|-------|-------------|------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| I1 | 0,193 | 14,9        | 6,52 | <0,030 | 0,096  | <0,030 | <0,030 | 2,29        |
| I2 | 0,188 | 8,28        | 7,43 | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <0,030 | 1,11        |
| R1 | 0,186 | <u>3,4</u>  | 9,7  | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <u>0,35</u> |
| R2 | 0,117 | <u>4,78</u> | 7,6  | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <u>0,63</u> |
| R3 | 0,2   | 7,01        | 8,07 | 0,25   | <0,030 | <0,030 | <0,030 | <u>0,87</u> |

Tableau 1 : Composition d'aciers (%poids).

I=invention / R=Référence / les valeurs soulignées sont non-conformes à l'invention.

Les produits ont été laminés à chaud afin d'obtenir des tôles laminées à chaud et les conditions de fabrication figurent dans le tableau 2 ci-dessous avec les abréviations suivantes :

- $T_{rech}$  : est la température de réchauffage
- $T_{FL}$  : est la température de fin de laminage
- $V_{ref1}$  : est la température de refroidissement après la dernière passe de laminage.
- $T_{bob}$  : est la température de bobinage

|     | T <sub>rech</sub> (°C) | T <sub>FL</sub> (°C) | V <sub>ref1</sub> | T <sub>bob</sub> (°C) |
|-----|------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| I1  | 1180                   | 950                  | air               | 500                   |
| I2  | 1230                   | 964                  | air               | 500                   |
| R1  | <u>1300</u>            | 950                  | air               | 500                   |
| R2a | 1230                   | 975                  | air               | 700                   |
| R2b | 1150                   | 954                  | eau               | ambiante              |
| R3  | 1220                   | 927                  | 50°C/s            | 500                   |

Tableau 2 : Conditions de fabrication des tôles laminées à chaud à partir des demi-produits:  
I=invention / R=Référence / les valeurs soulignées sont non-conformes à l'invention.

Les tôles I1 et I2 sont des tôles dont la composition chimique et le procédé de mise en œuvre sont selon l'invention. Les deux compositions chimiques sont différentes et présentent des rapports Mn/Al différents. Les tôles référencées R1, R2 et R3 présentent des compositions chimiques ne satisfaisant pas aux conditions selon l'invention respectivement soit pour la teneur en Mn, soit pour les teneurs en C et en Mn soit pour le rapport Mn/Al. R2a et R2b sont deux essais issus de la même nuance R2 dans le tableau 1. Le laminage à chaud a été effectué avec au moins une passe de laminage en présence de ferrite. Le refroidissement à l'air présente une vitesse de refroidissement inférieure à 55°C/seconde.

Le tableau 3 présente les caractéristiques suivantes :

- Ferrite : désigne la présence ou non de ferrite recristallisée avec un taux de recristallisation supérieur à 90% dans la microstructure de la tôle après le bobinage.
- Austénite : désigne la présence ou non de d'austénite dans la microstructure de la tôle après le bobinage.

- K : désigne la présence de précipités Kappa dans la microstructure avec une fraction surfacique inférieure à 5 %. Cette mesure est effectuée grâce à un microscope électronique à balayage.
- Rm (MPa) : la résistance mécanique dans un essai de traction en sens longitudinal par rapport à la direction de laminage.
- Atot(%) : désigne l'allongement à rupture dans un essai de traction en sens longitudinal par rapport à la direction de laminage.
- Densité estimée : sur la base de la figure 8 selon la teneur en Al.
- Fissure : Désigne si une fissure clairement visible à l'œil nu est apparue après le laminage à chaud sur la tôle.
- X : Indique que la mesure n'a pas été faite.

|     | Ferrite | Austenite | K   | Rm (MPa)   | Atot (%)    | Densité mesurée | Fissure    |
|-----|---------|-----------|-----|------------|-------------|-----------------|------------|
| I1  | OUI     | OUI       | OUI | 647        | 41          | <7,3            | NON        |
| I2  | OUI     | OUI       | OUI | 683        | 34,1        | <7,3            | NON        |
| R1  | OUI     | OUI       | OUI | X          | X           | <7,3            | <u>OUI</u> |
| R2a | OUI     | OUI       | OUI | <u>560</u> | <u>2.9</u>  | <7,3            | NON        |
| R2b | OUI     | OUI       | OUI | 664        | <u>13</u>   | <7,3            | NON        |
| R3  | OUI     | OUI       | OUI | 810        | <u>14.1</u> | <7,3            | <u>OUI</u> |

Tableau 3 : Propriétés des tôles laminées à chaud.

I=invention / R=Référence / les valeurs soulignées sont non-conformes à l'invention

Les deux tôles d'acier I1 et I2 correspondent aux tôles selon l'invention. La microstructure de la tôle I1 est illustrée par la figure 1. Aucune de ces tôles ne présente de fissure après le laminage. Les résistances mécaniques sont supérieures à 600 MPa, leur allongement à rupture est largement supérieur à 20% et elles sont soudables et revêtables. La présence de ferrite et d'austénite a été confirmée au microscope électronique à balayage et la présence de précipités Kappa l'a été par l'indexation du cliché de diffraction

de obtenu suite à des observations au microscope électronique à transmission (cf. figure 6).

La tôle R1 présente une teneur en Mn inférieure à 6%, un rapport Mn/Al inférieur à 1 et une température de réchauffage supérieure à 1280°C. La tôle, après le laminage à chaud a présenté des fissures. La laminabilité de cet acier est insuffisante. La lettre « X » signifie qu'il n'y a pas eu de test de traction.

Les tôles R2a et R2b sont issues de la tôle R2 et présentent un rapport Mn/Al inférieur à 1 et une teneur en manganèse inférieure à 6%. R2a a subi un bobinage à une température supérieure à 600°C ce qui a mené à une décomposition de l'austénite en Kappa et en ferrite comme illustré par la figure 4. L'allongement n'atteint pas les 20% nécessaires.

La tôle R2b a subi des conditions de laminage selon l'invention mais la composition chimique ne satisfaisant pas aux conditions visées, c'est-à-dire que le rapport Mn/Al est en dessous de 1, l'allongement de 20% n'est pas atteint.

La tôle R3 présente un rapport Mn/Al inférieur à 1,0 ; malgré des conditions de laminage selon l'invention et des éléments d'alliage dans les fourchettes visées par l'invention, des fissures sont apparues lors du laminage à chaud.

#### Exemple 2 : Tôles laminées à froid et recuites

Des demi-produits ont été élaborés à partir d'une coulée d'acier. La composition chimique des demi-produits, exprimée en pourcentage pondéral, figure dans le tableau 4 ci-dessous :

Le reste de la composition des aciers figurant dans le tableau 4 est constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration.

|           | C    | Mn  | Al  | Si   | Ti     | V      | Nb     | Mn/Al | Densité mesurée par pycnométrie |
|-----------|------|-----|-----|------|--------|--------|--------|-------|---------------------------------|
| <b>I3</b> | 0,21 | 8,2 | 7,4 | 0,26 | <0,030 | <0,030 | <0,030 | 1,11  | 7,04                            |
| <b>I4</b> | 0,21 | 8,6 | 6,1 | 0    | <0,030 | <0,030 | <0,030 | 1,41  | 7,17                            |
| <b>I5</b> | 0,2  | 8,6 | 6,1 | 0,89 | <0,030 | <0,030 | 0,1    | 1,41  | 7,12                            |
| <b>I6</b> | 0,19 | 8,7 | 7,2 | 0    | <0,030 | <0,030 | <0,030 | 1,21  | non mesurée                     |

Tableau 4 : Composition d'acier (%poids).I=invention

La densité d'I6 a été estimée à 7,1 grâce à la courbe de la figure 8.

Les produits ont tout d'abord été laminés à chaud dans les conditions suivantes :

|            | $T_{rech}$ (°C) | $T_{FL}$ (°C) | $V_{ref1}$ | $T_{bob}$ (°C) |
|------------|-----------------|---------------|------------|----------------|
| <b>I3a</b> | 1180            | 905           | 50°C/s     | 500            |
| <b>I3b</b> | 1180            | 964           | 50°C/s     | 500            |
| <b>I4</b>  | 1150            | 935           | 55°C/s     | 450            |
| <b>I5</b>  | 1150            | 952           | 55°C/s     | 450            |
| <b>I6</b>  | 1150            | 944           | 50°C/s     | 450            |

Tableau 5 : Conditions de laminage à chaud

Les tôles ont ensuite été laminées à froid et recuites. Les conditions de fabrication figurent dans les tableaux 5 et 6 avec les abréviations suivantes :

- $T_{rech}$  : est la température de réchauffage
- $T_{FL}$  : est la température de fin de laminage
- $V_{ref1}$  : est la température de refroidissement après la dernière passe de laminage.
- $T_{bob}$  : est la température de bobinage
- Taux : est le taux de réduction lors du laminage à froid
- $V_c$  : est la vitesse de chauffe jusqu'à la température de maintien  $T_m$ .
- $T_m$  : est la température de maintien de recristallisation.

- $t_m$  : est le temps pendant lequel la tôle est maintenue à la température  $T_m$ .
- $V_{ref2}$  : est la vitesse de refroidissement jusqu'à une température inférieure à 500°C.

|            | Taux (%) | $V_c$ (°C/s) | $T_m$ (°C) | $t_m$ (sec) | $V_{ref2}$ |
|------------|----------|--------------|------------|-------------|------------|
| <b>I3a</b> | 74       | 15           | 830        | 136         | 50         |
| <b>I3b</b> | 74       | 15           | 850        | 136         | 50         |
| <b>I4</b>  | 75       | 15           | 905        | 136         | 55         |
| <b>I5</b>  | 75       | 15           | 910        | 136         | 55         |
| <b>I6</b>  | 75       | 15           | 909        | 136         | 55         |

Tableau 6 : Conditions de fabrication des tôles laminées à froid et recuites. I=invention

Les tôles I3a, I3b, I4, I5 et I6 sont des tôles dont la composition chimique et le procédé de mise en œuvre sont selon l'invention.

Le tableau 7 présente les caractéristiques suivantes :

- Ferrite : désigne la présence ou non de ferrite recristallisée avec un taux de recristallisation supérieur à 90% dans la microstructure de la tôle recuite.
- Austénite : désigne la présence ou non de d'austénite dans la microstructure de la tôle après le bobinage.
- K : désigne la présence de précipités Kappa dans la microstructure avec une fraction surfacique inférieure à 5 %. Cette mesure est effectuée grâce à un microscope électronique à balayage. Quand il est écrit « NON », les précipités kappa sont absents.
- $R_m$  (MPa) : la résistance mécanique dans un essai de traction en sens longitudinal par rapport à la direction de laminage.
- $Atot(\%)$  : désigne l'allongement à rupture dans un essai de traction en

sens longitudinal par rapport à la direction de laminage.

- Densité mesurée: désigne la densité mesurée par pycnométrie et illustrée sur la figure 7.
- Fissure : Désigne si une fissure clairement visible à l'œil nu est apparue après laminage sur la tôle.

|     | Ferrite | Austenite | K   | Rm (MPa) | Atot (%) | Densité mesurée | Fissure |
|-----|---------|-----------|-----|----------|----------|-----------------|---------|
| I3a | OUI     | OUI       | NON | 831      | 23       | 7,04            | NON     |
| I3b | OUI     | OUI       | NON | 800      | 26       | 7,04            | NON     |
| I4  | OUI     | OUI       | NON | 685      | 34       | 7,17            | NON     |
| I5  | OUI     | OUI       | NON | 742      | 30       | 7,12            | NON     |
| I6  | OUI     | OUI       | NON | 704      | 22       | 7,1*            | NON     |

Tableau 7 : Propriétés des tôles laminées à froid et recuites. I=invention

\* la densité d'I6 a été estimée.

Les tôles d'acier laminées à froid du tableau 7 correspondent à des tôles selon l'invention. La microstructure de la tôle I3a est illustrée par la figure 5. Aucune de ces tôles ne présente de fissure après laminage. Les résistances mécaniques sont supérieures à 600 MPa, leur allongement à rupture est supérieur à 20% et elles sont soudables et la tôle I3a a été revêtue de Zn par un procédé de trempe dans un bain de Zn à 460°C, appelé procédé de galvanisation au trempé. La tôle, aussi bien nue que revêtue, présente une bonne soudabilité. Les aciers selon l'invention présentent ainsi une bonne aptitude à la galvanisation en continu, en particulier.

Les aciers selon l'invention présentent une bonne combinaison de propriétés intéressantes pour les pièces de structures ou de peau dans l'automobile (faible densité, bonne aptitude à la déformation, bonnes propriétés mécaniques, bonne soudabilité et bonne résistance à la corrosion avec un revêtement).

### REVENDICATIONS

- 1- Tôle d'acier laminée dont la densité est inférieure ou égale à 7,3 et dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10 \leq C \leq 0,30 \%$$

$$6,0 \leq Mn \leq 15,0 \%$$

$$6,0 \leq Al \leq 15,0 \%$$

et à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi :

$$Si \leq 2,0\%$$

$$Ti \leq 0,2 \%$$

$$V \leq 0,6 \%$$

$$Nb \leq 0,3 \%$$

le reste de la composition étant composé de fer et d'impuretés

inévitables résultant de l'élaboration, étant entendu que  $\frac{Mn}{Al} > 1,0$ , la

microstructure de la tôle étant constituée de ferrite, d'austénite et jusqu'à 5% de précipités Kappa en fraction surfacique .

- 2- Tôle en acier selon la revendication 1, dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids:

$$0,18 \leq C \leq 0,21\%$$

- 3- Tôle en acier selon les revendications 1 ou 2 dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids:

$$7,0 \leq Mn \leq 10,0\%$$

- 4- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids:

$$6,0 \leq Al < 12,0\%$$

- 5- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids:  
 $6,0 \leq Al < 9,0\%$
- 6- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids:  
 $Si \leq 1\%$
- 7- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dont la fraction surfacique des précipités kappa est inférieure ou égale à 2%.
- 8- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 dont la résistance mécanique en traction est supérieure ou égale à 600 MPa et l'allongement à rupture est supérieur ou égal à 20%.
- 9- Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 dont le rapport de la teneur en Mn sur celle en Al est tel que :  $\frac{Mn}{Al} \geq 1,1$ .
- 10-Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 dont le rapport de la teneur en Mn sur celle en Al est tel que :  $\frac{Mn}{Al} \geq 1,5$ .
- 11-Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 dont le rapport de la teneur en Mn sur celle en Al est tel que :  $\frac{Mn}{Al} \geq 2,0$ .
- 12-Procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée ayant une densité inférieure ou égale à 7,3 selon lequel :
- On approvisionne un acier de composition selon l'une quelconque des

revendications 1 à 11,

- On coule ledit acier pour former un demi produit,
- On réchauffe éventuellement ledit demi-produit à une température  $T_{rech}$  comprise entre 1000°C et 1280°C,
- On lamine à chaud ledit demi-produit réchauffé avec au moins une passe de laminage en présence de ferrite pour obtenir une tôle,
- La température de fin de laminage  $T_{FL}$  supérieure ou égale à 850°C,
- On refroidit ladite tôle à une vitesse de refroidissement  $V_{ref1}$  jusqu'à une température de bobinage  $T_{bob}$  inférieure ou égale à 600°C,
- Puis, on bobine ladite tôle refroidie.

13-Procédé de fabrication d'une tôle laminée selon la revendication 12 dont ledit demi-produit est coulé directement sous forme de brames minces ou de bandes minces.

14-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 11 ou 13 dont la température de fin de laminage  $T_{FL}$  est comprise entre 900 et 980°C.

15-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 11 à 14 dont la vitesse de refroidissement  $V_{ref1}$  est inférieure ou égale à 55°C/s.

16-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 11 à 15 dont la température de bobinage est comprise entre 450 et 550°C.

17-Procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée à froid et recuite ayant une densité inférieure ou égale à 7,3 selon lequel :

- On approvisionne une tôle d'acier laminée selon l'une quelconque des

revendications 11 à 16, puis

-On lamine à froid ladite tôle laminée avec un taux de réduction compris entre 35 et 90% de façon à obtenir une tôle à froid, puis

-Puis, on chauffe ladite tôle avec une vitesse  $V_c$  jusqu'à une température de maintien  $T_m$  comprise entre 800 et 950°C pendant un temps  $t_m$  inférieur à 600 secondes, puis

-On refroidit ladite tôle à vitesse  $V_{ref2}$  jusqu'à une température inférieure ou égale à 500°C.

18-Procédé de fabrication selon la revendication 17 dont la température  $T_m$  est comprise entre 800 et 900°C.

19-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 16 ou 18 dont la vitesse de refroidissement  $V_{ref2}$  est supérieure ou égale à 30°C/s.

20-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 16 à 19 dont le refroidissement  $V_{ref2}$  est maintenu jusqu'à une température comprise entre 500°C et 460°C.

21-Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 11 à 20 dont la tôle est ensuite revêtue de zinc, d'un alliage de zinc ou d'un alliage à base zinc.

22-Utilisation de tôles d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, ou pouvant être obtenue selon l'une quelconque des revendications 12 à 21, pour la fabrication de pièces de structures ou de pièces de peau pour véhicules terrestres à moteur.

1/4

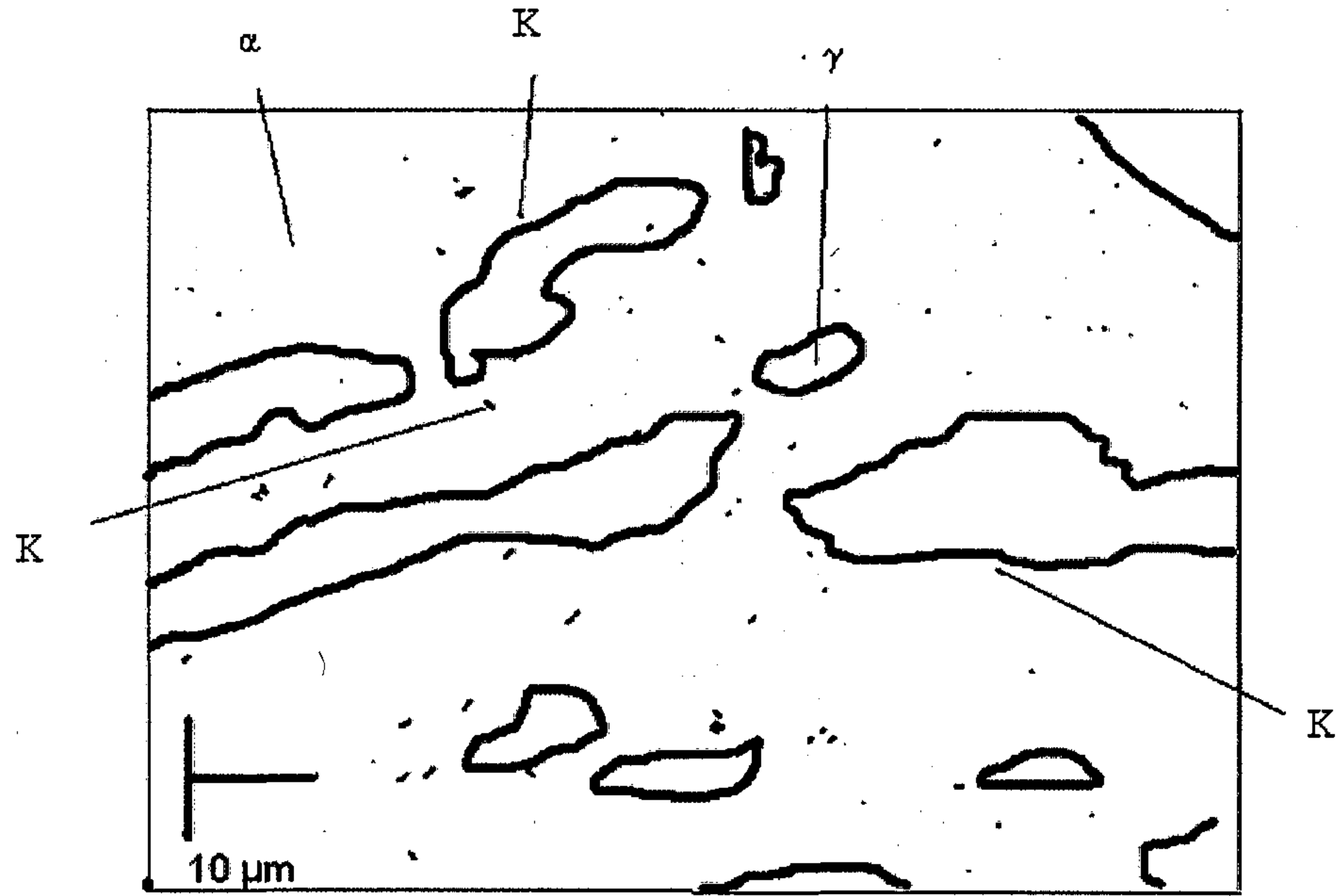


Figure 1

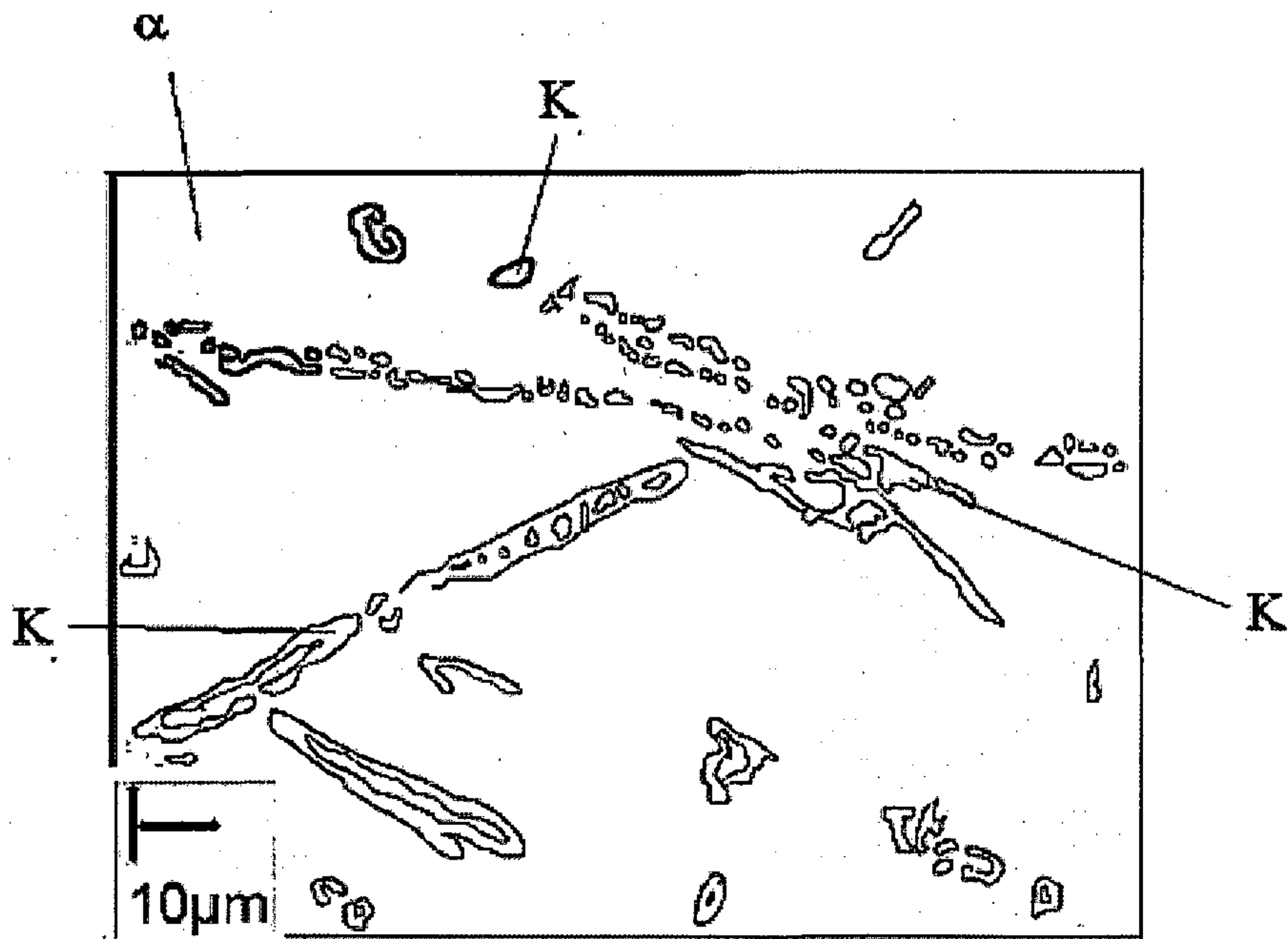


Figure 2

2/4

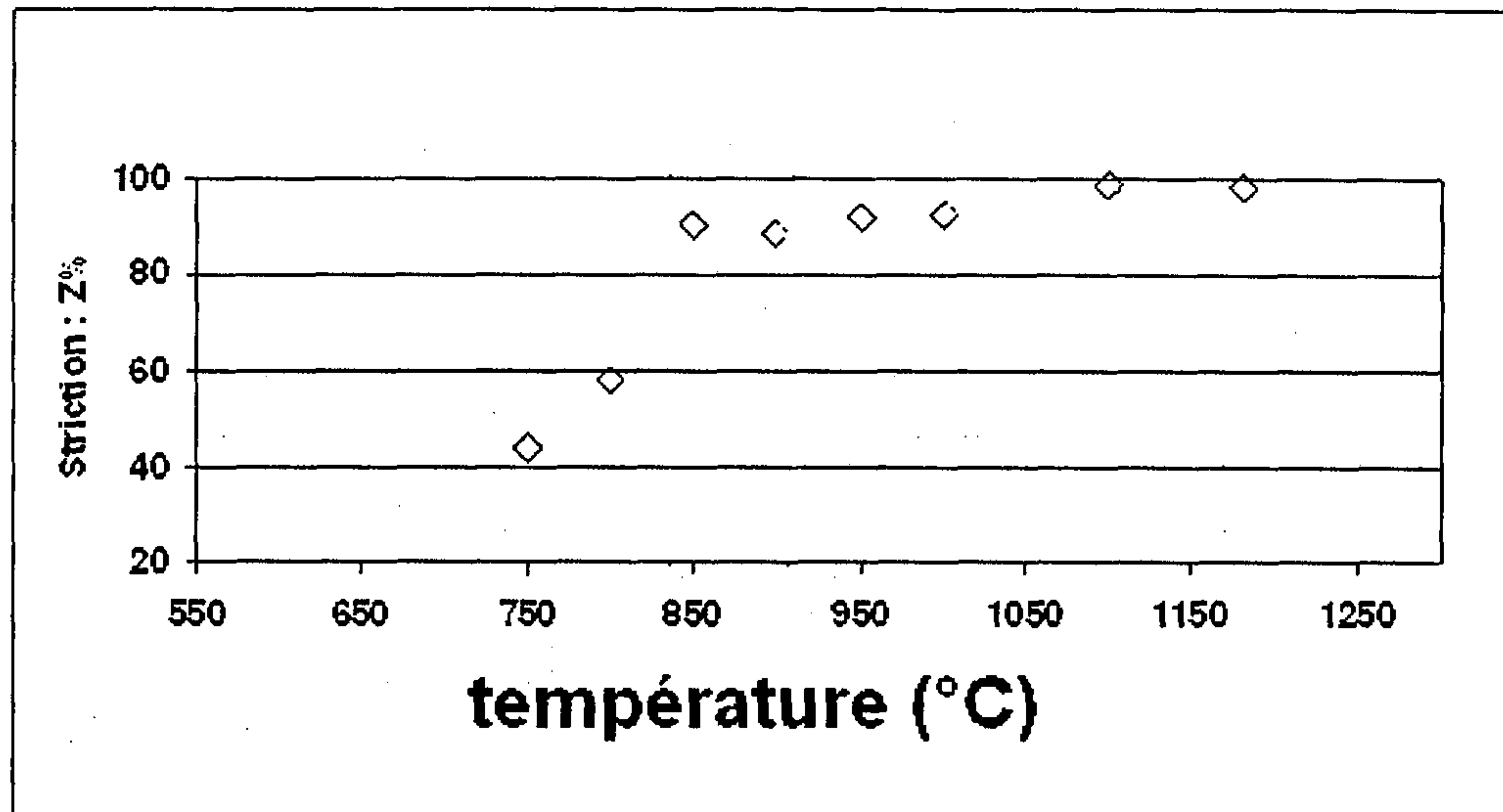


Figure 3

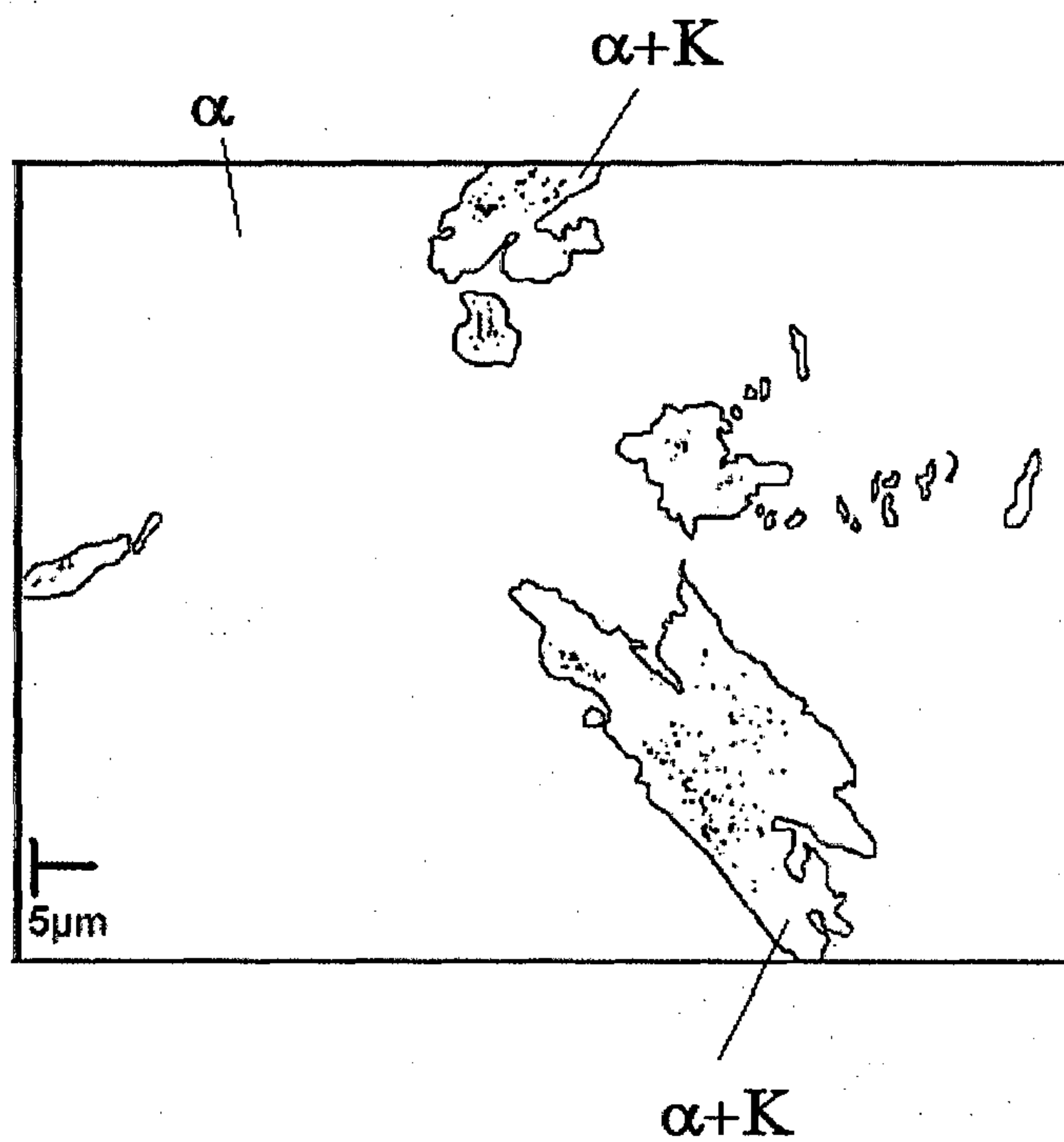


Figure 4

3/4

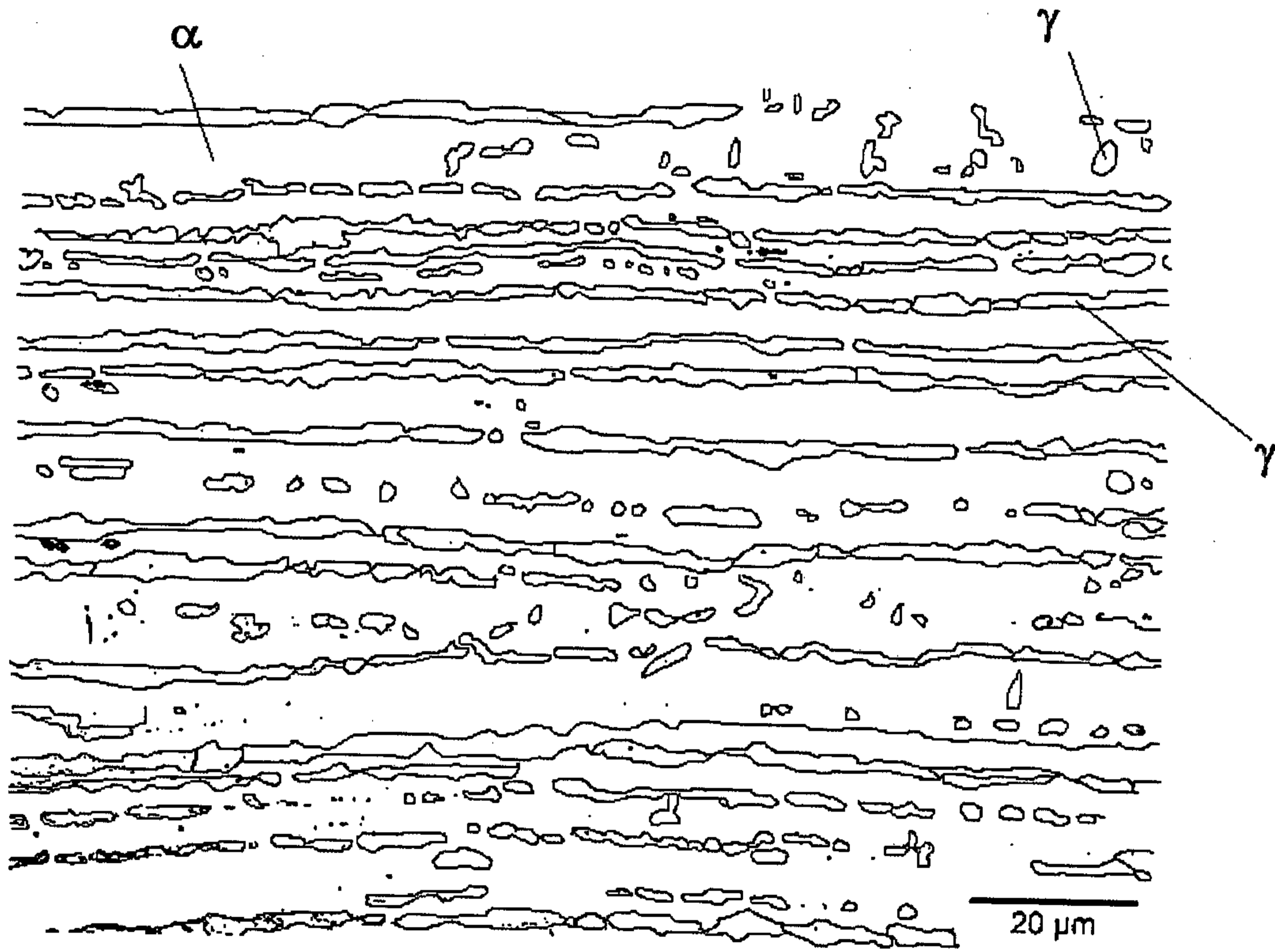


Figure 5

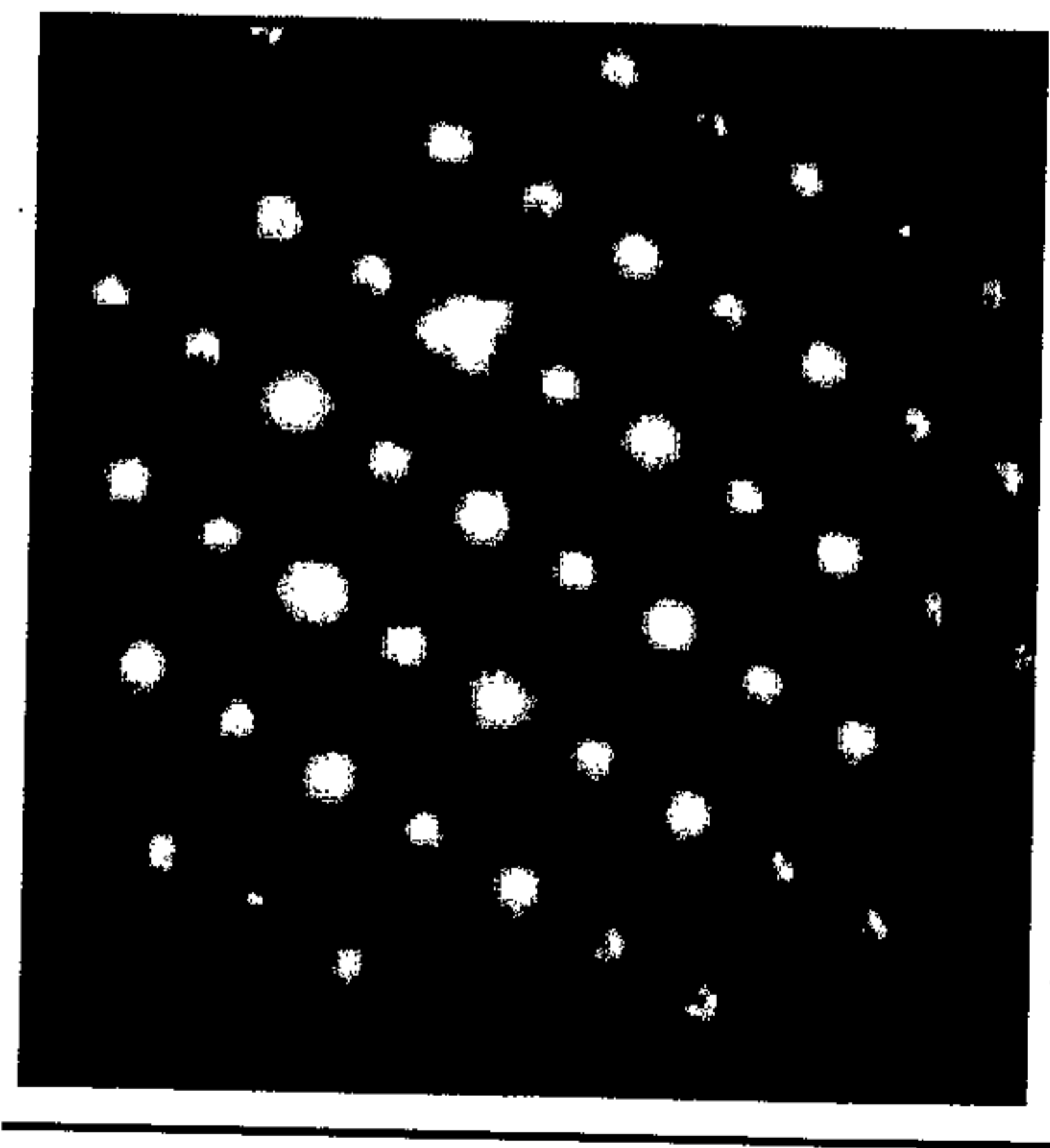


Figure 6

4/4

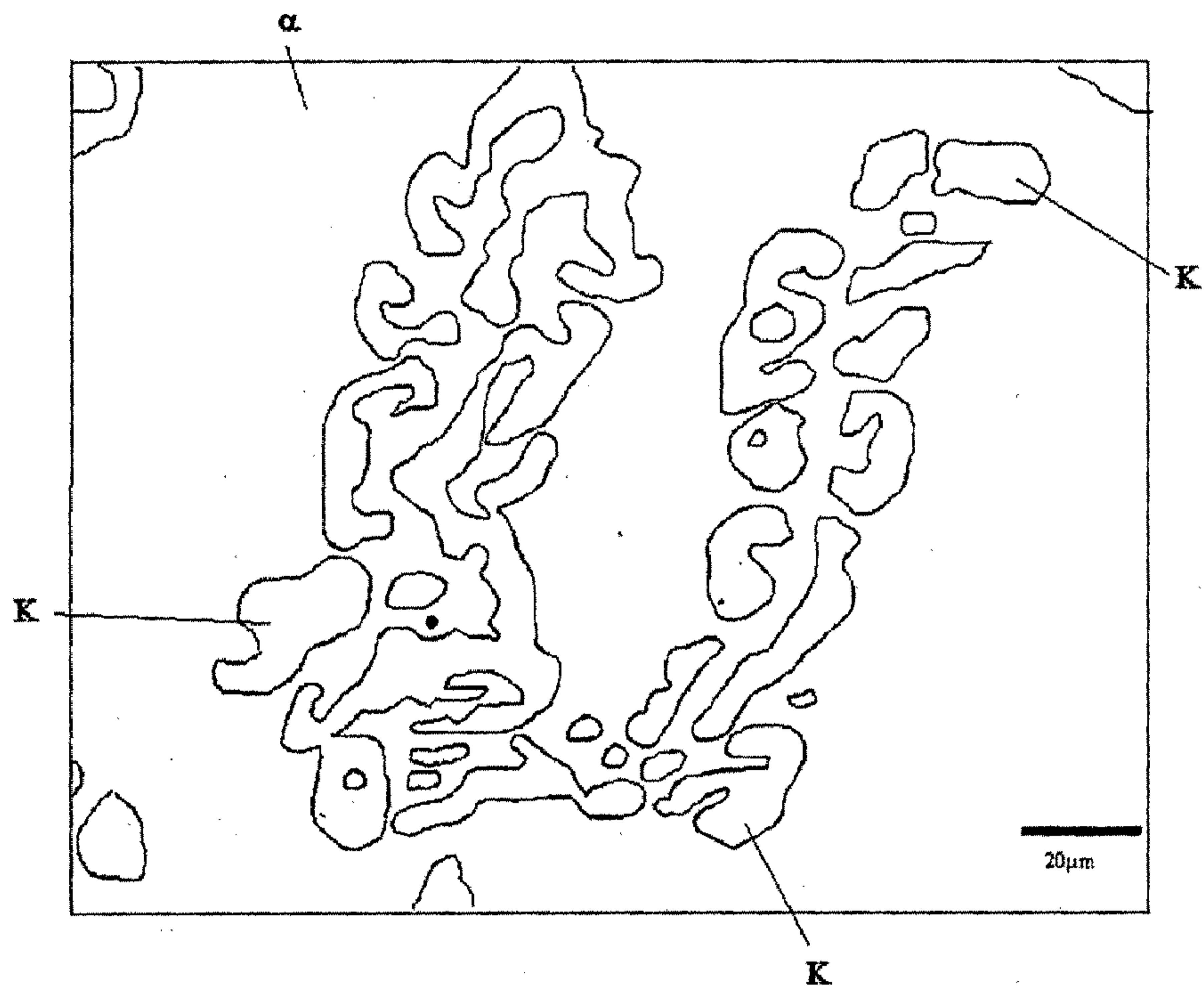


Figure 7

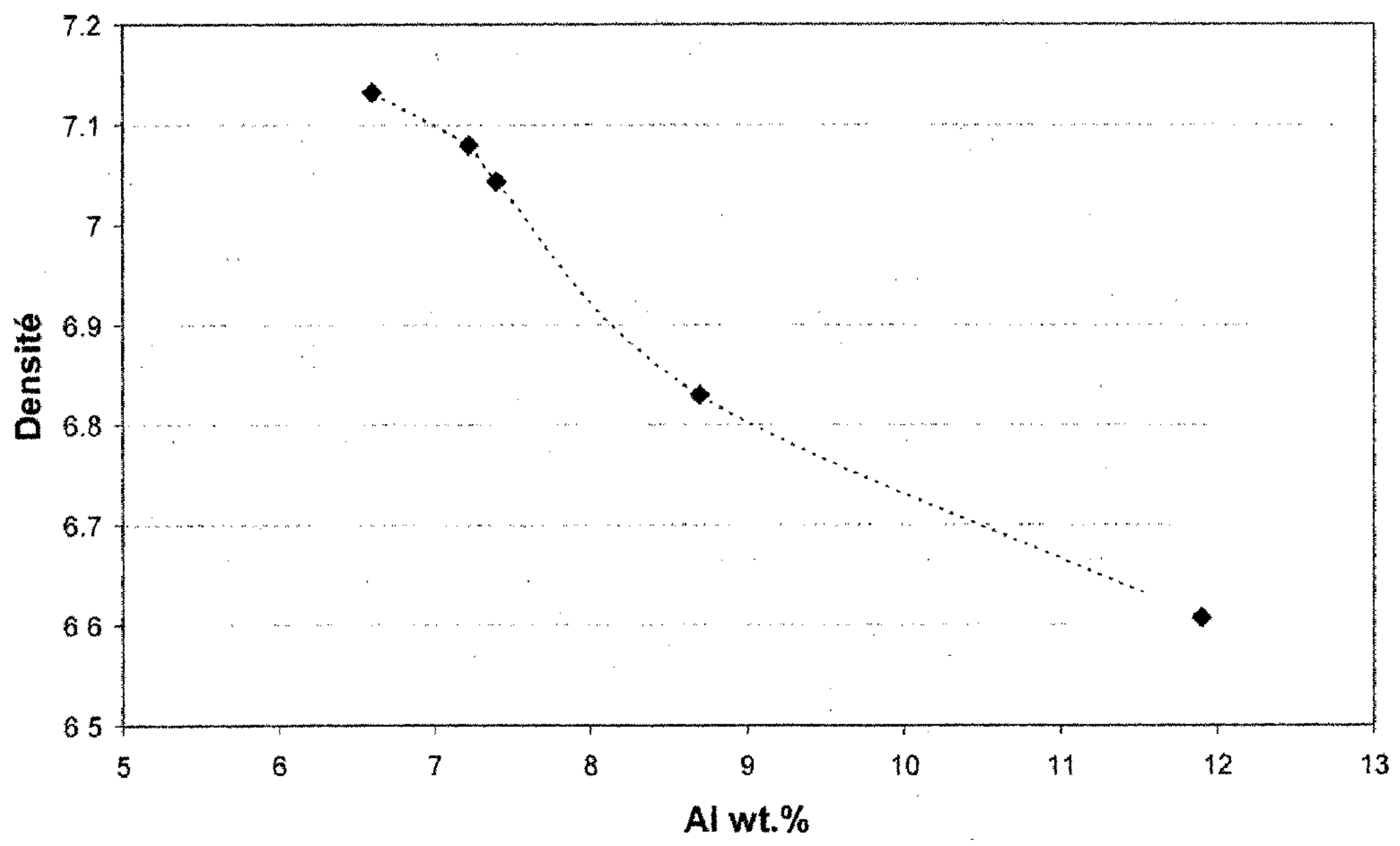


Figure 8

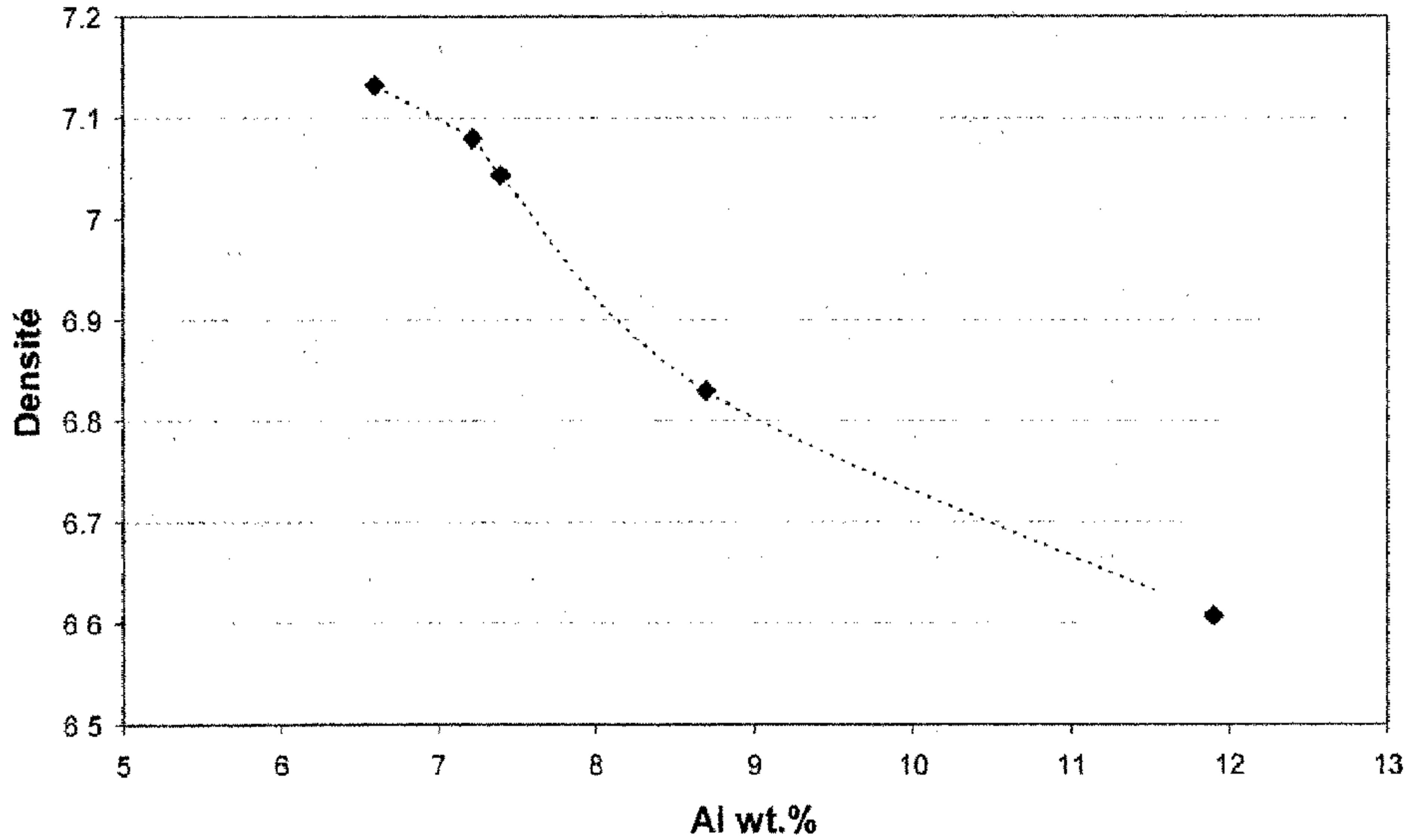


Figure 8