



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2008/04/29

(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2008/12/04

(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2009/11/13

(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2008/000610

(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2008/145872

(30) Priorité/Priority: 2007/05/16 (EP07290624.1)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C21D 8/02* (2006.01),
C21D 8/04 (2006.01), *C22C 38/00* (2006.01),
C22C 38/04 (2006.01), *C22C 38/06* (2006.01),
C21D 6/00 (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:
ARCELORMITTAL FRANCE, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
PERLADE, ASTRID, FR;
GARAT, XAVIER, FR;
URIARTE, JEAN-LOUIS, FR;
BOUAZIZ, OLIVIER, FR;
DRILLET, JOSEE, FR

(74) Agent: OGILVY RENAULT LLP/S.E.N.C.R.L.,S.R.L.

(54) Titre : ACIER A FAIBLE DENSITE PRESENTANT UNE BONNE APTITUDE A L'EMBOUTISSAGE

(54) Title: LOW DENSITY STEEL WITH GOOD STAMPING CAPABILITY

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne une tôle ferritique laminée à chaud en acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids : $0,001 < C \leq 0,15\%$, $Mn \leq 1\%$, $Si < 1,5\%$, $6\% \leq Al < 10\%$, $0,020\% < Ti < 0,5\%$, $S < 0,050\%$, $P < 0,1\%$, et, à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi : $Cr < 1\%$, $Mo < 1\%$, $Ni < 1\%$, $Nb < 0,1\%$, $V \leq 0,2\%$, $B \leq 0,010\%$, le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, la taille moyenne de grain de ferrite dV mesurée sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage étant inférieure à 100 micromètres



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
4 décembre 2008 (04.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/145872 A1

(51) Classification internationale des brevets :

C21D 8/02 (2006.01) *C22C 38/04* (2006.01)
C21D 8/04 (2006.01) *C22C 38/06* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C21D 6/00* (2006.01)

(74) Mandataire : **PLAISANT, Sophie**; Arcelor France,
Arcelor Research Intellectual Property, 1-5, rue Luigi
Cherubini, F-93200 La Plaine Saint Denis (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2008/000610

(22) Date de dépôt international : 29 avril 2008 (29.04.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

072906241 16 mai 2007 (16.05.2007) EP

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
ARCELORMITTAL FRANCE [FR/FR]; 1-5, rue Luigi
Cherubini, F-93200 Saint Denis (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **PER-**
LADE, Astrid [FR/FR]; 49A, rue Albert Bosch, F-57950
Montigy Les Metz (FR). **GARAT, Xavier** [FR/FR];
31, rue du Bois de la Sarre, F-54310 Homecourt (FR).
URIARTE, Jean-Louis [FR/FR]; 18, rue de la Chapelle,
F-57000 Metz (FR). **BOUAZIZ, Olivier** [FR/FR]; 19, rue
Mozart, F-57000 Metz (FR). **DRILLET, Josée** [FR/FR];
9 chemin de Banauvignes, F-57160 Rozerieulles (FR).(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
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, KM, 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, PG, PH, PL,
PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL,
NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues
- avec tous renseignements concernant une requête en res-
tauration du droit de priorité présentée en ce qui concerne
une ou plusieurs revendications de priorité

(54) Title: LOW DENSITY STEEL WITH GOOD STAMPING CAPABILITY

(54) Titre : ACIER A FAIBLE DENSITE PRESENTANT UNE BONNE APTITUDE A L'EMBOUTISSAGE

(57) Abstract: The invention relates to a hot-rolled ferritic sheet made of steel having the following composition in weight: 0.001 < C ≤ 0.15%, Mn ≤ 1 %, Si < 1.5%, 6% ≤ Al < 10%, 0.020% < Ti < 0.5%, S < 0.050%, P < 0.1 %, and optionally one or more elements selected from: Cr < 1 %, Mo < 1 %, Ni < 1%, Nb < 0.1 %, V ≤ 0.2%, B ≤ 0.010%, the balance of the composition consisting of Fe and unavoidable impurities resulting from the manufacture, the average grain size of ferrite d_{IV} as measured on a surface perpendicular to the transverse relative to the rolling being lower than 100 micrometers.(57) Abrégé : L'invention concerne une tôle ferritique laminée à chaud en acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids : 0,001 < C ≤ 0,15%, Mn ≤ 1 %, Si < 1,5%, 6% ≤ Al < 10%, 0,020% < Ti < 0,5%, S < 0,050%, P < 0,1 %, et, à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi : Cr < 1 %, Mo < 1 %, Ni < 1%, Nb < 0,1 %, V ≤ 0,2%, B ≤ 0,010%, le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, la taille moyenne de grain de ferrite d_{IV} mesurée sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage étant inférieure à 100 micromètres

WO 2008/145872 A1

ACIER A FAIBLE DENSITE PRESENTANT UNE BONNE APTITUDE A L'EMBOUTISSAGE

5 L'invention concerne une tôle ferritique d'acier laminée à chaud ou à froid, possédant une résistance supérieure à 400 MPa et une densité inférieure à 7,3 environ, ainsi que son procédé de fabrication.

La diminution de la quantité de CO₂ émis par les véhicules automobiles passe notamment par l'allègement des véhicules automobiles. Cet
10 allègement peut être réalisé :

- grâce à une augmentation des caractéristiques mécaniques des aciers constituant les pièces structurales ou les pièces de peau, ou
 - à caractéristiques mécaniques données, grâce à une réduction de la densité des aciers.
- 15 - La première voie fait l'objet de nombreuses recherches, des aciers dont la résistance mécanique va de 800MPa à plus de 1000MPa ont été proposés par l'industrie sidérurgique. La densité de ces aciers reste cependant voisine de 7,8, qui est la densité d'aciers conventionnels.
- Une seconde voie passe par l'addition d'éléments susceptibles de
20 réduire la densité des aciers : Le brevet EP1485511 divulgue ainsi des aciers comportant des additions de silicium (2-10%) et d'aluminium (1-10%) de microstructure ferritique, et contenant également des phases carburées. Cependant, la teneur en silicium relativement élevée de ces aciers peut poser dans certains cas des problèmes de revêtabilité et de ductilité.
- 25 On connaît par ailleurs des aciers contenant une addition d'environ 8% d'aluminium : on peut cependant rencontrer des difficultés lors de la fabrication de ces aciers, en particulier lors du laminage à froid. On peut également rencontrer des problèmes de chiffonnage lors de l'emboutissage de ces aciers. Lorsque ceux-ci contiennent plus de 0,010% C, une
30 précipitation de phases carburées peut augmenter la fragilité. L'utilisation de tels aciers pour la fabrication de pièces structurales est alors impossible.

Le but de l'invention est de proposer des tôles d'acier laminées à chaud ou à froid présentant simultanément :

- une densité inférieure à 7,3 environ
- une résistance R_m supérieure à 400MPa
- 5 - une bonne aptitude à la déformation, en particulier au laminage et une excellente résistance au chiffonnage,
- une bonne soudabilité et une bonne revêtabilité

Le but de l'invention est également de proposer un procédé de fabrication compatible avec les installations industrielles usuelles.

- 10 A cet effet, l'invention a pour objet une tôle ferritique laminée à chaud en acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids : $0,001 \leq C \leq 0,15\%$, $Mn \leq 1\%$, $Si \leq 1,5\%$, $6\% \leq Al \leq 10\%$, $0,020\% \leq Ti \leq 0,5\%$, $S \leq 0,050\%$, $P \leq 0,1\%$ et, à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis
- 15 de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, la taille moyenne de grain de ferrite d_{IV} mesurée sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage étant inférieure à 100 micromètres

- L'invention a également pour objet une tôle ferritique laminée à froid et
- 20 recuite en acier de composition ci-dessus, caractérisée en ce que sa structure est constituée de ferrite équiaxe dont la taille moyenne de grain d_α est inférieure à 50 micromètres, et en ce que la fraction linéaire f de précipités κ intergranulaires est inférieure à 30%, la fraction linéaire f étant définie par :

$$f = \frac{\sum_{(S)} d_i}{\sum_{(S)} L_i}, \quad \sum_{(S)} d_i \text{ désignant la longueur totale des joints de grains comportant}$$

- 25 des précipités κ relativement à une surface (S) considérée, $\sum_{(S)} L_i$ désignant la

longueur totale des joints de grains relativement à la surface (S) considérée

Selon un mode particulier, la composition comprend : $0,001\% \leq C \leq 0,010\%$, $Mn \leq 0,2\%$.

- Selon un mode préféré, la composition comprend : $0,010\% < C \leq 0,15\%$,
- 30 $0,2\% < Mn \leq 1\%$.

Préférentiellement, la composition comprend : $7,5 \% \leq \text{Al} \leq 10\%$.

Très préférentiellement, la composition comprend : $7,5 \% \leq \text{Al} \leq 8,5\%$.

La teneur en carbone en solution solide est préférentiellement inférieure à 0,005% en poids.

5 Selon un mode préféré, la résistance de la tôle est supérieure ou égale à 400MPa.

A titre préférentiel, la résistance de la tôle est supérieure ou égale à 600MPa.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée à chaud selon lequel on approvisionne un acier de
10 composition selon l'une des compositions ci-dessus, on coule l'acier sous forme de demi-produit qu'on porte à une température supérieure ou égale à 1150°C. On lamine à chaud le demi-produit pour obtenir une tôle, grâce à au moins deux étapes de laminage effectuées à des températures supérieures à 1050°C, le taux de réduction de chacune des étapes étant supérieur ou égal
15 à 30%, le temps s'écoulant entre chacune des étapes de laminage, et l'étape de laminage suivante, étant supérieur ou égal à 10 s. On achève le laminage à une température T_{FL} supérieure ou égale à 900°C, on refroidit la tôle de telle sorte que l'intervalle de temps t_p s'écoulant entre 850 et 700°C soit supérieur à 3 s, pour obtenir une précipitation de précipités κ , puis on bobine
20 la tôle à une température T_{bob} comprise entre 500 et 700°C.

Selon un mode particulier, la coulée est effectuée directement sous forme de brames minces ou de bandes minces entre cylindres contra-rotatifs.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une tôle en acier laminée à froid et recuite selon lequel on approvisionne une tôle d'acier
25 laminée à chaud fabriquée selon un des modes ci-dessus, puis on lamine à froid la tôle avec un taux de réduction compris entre 30 et 90%, de façon à obtenir une tôle laminée à froid. On chauffe ensuite la tôle laminée à froid à une température T' avec une vitesse V_c supérieure à 3°C/s, puis on refroidit la tôle à une vitesse V_R inférieure à 100°C/s, la température T' et la vitesse V_R
30 étant choisies de façon à obtenir une recristallisation complète, une fraction linéaire f de précipités intergranulaires κ inférieure à 30% et une teneur en carbone en solution solide inférieure à 0,005% en poids.

On chauffe préférentiellement la tôle laminée à froid à une température T' comprise entre 750 et 950°C.

Selon un mode particulier de fabrication d'une tôle laminée à froid et recuite, on approvisionne une tôle de composition : $0,010 \% < C \leq 0,15\%$, $0,2\% < Mn \leq 1\%$, $Si \leq 1,5\%$, $6\% \leq Al \leq 10\%$, $0,020\% \leq Ti \leq 0,5\%$, $S \leq 0,050\%$, $P \leq 0,1\%$ et, à titre optionnel, un ou plusieurs éléments choisis parmi : $Cr \leq 1\%$, $Mo \leq 1\%$, $Ni \leq 1\%$, $Nb \leq 0,1\%$, $V \leq 0,2\%$, $B \leq 0,01\%$, le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, et on chauffe la tôle laminée à froid à une température T' choisie de façon à éviter la dissolution de précipités κ .

Selon un mode particulier, on approvisionne une tôle de composition ci-dessus et on chauffe la tôle laminée à froid à une température T' comprise entre 750 et 800°C.

L'invention a également pour objet l'utilisation de tôles d'acier selon l'un des modes ci-dessus ou fabriquées selon l'un des modes ci-dessus pour la fabrication de pièces de peau ou de pièces structurales dans le domaine automobile.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description ci-dessous, donnée à titre d'exemple et faite en référence aux figures annexées ci-jointes selon lesquelles :

- La figure 1 définit schématiquement la fraction linéaire f de joints de grains ferritiques comportant une précipitation intergranulaire
- La figure 2 présente la microstructure d'une tôle d'acier laminée à chaud selon l'invention.
- La figure 3 présente la microstructure d'une tôle d'acier laminée à chaud fabriquée selon des conditions ne satisfaisant pas à l'invention
- Les figures 4 et 5 illustrent la microstructure de deux tôles laminées à froid et recuites selon l'invention.
- La figure 6 présente la microstructure d'une tôle d'acier laminée à froid et recuite fabriquée selon des conditions ne satisfaisant pas à l'invention

La présente invention est relative à des aciers présentant une densité réduite, inférieure à 7,3 environ, tout en conservant des caractéristiques d'usage satisfaisantes.

L'invention est notamment relative à un procédé de fabrication permettant de contrôler la précipitation de carbures intermétalliques, la microstructure, et la texture dans des aciers comportant notamment des combinaisons particulières de carbone, d'aluminium et de titane.

5 En ce qui concerne la composition chimique de l'acier, le carbone joue un rôle important sur la formation de la microstructure et sur les propriétés mécaniques :

- Selon l'invention, la teneur en carbone est comprise entre 0,001% et 0,15% : au dessous de 0,001%, on ne peut obtenir un durcissement
10 significatif. Lorsque la teneur en carbone est supérieure à 0,15%, l'aptitude au laminage à froid des aciers est faible.

- Lorsque la teneur en manganèse excède 1%, il existe un risque de stabilisation de l'austénite résiduelle à température ambiante en raison du caractère gammagène de cet élément. Les aciers selon l'invention ont une
15 microstructure ferritique à température ambiante. Différents modes particuliers de l'invention peuvent être mis en œuvre, en fonction de la teneur en carbone et en manganèse de l'acier :

- Lorsque la teneur en carbone est comprise entre 0,001 et 0,010% et lorsque la teneur en manganèse est inférieure ou égale à 0,2%, la résistance
20 R_m minimale obtenue est de 400MPa.

- Lorsque la teneur en carbone est supérieure à 0,010% et inférieure ou égale à 0,15%, et lorsque la teneur en manganèse est supérieure à 0,2% et inférieure ou égale à 1%, la résistance minimale obtenue est de 600 MPa. Dans les gammes des teneurs en carbone présentées ci-dessus, les
25 inventeurs ont mis en évidence que cet élément contribuait à un durcissement important par une précipitation de carbures (TiC ou précipités kappa) et par un affinement du grain ferritique. L'addition de carbone ne conduit qu'à une faible perte de ductilité si la précipitation de carbures n'est pas intergranulaire ou si le carbone n'est pas en solution solide.

30 Dans ces gammes de composition, l'acier a une matrice ferritique à toute température lors du cycle de fabrication, c'est à dire dès la solidification à partir de la coulée.

- Au même titre que l'aluminium, le silicium est un élément permettant de réduire la densité de l'acier. Cependant, une addition excessive de silicium, au delà de 1,5%, provoque la formation d'oxydes fortement adhérents et l'apparition éventuelle de défauts de surface, conduisant notamment à un manque de mouillabilité dans les opérations de galvanisation au trempé. De plus, cette addition excessive diminue la ductilité.

- L'aluminium est un élément important de l'invention : lorsque sa teneur est inférieure à 6% en poids, une réduction suffisante de la densité ne peut être obtenue. Lorsque sa teneur est supérieure à 10%, il existe un risque de formation de phases intermétalliques fragilisantes Fe_3Al et FeAl .

Préférentiellement, la teneur en aluminium est comprise entre 7,5 et 10% : au sein de cette gamme, la densité de la tôle est inférieure à 7,1 environ.

Préférentiellement, la teneur en aluminium est comprise entre 7,5 et 8,5% : dans cette gamme, on obtient un allègement satisfaisant sans diminution de la ductilité.

- L'acier contient également une teneur minimale en titane de 0,020% qui contribue à limiter la teneur en carbone en solution solide en quantité inférieure à 0,005% en poids, grâce à une précipitation de TiC . Le carbone en solution solide a un effet néfaste sur la ductilité du fait qu'il réduit la mobilité des dislocations. Au delà de 0,5% de titane, la précipitation de carbures de titane intervient en quantité trop importante, et la ductilité est réduite.

- Une addition éventuelle de bore limitée à 0,010% contribue également à une réduction du carbone en solution solide.

- La teneur en soufre est inférieure à 0,050% de façon à limiter une précipitation éventuelle de TiS qui diminuerait la ductilité.

- Pour des raisons de ductilité à chaud, la teneur en phosphore est également limitée à 0,1%.

A titre optionnel, l'acier peut également contenir, seuls ou en combinaison :

- du chrome, du molybdène, ou du nickel en quantité inférieure ou égale à 1%. Ces éléments apportent un durcissement complémentaire par solution solide.

- Des éléments de micro-alliage, comme le niobium et le vanadium en quantité respectivement inférieure à 0,1 et 0,2% en poids, peuvent être ajoutés pour obtenir un durcissement complémentaire par précipitation.

Le reste de la composition est constitué de fer et des impuretés inévitables
5 qui résultent de l'élaboration.

La structure des aciers selon l'invention comporte une distribution homogène de grains ferritiques fortement désorientés : la désorientation forte entre grains voisins permet d'éviter le défaut de chiffonnage : ce défaut se caractérise, lors de la mise en forme à froid de tôles, par l'apparition localisée
10 et prématurée de bandes suivant le sens de laminage, formant un relief. Ce phénomène est dû à la présence de groupement de grains recristallisés et faiblement désorientés, car provenant d'un même grain originel avant recristallisation. Une structure sensible au chiffonnage est caractérisée par une distribution spatiale de texture.

15 Lorsque le phénomène de chiffonnage est présent, les propriétés mécaniques en sens travers (notamment l'allongement uniforme) et l'aptitude à la mise en forme sont fortement réduites. Les aciers selon l'invention ne présentent pas de sensibilité au chiffonnage lors de la mise en forme, en raison de leur texture favorable.

20 Selon une forme de l'invention, la microstructure à température ambiante des aciers est constituée d'une matrice de ferrite équiaxe dont la taille de grain moyenne est inférieure à 50 micromètres. L'aluminium est majoritairement en solution solide dans cette matrice à base de fer. Ces aciers contiennent des précipités kappa (« κ ») qui sont une phase
25 intermétallique ternaire Fe_3AlC_x . La présence de ces précipités dans la matrice ferritique conduit à un durcissement important. Ces précipités κ ne doivent cependant pas être présents sous forme d'une précipitation intergranulaire marquée sous peine d'une réduction importante de la ductilité : les inventeurs ont mis en évidence que la ductilité était réduite
30 lorsque la fraction linéaire de joints de grains ferritiques qui présentent une précipitation κ , était supérieure ou égale à 30%. La définition de cette fraction linéaire f est donnée à la figure 1 : Si l'on considère un grain particulier dont le contour est limité par des joints de grains successifs de longueur $L_1, L_2, \dots L_i$,

les observations par microscopie montrent que ce grain peut comporter des précipités κ le long des joints sur une longueur $d_1, ..d_i...$ En considérant une surface (S) statistiquement représentative de la microstructure, par exemple composée de plus de 50 grains, on définit la fraction linéaire comportant des précipités κ par l'expression f :

$$f = \frac{\sum_{(S)} di}{\sum_{(S)} Li}$$

$\sum_{(S)} di$ désigne la longueur totale des joints de grains comportant des précipités κ , relativement à la surface (S) considérée. $\sum_{(S)} Li$ représente la longueur totale des joints de grains relativement à la surface (S) considérée.

10 L'expression f traduit donc le taux de recouvrement des joints de grains ferritiques par une précipitation κ .

Selon une autre forme de l'invention, le grain ferritique n'est pas équiaxe mais sa taille moyenne d_{IV} est inférieure à 100 micromètres. d_{IV} désigne la taille de grain mesurée par la méthode des intercepts linéaires sur une surface (S) représentative perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage. La mesure de d_{IV} est effectuée selon la direction perpendiculaire à l'épaisseur de la tôle. Cette morphologie de grain non équiaxe, présentant un allongement dans le sens du laminage, peut être par exemple présente sur des tôles d'acier laminées à chaud selon l'invention.

20 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. Cette coulée peut être réalisée en lingots, ou en continu sous forme de brames d'épaisseur de l'ordre de 200mm. On peut également effectuer la coulée sous forme de brames minces de quelques dizaines de millimètres d'épaisseur, ou de bandes minces, entre cylindres d'acier contra-rotatifs. Ce mode de fabrication sous forme de produits minces est particulièrement avantageux, car il permet d'obtenir plus facilement une structure fine qui favorise la réalisation de

l'invention comme on le verra plus loin. Au moyen de ses connaissances générales, l'homme du métier saura déterminer les conditions de coulée satisfaisant à la fois la nécessité d'obtenir une structure fine et équiaxe après la coulée, et celle de satisfaire les exigences usuelles d'une coulée industrielle.

Les demi-produits coulés sont tout d'abord portés à une température supérieure à 1150°C pour atteindre en tout point une température favorable aux déformations élevées que va subir l'acier lors des différentes étapes de laminage.

10 Naturellement, dans le cas d'une coulée directe de brames minces ou de bandes minces entre cylindres contra-rotatifs, l'étape de laminage à chaud de ces demi-produits débutant à plus de 1150°C peut se faire directement après coulée si bien qu'une étape de réchauffage intermédiaire n'est pas nécessaire dans ce cas.

15 A la suite de nombreux essais, les inventeurs ont mis en évidence qu'il était possible d'éviter le problème de chiffonnage et d'obtenir une très bonne emboutissabilité et une bonne ductilité, au moyen du procédé de fabrication comportant les étapes suivantes :

- On lamine à chaud le demi-produit pour obtenir une tôle, par une succession d'étapes de laminage. Chacune des étapes correspond à une réduction d'épaisseur du produit par le passage au sein de cylindres de laminoir. Dans des conditions industrielles, ces étapes sont réalisées lors du dégrossissage du demi-produit sur un train à bandes. Le taux de réduction associé à chacune de ces étapes est défini par : (épaisseur du
20 demi-produit après étape de laminage- épaisseur avant laminage)/
(épaisseur avant laminage) Selon l'invention, au moins deux de ces étapes sont réalisées à des températures supérieures à 1050°C, le taux de réduction de chacune d'elles est supérieur ou égal à 30%. L'intervalle de temps t_i entre chacune des déformations de taux supérieur à 30% et la
25 déformation ultérieure est supérieur ou égal à 10 s de façon à obtenir une recristallisation totale à l'issue de cet intervalle de temps t_i . Les inventeurs ont mis en évidence que cette combinaison particulière de conditions conduisait à un affinement très important de la structure à chaud. On
30

promeut ainsi une recristallisation grâce à des températures de laminage supérieures à la température de non-recristallisation T_{nr} .

Les inventeurs ont également mis en évidence qu'une structure initiale fine, telle que celle obtenue après une coulée directe, était favorable pour accélérer la recristallisation.

- On achève le laminage à une température T_{FL} supérieure ou égale à 900°C , de façon à obtenir une recristallisation complète.
- On refroidit ensuite la tôle obtenue : les inventeurs ont mis en évidence qu'une précipitation particulièrement efficace de précipités κ et de carbures TiC était obtenue lorsque l'intervalle de temps t_p s'écoulant au refroidissement entre 850 et 700°C était supérieur à 3 s. On obtient de la sorte une précipitation intense favorable au durcissement.
- On bobine ensuite la tôle à une température T_{bob} comprise entre 500 et 700°C . Cette étape achève la précipitation de TiC.

A ce stade, on obtient ainsi une tôle laminée à chaud dont l'épaisseur va par exemple de 2 à 6mm . Si l'on souhaite fabriquer une tôle d'épaisseur plus faible, par exemple de $0,6$ à $1,5\text{mm}$, le procédé de fabrication est le suivant :

- On approvisionne une tôle laminée à chaud, fabriquée selon le procédé décrit ci-dessus. Naturellement, si l'état de surface de la tôle l'exige, on effectuera un décapage au moyen d'un procédé connu en soi.
- On effectue ensuite un laminage à froid, le taux de réduction étant compris entre 30 et 90%
- On chauffe ensuite la tôle laminée à froid avec une vitesse de réchauffage V_c supérieure à 3°C/s , ceci afin d'éviter une restauration qui diminuerait la capacité à la recristallisation ultérieure. Le réchauffage est effectué jusqu'à une température de recuit T' qui sera choisie de façon à obtenir une recristallisation complète de la structure initiale fortement écrouie.

On refroidit ensuite la tôle à une vitesse V_R inférieure à 100°C/s de façon à ne pas provoquer une éventuelle fragilisation par un excès de carbone en solution solide. Ce résultat est particulièrement surprenant dans la mesure où l'on pouvait penser qu'une vitesse de refroidissement rapide serait favorable pour réduire une précipitation fragilisante. Or les inventeurs ont mis en évidence qu'un refroidissement lent, à une vitesse de refroidissement

inférieure à 100°C/s, conduisait une précipitation importante de carbures qui réduisait ainsi la teneur en carbone en solution solide: cette précipitation a pour effet d'augmenter la résistance sans conséquence néfaste sur la ductilité.

5 On choisira la température de recuit T' et la vitesse V_R de façon à obtenir sur le produit final :

- Une recristallisation complète
- Une fraction linéaire f de précipités intergranulaires κ inférieure à 30%
- Une teneur en carbone en solution solide inférieure à 0,005%.

10 On choisira préférentiellement une température T' comprise entre 750 et 950°C pour obtenir une recristallisation complète.

Plus particulièrement, lorsque la teneur en carbone est supérieure à 0,010 % et inférieure ou égale à 0,15% et lorsque la teneur en manganèse est supérieure à 0,2% et inférieure ou égale à 1%, on choisira la température T' de façon à éviter en outre la dissolution de précipités κ présents avant le recuit. En effet, si ces précipités sont dissous, la précipitation ultérieure au refroidissement lent interviendra sous forme intergranulaire fragilisante : une température de recuit trop importante conduirait à la redissolution des précipités κ formés lors de la fabrication de la tôle laminée à chaud et diminuerait la résistance mécanique. A cette fin, on choisira préférentiellement une température T' comprise entre 750 et 800°C.

A titre d'exemple non limitatif, les résultats suivants vont montrer les caractéristiques avantageuses conférées par l'invention.

Exemple 1: Tôles laminées à chaud

25 On a élaboré des aciers par coulée sous la forme de demi-produits d'épaisseur de 50 mm environ. Leurs compositions, exprimées en pourcentage pondéral, figurent au tableau 1 ci-dessous.

Repère	C	Si	Mn	Al	Ti	Cr	Mo	Ni	S	P	Nb
I1	0,005	0,013	0,108	8,55	0,096	0,007	0,025	0,005	0,012	0,016	0,004
I2	0,009	0,013	0,108	8,5	0,097	0,008	0,027	0,005	0,013	0,016	0,005
I3	0,080	0,275	0,485	8,24	0,096	0,009	0,026	0,005	0,012	0,016	0,005
R1	0,010	0,170	0,09	6,8	<u>0,006</u>	0,032	-	0,005	0,001	0,009	-
R2	0,079	1,44	<u>1,21</u>	<u>3,25</u>	-	-	-	-	0,010	0,009	-
R3	0,005	0,010	0,010	<u>14,5</u>	0,104	-	-	-	0,010	0,009	-
R4	<u>0,19</u>	0,018	<u>1,45</u>	<u>12,6</u>	0,084	0,006	0,026	0,006	0,009	0,009	-
R5	<u>0,197</u>	0,010	<u>1,7</u>	<u>10,2</u>	-	-	-	-	0,010	0,009	-
R6	<u>0,19</u>	0,022	0,98	<u>12,2</u>	0,098	<u>2,2</u>	0,27	-	0,010	0,006	-

Tableau 1 Compositions d'aciers (% poids). I= Selon l'invention. R= référence

Valeurs soulignées : Non conforme à l'invention.

Les demi-produits ont été réchauffés à une température de 1220°C et laminés à chaud pour obtenir une tôle d'une épaisseur de 3,5 mm environ.

A partir d'une même composition, certains aciers ont fait l'objet de différentes conditions de laminage à chaud. Les références I1-a, I1-b, I1-c, I1-d, I1-e désignent par exemple cinq tôles d'aciers fabriquées selon des conditions différentes à partir de la composition I1.

Pour les aciers I1 à I3, le tableau 2 détaille les conditions des étapes successives de laminage à chaud :

- Le nombre N d'étapes de laminage effectuées à une température de laminage à chaud supérieure à 1050°C
- Parmi celles-ci, le nombre N_i d'étapes de laminage dont le taux de réduction est supérieur à 30%
- Le temps t_i s'écoulant entre chacune des étapes N_i , et l'étape de laminage succédant immédiatement à chacune de celles-ci
- La température de fin de laminage T_{FL}
- L'intervalle de temps t_p s'écoulant au refroidissement entre 850 et 700°C
- La température de bobinage T_{bob}

Repère		N	N _i	t _i (s)	TFL (°C)	t _p (s)	T _{bob} (°C)
I1a	I	4	3	14,5 20,6 26,8	900	21	700
<u>I1b</u>	R	6	2	<u>2</u> <u>2</u>	900	21	700
<u>I1c</u>	R	4	<u>1</u>	<u>8</u>	900	<u>1,3</u>	700
I1d	I	5	3	26,5 23,5 20	900	21	700
<u>I1e</u>	R	7	5	<u>7,7</u> <u>5,2</u> <u>3,5</u> <u>3</u> <u>2,5</u>	1050	20	700
I3a	I	4	2	10 11	950	20	700
<u>I3b</u>	R	4	<u>1</u>	<u>5</u>	950	20	700

Tableau 2 : Conditions de fabrication lors du laminage à chaud

I= Selon l'invention. R= référence

Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.

- 5 Le tableau 3 présente la densité mesurée sur les tôles du tableau 2 et certaines caractéristiques mécaniques et microstructurales. On a ainsi mesuré, en sens travers par rapport au laminage, la résistance R_m, l'allongement uniforme A_u, l'allongement à rupture A_t. On a également mesuré la taille de grains d_{IV} par la méthode des intercepts linéaires selon la
- 10 norme NF EN ISO 643 sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage. La mesure de d_{IV} a été effectuée selon la direction perpendiculaire à l'épaisseur de la tôle Dans le but d'obtenir des propriétés mécaniques accrues, on recherche plus particulièrement une taille de grain d_{IV} inférieure à 100 micromètres.

Repère		Rm (MPa)	Au (%)	At (%)	Densité	D _{IV}
I1a	I	505	10,7	25,4	7,05	75
<u>I1b</u>	R	507	n.d	n.d	7,05	<u>200</u>
<u>I1c</u>	R	474	n.d	n.d	7,05	<u>450</u>
I1d	I	524	n.d	n.d	7,05	40
<u>I1e</u>	R	504	n.d	n.d	7,05	<u>120</u>
I3a	I	645	n.d	n.d	7,07	70
<u>I3b</u>	R	628	n.d	n.d	7,07	<u>400</u>

Tableau 3 : Propriétés des tôles laminées à chaud obtenues à partir des aciers I1 et I3. I= Selon l'invention. R= référence n.d= non déterminé

Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.

5

Les tôles d'acier selon l'invention, dont la microstructure est illustrée par exemple à la figure 2 pour la tôle I1d, sont caractérisées par une taille de grain d_{IV} inférieure à 100 micromètres et présentent une résistance mécanique allant de 505 à 645 MPa.

- 10 Les tôles I1b et I1e ont été laminées avec un temps interpasse trop court. Leur structure est alors grossière et non recristallisée ou insuffisamment recristallisée comme le montre la figure 3 relative à la tôle I1e. En conséquence, la ductilité est diminuée et la tôle est plus sensible au défaut de chiffonnage. Des conclusions similaires peuvent être tirées pour la tôle
- 15 I3b.

La tôle I1c a été laminée avec un nombre insuffisant d'étapes de laminage avec un taux supérieur à 30%, un temps interpasse et un intervalle de temps t_p trop courts. Les conséquences sont identiques à celles notées sur les tôles I1b et I1e. L'intervalle de temps t_p étant trop faible, une précipitation durcissante de précipités κ et de carbures TiC ne se produit que

20 partiellement, ce qui ne permet pas de tirer le plein parti des possibilités de durcissement.

Les demi-produits réalisés à partir des aciers de référence R1 à R6 ont été laminés pour fabriquer des tôles laminées à chaud dans des conditions de

25 fabrication identiques à celles de l'acier I3a du tableau 2. Les propriétés obtenues sur ces tôles sont portées au tableau 4.

Repère	Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At (%)	Densité
R1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,2
R2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,44
R3	n.d.	450	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>	6,48
R4	725	786	<u>0,6</u>	<u>0,6</u>	6,67
R5	596	687	<u>2,7</u>	<u>2,7</u>	6,9
R6	853	891	<u>0,7</u>	<u>0,7</u>	6,7

Tableau 4 : Propriétés mécaniques des tôles laminées à chaud obtenues à partir des aciers R1 à R6.

I= Selon l'invention. R= référence n.d.= non déterminé

Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.

5 L'acier R1 possède une teneur insuffisante en titane ce qui conduit à une teneur en carbone en solution solide trop importante : l'aptitude au pliage est alors réduite.

L'acier R2 possède une teneur en aluminium insuffisante ce qui ne permet pas d'obtenir une densité inférieure à 7,3.

10 Les aciers R3, R4, R5 et R6 contiennent une teneur trop importante en aluminium et éventuellement en carbone : leur ductilité est réduite en raison de la précipitation excessive de phases intermétalliques ou de carbures

15

Exemple 2 : Tôles laminées à froid et recuites

A partir des tôles d'aciers laminées à chaud I1-a et I3-a (selon l'invention) et
 20 I1-c et I-3b (ne satisfaisant pas aux conditions de l'invention), on a effectué un laminage à froid avec une réduction de 75% pour obtenir des tôles de 0,9mm d'épaisseur environ. L'aptitude au laminage à froid a été relevée durant cette étape. On a ensuite effectué un recuit caractérisé par une vitesse de chauffage $V_c=10^\circ\text{C/s}$. Les températures de recuit T' et les vitesses de
 25 refroidissement V_R ont été portées au tableau 5. Dans ces conditions, le recuit entraîne une recristallisation complète.

A partir d'une même tôle laminée à chaud, certains aciers ont fait l'objet de différentes conditions de laminage à froid et de recuit. Les références I3a1,

I3a2, I3a3, I3a4, désignent par exemple quatre tôles d'aciers fabriquées selon des conditions différentes de laminage à froid et de recuit à partir de la tôle laminée à chaud I3a.

Repère		Aptitude au laminage à froid	T'	V _R
I1a1	I	Satisfaisante	900°C	13°C/s
I1a2	R	satisfaisante	900°C	<u>150°C/s</u>
<u>I1c1</u>	R	satisfaisante	900°C	13°C/s
I3a1	I	Satisfaisante	800°C	13°C/s
<u>I3a2</u>	R	Satisfaisante	800°C	<u>150°C/s</u>
<u>I3a3</u>	R	Satisfaisante	<u>900°C</u>	13°C/s
<u>I3a4</u>	R	Satisfaisante	<u>900°C</u>	<u>150°C/s</u>
<u>I3b</u>	R	<u>Non satisfaisante</u> (fissures en sens travers)		

5 Tableau 5 : Conditions de fabrication des tôles laminées à froid et recuites

I= Selon l'invention. R= référence

Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.

10 Le tableau 6 présente certaines caractéristiques mécaniques, chimiques, microstructurales et de densité des tôles du tableau 5. On a ainsi mesuré par des essais de traction en sens travers par rapport au laminage, la limite d'élasticité Re, la résistance Rm, l'allongement uniforme A_u, l'allongement à rupture A_t. Au moyen d'observations par microscopie électronique à balayage, on a relevé la présence éventuelle de facettes de clivage sur les surfaces de rupture des éprouvettes d'essais.

15 La teneur en carbone C_{sol} en solution solide a été également mesurée. L'aptitude au pliage et à l'emboutissage ont été évaluées. On a également relevé la présence éventuelle de chiffonnage consécutif aux déformations.

20 La microstructure de ces tôles recristallisées est constituée de ferrite équiaxe dont la taille moyenne de grain d_α a été mesurée dans le sens transverse du laminage. On a également mesuré le taux de recouvrement f des joints de

grains ferritiques par une précipitation κ , au moyen du logiciel d'analyses d'images Aphelion™.

Repère		Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At (%)	Mode de rupture	d_a	C_{sol} (%)	f (%)	Chiffonnage	Aptitude au pliage et à l'embouti- -ssage	Densité
I1a1	I	390	497	18	31	Ductile	27	0,002	0	Non	Oui	7,05
<u>I1a2</u>	R	405	510	17	29	<u>Ductile/fragile</u>	27	<u>0,005</u>	0	n.d.	Oui	7,05
<u>I1c1</u>	R	437	552	13,8	25	Ductile	<u>53</u>	n.d.	n.d.	<u>Oui</u>	<u>Non</u>	7,05
I3a1	I	531	633	16,5	28,8	Ductile	11	0,003	2	Non	Oui	7,07
<u>I3a2</u>	R	532	627	13,8	19	<u>Ductile/fragile</u>	11	<u>0,010</u>	0	Non	n.d.	7,07
<u>I3a3</u>	R	513	612	13	14	<u>Ductile/fragile</u>	12	n.d.	<u>60</u>	n.d.	<u>Non</u>	7,07
<u>I3a4</u>	R	613	687	12,8	16	<u>Fragile</u>	12	<u>0,060</u>	17	n.d.	<u>Non</u>	7,07

Tableau 6 : Propriétés mécaniques des tôles laminées à froid et recuites

5 obtenues à partir des aciers I1 et I3.

I= Selon l'invention. R= référence. N.d. : non déterminé

Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.

10 Les tôles d'aciers I1a1 et I3a1 présentent une teneur en carbone en solution solide, une taille de grain équiaxe ferritique et un taux de recouvrement f des joints de grains qui satisfont aux conditions de l'invention. Par suite, l'aptitude au pliage, à l'emboutissage, la résistance au chiffonnage de ces tôles, est élevée.

La figure 4 illustre la microstructure de la tôle d'acier I1a1 selon l'invention.

15 La figure 5 illustre la microstructure d'une autre tôle d'acier selon l'invention, I3a1 : on note la présence de précipités κ dont une faible quantité seulement est présente sous forme intergranulaire, ce qui permet de conserver une ductilité élevée.

20 En comparaison, la tôle d'acier I1a2 a été refroidie à une vitesse trop importante après recuit : le carbone est alors totalement en solution solide, ce qui entraîne une réduction de ductilité de la matrice se traduisant par la présence locale de plages fragiles sur les facies de rupture. De même, la tôle I3a2 a été refroidie à une vitesse trop importante et conduit également à une teneur excessive en solution solide.

La figure 6 illustre la microstructure de la tôle I3a3 : celle-ci a été recuite à une température T' trop importante : les précipités κ présents avant le recuit ont été dissous, leur précipitation ultérieure au refroidissement est intervenue sous une forme intergranulaire en quantité excessive. Ceci se traduit par la présence locale de plages fragiles sur les facies de rupture.

La tôle I3a4 a été également recuite à une température qui entraîne une dissolution partielle des précipités κ . La teneur en carbone en solution solide est excessive.

La tôle d'acier I1c1 a été fabriquée à partir d'une tôle laminée à chaud ne satisfaisant pas aux conditions de l'invention : la taille de grain équiaxe est trop importante, la résistance au chiffonnage et l'aptitude à l'emboutissage sont insuffisantes.

La tôle I3b laminée à chaud, ne satisfaisant pas aux critères de l'invention, n'est pas apte à la déformation puisque des fissures transversales apparaissent lors du laminage à froid.

Des essais de soudabilité par résistance par points ont été effectués sur la tôle d'acier I1a1, soit en soudage homogène (soudage de deux tôles de même composition) soit en soudage hétérogène (soudage avec une tôle d'acier sans interstitiel de composition, exprimée en pourcentage pondéral : 0,002%C, 0,01%Si, 0,15%Mn, 0,04%Al, 0,015%Nb, 0.026%Ti) Les examens montrent que les joints soudés sont exempts de défauts.

Dans le cas de traitement thermique ultérieur des joints soudés, l'addition de 0,096%Ti garantit l'absence de carbone en solution solide en zone affectée par la chaleur.

Les aciers selon l'invention présentent une bonne aptitude à la galvanisation en continu, en particulier, lors d'un cycle de recuit à 800°C avec une température de point de rosée supérieure à -20°C.

Les aciers selon l'invention présentent donc une combinaison de propriétés (densité, une résistance mécanique, aptitude à la déformation, soudabilité, revêtabilité) particulièrement intéressante. Ces tôles d'aciers sont utilisées avec profit pour la fabrication de pièces de peau ou de structure dans le domaine automobile.

REVENDICATIONS

- 1 Tôle ferritique laminée à chaud en acier dont la composition comprend,
5 les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,001 \leq C \leq 0,15\%$$

$$Mn \leq 1\%$$

$$Si \leq 1,5\%$$

$$6\% \leq Al \leq 10\%$$

10 $0,020\% \leq Ti \leq 0,5\%$

$$S \leq 0,050\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

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

$$Cr \leq 1\%$$

15 $Mo \leq 1\%$

$$Ni \leq 1\%$$

$$Nb \leq 0,1\%$$

$$V \leq 0,2\%,$$

$$B \leq 0,010\%$$

- 20 le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration,

la taille moyenne de grain de ferrite d_V mesurée sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage étant inférieure à 100 micromètres, ladite tôle comprenant une précipitation de
25 précipités kappa et de carbures TiC

- 2 Tôle ferritique laminée à froid et recuite en acier de composition selon la revendication 1, caractérisée en ce que sa structure est constituée de ferrite équiaxe dont la taille moyenne de grain d_a est inférieure à 50
30 micromètres, et en ce que la fraction linéaire f de précipités κ intergranulaires

est inférieure à 30%, ladite fraction linéaire f étant définie par : $f = \frac{\sum_{(S)} d_i}{\sum_{(S)} L_i}$

FEUILLE MODIFIÉE

, $\sum_{(S)} di$ désignant la longueur totale des joints de grains comportant des précipités κ relativement à une surface (S) considérée, $\sum_{(S)} Li$ désignant la longueur totale des joints de grains relativement à ladite surface (S) considérée

- 5 3 Tôle en acier selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que sa composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids

$$0,001 \% \leq C \leq 0,010\%$$

$$Mn \leq 0,2\%$$

10

- 4 Tôle en acier selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que sa composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids

$$0,010 \% < C \leq 0,15\%$$

$$0,2\% < Mn \leq 1\%$$

15

- 5 Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que sa composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$7,5 \% \leq Al \leq 10\%$$

20

- 6 Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que sa composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$7,5 \% \leq Al \leq 8,5\%$$

25

- 7 Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que la teneur en carbone en solution solide est inférieure à 0,005% en poids

30

- 8 Tôle en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que sa résistance R_m est supérieure ou égale à 400MPa
- 9 Tôle en acier selon la revendication 4, caractérisée en ce que sa
5 résistance R_m est supérieure ou égale à 600MPa
- 10 Procédé de fabrication d'une tôle d'acier laminée à chaud selon lequel :
- On approvisionne un acier de composition selon l'une quelconque des revendications 1 à 6
 - 10 - On coule ledit acier sous forme de demi-produit, puis
 - On porte ledit demi-produit à une température supérieure ou égale à 1150°C, puis
 - On lamine à chaud ledit demi-produit pour obtenir une tôle, grâce à au moins deux étapes de laminage effectuées à des températures
15 supérieures à 1050°C, le taux de réduction de chacune desdites au moins deux étapes étant supérieur ou égal à 30%, le temps s'écoulant entre chacune desdites au moins deux étapes de laminage, et l'étape de laminage suivante, étant supérieur ou égal à 10 s, puis
 - on achève le laminage à une température T_{FL} supérieure ou égale à
20 900°C, puis
 - on refroidit ladite tôle de telle sorte que l'intervalle de temps t_p s'écoulant entre 850 et 700°C soit supérieur à 3 s, pour obtenir une précipitation de précipités κ , puis
 - on bobine ladite tôle à une température T_{bob} comprise entre 500 et
25 700°C
- 11 Procédé de fabrication d'une tôle laminée à chaud selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite coulée est effectuée directement sous forme de coulée de brames minces ou de bandes
30 minces entre cylindres contra-rotatifs
- 12 Procédé de fabrication d'une tôle en acier laminée à froid et recuite selon lequel :

- On approvisionne une tôle d'acier laminée à chaud fabriquée selon la revendication 10 ou 11, puis
- On lamine à froid ladite tôle avec un taux de réduction compris entre 30 et 90%, de façon à obtenir une tôle laminée à froid, puis
- 5 - On chauffe ladite tôle laminée à froid à une température T' avec une vitesse V_c supérieure à 3°C/s , puis
- On refroidit ladite tôle à une vitesse V_R inférieure à 100°C/s
- ladite température T' et ladite vitesse V_R étant choisies de façon à obtenir une recristallisation complète, une fraction linéaire f de
- 10 précipités κ intergranulaires inférieure à 30% et une teneur en carbone en solution solide inférieure à 0,005% en poids

13 Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on chauffe ladite tôle laminée à froid à une température T' comprise

15 entre 750 et 950°C

14 Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on approvisionne une tôle de composition selon la revendication 4 et en ce qu'on chauffe ladite tôle laminée à froid à une température T'

20 choisie de façon à éviter la dissolution de précipités κ

15 Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'on approvisionne une tôle de composition selon la revendication 4 et en ce qu'on chauffe ladite tôle laminée à froid à une température T'

25 comprise entre 750 et 800°C

16 Utilisation de tôles d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, ou fabriquées selon l'une quelconque des revendications 10 à 15 pour la fabrication de pièces de peau ou de pièces structurales dans le

30 domaine automobile

1/3

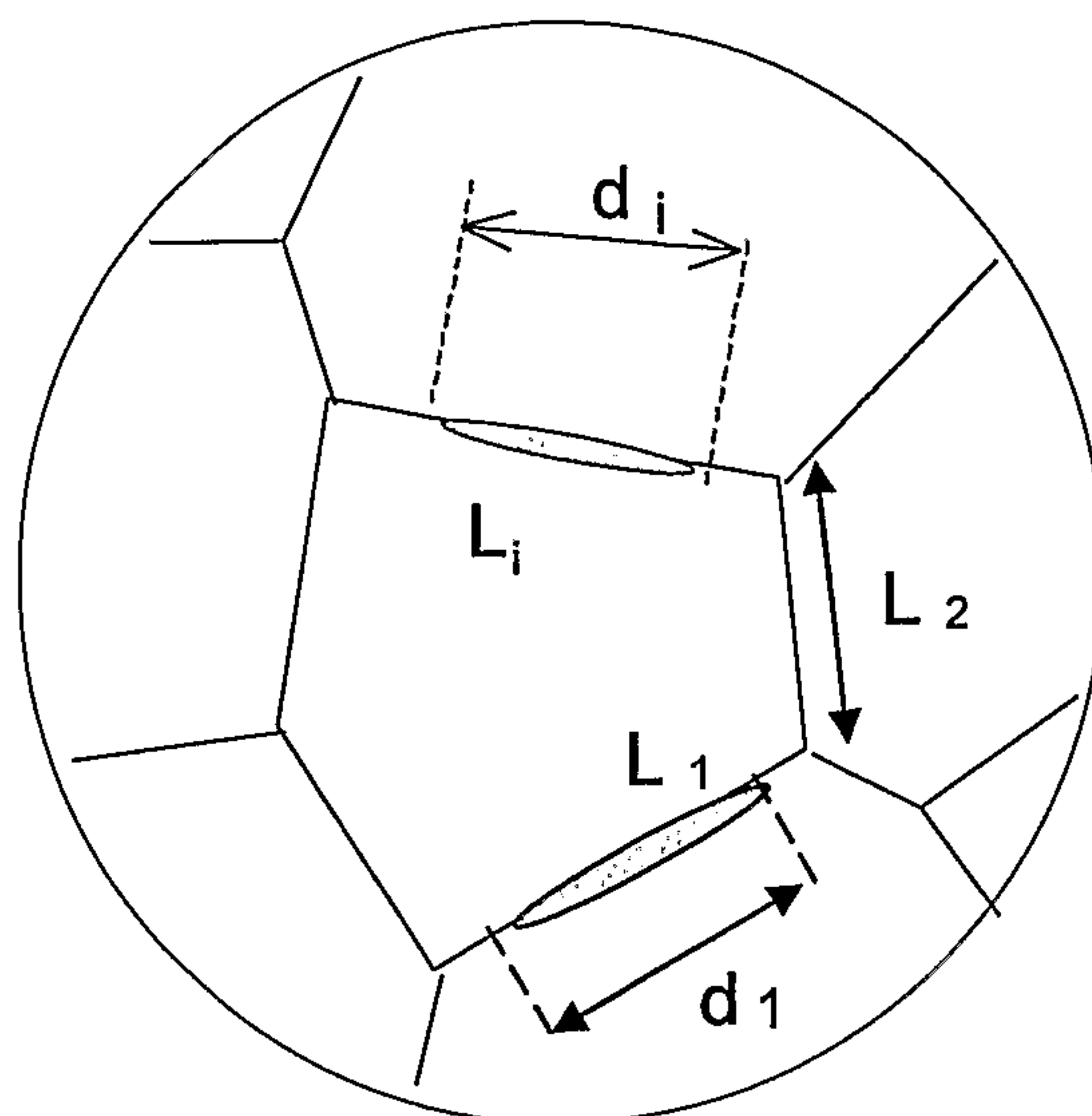


Figure 1

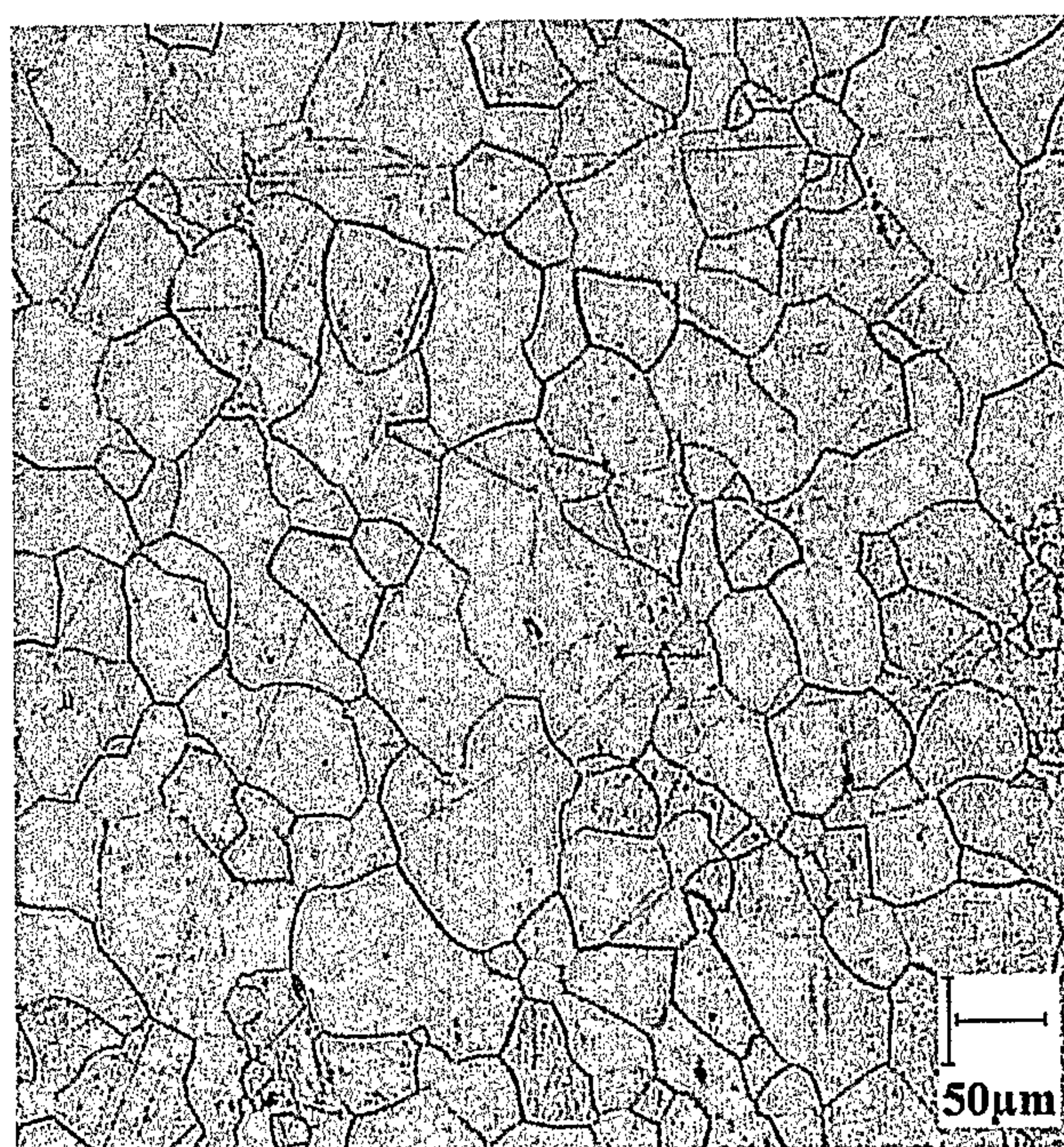


Figure 2

2/3

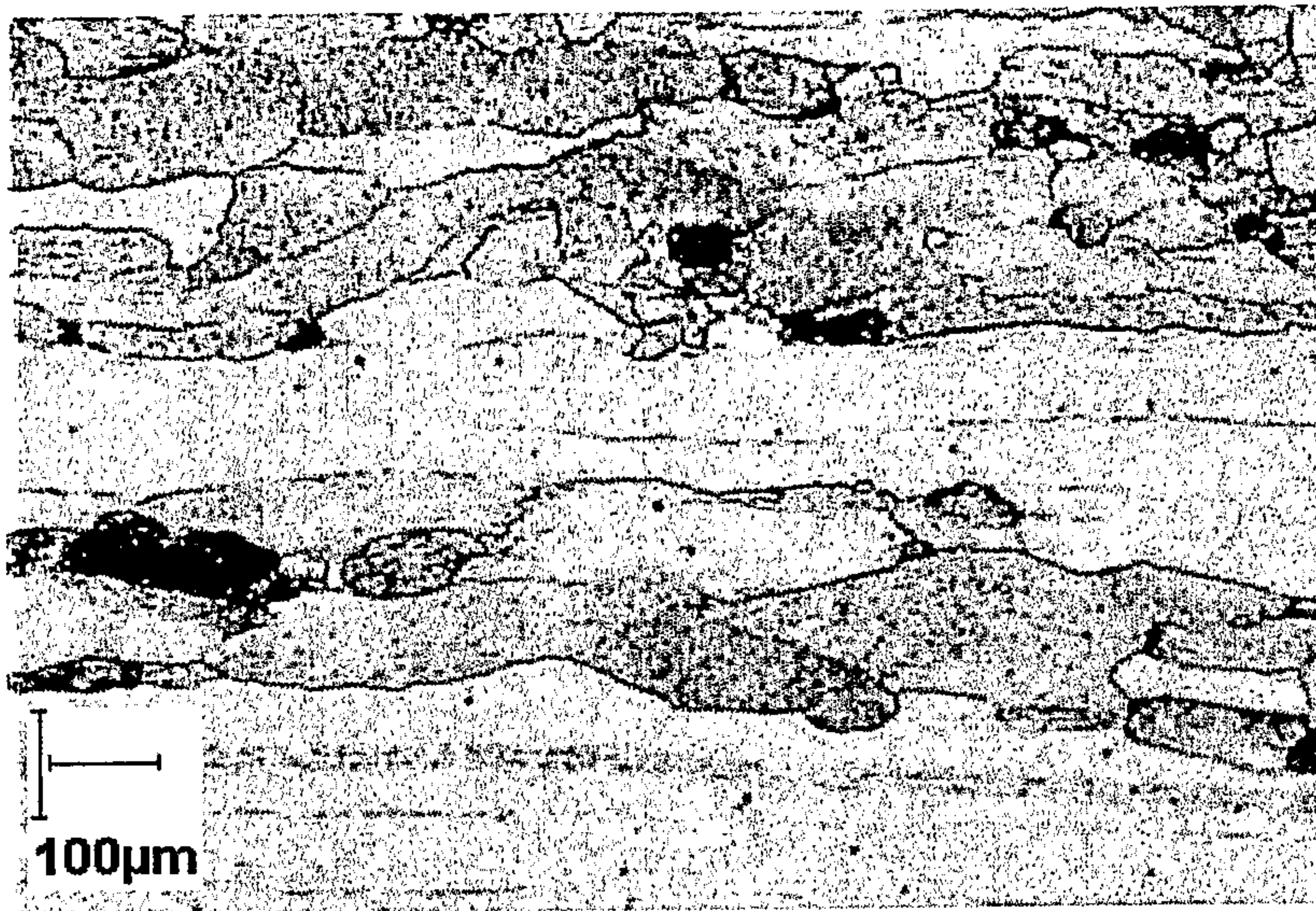


Figure 3

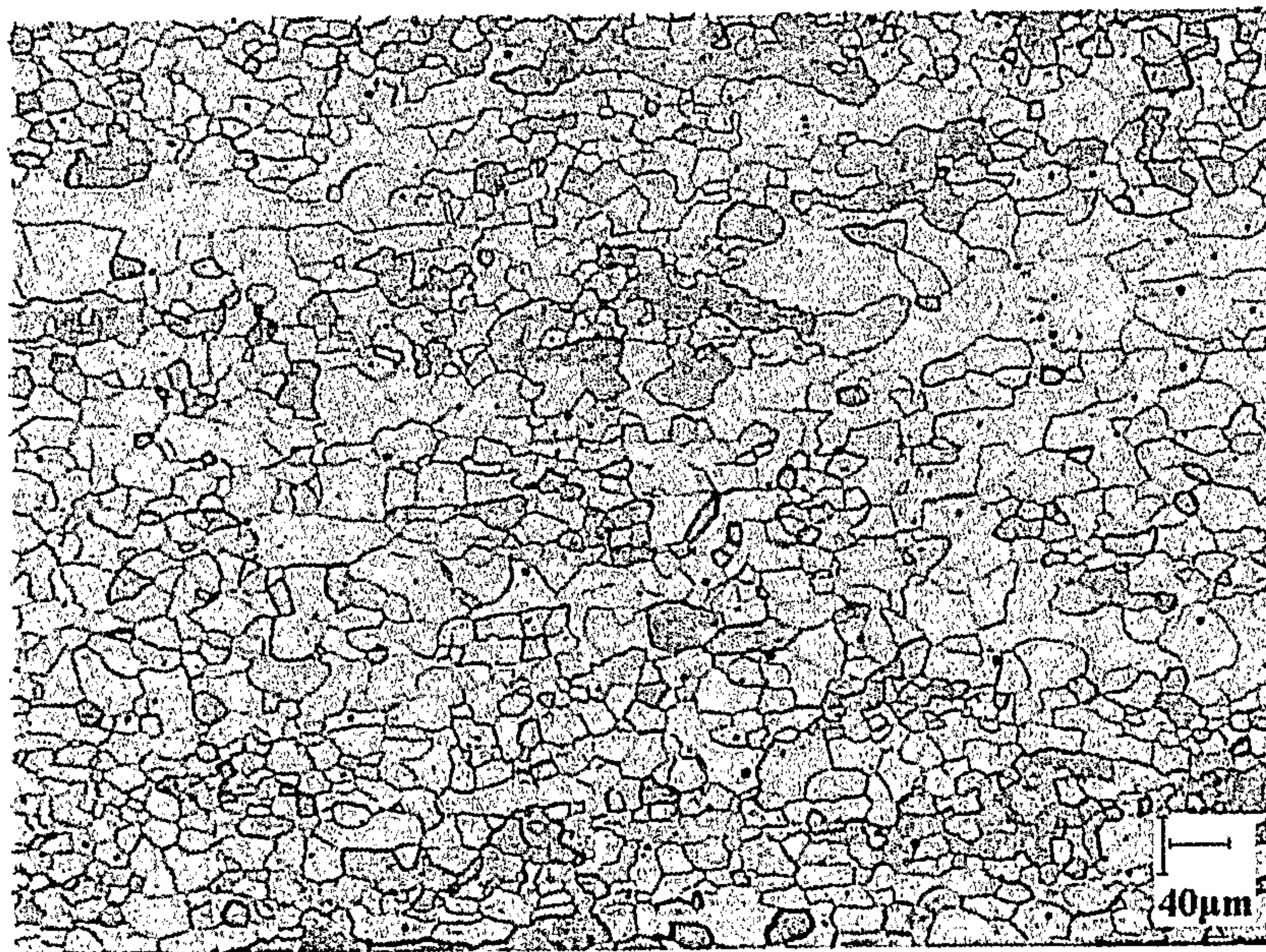


Figure 4

3/3

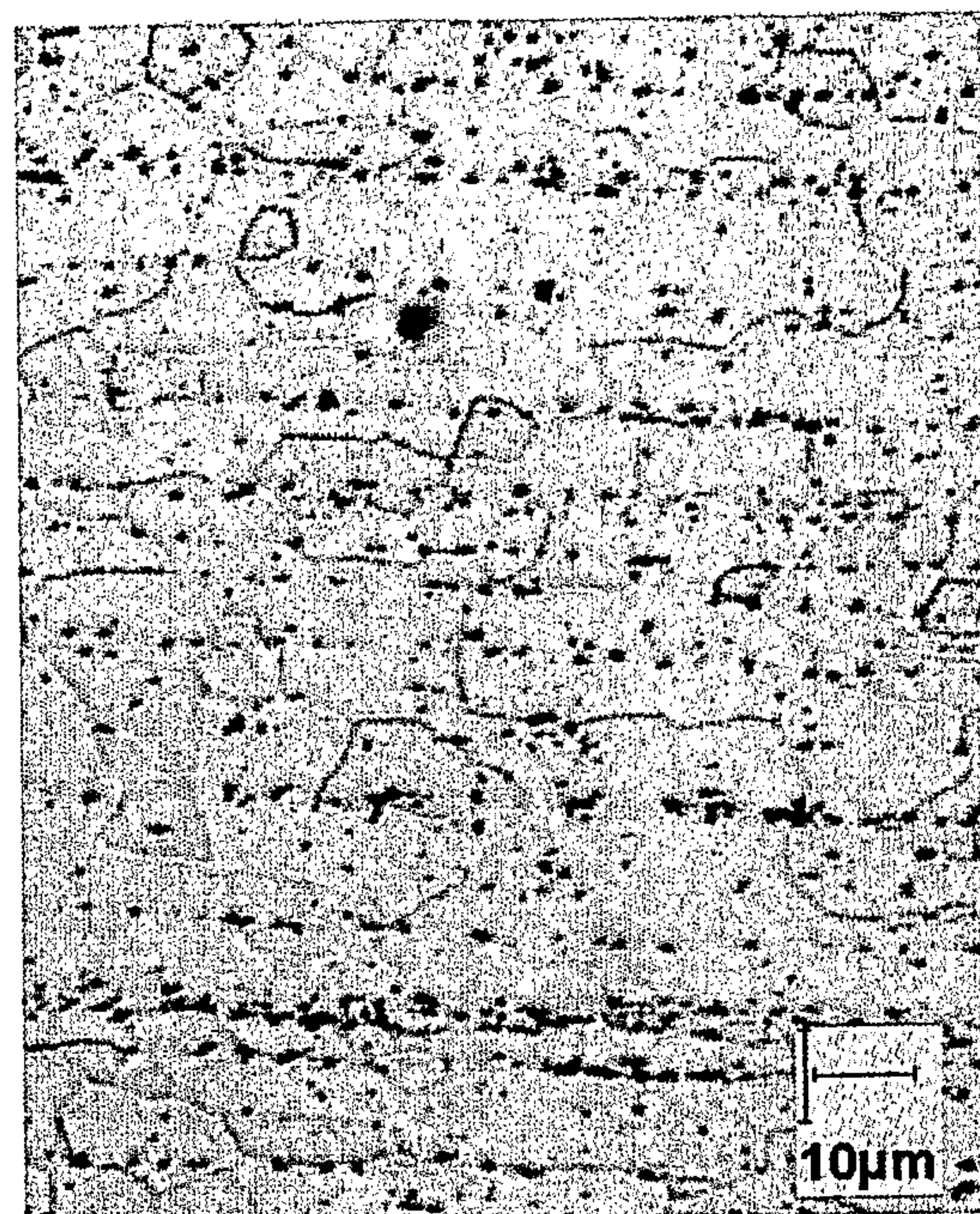


Figure 5

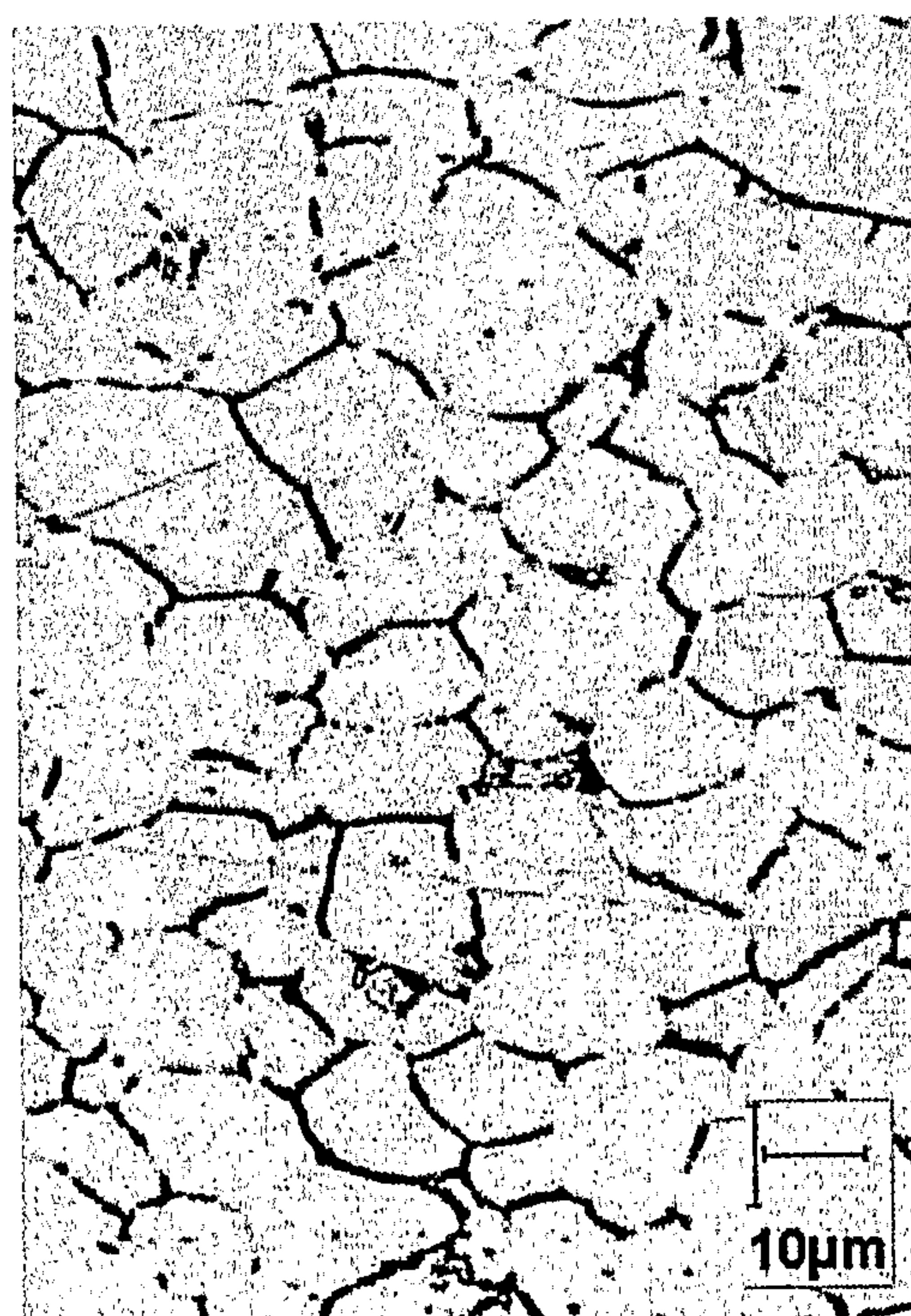


Figure 6