



(11) **EP 2 155 916 B2**

(12) **NOUVEAU FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**
Après la procédure d'opposition

- (45) Date de publication et mention de la décision concernant l'opposition:
11.03.2015 Bulletin 2015/11
- (45) Mention de la délivrance du brevet:
01.12.2010 Bulletin 2010/48
- (21) Numéro de dépôt: **08805524.9**
- (22) Date de dépôt: **29.04.2008**
- (51) 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)
- (86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2008/000610
- (87) Numéro de publication internationale:
WO 2008/145872 (04.12.2008 Gazette 2008/49)

(54) **ACIER A FAIBLE DENSITE PRESENTANT UNE BONNE APTITUDE A L'EMBOUTISSAGE**
STAHL VON GERINGER DICHTTE MIT GUTEN PRÄGEEIGENSCHAFTEN
LOW DENSITY STEEL WITH GOOD STAMPING CAPABILITY

- | | |
|--|--|
| <p>(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR</p> <p>(30) Priorité: 16.05.2007 EP 07290624</p> <p>(43) Date de publication de la demande:
24.02.2010 Bulletin 2010/08</p> <p>(73) Titulaire: ArcelorMittal France
93200 Saint Denis (FR)</p> <p>(72) Inventeurs:
• PERLADE, Astrid
F-57950 Montigny Les Metz (FR)
• GARAT, Xavier
F-54310 Homecourt (FR)
• URIARTE, Jean-Louis
F-57000 Metz (FR)
• BOUAZIZ, Olivier
F-57000 Metz (FR)
• DRILLET, Josée
F-57160 Rozerieulles (FR)</p> | <p>(74) Mandataire: Domenego, Bertrand et al
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)</p> <p>(56) Documents cités:
EP-A- 0 826 787 WO-A-03/076673
GB-A- 1 044 801 JP-A- 4 056 748
JP-A- 2001 271 148</p> <ul style="list-style-type: none">• SCHNEIDER ANDRE ET AL: "Iron Aluminium Alloys with Strengthening Carbides and Intermetallic Phases for High-Temperature Applications" STEEL RESEARCH INTERNATIONAL, VERLAG STAHLSEISEN GMBH., DUSSELDORF, DE, vol. 75, no. 1, janvier 2004 (2004-01), pages 55-61, XP009093993 ISSN: 1611-3683• U. BRÜX ET AL.: 'Light-weight steels based on iron-aluminium - influence of micro alloying elements (B, Ti, Nb) on microstructures, textures and mechanical properties' STEEL RESEARCH vol. 73, no. 12, 2002, pages 543 - 548• 'Max-Planck-Gesellschaft Jahrbuch', Décembre 2003, K. G. SAUR VERLAG GMBH, MÜNCHEN pages 1 - 8 |
|--|--|

EP 2 155 916 B2

Description

[0001] 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.

[0002] La diminution de la quantité de CO₂ émis par les véhicules automobiles passe notamment par l'allègement des véhicules automobiles. Cet 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.
- 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 réduire la densité des aciers (comme les aciers divulgués dans GB-A-1 044 801, JP-A-2001-271 148 ou JP-A-04-056 748): 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.

[0003] Cependant, la teneur en silicium relativement élevée de ces aciers peut poser dans certains cas des problèmes de revêtabilité et de ductilité.

[0004] 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 précipitation de phases carburées peut augmenter la fragilité. L'utilisation de tels aciers pour la fabrication de pièces structurales est alors impossible.

[0005] 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
- une bonne aptitude à la déformation, en particulier au laminage et une excellente résistance au chiffonnage,
- une bonne soudabilité et une bonne revêtabilité

[0006] Le but de l'invention est également de proposer un procédé de fabrication compatible avec les installations industrielles usuelles.

[0007] 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 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, 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.

[0008] L'invention a également pour objet une tôle ferritique laminée à froid et recuite obtenue à partir d'une tôle laminée à chaud 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 :
$$f = \frac{\sum_{(S)} di}{\sum_{(S)} Li}$$
 , $\sum_{(S)} di$ 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 la surface (S) considérée.

[0009] Selon un mode particulier, la composition comprend : $0,001\% \leq C \leq 0,010\%$, $Mn \leq 0,2\%$.

[0010] Selon un mode préféré, la composition comprend : $0,010\% < C \leq 0,15\%$, $0,2\% < Mn \leq 1\%$.

[0011] Préférentiellement, la composition comprend : $7,5\% \leq Al \leq 10\%$.

[0012] Très préférentiellement, la composition comprend : $7,5\% \leq Al \leq 8,5\%$.

[0013] La teneur en carbone en solution solide est préférentiellement inférieure à 0,005% en poids.

[0014] Selon un mode préféré, la résistance de la tôle est supérieure ou égale à 400MPa.

[0015] 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 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 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 la tôle à une température T_{bob} comprise entre 500 et 700°C.

[0016] Selon un mode particulier, la coulée est effectuée directement sous forme de brames minces ou de bandes minces entre cylindres contra-rotatifs.

[0017] 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 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 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.

[0018] On chauffe préférentiellement la tôle laminée à froid à une température T' comprise entre 750 et 950°C.

[0019] 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 .

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] 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 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 microstructure ferritique à température ambiante. Différents modes particuliers de l'invention peuvent être mis en oeuvre, 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 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 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.

[0025] 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%.

[0026] 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.

[0027] Le reste de la composition est constitué de fer et des impuretés inévitables qui résultent de l'élaboration.

[0028] 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 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.

[0029] 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.

[0030] 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 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 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 $d_1, \dots, d_i$. 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 :

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

5

10 $\sum_{(S)} di$ 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.

15 **[0031]** L'expression f traduit donc le taux de recouvrement des joints de grains ferritiques par une précipitation κ .

[0032] 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. La mise en oeuvre 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.

[0033] 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.

35 **[0034]** 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.

[0035] 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 laminage. 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 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 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 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

EP 2 155 916 B2

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.

[0036] 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 1,5mm, 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.

[0037] 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.

[0038] 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%.

[0039] On choisira préférentiellement une température T' comprise entre 750 et 950°C pour obtenir une recristallisation complète.

[0040] 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.

[0041] A titre d'exemple non limitatif, les résultats suivants vont montrer les caractéristiques avantageuses conférées par l'invention.

Exemple 1: Tôles laminées à chaud

[0042] 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.

Tableau 1 Compositions d'aciers (% poids). I= Selon l'invention. R= référence Valeurs soulignées : Non conforme à l'invention.

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	-

EP 2 155 916 B2

(suite)

Repère	C	Si	Mn	Al	Ti	Cr	Mo	Ni	S	P	Nb
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	-

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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}

Tableau 2 : Conditions de fabrication lors du laminage à chaud

Repère		N	N_i	$t_i(s)$	TFL (°C)	$t_p(s)$	Tbob (°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 0	<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
I= Selon l'invention. R= référence Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.							

[0046] 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_f . On a également mesuré la taille de grains d_{IV} par la méthode des intercepts linéaires selon la 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.

Tableau 3 : Propriétés des tôles laminées à chaud obtenues à partir des aciers I1 et I3.

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>
I= Selon l'invention. R= référence n.d.= non déterminé Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.						

[0047] 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.

[0048] 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 I3b.

[0049] 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 partiellement, ce qui ne permet pas de tirer le plein parti des possibilités de durcissement.

[0050] 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 fabrication identiques à celles de l'acier I3a du tableau 2. Les propriétés obtenues sur ces tôles sont portées au tableau 4.

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

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.	<u>7,44</u>
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
I= Selon l'invention. R= référence n.d.= non déterminé Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.					

[0051] 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.

[0052] L'acier R2 possède une teneur en aluminium insuffisante ce qui ne permet pas d'obtenir une densité inférieure à 7,3.

[0053] 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

Exemple 2 : Tôles laminées à froid et recuites

[0054] A partir des tôles d'aciers laminées à chaud I1-a et I3-a (selon l'invention) et 11-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 refroidissement V_R ont été portées au tableau 5. Dans ces conditions, le recuit entraîne une recristallisation complète.

[0055] 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.

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

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)		
I= Selon l'invention. R= référence Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.				

[0056] 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 R_e , la résistance R_m , 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.

[0057] 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. 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™.

Tableau 6 : Propriétés mécaniques des tôles laminées à froid et recuites obtenues à partir des aciers I1 et I3.

Repère	Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At(%)	Mode de rupture	d _a	C _{sol} (%)	f (%)	Chiffonnage	Aptitude au pliage et à l'emboutissage	Densité
I1a1	I 390	497	18	31	Ductile	27	0,002	0	Non	Oui	7,05
I1a2	R 405	510	17	29	<u>Ductile/fragile</u>	27	<u>0,005</u>	0	n.d.	Oui	7,05
I1c1	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
I3a2	R 532	627	13,8	19	<u>Ductile/fragile</u>	11	<u>0,010</u>	0	Non	n.d.	7,07
I3a3	R 513	612	13	14	<u>Ductile/fragile</u>	12	n.d.	<u>60</u>	n.d.	<u>Non</u>	7,07
I3a4	R 613	687	12,8	16	<u>Fragile</u>	12	<u>0,060</u>	17	n.d.	<u>Non</u>	7,07
I= Selon l'invention. R= référence. N.d. : non déterminé Valeurs soulignées : Non conformes à l'invention.											

[0058] 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.

[0059] La figure 4 illustre la microstructure de la tôle d'acier I1a1 selon l'invention.

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] 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.

[0066] 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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, 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 parmi :

$$Cr \leq 1\%$$

$$Mo \leq 1\%$$

$$Ni \leq 1\%$$

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

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

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

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration, la taille moyenne de grain de ferrite d_{IV} mesurée sur une surface perpendiculaire à la direction transverse par rapport au laminage étant inférieure à 100 micromètres, ladite tôle comprenant une précipitation de précipités kappa et de carbures TiC

2. Tôle ferritique laminée à froid et recuite obtenue à partir d'une tôle laminée à chaud selon la revendication 1, **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%, ladite

fraction linéaire f étant définie par :
$$f = \frac{\sum_{(S)} di}{\sum_{(S)} Li},$$

$\sum_{(S)} di$ 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

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

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

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

EP 2 155 916 B2

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

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

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

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 :

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

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 :

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

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

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 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
- 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 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 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 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 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
- 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 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 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' 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' 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 domaine automobile

Patentansprüche

1. Warmgewalztes ferritisches Blech aus Stahl, dessen Zusammensetzung, wobei die Gehalte in Gewicht ausgedrückt sind, umfasst:

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

$$Mn \leq 1 \%$$

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

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

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

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

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

und optional ein oder mehrere Elemente, ausgewählt aus:

$$Cr \leq 1 \%$$

$$\text{Mo} \leq 1 \%$$

5

$$\text{Ni} \leq 1 \%$$

10

$$\text{Nb} \leq 0,1 \%$$

15

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

$$\text{B} \leq 0,010 \%$$

20

wobei der Rest der Zusammensetzung aus Eisen und unvermeidlichen Unreinheiten im Ergebnis der Herstellung besteht,

wobei die durchschnittliche Ferritkorngröße d_{IV} , gemessen auf einer Fläche lotrecht zur transversen Richtung im Verhältnis zum Walzen, kleiner als 100 Mikrometer ist, wobei das Blech einen Niederschlag von Kappa- und TiC-Karbid-Präzipitaten umfasst.

25

2. Kaltgewalztes und geglühtes ferritisches Blech, hergestellt aus einem warmgewalzten Blech nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Struktur aus gleichachsigem Ferrit besteht, dessen durchschnittliche Korngröße d_{α} kleiner als 50 Mikrometer ist, und dass die lineare Fraktion f intergranularer Präzipitate k kleiner als 30 %

30

ist, wobei die lineare Fraktion f definiert ist durch $f = \frac{\sum_{(S)} d_l}{\sum_{(S)} L}$,

35

wobei $\sum_{(S)} d_l$ die Gesamtlänge der Kornfugen bezeichnet, die Präzipitate k relativ zu einer betrachteten Fläche (S)

aufweisen, wobei $\sum_{(S)} L$ die Gesamtlänge der Kornfugen relativ zu der betrachteten Fläche (S) bezeichnet.

40

3. Stahlblech nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Zusammensetzung, wobei die Gehalte in Gewicht ausgedrückt sind, umfasst:

$$0,001 \% \leq \text{C} \leq 0,010 \%$$

45

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

50

4. Stahlblech nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Zusammensetzung, wobei die Gehalte in Gewicht ausgedrückt sind, umfasst:

$$0,010 \% < \text{C} \leq 0,15 \%$$

55

$$0,2 \% < \text{Mn} \leq 1 \ \%.$$

- 5 5. Stahlblech nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Zusammensetzung, wobei die Gehalte in Gewicht ausgedrückt sind, umfasst:

$$7,5 \% \leq \text{Al} \leq 10 \ \%.$$

- 10 6. Stahlblech nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Zusammensetzung, wobei die Gehalte in Gewicht ausgedrückt sind, umfasst:

$$7,5 \% \leq \text{Al} \leq 8,5 \ \%.$$

- 20 7. Stahlblech nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kohlenstoffgehalt in fester Lösung kleiner als 0,005 Gew.-% ist.

8. Stahlblech nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Festigkeit R_m größer oder gleich 400 MPa ist.

- 25 9. Stahlblech nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Festigkeit R_m größer oder gleich 600 MPa ist.

10. Herstellungsverfahren eines warmgewalzten Stahlblechs, wobei:

- 30 - ein Stahl in einer Zusammensetzung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 bereitgestellt wird,
 - der Stahl in Form eines Halbfertigprodukts gegossen wird, dann
 - das Halbfertigprodukt auf eine Temperatur über oder gleich 1150 °C gebracht wird, dann
 - das Halbfertigprodukt warmgewalzt wird, um in mindestens zwei Walzschritten, die bei Temperaturen über 1050 °C durchgeführt werden, ein Blech zu erhalten, wobei der Reduktionsgrad bei jedem der mindestens zwei Schritte über oder gleich 30 % ist, wobei die Zeit, die zwischen jedem der mindestens zwei Walzschriffe und dem nächsten Walzschrift vergeht, über oder gleich 10 s ist, dann
 35 - das Walzen bei einer Temperatur T_{FL} über oder gleich 900 °C beendet wird, dann
 - das Blech derart abgekühlt wird, dass das Zeitintervall t_p , das zwischen 850 und 700 °C vergeht, über 3 s ist, um einen Niederschlag von Präzipitaten k zu erhalten, dann
 - das Blech bei einer Temperatur T_{bob} zwischen 500 und 700 °C aufgespult wird.

- 40 11. Herstellungsverfahren eines warmgewalzten Stahlblechs nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstich direkt in Form eines Gusses schlanker Brammen oder schlanker Bänder zwischen gegendrehende Zylinder durchgeführt wird.

- 45 12. Herstellungsverfahren eines kaltgewalzten und geglühten Stahlblechs, wobei:

- ein warmgewalztes Stahlblech, das nach Anspruch 10 oder 11 hergestellt ist, bereitgestellt wird, dann
 - das Blech mit einem Reduktionsgrad zwischen 30 und 90 % derart kaltgewalzt wird, dass ein Kaltwalzblech entsteht, dann
 50 - das kaltgewalzte Blech auf eine Temperatur T' mit einer Geschwindigkeit V_c über 3 °C/s erwärmt wird, dann
 - das Blech mit einer Geschwindigkeit V_R unter 100 °C/s abgekühlt wird,
 - wobei die Temperatur T' und die Geschwindigkeit V_R derart ausgewählt sind, dass eine vollständige Rekristallisierung, eine lineare Fraktion f intergranularer Präzipitate k unter 30 % und ein Kohlenstoffgehalt in fester Lösung unter 0,005 Gew.-% erreicht wird.

- 55 13. Herstellungsverfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgewalzte Blech auf eine Temperatur T' zwischen 750 und 950 °C inklusive erwärmt wird.

14. Herstellungsverfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Blech mit einer Zusammensetzung nach Anspruch 4 bereitgestellt wird und dass das kaltgewalzte Blech auf eine Temperatur T' erwärmt wird, die derart ausgewählt ist, dass die Auflösung von Präzipitaten k vermieden wird.

15. Herstellungsverfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Blech mit einer Zusammensetzung nach Anspruch 4 bereitgestellt wird und dass das kaltgewalzte Blech auf eine Temperatur T' zwischen 750 und 800 °C inklusive erwärmt wird.

16. Verwendung von Stahlblechen nach einem der Ansprüche 1 bis 9 oder hergestellt nach einem der Ansprüche 10 bis 15 für die Herstellung von Haut- oder Strukturteilen auf dem Gebiet von Kraftfahrzeugen.

Claims

1. Hot-rolled ferritic steel sheet, the composition of which contains, the contents being expressed by weight,

$$0.001 \leq C \leq 0.15\%$$

$$Mn \leq 1\%$$

$$Si \leq 1.5\%$$

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

$$0.020\% \leq Ti \leq 0.5\%$$

$$S \leq 0.050\%$$

$$P \leq 0.1\%$$

and, optionally, one or several elements selected from:

$$Cr \leq 1\%$$

$$Mo \leq 1\%$$

$$Ni \leq 1\%$$

$$Nb \leq 0.1\%$$

$$V \leq 0.2\%$$

5

$$B \leq 0.010\%$$

10

the remainder of the composition consisting of iron and inevitable impurities resulting from the smelting, the average ferrite grain size d_{IV} measured on a surface perpendicular to the transverse direction with respect to the rolling direction being less than 100 micrometers, said sheet comprising a precipitation of kappa precipitates and TiC carbides.

15

2. Cold-rolled and annealed ferritic steel sheet obtained up from a hot-rolled steel sheet according to claim 1, **characterized in that** structure consists of equiaxed ferrite, the average grain size d_α of which is less than 50 micrometers, and **in that** the linear fraction f of intergranular κ precipitates is less than 30%, said linear fraction f being defined

20

$$\text{by: } f = \frac{\sum_A di}{\sum_A Li},$$

25

$\sum_A di$ denoting the total length of the grain boundaries including κ precipitates relatively to an area (A) in question, $\sum_A Li$ referring to the total length of the grain boundaries relatively to said area (A) in question.

30

3. Steel sheet according to claim 1 or 2, **characterized in that** its composition comprises, the contents being expressed by weight,

$$0.001\% \leq C \leq 0.010\%$$

35

$$Mn \leq 0.2\%.$$

40

4. Steel sheet according to claim 1 or 2, **characterized in that** its composition comprises, the contents being expressed by weight,

$$0.010\% \leq C \leq 0.015\%$$

45

$$0.2\% < Mn \leq 1\%.$$

50

5. Steel sheet according to any of claims 1 to 4, **characterized in that** its composition comprises, the contents being expressed by weight,

$$7.5\% \leq Al \leq 10\%.$$

55

6. Steel sheet according to any of claims 1 to 4, **characterized in that** its composition comprises, the contents being expressed by weight,

$$7.5\% \leq \text{Al} \leq 8.5\%.$$

- 5 7. Steel sheet according to any of claims 1 to 6, **characterized in that** the carbon content in solid solution is less than 0.005% by weight.
8. Steel sheet according to any of claims 1 to 7, characterizing that its strength R_m is greater than or equal to 400 MPa.
- 10 9. Steel sheet according to claim 4, **characterized in that** its strength R_m is greater than or equal to 600 MPa.
10. Process for manufacturing a hot-rolled steel sheet, wherein
- a steel with a composition according to any of claims 1 to 6 is supplied,
 - 15 - said steel is cast in the form of a semi-finished product; then
 - said semi-finished product is brought to a temperature greater than or equal to 1,150°C; then
 - said semi-finished product is hot-rolled so as to obtain a sheet, by means of at least two rolling steps carried out at temperatures above 1,050°C, the reduction rate of each of said at least two steps being greater than or equal to 30%, the time elapsed between each of said at least two rolling steps, and the following rolling step,
 - 20 being greater than or equal to 10 s, and then
 - rolling is completed at a temperature T_{ER} greater than or equal to 900°C, and then
 - said sheet is cooled so that the time interval t_p elapsed between 850 and 700°C is more than 3 s, so as to obtain a precipitation of κ precipitates, and then
 - said sheet is coiled at a temperature T_{coil} comprised between 500 and 700°C.
- 25 11. The method for manufacturing a hot-rolled sheet according to claim 10, **characterized in that** said casting is directly carried out as a casting of thin slabs or thin strips between counter-rotating cylinders.
12. A method for manufacturing a cold-rolled and annealed steel sheet, wherein
- a hot-rolled steel sheet manufactured according to claim 10 or 11 is supplied;
 - 30 then
 - said sheet is cold-rolled with a reduction rate comprised between 30 and 90%, so as to obtain a cold-rolled sheet; then
 - 35 - said cold-rolled sheet is heated to a temperature T' with a rate V_h of more than 3°C/s, and then
 - said sheet is cooled at a rate V_C of less than 100°C/s
 - said temperature T' and said rate V_C being selected so as to obtain complete recrystallization, a linear fraction of intergranular κ precipitates of less than 30% and a carbon content in solid solution of less than 0.005% by weight.
- 40 13. The manufacturing method according to claim 12, **characterized in that** said cold-rolled sheet is heated to a temperature T' comprised between 750 and 950°C.
14. The manufacturing method according to claim 12, **characterized in that** a sheet with a composition according to claim 4 is supplied and **in that** said cold-rolled sheet is heated to a temperature T' selected so as to avoid dissolution of κ precipitates.
- 45 15. The manufacturing method according to claim 12, **characterized in that** a sheet with a composition according to claim 4 is supplied and **in that** said cold-rolled sheet is heated to a temperature T' comprised between 750 and 800°C.
- 50 16. The use of steel sheets according to any of claims 1 to 9, or manufactured according to any of claims 10 to 15 for manufacturing skin parts or structural parts in the automotive field.
- 55

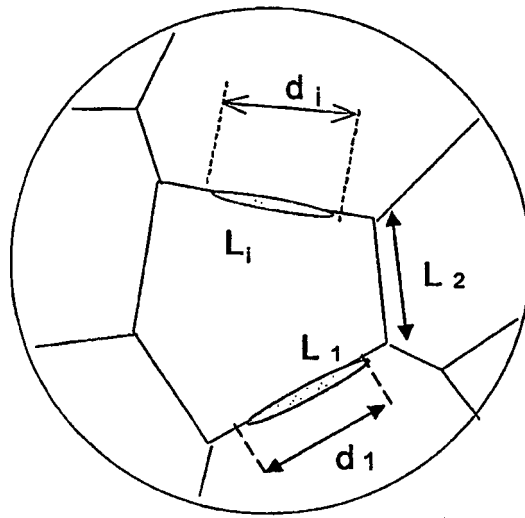


Figure 1

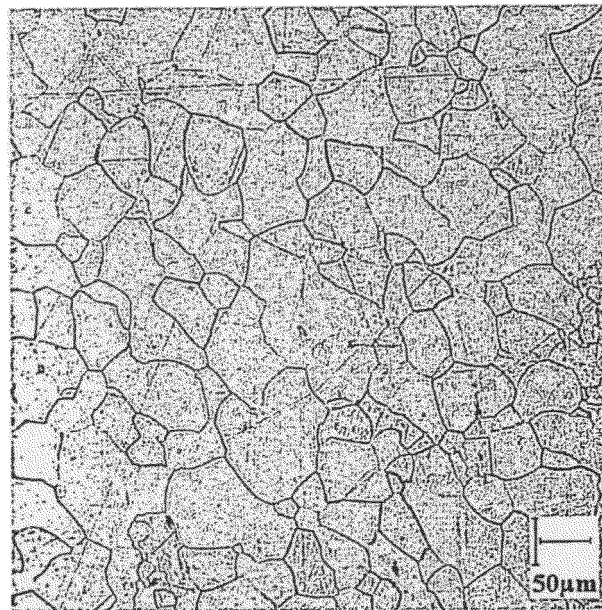


Figure 2

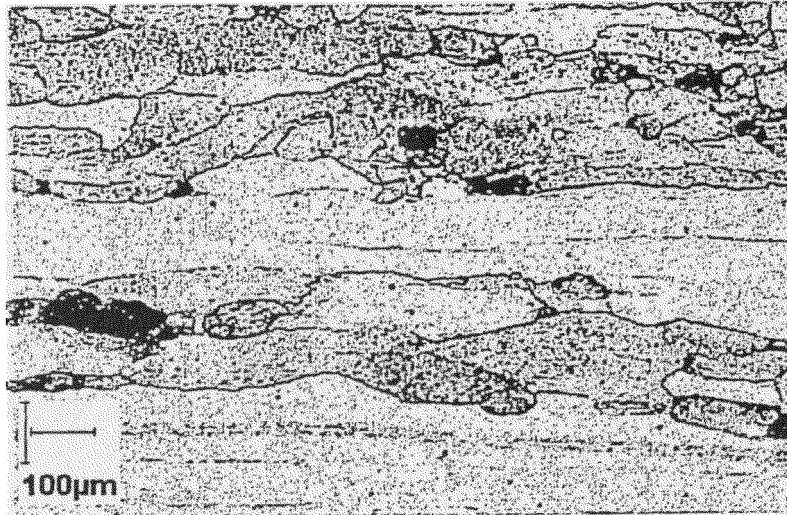


Figure 3

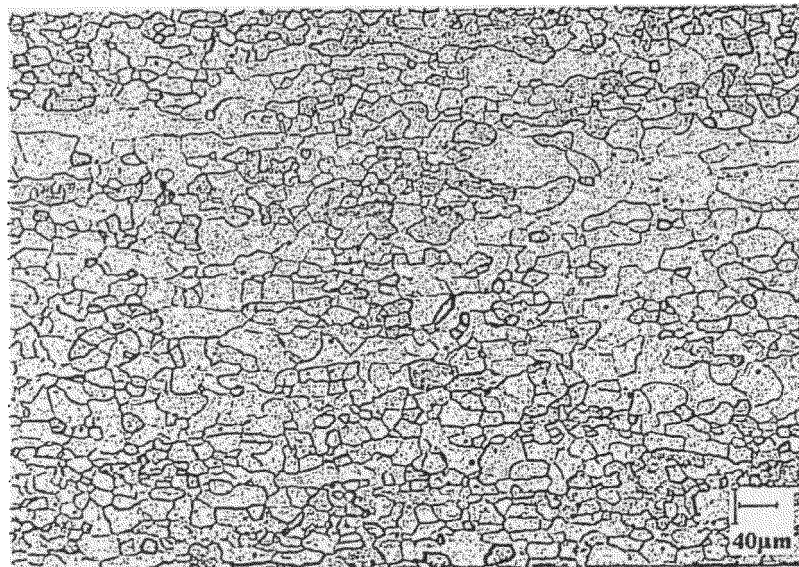


Figure 4

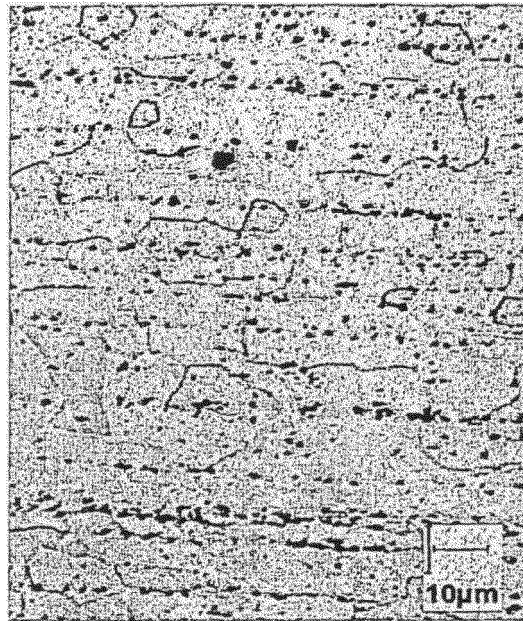


Figure 5

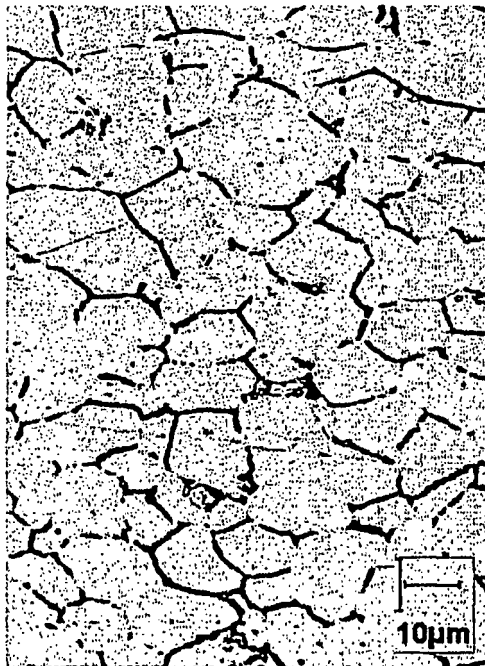


Figure 6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- GB 1044801 A [0002]
- JP 2001271148 A [0002]
- JP 4056748 A [0002]
- EP 1485511 A [0002]