

(19)



(11)

**EP 2 707 515 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

**19.08.2015 Bulletin 2015/34**

(21) Numéro de dépôt: **12724659.3**

(22) Date de dépôt: **20.04.2012**

(51) Int Cl.:

<b>C22C 38/12</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C21D 6/00</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C21D 9/46</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C22C 38/02</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C22C 38/04</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C22C 38/38</b> <small>(2006.01)</small>
<b>B62D 29/00</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C21D 8/02</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C22C 38/14</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C22C 38/22</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C22C 38/26</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C22C 38/28</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C22C 38/32</b> <small>(2006.01)</small>	<b>C22C 38/06</b> <small>(2006.01)</small>
<b>C22C 38/00</b> <small>(2006.01)</small>	

(86) Numéro de dépôt international:

**PCT/FR2012/000156**

(87) Numéro de publication internationale:

**WO 2012/153013 (15.11.2012 Gazette 2012/46)**

(54) **PROCEDE DE FABRICATION D'ACIER MARTENSITIQUE A TRES HAUTE LIMITE ÉLASTIQUE ET TOLE OU PIECE AINSI OBTENUE.**

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MARTENSITISCHES SEHR HOHER DEHNGRENZE STAHLBLECH

PRODUCING METHOD FOR VERY HIGH YIELD STRENGTH MARTENSITIC STEEL SHEET AND STEEL SHEET OBTAINED

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **12.05.2011 PCT/FR2011/000295**

(43) Date de publication de la demande:

**19.03.2014 Bulletin 2014/12**

(73) Titulaire: **Arcelormittal Investigación y Desarrollo SL**

**48910 Sestao, Bizkaia (ES)**

(72) Inventeurs:

- **ZHU, Kangying**  
**F-57000 Metz (FR)**
- **BOUAZIZ, Olivier**  
**F-57000 Metz (FR)**

(74) Mandataire: **Domenego, Bertrand**

**Cabinet Lavoix**  
**2, place d'Estienne d'Orves**  
**75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:

**EP-A1- 2 290 116 JP-A- 2010 132 945**  
**US-A1- 2010 230 016**

**EP 2 707 515 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** L'invention concerne un procédé de fabrication de tôles en acier d'épaisseur inférieure à 3 millimètres à structure totalement martensitique avec une résistance mécanique supérieure à celle qui pourrait être obtenue par un simple traitement de refroidissement rapide avec trempe martensitique, et des propriétés de résistance mécanique et d'allongement permettant leur application à la fabrication de pièces à absorption d'énergie dans les véhicules automobiles.

**[0002]** Dans certaines applications, on cherche à réaliser des pièces à partir de tôle en acier à très haute résistance mécanique. Ce type de combinaison est particulièrement désirable dans l'industrie automobile où l'on recherche un allègement significatif des véhicules. Ceci peut être notamment obtenu grâce à l'utilisation de pièces d'aciers à très hautes caractéristiques mécaniques dont la microstructure est totalement martensitique. Des pièces anti-intrusion, de structure ou participant à la sécurité des véhicules automobiles telles que : traverses de pare-choc, renforts de portière ou de pied milieu, bras de roue, nécessitent par exemple de telles caractéristiques. Leur épaisseur est préférablement inférieure à 3 millimètres.

**[0003]** On cherche à obtenir des tôles avec une résistance mécanique encore supérieure. Il est bien connu la possibilité d'augmenter la résistance mécanique d'un acier à structure martensitique au moyen d'une addition de carbone. Cependant, cette teneur en carbone plus élevée diminue l'aptitude au soudage des tôles ou des pièces fabriquées à partir de ces tôles, et accroît le risque de fissuration lié à la présence d'hydrogène.

**[0004]** On cherche donc à disposer d'un procédé de fabrication de tôles d'acier ne présentant pas les inconvénients ci-dessus, qui seraient dotées d'une résistance à la rupture supérieure de plus de 50 MPa à celle que l'on pourrait obtenir grâce à une austénitisation suivie d'une simple trempe martensitique de l'acier en question. Les inventeurs ont mis en évidence que, pour des teneurs en carbone allant de 0,15 à 0,40% en poids, la résistance à la rupture en traction  $R_m$  de tôles, d'aciers fabriquées par austénitisation totale suivie d'une simple trempe martensitique, ne dépendait pratiquement que de la teneur en carbone et était reliée à celle-ci avec une très bonne précision, selon l'expression (1) :  $R_m$  (mégapascals) =  $3220(C) + 908$ .

**[0005]** Dans cette expression, (C) désigne la teneur en carbone de l'acier exprimée en pourcentage pondéral. A teneur en carbone C donnée d'un acier, on cherche donc un procédé de fabrication permettant d'obtenir une résistance à la rupture supérieure de 50 MPa à l'expression (1), c'est à dire une résistance supérieure à  $3220(C) + 958$  MPa pour cet acier. On cherche à disposer d'un procédé permettant la fabrication de tôle à très haute limite d'élasticité, c'est à dire supérieure à 1300 MPa. On cherche également à disposer d'un procédé permettant la fabrication de tôles utilisables directement, c'est à dire sans nécessité impérative d'un traitement de revenu après trempe.

**[0006]** Ces tôles doivent être soudables par les procédés usuels et ne pas comporter d'additions coûteuses d'éléments d'alliage.

**[0007]** La présente invention a pour but de résoudre les problèmes évoqués ci-dessus. Elle vise en particulier à mettre à disposition des tôles d'épaisseur inférieure à 3 millimètres avec une limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, une résistance mécanique en traction, exprimée en mégapascals, supérieure à  $(3220(C) + 958)$  MPa, et de préférence un allongement total supérieur à 3%.

**[0008]** Dans ce but, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une d'épaisseur inférieure à 3 millimètres de structure totalement martensitique à limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, comprenant les étapes successives et dans cet ordre selon lesquelles :

- on approvisionne un demi-produit d'acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids :  $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$ ,  $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$ ,  $0,005\% \leq Si \leq 2\%$ ,  $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$ ,  $S \leq 0,05\%$ ,  $P \leq 0,1\%$ ,  $0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$  et optionnellement :  $0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$ ,  $0\% \leq Cr \leq 4\%$ ,  $0\% \leq Mo \leq 2\%$ ,  $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$ ,  $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$ , le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration.
- on réchauffe le demi-produit à une température  $T_1$  comprise entre 1050°C et 1250°C, puis
- on effectue un laminage de dégrossissage du demi-produit réchauffé, à une température  $T_2$  comprise entre 1050 et 1150°C, avec un taux de réduction  $\varepsilon_a$  cumulé supérieur à 100% de façon à obtenir une tôle avec une structure austénitique non totalement recristallisée de taille moyenne de grain inférieure à 40 micromètres, puis
- on refroidit non complètement la tôle jusqu'à une température  $T_3$  comprise entre 970°C et  $Ar3 + 30^\circ C$ , de façon à éviter une transformation de l'austénite, à une vitesse  $V_{R1}$  supérieure à 2°C/s, puis
- on effectue un laminage à chaud de finition à la température  $T_3$ , de la tôle non complètement refroidie, avec un taux de réduction cumulé  $\varepsilon_b$  supérieur à 50% de façon à obtenir une tôle, d'épaisseur inférieure à 3 millimètres puis
- on refroidit la tôle à une vitesse  $V_{R2}$  supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique.

**[0009]** Selon un mode préféré, la taille moyenne de grains austénitiques est inférieure à 5 micromètres.

**[0010]** Préférentiellement, on soumet la tôle à un traitement thermique ultérieur de revenu à une température  $T_4$  comprise entre 150 et 600°C pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes.

## EP 2 707 515 B1

**[0011]** L'invention a également pour objet une tôle d'acier d'épaisseur inférieure à 3 millimètres non revenue de limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, obtenue par un procédé selon l'un des modes de fabrication ci-dessus, de structure totalement martensitique, présentant une taille moyenne de lattes inférieure à 1,2 micromètre, le facteur d'allongement moyen des lattes étant compris entre 2 et 5.

**[0012]** L'invention a encore pour objet une tôle d'acier d'épaisseur inférieure à 3 millimètres obtenue par le procédé avec traitement de revenu ci-dessus, l'acier ayant une structure totalement martensitique avec une taille moyenne de lattes inférieure à 1,2 micromètre, le facteur d'allongement moyen des lattes étant compris entre 2 et 5.

**[0013]** La composition des aciers mis en oeuvre dans le procédé selon l'invention va maintenant être détaillée :

Lorsque la teneur en carbone de l'acier est inférieure à 0,15% en poids, la trempabilité de l'acier est insuffisante et il n'est pas possible d'obtenir une structure totalement martensitique compte tenu du procédé mis en oeuvre.

Lorsque cette teneur est supérieure à 0,40%, les joints soudés réalisés à partir de ces tôles ou de ces pièces présentent une ténacité insuffisante. La teneur optimale en carbone pour la mise en oeuvre de l'invention est comprise entre 0,16 et 0,28%.

**[0014]** Le manganèse abaisse la température de début de formation de la martensite et ralentit la décomposition de l'austénite. Afin d'obtenir des effets suffisants, la teneur en manganèse ne doit pas être inférieure à 1,5%. Par ailleurs, lorsque la teneur en manganèse dépasse 3%, des zones ségréguées sont présentes en quantité excessive ce qui nuit à la mise en oeuvre de l'invention. Une gamme préférentielle pour la mise en oeuvre de l'invention est 1,8 à 2,5%Mn.

**[0015]** La teneur en silicium doit être supérieure à 0,005% de façon à participer à la désoxydation de l'acier en phase liquide. Le silicium ne doit pas excéder 2% en poids en raison de la formation d'oxydes superficiels qui réduisent notablement la revêtabilité, dans le cas où on souhaiterait revêtir la tôle par passage dans un bain métallique de revêtement, notamment par galvanisation en continu.

**[0016]** La teneur en aluminium de l'acier selon l'invention n'est pas inférieure à 0,005% de façon à obtenir une désoxydation suffisante de l'acier à l'état liquide. Lorsque la teneur en aluminium est supérieure à 0,1% en poids, des problèmes de coulée peuvent apparaître. Il peut également se former des inclusions d'alumine en quantité ou en taille trop importantes qui jouent un rôle néfaste sur la ténacité.

**[0017]** Les teneurs en soufre et en phosphore de l'acier sont respectivement limitées à 0,05 et 0,1% pour éviter une réduction de ductilité ou de la ténacité des pièces ou des tôles fabriquées selon l'invention.

**[0018]** L'acier contient également du niobium en quantité comprise entre 0,025 et 0,1%, et optionnellement du titane en quantité comprise entre 0,01 et 0,1%. Ces additions de niobium et éventuellement de titane permettent la mise en oeuvre du procédé selon l'invention en retardant la recristallisation de l'austénite à haute température et permettent d'obtenir une taille de grain suffisamment fine à haute température.

**[0019]** Le chrome et le molybdène sont des éléments très efficaces pour retarder la transformation de l'austénite et peuvent être utilisés optionnellement pour la mise en oeuvre de l'invention. Ces éléments ont pour effet de séparer les domaines de transformation ferrito-perlitique et bainitique, la transformation ferrito-perlitique intervenant à des températures supérieures à la transformation bainitique. Ces domaines de transformation se présentent alors sous forme de deux « nez » bien distincts dans un diagramme de transformation isotherme (Transformation-Température-Temps)

**[0020]** La teneur en chrome doit être inférieure ou égale à 4%. Au delà de cette teneur, son effet sur la trempabilité est pratiquement saturé ; une addition supplémentaire est alors coûteuse sans effet bénéfique correspondant.

**[0021]** La teneur en molybdène ne doit cependant pas excéder 2% en raison de son coût excessif.

**[0022]** A titre optionnel, l'acier peut également contenir du bore : en effet, la déformation importante de l'austénite peut accélérer la transformation en ferrite au refroidissement, phénomène qu'il convient d'éviter. Une addition de bore, en quantité comprise entre 0,0005 et 0,005% en poids permet de se prémunir d'une transformation ferritique précoce.

**[0023]** A titre optionnel, l'acier peut également contenir du calcium en quantité comprise entre 0,0005 et 0,005% : en se combinant avec l'oxygène et le soufre, le calcium permet d'éviter la formation d'inclusions de grande taille qui sont néfastes pour la ductilité des tôles ou des pièces ainsi fabriquées.

**[0024]** Le reste de la composition de l'acier est constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant de l'élaboration.

**[0025]** Les tôles d'acier fabriquées selon l'invention sont caractérisées par une structure totalement martensitique en lattes d'une grande finesse : en raison du cycle thermomécanique et de la composition spécifiques, la taille moyenne des lattes martensitiques est inférieure à 1,2 micromètre et leur facteur d'allongement moyen est compris entre 2 et 5. Ces caractéristiques microstructurales sont déterminées par exemple en observant la microstructure par Microscopie Electronique à Balayage au moyen d'un canon à effet de champ (technique « MEB-FEG ») à un grandissement supérieur à 1200x, couplé à un détecteur EBSD (« Electron Backscatter Diffraction »). On définit que deux lattes contiguës sont distinctes lorsque leur désorientation est supérieure à 5 degrés. La taille moyenne de lattes est définie par la méthode des intercepts connue en elle-même : on évalue la taille moyenne des lattes interceptées par des lignes définies de façon aléatoire par rapport à la microstructure. La mesure est réalisée sur au moins 1000 lattes martensitiques de façon à obtenir une valeur moyenne représentative. La morphologie des lattes individualisées est ensuite déterminée par

## EP 2 707 515 B1

analyse d'images au moyen de logiciels connus en eux-même : on détermine la dimension maximale  $l_{\max}$  et minimale  $l_{\min}$  de chaque latte martensitique et son facteur d'allongement  $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$ . Afin d'être statistiquement représentative,

cette observation porte sur au moins 1000 lattes martensitiques. Le facteur d'allongement moyen  $\overline{\frac{l_{\max}}{l_{\min}}}$  est ensuite déterminé pour l'ensemble de ces lattes observées.

**[0026]** Le procédé de fabrication de tôles laminées à chaud selon l'invention comporte les étapes suivantes :

On approvisionne tout d'abord un demi-produit d'acier dont la composition a été exposée ci-dessus. Ce demi-produit peut se présenter par exemple sous forme de brame issue de coulée continue, de brame mince, ou de lingot. A titre d'exemple indicatif, une brame de coulée continue a une épaisseur de l'ordre de 200mm, une brame mince une épaisseur de l'ordre de 50-80mm.

On réchauffe ce demi-produit à une température  $T_1$  comprise entre 1050°C et 1250°C. La température  $T_1$  est supérieure à  $A_{c3}$ , température de transformation totale en austénite au chauffage. Ce réchauffage permet donc d'obtenir une austénitisation complète de l'acier ainsi que la dissolution d'éventuels carbonitrides de niobium existant dans le demi-produit. Cette étape de réchauffage permet également de réaliser les différentes opérations ultérieures de laminage à chaud qui vont être présentées : on effectue un laminage dit de dégrossissage du demi-produit : ce laminage de dégrossissage est effectué à une température  $T_2$  comprise entre 1050 et 1150°C. Le taux de réduction cumulé des différentes étapes de laminage au dégrossissage est noté  $\varepsilon_a$ . Si  $e_{ia}$  désigne l'épaisseur du demi-produit avant le laminage à chaud de dégrossissage et  $e_{fa}$  l'épaisseur de la tôle après ce laminage, on définit le taux de

réduction cumulé par  $\varepsilon_a = \ln \frac{e_{ia}}{e_{fa}}$ . Selon l'invention, le taux de réduction  $\varepsilon_a$  doit être supérieur à 100%, c'est-

à-dire supérieur à 1. Dans ces conditions de laminage, la présence de niobium, et optionnellement de titane, retarde la recristallisation et permet d'obtenir une austénite non totalement recristallisée à haute température. La taille moyenne de grain austénitique ainsi obtenue est inférieure à 40 micromètres, voire à 5 micromètres lorsque la teneur en niobium est comprise entre 0,030 et 0,050%. Cette taille de grain peut être mesurée par exemple grâce à des essais où l'on trempe directement après laminage la tôle. On observe ensuite une coupe polie et attaquée de celle-ci, l'attaque étant effectuée grâce à un réactif connu en lui-même, tel que par exemple le réactif de Béchet-Beaujard qui révèle les anciens joints de grains austénitiques.

On refroidit ensuite non complètement, c'est à dire jusqu'à une température intermédiaire  $T_3$ , la tôle à une vitesse  $V_{R1}$  supérieure à 2°C/s, de façon à éviter une transformation et une éventuelle recristallisation de l'austénite puis on effectue un laminage à chaud de finition de la tôle avec un taux de réduction cumulé  $\varepsilon_b$  supérieur à 50%. Si  $e_{ib}$  désigne l'épaisseur de la tôle avant le laminage de finition et  $e_{fb}$  l'épaisseur de la tôle après ce laminage, on définit

le taux de réduction cumulé par  $\varepsilon_b = \ln \frac{e_{ib}}{e_{fb}}$ . Ce laminage de finition est effectué à une température  $T_3$  comprise

entre 970 et  $Ar3+30^\circ C$ ,  $Ar3$  désignant la température de début de transformation de l'austénite au refroidissement. Ceci permet d'obtenir à l'issue du laminage de finition une austénite déformée à grains fins, celle-ci n'ayant pas tendance à recristalliser. On refroidit ensuite cette tôle à une vitesse  $V_{R2}$  supérieure à la vitesse de trempe critique martensitique et l'on obtient ainsi une tôle caractérisée par une structure martensitique très fine dont les propriétés mécaniques sont supérieures à celles que l'on peut obtenir par un simple traitement thermique de trempe.

**[0027]** Bien que le procédé ci-dessus décrive la fabrication de tôles, c'est à dire de produits plats, à partir de brames, l'invention n'est pas limitée à cette géométrie et à ce type de produits, et peut être aussi adaptée à la fabrication de produits longs, de barres, profilés, par des étapes successives de déformation à chaud.

**[0028]** Les tôles d'acier peuvent être utilisées telles quelles ou soumises à un traitement thermique de revenu effectué à une température  $T_4$  comprise entre 150 et 600°C pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes. Ce traitement de revenu a généralement pour effet d'augmenter la ductilité au prix d'une diminution de la limite d'élasticité et de la résistance. Les inventeurs ont cependant mis en évidence que le procédé selon l'invention, qui confère une résistance mécanique en traction d'au moins 50 MPa plus élevée que celle obtenue après trempe conventionnelle, conservait cet avantage même après un traitement de revenu avec des températures allant de 150 à 600°C. Les caractéristiques de finesse de la microstructure sont conservées par ce traitement de revenu.

**[0029]** A titre d'exemple non limitatif, les résultats suivants vont montrer les caractéristiques avantageuses conférées

## EP 2 707 515 B1

par l'invention.

Exemple:

5 **[0030]** On a approvisionné des demi-produits d'acier dont les compositions, exprimées en teneurs pondérales (%) sont les suivantes :

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	S	P	Nb	Ti	B	Ca
10 A	0,27	1,91	0,01	0,01	0,01	0,03	0,003	0,020	0,042	0,010	0,0016	0,001
B	0,198	1,94	0,01	1,909	0,01	0,03	0,003	0,020	<u>0,003</u>	0,012	0,0014	0,0004
Les valeurs soulignées sont non-conformes à l'invention												

15 **[0031]** Des demi-produits de 31mm d'épaisseur ont été réchauffés et maintenus 30 minutes à une température  $T_1$  de 1250°C puis soumis à un laminage en 4 passes à une température  $T_2$  de 1100°C avec un taux de réduction cumulé  $\epsilon_1$  de 164%, soit jusqu'à une épaisseur de 6mm. A ce stade, à haute température après dégrossissage, la structure est totalement austénitique, non complètement recristallisée avec une taille moyenne de grain de 30 micromètres. Les tôles ainsi obtenues ont été ensuite refroidies à la vitesse de 3°C/s jusqu'à une température  $T_3$  comprise entre 955°C et 840°C, cette dernière température étant égale à Ar3+60°C. Les tôles ont été laminées dans cette gamme de température en 5 passes avec un taux de réduction cumulé  $\epsilon_p$  de 76%, soit jusqu'à une épaisseur de 2,8mm, puis refroidies ensuite jusqu'à la température ambiante avec une vitesse de 80°C/s de façon à obtenir une microstructure complètement martensitique.

20 **[0032]** Par comparaison, des tôles d'aciers de composition ci-dessus ont été chauffées à une température de 1250°C, maintenues 30 minutes à cette température puis refroidies à l'eau de façon à obtenir une microstructure complètement martensitique (condition de référence)

25 **[0033]** Au moyen d'essais de traction, on a déterminé la limite d'élasticité  $R_e$ , la résistance à la rupture  $R_m$  et l'allongement total A des tôles obtenues par ces différents modes de fabrication. On a également fait figurer la valeur estimée de la résistance après trempe martensitique simple (3220(C)+908 (MPa), ainsi que la différence  $\Delta R_m$  entre cette valeur estimée et la résistance effectivement mesurée.

Acier	Essai	Température de réduction $T_3$ (°C)	$R_e$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	A (%)	3220 (C)+908 (MPa)	$\Delta R_m$ (MPa)
35 A	A1	955	1410	1840	5,2	1777	63
	A2	860	1584	1949	4,9	1777	172
B	B1	840	<u>1270</u>	1692	6,5	1545	147
	B2	<u>Sans</u>	<u>1223</u>	1576	6,9	1545	<u>31</u>
40 Conditions d'essais et résultats mécaniques obtenus Valeurs soulignées : non conformes à l'invention							

45 **[0034]** L'acier B ne contient pas suffisamment de niobium : on n'atteint alors pas une limite d'élasticité de 1300MPa, aussi bien après trempe martensitique simple (essai B2) que dans le cas d'un laminage avec dégrossissage et finissage à la température  $T_3$  (essai B1)

**[0035]** Dans le cas de l'essai B2 (trempe martensitique simple), on observe que la valeur de la résistance estimée (1545MPa) à partir de l'expression (1) est voisine de celle déterminée expérimentalement (1576MPa)

50 **[0036]** On a également observé la microstructure des tôles obtenues par Microscopie Electronique à Balayage au moyen d'un canon à effet de champ (technique « MEB-FEG ») et détecteur EBSD, et quantifié la taille moyenne des

lattes de la structure martensitique ainsi que leur facteur d'allongement moyen  $\frac{l_{max}}{l_{min}}$ .

55 **[0037]** Dans les essais A1 et A2, le procédé selon l'invention permet d'obtenir une structure martensitique avec une taille moyenne de lattes de 0,9 micromètre et un facteur d'allongement de 3. Cette structure est nettement plus fine que celle observée après simple trempe martensitique, dont la taille moyenne de lattes est de l'ordre de 2 micromètres.

**[0038]** Dans les essais A1 et A2 selon l'invention, les valeurs de  $\Delta R_m$  sont respectivement de 63 et de 172 MPa respectivement. Le procédé selon l'invention permet donc d'obtenir des valeurs de résistance mécanique significative-

## EP 2 707 515 B1

ment supérieures à celles qui seraient obtenues par une trempe martensitique simple. Dans le cas de l'essai A2 par exemple, cette augmentation de résistance (172 MPa) est équivalente à celle qui serait obtenue, d'après la relation (1), grâce à une trempe martensitique simple appliquée à des aciers dans lesquels une addition supplémentaire de 0,05% environ aurait été réalisée. Une telle augmentation de la teneur en carbone aurait cependant des conséquences néfastes vis-à-vis de la soudabilité et de la ténacité, alors que le procédé selon l'invention permet d'accroître la résistance mécanique sans ces inconvénients.

**[0039]** Les tôles fabriquées selon l'invention, en raison de leur teneur en carbone plus faible, présentent une bonne aptitude au soudage par les procédés usuels, en particulier au soudage par résistance par points. Elles présentent également une bonne aptitude à être revêtues, par exemple par galvanisation ou aluminage au trempé en continu.

**[0040]** Ainsi, l'invention permet la fabrication de tôles d'épaisseur inférieure à 3 millimètres ou nues ou revêtues à très hautes caractéristiques mécaniques, dans des conditions économiques très satisfaisantes.

### Revendications

1. Procédé de fabrication d'une tôle d'acier d'épaisseur inférieure à 3 millimètres, de structure totalement martensitique, à limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, comprenant les étapes successives et dans cet ordre selon lesquelles :

- on approvisionne un demi-produit d'acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en poids,

$$0,15\% \leq C \leq 0,40\%$$

$$1,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,005\% \leq Si \leq 2\%$$

$$0,005\% \leq Al \leq 0,1\%,$$

$$S \leq 0,05\%$$

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

$$0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$$

et optionnellement :

$$0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 4\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 2\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,005\%,$$

## EP 2 707 515 B1

$$0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%,$$

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

- on réchauffe ledit demi-produit à une température  $T_1$  comprise entre 1050°C et 1250°C, puis
- on effectue un laminage de dégrossissage dudit demi-produit réchauffé, à une température  $T_2$  comprise entre 1050 et 1150°C, avec un taux de réduction  $\varepsilon_a$  cumulé supérieur à 100% de façon à obtenir une tôle avec une structure austénitique non totalement recristallisée de taille moyenne de grain inférieure à 40 micromètres, puis
- on refroidit non complètement ladite tôle jusqu'à une température  $T_3$  comprise entre 970°C et Ar3+30°C, à une vitesse  $V_{R1}$  supérieure à 2°C/s, puis
- on effectue un laminage à chaud de finition à ladite température  $T_3$ , de ladite tôle non complètement refroidie, avec un taux de réduction cumulé  $\varepsilon_b$  supérieur à 50% de façon à obtenir une tôle, d'épaisseur inférieure à 3 millimètres puis
- on refroidit ladite tôle à une vitesse  $V_{R2}$  supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique.

2. Procédé de fabrication d'une tôle d'acier selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite taille moyenne de grain austénitique est inférieure à 5 micromètres.
3. Procédé de fabrication d'une tôle d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'on** soumet ladite tôle à un traitement thermique ultérieur de revenu à une température  $T_4$  comprise entre 150 et 600°C pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes
4. Tôle d'acier d'épaisseur inférieure à 3 millimètres, de limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, obtenue par un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, de structure totalement martensitique, présentant une taille moyenne de lattes inférieure à 1,2 micromètre, le facteur d'allongement moyen desdites lattes étant compris entre 2 et 5
5. Tôle d'acier obtenue par un procédé selon la revendication 3, de structure totalement martensitique, présentant une taille moyenne de lattes inférieure à 1,2 micromètre, le facteur d'allongement moyen desdites lattes étant compris entre 2 et 5

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Stahlblechs mit einer Dicke kleiner 3 mm, mit vollständig martensitischer Struktur, mit einer Streckgrenze größer 1300 MPa, aufweisend die aufeinanderfolgenden Schritte und in dieser Reihenfolge, gemäß welchen:

- man ein Stahlhalbzeug bereitstellt, dessen Zusammensetzung aufweist, wobei die Gehalte in Gewichtsanteilen ausgedrückt sind:

$$0,15\% \leq C \leq 0,40\%$$

$$1,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,005 \leq Si \leq 2\%$$

$$0,005 \leq Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

## EP 2 707 515 B1

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

5

$$0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$$

und optional

10

$$0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 4\%$$

15

$$0\% \leq Mo \leq 2\%$$

20

$$0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$$

$$0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$$

25

wobei der Rest der Zusammensetzung aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen gebildet ist, welche aus der Herstellung resultieren,

- man das besagten Halbzeug auf eine Temperatur  $T_1$  erwärmt, welche zwischen 1050°C und 1250°C liegt, dann

- man ein Grobwalzen des besagten erwärmten Halbzeugs bei einer Temperatur  $T_2$ , welche zwischen 1050°C und 1150°C liegt, mit einem kumulierten Abwalzgrad  $\varepsilon_a$  größer als 100% vornimmt, um ein Blech mit einer nicht vollständig rekristallisierten Austenitstruktur mit einer mittleren Korngröße kleiner 40  $\mu\text{m}$  zu erhalten, dann

30

- man ein nicht vollständiges Abkühlen des besagten Blechs bis auf eine Temperatur  $T_3$ , welche zwischen 970°C und  $Ar3+30^\circ\text{C}$  liegt, mit einer Geschwindigkeit  $V_{R1}$  größer als 2°C/s vornimmt, dann

- man ein Abschlusswarmwalzen bei der besagten Temperatur  $T_3$  des nicht vollständig abgekühlten Blechs mit einem kumulierten Abwalzgrad  $\varepsilon_b$  größer als 50% vornimmt, um ein Blech der Dicke kleiner 3 mm zu erhalten, dann

35

- man das besagte Blech mit einer Geschwindigkeit  $V_{R2}$  größer als die kritische Martensithärtungsgeschwindigkeit abkühlt.

2. Verfahren zur Herstellung eines Stahlblechs gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittlere austenitische Korngröße kleiner 5  $\mu\text{m}$  ist.

40

3. Verfahren zur Herstellung eines Stahlblechs gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das besagte Blech einer nachträglichen thermischen Behandlung des Zurückkehrens auf eine Temperatur  $T_4$ , welche zwischen 150 und 600°C liegt, während einer Dauer, welche zwischen 5 und 30 Minuten beträgt, unterzogen wird.

45

4. Stahlblech mit einer Dicke kleiner 3 mm, mit einer Streckgrenze größer 1300 MPa, welches durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2 erhalten wurde, mit vollständig martensitischer Struktur, welches eine mittlere Lattengröße kleiner 1,2  $\mu\text{m}$  hat, wobei der mittlere Streckungsfaktor der besagten Latten zwischen 2 und 5 liegt.

50

5. Stahlblech, welches durch ein Verfahren gemäß Anspruch 3 erhalten wurde, mit vollständig martensitischer Struktur, welches eine mittlere Lattengröße kleiner 1,2  $\mu\text{m}$  aufweist, wobei der mittlere Streckungsfaktor der besagten Latten zwischen 2 und 5 liegt.

55

### Claims

1. Method for producing a steel sheet having a thickness of less than 3 millimetres, having a completely martensitic structure and having a yield strength of more than 1300 MPa, comprising the successive steps, in this order, according

## EP 2 707 515 B1

to which:

- a steel semi-finished product is provided, the composition of which comprises, the contents being expressed by weight,

$$0.15\% \leq C \leq 0.40\%$$

$$1.5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0.005\% \leq Si \leq 2\%$$

$$0.005\% \leq Al \leq 0.1\%$$

$$S \leq 0.05\%$$

$$P \leq 0.1\%$$

$$0.025\% \leq Nb \leq 0.1\%$$

and optionally:

$$0.01\% \leq Ti \leq 0.1\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 4\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 2\%$$

$$0.0005\% \leq B \leq 0.005\%$$

$$0.0005\% \leq Ca \leq 0.005\%,$$

the remainder of the composition consisting of iron and inevitable impurities resulting from production,

- said semi-finished product is heated to a temperature  $T_1$  between 1050°C and 1250°C, then

- said heated semi-finished product is rough-rolled at a temperature  $T_2$  between 1050 and 1150°C, with a cumulative reduction rate  $\varepsilon_a$  greater than 100%, so as to obtain a sheet with an austenitic structure, not fully recrystallized, with an average grain size of less than 40 micrometres, then

- said sheet is cooled, not completely, to a temperature  $T_3$  between 970°C and  $Ar_3+30^\circ C$ , at a rate  $V_{R1}$  greater than 2°C/s, then

- said sheet, which is not completely cooled, is subjected to hot finish-rolling at said temperature  $T_3$ , with a cumulative reduction rate  $\varepsilon_b$  greater than 50%, so as to obtain a sheet having a thickness of less than 3 millimetres, then

- said sheet is cooled at a rate  $V_{R2}$  which is greater than a critical martensitic quenching rate.

2. Method for producing a steel sheet according to claim 1, **characterized in that** said average austenitic grain size

## EP 2 707 515 B1

is less than 5 micrometres.

- 5
3. Method for producing a steel sheet according to any one of claims 1 or 2, **characterized in that** said sheet is subjected to a subsequent tempering heat treatment at a temperature  $T_4$  between 150 and 600°C for a duration between 5 and 30 minutes.
- 10
4. Steel sheet having a thickness of less than 3 millimetres and having a yield strength of more than 1300 MPa, obtained by a method according to any one of claims 1 or 2, having a completely martensitic structure, having an average lath size of less than 1.2 micrometres, the average elongation factor of said laths being between 2 and 5.
- 15
5. Steel sheet obtained by a method according to claim 3, having a completely martensitic structure, having an average lath size of less than 1.2 micrometres, the average elongation factor of said laths being between 2 and 5.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55