



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 35059 B1**
- (43) Date de publication : **03.04.2014**
- (51) Cl. internationale :
**C21D 6/00; C21D 8/02;
C21D 9/46; C22C 38/02;
C22C 38/04; C22C 38/38;
B62D 29/00**

-
- (21) N° Dépôt :
36354
- (22) Date de Dépôt :
22.10.2013
- (30) Données de Priorité :
12.05.2011 FR PCT/FR2011/000295
- (86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/FR2012/000156 20.04.2012
- (71) Demandeur(s) :
ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SL, CL/Chavarri, 6 E-48910 Sestao Bizkaia (ES)
- (72) Inventeur(s) :
ZHU, Kangying ; BOUAZIZ, Olivier
- (74) Mandataire :
CABINET PATENTMARK

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

- (57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'une tôle d'acier martensitique à limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, comprenant les étapes selon lesquelles on approvisionne un demi-produit d'acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en pourcentage pondéral, 0,15% d C d 0,40%, 1,5% d Mn d 3%, 0,005% d Si d 2%, 0,005% d Al d 0,1 %, S d 0,05%, Pd 0,1 %, 0,025% d Nbd0,1 %, et optionnellement : 0,01 % d Tid0,1 %, 0% d Crd 4%, 0% d Mo d2%, 0,0005% d B d 0,005%, 0,0005% d Ca d 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

Abrégé technique de l'invention**PROCEDE DE FABRICATION D'ACIER MARTENSITIQUE A TRES HAUTE
RESISTANCE ET TÔLE AINSI OBTENUE**

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une tôle d'acier martensitique à limite d'élasticité supérieure à 1300 MPa, comprenant les étapes selon lesquelles on approvisionne un demi-produit d'acier dont la composition comprend, les teneurs étant exprimées en pourcentage pondéral, $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$, $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,005\% \leq Si \leq 2\%$, $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$, $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,1\%$, $0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$, 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 dudit demi-produit réchauffé, à une température T_2 comprise entre 1050 et 1150°C, avec un taux de réduction ε_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 et préférentiellement à 5 micromètres. On refroidit la tôle de façon à éviter une transformation de l'austénite, à une vitesse V_{R1} supérieure à 2°C/s jusqu'à une température T_3 comprise entre 970°C et $Ar3+30^\circ C$, puis on effectue un laminage à chaud de finition à la température T_3 , de ladite tôle refroidie, avec un taux de réduction cumulé ε_b supérieur à 50% de façon à obtenir une tôle, puis on refroidit la tôle à une vitesse V_{R2} supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique.

Figure pour l'abrégé : néant

01 AVR 2014

**PROCEDE DE FABRICATION D'ACIER MARTENSITIQUE A TRES HAUTE
RESISTANCE ET TÔLE AINSI OBTENUE**

5 L'invention concerne un procédé de fabrication de tôles en acier à structure
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
10 permettant leur application à la fabrication de pièces à absorption d'énergie
dans les véhicules automobiles.

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
15 à l'utilisation de pièces d'aciers à très hautes caractéristiques mécaniques
dont la microstructure est 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
20 préférablement inférieure à 3 millimètres.

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
25 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.

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
30 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) = $3220(C) + 908$.

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.

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

La présente invention a pour but de résoudre les problèmes évoqués ci-dessus. Elle vise en particulier à mettre à disposition des tôles 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%.

Dans ce but, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une tôle d'acier 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 ϵ_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

5 - 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 ϵ_b supérieur à 50% de façon à obtenir une tôle, puis

10 - on refroidit la tôle à une vitesse V_{R2} supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique.

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

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.

L'invention a également pour objet une tôle d'acier 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.

L'invention a encore pour objet une tôle d'acier 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.

La composition des aciers mis en œuvre 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 œuvre.

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 œuvre de l'invention est

comprise entre 0,16 et 0,28%.

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, 5 lorsque la teneur en manganèse dépasse 3%, des zones ségréguées sont présentes en en quantité excessive ce qui nuit à la mise en œuvre de l'invention. Une gamme préférentielle pour la mise en œuvre de l'invention est 1,8 à 2,5%Mn.

La teneur en silicium doit être supérieure à 0,005% de façon à participer à la 10 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.

15 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 20 rôle néfaste sur la ténacité.

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.

L'acier contient également du niobium en quantité comprise entre 0,025 et 25 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 œuvre 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.

30 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 œuvre 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)

- 5 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.

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

- 10 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.

- 15 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.

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

- 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
25 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
30 Diffraction »). On définit que deux lattes contigües 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 analyse d'images au moyen de logiciels connus en eux-mêmes : 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.
- 10 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 ε_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 $\varepsilon_a = \text{Ln} \frac{e_{ia}}{e_{fa}}$. Selon l'invention, le taux de réduction ε_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 ε_b supérieur à 50%. Si e_{i2} désigne l'épaisseur de la tôle avant le laminage de finition et e_{f2} l'épaisseur de la tôle après ce laminage, on définit le taux de réduction cumulé par $\varepsilon_b = \ln \frac{e_{i2}}{e_{f2}}$. Ce laminage de finition est

effectué à une température T_3 comprise entre 970 et $Ar3+30^\circ\text{C}$, $Ar3$ 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.

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.

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.

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

15 Exemple :

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 |
|---|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|--------------|-------|--------|--------|
| 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

20 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 ϵ_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 $Ar3+60^\circ C$. Les tôles ont été laminées dans cette gamme de température en 5 passes avec un taux de réduction cumulé ϵ_b 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.

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)

Au moyen d'essais de traction, on a déterminé la limite d'élasticité Re, la résistance à la rupture Rm 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 ΔRm entre cette valeur estimée et la résistance effectivement mesurée.

| Acier | Essai | Température de réduction T ₃ (°C) | Re (MPa) | Rm (MPa) | A (%) | 3220 (C)+908 (MPa) | ΔRm (MPa) |
|-------|-------|--|-------------|----------|-------|--------------------|-----------|
| 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 | Sans | <u>1223</u> | 1576 | 6,9 | 1545 | <u>31</u> |

Conditions d'essais et résultats mécaniques obtenus

Valeurs soulignées : non conformes à l'invention

15

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 T₃ (essai B1)

20

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)

25

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 $\frac{\overline{l_{\max}}}{l_{\min}}$.

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
5 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.

Dans les essais A1 et A2 selon l'invention, les valeurs de ΔR_m sont respectivement de 63 et de 172 MPa respectivement. Le procédé selon
10 l'invention permet donc d'obtenir des valeurs de résistance mécanique significativement 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
15 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.

20 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.

25 Ainsi, l'invention permet la fabrication de tôles ou nues ou revêtues à très hautes caractéristiques mécaniques, dans des conditions économiques très satisfaisantes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une tôle d'acier martensitique à limite
5 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,

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

10 $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$

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

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

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

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

15 $0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$

et optionnellement :

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

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

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

20 $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%,$

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

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

- on réchauffe ledit demi-produit à une température T_1 comprise entre
25 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 ε_a cumulé supérieur à 100% de façon à obtenir une tôle avec
une structure austénitique non totalement recristallisée de taille moyenne
30 de grain inférieure à 40 micromètres, puis

- on refroidit non complètement ladite tôle jusqu'à une température T_3 comprise entre 970°C et $\text{Ar}3+30^{\circ}\text{C}$, 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 ε_b supérieur à 50% de façon à obtenir une tôle, puis
 - on refroidit ladite tôle à une vitesse V_{R2} supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique.
- 10 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.
- 15 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
- 20 4 Tôle d'acier 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
- 25 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