

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 50559 B1**
- (43) Date de publication : **31.05.2024**
- (51) Cl. internationale :
**C21D 6/00; C23C 2/02;
C21D 9/46; C22C 38/00;
C22C 38/02; C22C 38/04;
C22C 38/06; C22C 38/08;
C22C 38/12; C22C 38/14;
C22C 38/16; C22C 38/20;
C22C 38/24; C22C 38/26;
C22C 38/28; C22C 38/32;
C22C 38/34; C22C 38/38;
C22C 38/58; C21D 8/02**

-
- (21) N° Dépôt : **50559**
- (22) Date de Dépôt : **05.11.2018**
- (30) Données de Priorité : **10.11.2017 WO PCT/IB2017/057042**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/IB2018/058665 05.11.2018**
- (71) Demandeur(s) : **ArcelorMittal, 24-26 Boulevard d'Avranches 1160 Luxembourg (LU)**
- (72) Inventeur(s) : **ARLAZAROV, Artem ; PIPARD, jean-Marc**
- (74) Mandataire : **ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)**
- (86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation : EP 18799870.3

(54) Titre : **TÔLE D'ACIER LAMINÉE À FROID ET TRAITÉE THERMIQUEMENT ET SON PROCÉDÉ DE FABRICATION**

(57) Abrégé : Cette invention concerne une tôle d'acier laminée à froid et traitée thermiquement ayant une composition comprenant les éléments suivants, exprimés en pourcentage en poids : 0,10 % = Carbone = 0,5 %, 1 % = Manganèse = 3,4 %, 0,5 % = Silicium = 2,5 %, 0,03 % = Aluminium = 1,5 %, Soufre = 0,003 %, 0,002 % = Phosphore = 0,02 %, Azote = 0,01 % et pouvant contenir un ou plusieurs des éléments facultatifs suivants : 0,05 % = Chrome = 1 %, 0,001 % = Molybdène = 0,5 %, 0,001 % = Niobium = 0,1 %, 0,001 % = Titane = 0,1 %, 0,01 % = Cuivre = 2 %, 0,01 % = Nickel = 3 %, 0,0001 % = Calcium = 0,005 %, Vanadium = 0,1 %, Bore = 0,003 %, Cérium = 0,1 %, Magnésium = 0,010 %, Zirconium = 0,010 %, la

composition restante étant composée de fer et des inévitables impuretés produites par le traitement, et une microstructure de ladite tôle d'acier comprenant en fraction de surface, 10 à 30 % d'austénite résiduelle, 5 à 50 % de bainite recuite, 10 à 40 % de bainite, 1 % à 20 % de martensite trempée et moins de 30 % de martensite revenue, la présence combinée de bainite et d'austénite résiduelle étant supérieure ou égale à 30 %.

REVENdicATIONS

1. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique dont la composition comprend les éléments suivants, exprimés en pourcentage en poids :

0,10 % ≤ carbone ≤ 0,5 %

1 % ≤ manganèse ≤ 3,4 %

0,5 % ≤ silicium ≤ 2,5 %

0,03 % ≤ aluminium ≤ 1,5 %

Soufre ≤ 0,003 %

0,002 % ≤ Phosphore ≤ 0,02 %

Azote ≤ 0,01%

0,05 % ≤ Chrome ≤ 1 %

0,001 % ≤ Niobium ≤ 0,1 %

0,001 % ≤ Titane ≤ 0,1 %

et peut contenir un ou plusieurs des éléments facultatifs suivants

0,001 % ≤ Molybdène ≤ 0,5 %

0,01 % ≤ Cuivre ≤ 2 %

0,01 % ≤ Nickel ≤ 3 %

0,0001 % ≤ Calcium ≤ 0,005 %

Vanadium ≤ 0,1 %

Bore ≤ 0,003 %

Cérium ≤ 0,1 %

Magnésium ≤ 0,010 %

Zirconium ≤ 0,010 %

la composition restante étant composée de fer et des impuretés inévitables causées par le traitement, et une microstructure de ladite tôle d'acier laminée comprend par fraction de surface, 10 à 30 % d'austénite résiduelle, de 5 à 50 % de bainite recuite, de 10 à 40 % de bainite, de 1 % à 20 % de martensite trempée, et moins de 30 % de martensite revenue où la présence combinée de bainite et d'austénite résiduelle doit être de 30 % ou plus, dans lequel la microstructure est déterminée par le procédé décrit dans la description.

2. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon la revendication 1, dans laquelle la composition comprend $0,7 \% \leq \text{Silicium} \leq 2,2 \%$.
3. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 2, dans laquelle la composition comprend $1 \% \leq \text{Silicium} \leq 2,2 \%$.
4. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 3, dans laquelle la composition comprend $0,03 \% \leq \text{Aluminium} \leq 1,0 \%$.
5. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 4, dans laquelle la composition comprend $1,2 \% \leq \text{Manganèse} \leq 2,3 \%$.

6. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 5, dans laquelle la composition comprend $0,05 \% \leq \text{Chrome} \leq 0,5 \%$.
7. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 6, dans laquelle la somme des phases résiduelles d'austénite et de bainite est supérieure à 35 %.
8. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 7, dans laquelle la somme des phases de bainite recuite et de bainite est supérieure à 45 %.
9. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 8, dans laquelle l'austénite résiduelle est comprise entre 15 et 30 %.
10. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 9, dans laquelle la bainite est comprise entre 15 % et 40 %.
11. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 10, présentant une résistance à la traction supérieure à 950 MPa et un allongement total de 20 % ou plus.
12. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 11, présentant une limite d'élasticité supérieure à 600 MPa et un rapport entre la limite d'élasticité et la résistance à la traction de 0,6 ou plus.
13. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 12, présentant une résistance à la traction comprise entre 1000 MPa et 1100 MPa et un allongement total de 23 % ou plus.
14. Tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 13, qui ne contient pas de ferrite.
15. Procédé de production d'une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 1 à 14, comprenant les étapes suivantes :
 - fournir une composition d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 ;
 - réchauffer ledit produit semi-fini à une température comprise entre 1200 °C et 1280 °C ;
 - laminier ledit produit semi-fini dans le domaine austénitique, dans lequel la température de finition du laminage à chaud sera supérieure à Ac3, afin d'obtenir une tôle d'acier laminée à chaud ;
 - refroidir la tôle à une vitesse de refroidissement supérieure à 30 °C/s jusqu'à une température de bobinage inférieure à 600 °C ; et bobiner ladite tôle laminée à chaud ;
 - refroidir ladite tôle laminée à chaud jusqu'à la température ambiante ;
 - effectuer facultativement une étape d'élimination de la calamine sur ladite tôle d'acier laminée à chaud ;
 - effectuer facultativement un recuit sur la tôle d'acier laminée à chaud à une

température comprise entre 400 °C et 750 °C ;

- effectuer facultativement une étape d'élimination de la calamine sur ladite tôle d'acier laminée à chaud ;
- laminier à froid ladite tôle d'acier laminée à chaud avec un taux de réduction compris entre 35 et 90 %, de manière à obtenir une tôle d'acier laminée à froid ;
- puis réaliser un premier recuit en chauffant ladite tôle d'acier laminée à froid à une vitesse d'au moins 3 °C/s jusqu'à une température de trempage comprise entre Ac3 et Ac3+100 °C où elle est maintenue pendant 10 à 500 secondes ;
- puis refroidissement de la tôle à une vitesse supérieure à 25 °C/s jusqu'à une température comprise entre 380°C et 480°C et maintien de la tôle d'acier laminée à froid à cette température entre 10 et 500 secondes ;
- le refroidissement de la tôle d'acier laminée à froid à la température ambiante, pour obtenir une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique,

puis réaliser un second recuit en chauffant ladite tôle d'acier laminée à froid à une vitesse supérieure à 3 °C/s jusqu'à une température de trempage comprise entre T_{soaking} et Ac3 où elle est maintenue pendant 10 à 500 secondes ; dans lequel Ac3 et T_{soaking} sont définies comme ci-dessous :

$$\text{Ac3} = 901 - 262 \cdot \text{C} - 29 \cdot \text{Mn} + 31 \cdot \text{Si} - 12 \cdot \text{Cr} - 155 \cdot \text{Nb} + 86 \cdot \text{Al}$$

$$T_{\text{soaking}} = 830 - 260 \cdot \text{C} - 25 \cdot \text{Mn} + 22 \cdot \text{Si} + 40 \cdot \text{Al}$$

dans lequel les teneurs en éléments sont exprimées en pourcentage en poids

- puis le refroidissement de la feuille à une vitesse supérieure à 20°C/s jusqu'à une température comprise entre T_{cmax} et T_{cmin} ; dans lequel T_{cmax} et T_{cmin} sont définis comme suit :

$$T_{\text{cmax}} = 565 - 601 \cdot (1 - \text{Exp}(-0,868 \cdot \text{C})) - 34 \cdot \text{Mn} - 13 \cdot \text{Si} - 10 \cdot \text{Cr} + 13 \cdot \text{Al} - 361 \cdot \text{Nb}$$

$$T_{\text{cmin}} = 565 - 601 \cdot (1 - \text{Exp}(-1,736 \cdot \text{C})) - 34 \cdot \text{Mn} - 13 \cdot \text{Si} - 10 \cdot \text{Cr} + 13 \cdot \text{Al} - 361 \cdot \text{Nb}$$

dans lequel C, Mn, Si, Cr, Al et Nb sont exprimés en % en poids des éléments de l'acier

- ensuite, ladite tôle d'acier laminée à froid et recuite est portée à une température comprise entre 350°C et 550°C pendant 5 secondes et 500 secondes et ladite tôle d'acier laminée à froid et recuite est refroidie à la température ambiante à une vitesse de refroidissement supérieure à 1°C/s pour obtenir une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique.
16. Procédé de production d'une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon la revendication 15, présentant une température de bobinage de ladite tôle d'acier laminée à chaud inférieure à 570°C.
 17. Procédé de production d'une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 15 et 16, dans lequel la tôle d'acier laminée à froid

est d'abord recuite à une température de trempage comprise entre $Ac3$ et $Ac3 + 75^{\circ}C$ pendant 10 secondes et 500 secondes.

18. Procédé de production d'une tôle d'acier laminée à froid et soumise à un traitement thermique selon les revendications 15 à 17, dans lequel la tôle d'acier laminée à froid recuite de manière préliminaire est recuite en continu entre $T_{soaking}$ et $Ac3$ pour obtenir un rapport Austénite sur Bainite recuite compris entre 50:50 et 90:10 pendant 10 secondes et 500 secondes.
19. Utilisation d'une tôle d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 ou d'une tôle d'acier produite selon le procédé des revendications 15 à 18, pour la fabrication de pièces structurelles ou de pièces de sécurité d'un véhicule.
20. Véhicule comprenant une pièce obtenue selon la revendication 19.