



## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 47360 B1** (51) Cl. internationale : **C21D 9/573; C21D 11/00**

(43) Date de publication :  
**28.06.2023**

---

(21) N° Dépôt :  
**47360**

(22) Date de Dépôt :  
**20.12.2017**

(30) Données de Priorité :  
**20.12.2016 WO PCT/IB2016/001786**

(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:  
**PCT/IB2017/058186 20.12.2017**

(71) Demandeur(s) :  
**ArcelorMittal, 24-26 Boulevard d'Avranches 1160 Luxembourg (LU)**

(72) Inventeur(s) :  
**BONNET, Frédéric**

(74) Mandataire :  
**ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY TMP AGENTS**

---

(54) Titre : **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE TÔLE D'ACIER TRAITÉE THERMIQUEMENT**

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une tôle d'acier traitée thermiquement.

## REVENDECATIONS

5        1.        Procédé de fabrication d'une tôle d'acier traitée thermiquement ayant une composition chimique d'acier et une microstructure  $m_{\text{cible}}$  comprenant de 0 à 100 % d'au moins une phase choisie parmi : la ferrite, la martensite, la bainite, la perlite, la cémentite et l'austénite, dans une ligne de traitement thermique comprenant :

A.    une étape de préparation comprenant :

10                    1)        une sous-étape de sélection dans laquelle la composition chimique et  $m_{\text{cible}}$  sont comparés à une liste de produits prédéfinis, dont la microstructure comprend des phases prédéfinies et une proportion prédéfinie de phases, afin de sélectionner un produit ayant une microstructure  $m_{\text{standard}}$  la plus proche de  $m_{\text{cible}}$  et un chemin thermique prédéfini  $TP_{\text{standard}}$  pour obtenir  $m_{\text{standard}}$ ,

15                    2)        une sous-étape de calcul dans laquelle au moins deux chemins thermiques  $TP_x$ , chaque  $TP_x$  correspondant à une microstructure  $m_x$  obtenue à la fin du  $TP_x$ , sont calculés sur la base du produit sélectionné de l'étape A.1) et du  $TP_{\text{standard}}$  et de la microstructure initiale  $m_i$  de la tôle d'acier pour atteindre  $m_{\text{cible}}$ , l'enthalpie thermique  $H$  libérée ou consommée entre  $m_i$  et  $m_{\text{cible}}$  étant calculée de telle sorte que :

20

$$H_x = (X_{\text{ferrite}} * H_{\text{ferrite}}) + (X_{\text{martensite}} * H_{\text{martensite}}) + (X_{\text{bainite}} * H_{\text{bainite}}) + (X_{\text{perlite}} * H_{\text{perlite}}) + (X_{\text{cémentite}} * H_{\text{cémentite}}) + (X_{\text{austénite}} * H_{\text{austénite}})$$

25         $X$  étant une fraction de phase, tout le  $TP_x$  de cycle thermique étant calculé de telle sorte que

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{(\varphi_{\text{Convection}} + \varphi_{\text{radiance}})}{\rho \cdot Ep \cdot C_{pe}} \Delta t \pm \frac{H_x}{C_{pe}}$$

30        avec  $C_{pe}$  : la chaleur spécifique de la phase ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  $\rho$  : la densité de l'acier ( $g \cdot m^{-3}$ ),  $Ep$  : l'épaisseur de l'acier (m),  $\varphi$  : le flux thermique (convectif + radiatif, en W),  $H_x$  ( $J \cdot kg^{-1}$ ),  $T$  : la température ( $^{\circ}C$ ) et  $t$  : le temps (s),

- 3) une sous-étape de sélection dans laquelle est sélectionné un chemin thermique  $TP_{cible}$  visant à atteindre  $m_{cible}$ ,  $TP_{cible}$  étant choisi parmi les  $TP_x$  et étant sélectionné de telle sorte que  $m_x$  se rapproche le plus de  $m_{cible}$ ,
- 5 B. une étape de traitement thermique dans laquelle  $TP_{cible}$  est appliqué à la tôle d'acier.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les phases prédéfinies à l'étape A.1) sont définies par au moins un élément choisi parmi : la taille, la forme, un produit chimique et la composition.
- 10 3. Procédé selon l'une quelconque de la revendication 1 ou 2, dans lequel la microstructure  $m_{cible}$  comprend :
- 100 % d'austénite,
  - 15 - de 5 à 95 % de martensite, de 4 à 65 % de bainite, le reste étant de la ferrite,
  - de 8 à 30 % d'austénite résiduelle, de 0,6 à 1,5 % de carbone en solution solide, le reste étant de la ferrite, de la martensite, de la bainite, de la perlite et/ou de la cémentite,
  - de 1 % à 30 % de ferrite et de 1 % à 30 % de bainite, de 5 à 25 % d'austénite, le
  - 20 reste étant de la martensite,
  - de 5 à 20 % d'austénite résiduelle, le reste étant de la martensite,
  - de la ferrite et de l'austénite résiduelle,
  - de l'austénite résiduelle et des phases intermétalliques,
  - de 80 à 100 % de martensite et de 0 à 20 % d'austénite résiduelle,
  - 25 - 100 % de martensite,
  - de 5 à 100 % de perlite et de 0 à 95 % de ferrite, et
  - au moins 75 % de ferrite équiaxe, de 5 à 20 % de martensite et de la bainite en quantité inférieure ou égale à 10 %.
- 30 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel lesdits types de produit prédéfini comprennent de l'acier biphasé, à transformation induite par plasticité, de l'acier trempé et partitionné, à plasticité induite par jumelage, en bainite sans carbure, de l'acier embouti à chaud, triplex, duplex et biphasé à haute ductilité.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, les différences entre les proportions de phase présentes dans  $m_{\text{cible}}$  et  $m_x$  sont de  $\pm 3\%$ .
- 5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel, à l'étape A.2), au moins une microstructure d'acier intermédiaire  $m_{\text{xint}}$  correspondant à un chemin thermique intermédiaire  $TP_{\text{xint}}$  et l'enthalpie thermique  $H_{\text{xint}}$  sont calculées.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel, à l'étape A.2),  $TP_x$  est la somme de tous les  $TP_{\text{xint}}$  et  $H_x$  est la somme de tous les  $H_{\text{xint}}$ .
- 10 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, avant l'étape A.1), au moins une propriété mécanique  $P_{\text{cible}}$  ciblée est sélectionnée entre la limite d'élasticité (YS), la résistance ultime à la traction (UTS), l'allongement, l'expansion de trou et la formabilité.
- 15 9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel  $m_{\text{cible}}$  est calculé sur la base de  $P_{\text{cible}}$ .
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape A.2), les paramètres de procédé auxquels est soumise la tôle d'acier avant de rejoindre la ligne de traitement thermique sont pris en compte pour calculer  $TP_x$ .
- 20 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel les paramètres de procédé comprennent au moins un élément choisi entre un taux de réduction par laminage à froid, une température d'enroulement, un chemin de refroidissement de table de sortie, une température de refroidissement et une vitesse de refroidissement de bobine.
- 25 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel les paramètres de procédé de la ligne de traitement auxquels sera soumise la tôle d'acier dans la ligne de traitement thermique sont pris en compte pour calculer  $TP_x$ .
- 30 13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel les paramètres de procédé comprennent au moins un élément choisi entre une température spécifique de la tôle d'acier à atteindre, la vitesse de la ligne, la puissance de refroidissement des sections de refroidissement, la puissance de chauffage des sections de chauffage,
- 35

une température de chauffage, une température de refroidissement, une température de chauffage et une température de trempage.

- 5
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le chemin thermique,  $TP_x$ ,  $TP_{Xint}$ ,  $TP_{standard}$  ou  $TP_{cible}$ , comprend au moins un traitement choisi parmi : un traitement de chauffage, un traitement isotherme ou un traitement de refroidissement.
- 10
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel chaque fois qu'une nouvelle tôle d'acier entre dans la ligne de traitement thermique, une nouvelle étape de calcul A.2) est automatiquement réalisée sur la base de l'étape de sélection A.1) réalisée au préalable.
- 15
16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel une adaptation du chemin thermique est réalisée lors de l'entrée de la tôle d'acier dans la ligne de traitement thermique sur les premiers mètres de la tôle.