

(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 47090 B1** (51) Cl. internationale : **C21D 9/573; C21D 11/00**

(43) Date de publication :
29.10.2021

(21) N° Dépôt :
47090

(22) Date de Dépôt :
20.12.2017

(30) Données de Priorité :
20.12.2016 WO PCT/IB2016/001787

(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:
PCT/IB2017/058190 20.12.2017

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

(72) Inventeur(s) :
BONNET, Frédéric ; DOH, Yannick

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

(86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: EP17829314.8

(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.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une tôle d'acier traitée thermiquement ayant une microstructure m_{cible} comprenant de 0 à 100 % d'au moins une phase choisie
5 parmi : la ferrite, la martensite, la bainite, la perlite, la cémentite et l'austénite, dans une ligne de traitement thermique comprenant une section de chauffage, une section de trempage et une section de refroidissement comprenant un système de refroidissement, dans lequel un chemin thermique TP_{cible} est effectué, un tel procédé comprenant :

10 A. une étape de préparation comprenant :

1) une sous-étape de sélection dans laquelle :

a. m_{cible} et la composition chimique sont comparées à une liste de produits prédéfinis, dont la microstructure comprend des phases prédéfinies et une proportion prédéfinie de phases, afin de choisir un produit ayant une
15 microstructure m_{standard} la plus proche de m_{cible} et TP_{standard} , comprenant au moins une étape de chauffage, une étape de trempage et une étape de refroidissement, pour obtenir m_{standard} ,

b. un chemin de chauffage, un chemin de trempage comprenant une température de trempage T_{trempage} , la puissance de refroidissement du système de refroidissement et une température de refroidissement $T_{\text{refroidissement}}$ sont
20 choisis sur la base de TP_{standard} et

2) une sous-étape de calcul dans laquelle, grâce à la variation de la puissance de refroidissement, de nouveaux chemins de refroidissement CP_X sont calculés sur la base du produit choisi à l'étape A.1.a) et de TP_{standard} , la microstructure initiale m_i de la tôle d'acier pour atteindre m_{cible} , le chemin de chauffage, le chemin de trempage comprenant T_{trempage} et $T_{\text{refroidissement}}$, l'étape de refroidissement de TP_{standard} étant recalculés à l'aide dudit CP_X afin d'obtenir de
25 nouveaux chemins thermiques TP_X , chaque TP_X correspondant à une microstructure m_X ,

3) une étape de sélection dans laquelle un TP_{cible} pour atteindre m_{cible} est choisi, TP_{cible} étant choisi parmi les chemins thermiques TP_X calculés et étant choisi de telle sorte que m_X soit le plus proche de m_{cible} et
30

B. une étape de traitement thermique dans laquelle TP_{cible} est effectué sur la tôle d'acier.

5 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 composé chimique et la composition.

10 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel $TP_{standard}$ comprend en outre une étape de préchauffage.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel $TP_{standard}$ comprend en outre une étape de revêtement par immersion à chaud, une étape de survieillissement, une étape de trempe ou une étape de séparation.

15 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la microstructure m_{cible} comprend :

- 100 % d'austénite,

- de 5 à 95 % de martensite, de 4 à 65 % de bainite, le complément étant de la ferrite,

20 - de 8 à 30 % d'austénite résiduelle, de 0,6 à 1,5 % de carbone en solution solide, le complément 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 et 25 % d'austénite, le complément étant de la martensite,

25 - de 5 à 20 % d'austénite résiduelle, le complément 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

- 100 % de martensite,

30 - 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 une quantité inférieure ou égale à 10 %.

5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel lesdits types de produits prédéfinis comprennent les aciers de type biphasé, à plasticité induite par transformation, acier trempé et divisé, à plasticité induite par maclage, bainite exempte de carbure, acier durci par presse, triplex, duplex et à haute ductibilité biphasée DP.

10 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel à l'étape A.2), la puissance de refroidissement du système de refroidissement varie d'une valeur minimale à une valeur maximale.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel à l'étape A.2), la puissance de refroidissement du système de refroidissement varie d'une valeur maximale à une valeur minimale.

15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel à l'étape A.1.b), T_{trempage} est un nombre fixe choisi dans la plage allant de 600 à 1000 °C.

20 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel à l'étape A.1.b), T_{trempage} varie de 600 à 1000 °C.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel après l'étape A.2), une autre sous-étape de calcul est effectuée dans laquelle :

25 c. T_{trempage} varie dans une plage prédéfinie de valeurs choisie de 600 à 1000 °C et

30 d. pour chaque variation de T_{trempage} , de nouveaux chemins de refroidissement CP_X sont calculés, sur la base du produit choisi à l'étape A.1 .a) et de TP_{standard} , la microstructure initiale m_i de la tôle d'acier pour atteindre m_{standard} et $T_{\text{refroidissement}}$, l'étape de refroidissement de TP_{standard} étant recalculés en utilisant ledit CP_X afin d'obtenir de nouveaux chemins thermiques TP_X , chaque TP_X correspondant à une microstructure m_X .

12. Procédé selon l'une quelconque de la revendication 11, dans lequel à l'étape de sélection A.3), le TP_{cible} choisi comprend en outre la valeur de T_{trempage} .

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel à l'étape A.3), lorsqu'au moins deux CP_x ont leurs m_x égaux, le TP_{cible} choisi est celui ayant la puissance de refroidissement minimale nécessaire.

5

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, à l'étape A.2), les différences entre les proportions de phases présentes dans m_{cible} et m_x sont de $\pm 3\%$.

10

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel à l'étape A.2), l'enthalpie thermique H libérée entre m_i et m_{cible} est calculée de telle sorte que :

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

15

X étant une fraction de phase.

16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel à l'étape A.2), tout le chemin de refroidissement CP_x est calculé de telle sorte que :

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

20

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

25

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 ou 16, dans lequel à l'étape A.2), au moins une microstructure d'acier intermédiaire m_{xint} correspondant à un chemin de refroidissement intermédiaire CP_{xint} et l'enthalpie thermique H_{xint} sont calculées.

30

18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel à l'étape A.2), CP_x est la somme de tous les CP_{xint} et $H_{libérée}$ est la somme de tous les H_{xint} .

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, dans lequel avant l'étape A.1.a), au moins une propriété mécanique ciblée P_{cible} choisie parmi la limite d'élasticité YS , la résistance à la traction UTS , la dilatation des trous par allongement, la formabilité est choisie.

5

20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel m_{cible} est calculée sur la base de P_{cible} .

10

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, dans lequel à l'étape A.2), les paramètres de procédé subis par la tôle d'acier avant d'entrer dans la ligne de traitement thermique sont pris en compte pour calculer CP_X .

15

22. Procédé selon la revendication 21, dans lequel les paramètres de procédé comprennent au moins un élément choisi parmi : une vitesse de réduction de laminage à froid, une température de bobinage, un chemin de refroidissement de table de sortie, une température de refroidissement et une vitesse de refroidissement de bobine.

20

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, dans lequel à l'étape A.2), les paramètres de procédé de la ligne de traitement que la tôle d'acier va subir dans la ligne de traitement thermique sont pris en compte pour calculer CP_X .

25

24. Procédé selon la revendication 23, dans lequel les paramètres de procédé comprennent au moins un élément choisi parmi : une température thermique spécifique de 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, une température de survieillessement, une température de refroidissement, une température de chauffage et une température de trempage.

30

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, dans lequel le système de refroidissement comprend au moins un refroidissement par jet, au moins un pulvérisateur de refroidissement ou au moins les deux.

26. Procédé selon la revendication 25, dans lequel lorsque le système de refroidissement comprend au moins un refroidissement par jet, le refroidissement par jet pulvérisant un gaz, un liquide aqueux ou un mélange de ceux-ci.

5

27. Procédé selon la revendication 26, dans lequel le gaz est choisi parmi l'air, HN_x , H_2 , N_2 , Ar, He, la vapeur d'eau ou un mélange de ceux-ci.

10

28. Procédé selon la revendication 27, dans lequel le liquide aqueux est choisi parmi l'eau ou un nanofluide.

29. Procédé selon la revendication 27, dans lequel le refroidissement par jet pulvérise de l'air avec un débit d'écoulement compris entre 0 et 350 000 Nm^3/h .

15

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 29, dans lequel $T_{\text{refroidissement}}$ est la température du bain lorsque la section de refroidissement est suivie d'une section de revêtement par immersion à chaud comprenant un bain d'immersion à chaud.

20

31. Procédé selon la revendication 30, dans lequel le bain est à base d'aluminium ou à base de zinc.

32. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 29, dans lequel $T_{\text{refroidissement}}$ est la température de trempe T_q .

25

33. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 32, dans lequel $T_{\text{refroidissement}}$ est compris entre 150 et 800 °C.

30

34. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 33, 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 effectuée sur la base de l'étape de sélection A.1) effectuée au préalable.

35. Procédé selon la revendication 34, dans lequel une adaptation du chemin de refroidissement est effectuée lorsque la tôle d'acier entre dans la section de refroidissement de la ligne de traitement thermique sur les premiers mètres de la tôle.