

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 47084 B1**
- (51) Cl. internationale : **B21B 37/74; B21B 37/76;
C21D 9/48; C21D 9/46;
C21D 11/00**
- (43) Date de publication : **31.10.2022**
-
- (21) N° Dépôt : **47084**
- (22) Date de Dépôt : **20.12.2017**
- (30) Données de Priorité : **20.12.2016 WO PCT/IB2016/001790**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/IB2017/058189 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)**
- (86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: EP 17826579.9**
-
- (54) Titre : **PROCÉDÉ DE RÉGLAGE DYNAMIQUE POUR LA FABRICATION D'UNE TÔLE D'ACIER TRAITÉE THERMIQUEMENT**
- (57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de réglage dynamique pour la fabrication d'une tôle d'acier traitée thermiquement.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'ajustement dynamique pour la fabrication d'une tôle d'acier traitée thermiquement présentant une composition chimique d'acier et une microstructure m_{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, dans lequel un traitement thermique TT prédéfini est réalisé sur la tôle d'acier, un tel procédé comprenant :
- 5
- 10 A. une étape de contrôle dans laquelle au moins un capteur détecte tout écart survenant pendant traitement thermique,
- B. une étape de calcul effectuée lorsqu'un écart est détecté pendant le traitement thermique, de telle sorte qu'un nouveau chemin thermique TP_{cible} est déterminé pour atteindre m_{cible} en tenant compte de l'écart, une telle étape de calcul
- 15 comprenant :
- 1) une sous-étape de calcul dans laquelle au moins deux parcours thermiques, TP_x correspondant à une microstructure m_x obtenue à la fin de TP_x , sont calculés sur la base du TT et de la microstructure m_i de la tôle d'acier pour atteindre m_{cible} ,
- 20 2) une sous-étape de sélection dans laquelle un nouveau chemin thermique TP_{cible} est sélectionné, visant à atteindre m_{cible} , TP_{cible} étant choisi parmi TP_x de telle sorte que m_x se rapproche le plus possible de m_{cible} ,
- C. une nouvelle étape de traitement thermique dans laquelle TP_{cible} est appliqué à la tôle d'acier sur la ligne de traitement.
- 25
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, à l'étape A), l'écart est dû à une variation d'un paramètre de procédé choisi parmi : une température de four, une température de tôle d'acier, une quantité de gaz, une composition de gaz, une température de gaz, une vitesse de ligne, une défaillance dans la ligne de traitement thermique, une variation du bain d'immersion à chaud, une émissivité de la tôle d'acier et une variation de
- 30 l'épaisseur de l'acier.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel les phases sont

définies par au moins un élément choisi entre : la taille, la forme et la composition chimique.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la microstructure m_{cible} comprend :
- 100 % d'austénite,
 - 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 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
 - 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 bainite en quantité inférieure ou égale à 10 %.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la tôle d'acier peut être biphasée, à plasticité induite par transformation, en acier trempé et partitionné, à plasticité induite par jumelage, en bainite sans carbure, en acier embouti à chaud, triplex, duplex et biphasée à haute ductilité.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, les différences entre des proportions de phase présentes dans m_{cible} et m_x étant de $\pm 3\%$.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel, à l'étape B.1), l'enthalpie thermique H libérée ou consommée entre m_i et m_{cible} est calculée comme suit :

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

5

X étant une fraction de phase.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel, à l'étape B.1), le cycle thermique total TP_x est calculé comme suit :

10

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

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

15

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, dans lequel, à l'étape B.1), au moins une microstructure d'acier intermédiaire m_{xint} correspondant à un chemin de refroidissement intermédiaire TP_{xint} et l'enthalpie thermique H_{xint} sont calculées.

20

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel, à l'étape B.1), TP_x est la somme de tous les TP_{xint} et H_x est la somme de tous les H_{xint} .

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel, avant l'étape B.1), au moins une propriété mécanique ciblée P_{cible} est sélectionnée entre la limite d'élasticité (yield strength) YS, la résistance ultime à la traction (ultimate tensile strength) UTS, l'allongement, l'expansion de trou et la formabilité.

25

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel m_{cible} est calculé sur la base de P_{cible} .

30

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, à l'étape B.1), les paramètres de traitement auxquels est soumise la tôle d'acier avant de rejoindre la ligne de traitement thermique sont pris en compte pour calculer TP_x .
- 5 14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel les paramètres de traitement comprennent au moins un élément choisi parmi : 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.
- 10 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel, à l'étape B.1), les paramètres de traitement 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 .
- 15 16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel les paramètres de traitement comprennent au moins un élément choisi parmi : 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, une température de sur-vieillessement, une température de refroidissement, une température de chauffage et une température de trempage.
- 20 17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le chemin thermique, TP_x , TP_{xint} , TT ou TP_{cible} comprend au moins un traitement choisi parmi : un traitement de chauffage, un traitement isotherme ou un traitement de refroidissement.
- 25 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, dans lequel, chaque fois qu'une nouvelle tôle d'acier est introduite dans la ligne de traitement thermique, une nouvelle étape de calcul B.1) est automatiquement effectuée.
- 30 19. Procédé selon la revendication 18, 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.
20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, dans lequel un calcul

automatique est effectué pendant le traitement thermique pour vérifier si un écart apparaît.