

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 40978 B1**
- (43) Date de publication : **31.08.2020**
- (51) Cl. internationale :  
**C21D 1/18; C23C 2/28;  
C21D 8/02; C21D 9/46;  
C22C 38/00; C22C 38/02;  
C22C 38/04; C22C 38/06;  
C22C 38/12; C22C 38/14;  
C22C 38/26; C22C 38/28;  
C22C 38/32; C22C 38/34;  
C22C 38/38; C23C 2/04;  
C23C 2/06; C23C 2/12;  
C21D 7/13**

- 
- (21) N° Dépôt : **40978**
- (22) Date de Dépôt : **17.11.2015**
- (30) Données de Priorité : **18.11.2014 WO PCT/IB2014/066128**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/IB2015/058887 17.11.2015**
- (86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: **EP15801261.7**
- (71) Demandeur(s) : **Arcelormittal, 24-26 Boulevard d'Avranches 1160 Luxembourg (LU)**
- (72) Inventeur(s) : **ARLAZAROV, Artem ; ZHU, Kangying**
- (74) Mandataire : **ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)**
- 
- (54) Titre : **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN PRODUIT EN ACIER HAUTE RÉSISTANCE ET PRODUIT EN ACIER AINSI OBTENU**
- (57) Abrégé : Cette invention concerne un procédé de fabrication d'un produit en acier, comprenant les étapes consistant à : utiliser un produit de départ en acier chauffé à une température comprise entre 380 et 700 °C, présentant une structure entièrement austénitique métastable, avec une composition comprenant, en pourcentage en poids : 0,15 % = C = 0,40 %, 1,5 % = Mn = 4,0 %, 0,5 % = Si = 2,5 %, 0,005 % = Al = 1,5 %, où 0,8 % = Si + Al = 2,5 %, S = 0,05 %, P = 0,1 %, au moins un élément choisi parmi Cr et Mo, de telle sorte que : 0 % = Cr = 4,0 %, 0 % = Mo = 0,5 %, et 2,7 % = Mn + Cr + 3 Mo = 5,7 %, et optionnellement un ou plusieurs éléments choisis parmi : Nb = 0,1 %, Ti = 0,1 %,

Ni = 3,0 %, 0,0005 % = B = 0,005 %, 0,0005 % = Ca = 0,005 %, le reste de la composition étant constitué de fer et des inévitables impuretés résultant de la fusion ; soumettre ledit produit de départ à une étape de formage à chaud à une température comprise entre 700 et 380 °C, sous une contrainte cumulée  $\epsilon_b$  allant de 0,1 à 0,7, dans au moins un emplacement dudit produit de départ en acier chauffé, de sorte à obtenir un produit en acier formé à chaud entièrement austénitique ; puis tremper le produit en acier formé à chaud par refroidissement de celui-ci, à une vitesse de refroidissement VR2 supérieure à la vitesse de refroidissement martensitique critique, à une température de trempe QT inférieure à Ms afin d'obtenir une structure contenant de 40 à 90 % de martensite, le reste de la structure étant austénitique ; puis maintenir le produit ou le réchauffer, à une température de maintien PT allant de la température QT à 470 °C et le maintenir à ladite température PT pendant une durée Pt allant de 5 à 600 s.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un produit en acier, comprenant les étapes successives de :

5 - fourniture d'un produit de départ en acier chauffé à une température comprise entre 380 °C et 700 °C, ledit produit de départ en acier chauffé ayant une structure entièrement austénitique métastable, ledit produit de départ en acier chauffé ayant une composition constituée de, en pourcentage en poids :

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

10  $1,5 \% \leq Mn \leq 4,0 \%,$

$$0,5 \% \leq Si \leq 2,5 \%,$$

$$0,005 \% \leq Al \leq 1,5 \%,$$

$$\text{avec } 0,8 \% \leq Si + Al \leq 2,5 \%,$$

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

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

au moins un élément choisi parmi Cr et Mo, de telle manière que :

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

$$0 \% \leq Mo \leq 0,5 \%,$$

et

20  $2,7 \% \leq Mn + Cr + 3 Mo \leq 5,7 \%,$

et optionnellement un ou plusieurs éléments choisis parmi :

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

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

$$Ni \leq 3,0 \%,$$

25  $0,0005 \% \leq B \leq 0,005 \%,$

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

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

30 - soumission dudit produit de départ en acier chauffé à une étape de formage à chaud à une température comprise entre 700 °C et 380 °C, avec une déformation cumulée  $\varepsilon_b$  entre 0,1 et 0,7, dans au moins un emplacement dudit produit de départ en acier chauffé, pour obtenir un produit en acier formé à chaud, la structure de l'acier restant entièrement austénitique, ensuite

35 - trempe du produit en acier formé à chaud par refroidissement de celui-ci, à une vitesse de refroidissement  $VR_2$  supérieure à la vitesse de refroidissement martensitique

critique, à une température de trempe QT inférieure à la température d'apparition de martensite Ms de l'acier afin d'obtenir une structure contenant entre 40 % et 90 % de martensite, le reste de la structure étant de l'austénite, ensuite

- maintien à, ou réchauffage du produit jusqu'à une température de maintien PT entre QT et 470 °C et maintien du produit à ladite température PT pendant une durée Pt entre 5 s et 600 s.

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre une étape de refroidissement du produit maintenu jusqu'à la température ambiante à une vitesse de refroidissement supérieure à 0,005 °C/s de façon à obtenir de la martensite fraîche.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel le produit de départ en acier chauffé est une tôle d'acier laminée à chaud et le produit en acier est une tôle d'acier, et dans lequel ladite étape de formage à chaud est une étape de laminage.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'étape de fourniture d'un produit de départ en acier chauffé comprend :

- le chauffage d'un semi-produit en acier, ayant une composition selon la revendication 1, à une température supérieure à la température AC<sub>3</sub> de l'acier de façon à obtenir une structure entièrement austénitique,

- la soumission dudit semi-produit en acier à une étape de laminage brut à une température supérieure à une température T<sub>2</sub> entre 1 200 et 850 °C, avec une déformation de réduction cumulée  $\epsilon_a$  supérieure à 1, de façon à obtenir ledit produit de départ en acier chauffé.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel ledit produit de départ en acier chauffé a une taille moyenne de grain austénitique inférieure à 30  $\mu\text{m}$ .

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel le produit de départ est une ébauche en acier, le produit en acier est une pièce en acier, et l'étape de fourniture d'un produit de départ en acier chauffé comprend le chauffage de ladite ébauche en acier à une température supérieure à la température AC<sub>3</sub> de l'acier de façon à obtenir une structure entièrement austénitique.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel ladite ébauche en acier a une épaisseur entre 1,0 mm et 4,0 mm.

5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel ladite étape de formage à chaud est une étape de laminage à chaud.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel ladite étape de formage à chaud est une étape d'estampage à chaud.

10 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel ladite étape de formage à chaud est une étape de rotation à chaud.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, dans lequel ladite étape de formage à chaud est une étape de profilage.

15

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, dans lequel ladite ébauche en acier comprend au moins une couche de revêtement.

13. Procédé selon la revendication 9, dans lequel une couche de revêtement est appliquée sur ledit produit de départ avant chauffage, et dans lequel la couche de revêtement est un revêtement en aluminium ou à base d'aluminium, ou un revêtement en zinc ou à base de zinc.

20

14. Produit en acier ayant une composition constituée de, en pourcentage en poids :

25

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

$$1,5 \% \leq Mn \leq 4,0 \%,$$

$$0,5 \% \leq Si \leq 2,5 \%,$$

$$0,005 \% \leq Al \leq 1,5 \%,$$

30

$$\text{avec } 0,8 \% \leq Si + Al \leq 2,5 \%,$$

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

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

au moins un élément choisi parmi Cr et Mo, de telle manière que :

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

35

$$0 \% \leq Mo \leq 0,5 \%,$$

4

et

$$2,7 \% \leq \text{Mn} + \text{Cr} + 3 \text{ Mo} \leq 5,7 \%,$$

et optionnellement un ou plusieurs éléments choisis parmi

$$\text{Nb} \leq 0,1 \%$$

5

$$\text{Ti} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Ni} \leq 3,0 \%$$

$$0,0005 \% \leq \text{B} \leq 0,005 \%$$

$$0,0005 \% \leq \text{Ca} \leq 0,005 \%,$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés inévitables résultant  
10 de la fusion,

la structure d'au moins un emplacement du produit en acier constituée de :

- martensite revenue ou lattes de martensite sans carbures, présentant un  
pourcentage surfacique d'au moins 40 %, les lattes de martensite ayant une taille  
moyenne inférieure à 1  $\mu\text{m}$ , le rapport de dimensions desdites lattes de martensite étant  
15 comprise entre 2 et 5,

- martensite fraîche, sous la forme d'îlots ou de films, le pourcentage surfacique de  
ladite martensite fraîche étant compris entre 5 % et 30 %, et

- austénite, présentant un pourcentage surfacique de 5 % à 35 %.

20 15. Produit en acier selon la revendication 14, dans lequel le produit de la  
résistance à la traction TS de l'acier par l'allongement uniforme UE de l'acier est supérieur  
ou égal à 13 000 MPa %.

25 16. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 ou 15, dans  
lequel la taille maximale des îlots de ladite martensite fraîche ayant un rapport de  
dimensions inférieur à 3, est inférieure à 3  $\mu\text{m}$ .

30 17. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, dans  
lequel la taille moyenne du grain pré-austénitique est inférieure à 30  $\mu\text{m}$ .

18. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 17, dans  
lequel le rapport de dimensions du grain pré-austénitique est supérieur à 1,3.

35 19. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, dans  
lequel ladite austénite est sous la forme de films ou d'îlots, la dimension la plus petite

desdits films ou îlots ayant une valeur inférieure à 0,3  $\mu\text{m}$ , la dimension la plus grande desdits films ou îlots ayant une valeur moyenne inférieure à 2  $\mu\text{m}$ .

20. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 19, dans lequel ladite martensite revenue comprend, en pourcentage surfacique, moins de 0,5 % de carbures, comparativement à la surface de ladite martensite revenue, et dans lequel lesdits carbures ont une taille moyenne inférieure à 50 nm.

21. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 20, dans lequel ledit produit en acier est une tôle d'acier, et la structure de la tôle d'acier totale est constituée de :

- martensite revenue ou lattes de martensite sans carbures, présentant un pourcentage surfacique d'au moins 40 %,
- martensite fraîche, sous la forme d'îlots ou de films, le pourcentage surfacique de ladite martensite fraîche étant compris entre 5 % et 30 %, et
- austénite, présentant un pourcentage surfacique de 5 % à 35 %.

22. Produit en acier selon l'une quelconque des revendications 14 à 20, dans lequel ledit produit en acier est une pièce en acier estampée à chaud, et la structure d'au moins 20 % du volume de ladite pièce estampée à chaud est constituée de :

- martensite revenue ou lattes de martensite sans carbures, présentant un pourcentage surfacique d'au moins 40 %,
- martensite fraîche, sous la forme d'îlots ou de films, le pourcentage surfacique de ladite martensite fraîche étant compris entre 5 % et 30 %, et
- austénite, présentant un pourcentage surfacique de 5 % à 35 %.

23. Produit en acier selon la revendication 22, dans lequel ledit produit en acier comprend au moins une couche de revêtement.

24. Produit en acier selon la revendication 23, dans lequel ladite au moins une couche de revêtement est du zinc ou un alliage à base de zinc, ou de l'aluminium ou un alliage à base d'aluminium.

25. Produit en acier selon la revendication 24, dans lequel ladite au moins une couche de revêtement est appliquée avant l'estampage à chaud.