

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 40200 B1**
- (43) Date de publication : **30.04.2024**
- (51) Cl. internationale :
**C21D 1/19; C23C 2/02;
C21D 1/26; C21D 11/00;
C21D 6/00; C21D 9/00;
C21D 9/46; C21D 9/573;
C22C 38/00; C22C 38/02;
C22C 38/04; C22C 38/06;
C22C 38/34; C22C 38/42;
C22C 38/44; C22C 38/46;
C22C 38/48; C22C 38/50;
C22C 38/54; C22C 38/58;
C23C 2/00; C21D 1/25**

-
- (21) N° Dépôt : **40200**
- (22) Date de Dépôt : **23.07.2015**
- (30) Données de Priorité : **30.07.2014 WO PCT/IB2014/002342**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:
PCT/IB2015/055580 23.07.2015
- (71) Demandeur(s) :
ArcelorMittal, 24-26 Boulevard d'Avranches 1160 Luxembourg (LU)
- (72) Inventeur(s) :
ARLAZAROV, Artem
- (74) Mandataire :
ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)
- (86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation :15762727.4

-
- (54) Titre : **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE EN ACIER À HAUTE RÉSISTANCE**
- (57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce en acier à haute résistance ayant des propriétés mécaniques souhaitées, pouvant être obtenue par un traitement thermique de référence comprenant un premier traitement de référence et un traitement de référence final, comprenant au moins un survieillissement, ledit procédé comprenant une étape de traitement thermique sur un équipement comprenant au moins un moyen de survieillissement pour lequel il est possible de régler au moins un point de fonctionnement, le traitement final comprenant un survieillissement pour lequel il est possible de calculer deux paramètres de traitement final OAP1 et OAP2 en fonction d'un

point de fonctionnement du moyen de surveillance. Un paramètre de traitement final minimum OAP1 min et maximum OAP2 max sont déterminés de façon à obtenir les propriétés souhaitées, au moins un des points de fonctionnement du moyen de la section de surveillance est déterminé de telle sorte que OAP1 = OAP1 min et OAP2 = OAP2 max. La pièce est traitée thermiquement en conséquence. Les paramètres sont indiqués avec $T(t)$ qui est la température au moment t , par la Formule (I).

REVENDICATIONS

1. - Procédé de fabrication d'une pièce en acier à haute résistance ayant des propriétés mécaniques souhaitées, comprenant :

5 - la détermination d'un traitement thermique de référence permettant d'obtenir les propriétés souhaitées, le traitement thermique de référence consistant en un premier traitement de référence conférant à la pièce en acier une structure définie et un traitement de référence final consistant en un survieillissement,

10 le premier traitement thermique de référence étant défini par une température de recuit AT supérieure au point de transformation Ac1 de l'acier et inférieure à 1050 °C, un maintien à la température de recuit AT, une température de trempe QT comprise entre les températures de transformation Ms, c'est-à-dire d'amorçage de la martensite, et Mf, c'est-à-dire de finition de la martensite, de l'austénite provenant du recuit, et une vitesse de refroidissement lors de la trempe suffisante pour obtenir une transformation martensitique afin d'obtenir juste après la trempe une structure comprenant de la martensite et de l'austénite
15 résiduelle,

le traitement de référence final étant défini par une température de survieillissement PT_0 , une vitesse de chauffage rapide à la température de survieillissement PT_0 de 10 °C/s à 500 °C/s, une durée de maintien Pt_0 à cette température de survieillissement, et un refroidissement à la température ambiante,

20 le traitement thermique de référence aboutissant à une structure finale contenant au moins de la martensite et de l'austénite résiduelle, le reste étant de la ferrite et facultativement de la bainite ;

- le traitement thermique de la pièce sur un équipement comprenant au moins un moyen de survieillissement afin d'obtenir des propriétés mécaniques souhaitées pour la
25 pièce, l'étape de traitement thermique comprenant au moins un traitement final effectué sur la pièce en acier ayant la même structure que la structure définie résultant dudit premier traitement de référence, le traitement final consistant en une étape de survieillissement ou en une étape de survieillissement suivie d'une étape de revêtement par immersion à chaud, l'étape de survieillissement étant effectuée sur ledit moyen de survieillissement pour lequel il
30 est possible de fixer au moins un point de fonctionnement, pour lequel il est possible de calculer deux paramètres de traitement final OAP1 et OAP2 en fonction dudit au moins un point de fonctionnement du moyen de survieillissement,

dans lequel la pièce en acier est une tôle en acier produite sur une ligne continue et le moyen de survieillissement est une section de survieillissement d'une ligne de recuit continue,
35 et avant d'entrer dans la section de survieillissement, la tôle est recuite et trempée selon le premier traitement de référence, la tôle se déplaçant à une vitesse V, caractérisé en ce que

le procédé comprend les étapes de :

- détermination d'un premier paramètre de traitement final minimal OAP1min et d'un second paramètre de traitement final maximal OAP2max respectivement, afin d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées, en effectuant une pluralité d'expériences de surveillance consistant en un chauffage depuis la température QT jusqu'à une température de maintien Th à une vitesse de chauffage supérieure à 10 °C/s, une étape de maintien à la température de maintien Th pendant une pluralité de durées tm et un refroidissement jusqu'à la température ambiante à une vitesse de refroidissement supérieure à 10 °C/s, mais pas trop élevée afin de ne pas former de martensite fraîche dans la structure,
- détermination de l'au moins un point de fonctionnement du moyen de la section de surveillance de sorte que le premier paramètre de traitement final OAP1 et le second paramètre de traitement final OAP2 résultant des points de fonctionnement satisfassent :

$$OAP1 \geq OAP1 \text{ min}$$

et

$$OAP2 \leq OAP2 \text{ max,}$$

les points de fonctionnement déterminés comprenant au moins l'un des points de fonctionnement suivants : la vitesse de la tôle, la puissance thermique et la température de surveillance,

- dans lequel, si T(t) est la température en °C de la pièce en acier à l'instant t, t₀ l'instant du début du traitement final et t_f l'instant de la fin du traitement final :

le premier paramètre de surveillance correspondant OAP1 est :

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_f} \exp(-Q / R(T(t) + 273)) dt$$

dans lequel Q = énergie d'activation de la diffusion du carbone et R = constante des gaz parfaits, R = 8,314 J/(mol.K),

- et le second paramètre de surveillance OAP2 est :

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

T₀ étant la température à l'instant t₀ avec, a = b = 0,016, t étant en secondes et caractérisé en ce que l'étape de traitement thermique de la pièce sur l'équipement est effectuée selon les points de fonctionnement déterminés du moyen de surveillance.

- 2. - Procédé de fabrication d'une pièce en acier à haute résistance ayant des propriétés mécaniques souhaitées, comprenant :
 - la détermination d'un traitement thermique de référence permettant d'obtenir les propriétés souhaitées, le traitement thermique de référence consistant en un premier

traitement de référence conférant à la pièce en acier une structure définie et un traitement de référence final consistant en un survieillissement,

le premier traitement thermique de référence étant défini par une température de recuit AT supérieure au point de transformation Ac1 de l'acier et inférieure à 1050 °C, un maintien à la température de recuit AT, une température de trempe QT comprise entre les températures de transformation Ms, c'est-à-dire d'amorçage de la martensite, et Ms, c'est-à-dire de finition de la martensite, de l'austénite provenant du recuit, et une vitesse de refroidissement lors de la trempe suffisante pour obtenir une transformation martensitique afin d'obtenir juste après la trempe une structure comprenant de la martensite et de l'austénite résiduelle,

le traitement de référence final étant défini par une température de survieillissement PT_0 , une vitesse de chauffage rapide à la température de survieillissement PT_0 de 10 °C/s à 500 °C/s, une durée de maintien Pt_0 à cette température de survieillissement, et un refroidissement à la température ambiante,

le traitement thermique de référence aboutissant à une structure finale contenant au moins de la martensite et de l'austénite résiduelle, le reste étant de la ferrite et facultativement de la bainite,

- le traitement thermique de la pièce sur un équipement comprenant au moins un moyen de survieillissement afin d'obtenir des propriétés mécaniques souhaitées pour la pièce, l'étape de traitement thermique comprenant au moins un traitement final effectué sur la pièce en acier ayant la même structure que la structure définie résultant dudit premier traitement de référence, le traitement final consistant au moins en une étape de survieillissement ou en une étape de survieillissement suivie d'une étape de revêtement par immersion à chaud, l'étape de survieillissement étant effectuée sur ledit moyen de survieillissement pour lequel il est possible de fixer au moins un point de fonctionnement, pour lequel il est possible de calculer deux paramètres de traitement final OAP1 et OAP2 en fonction dudit au moins un point de fonctionnement du moyen de survieillissement,

dans lequel la pièce en acier est une pièce formée à chaud et le moyen de survieillissement est un four dans lequel la pièce est maintenue, et juste avant d'entrer dans le four, la structure de la pièce formée à chaud est la même que la structure de la pièce après le premier traitement de référence, caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes de :

- détermination d'un premier paramètre de traitement final minimal OAP1min et d'un second paramètre de traitement final maximal OAP2max respectivement, afin d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées, en effectuant une pluralité d'expériences de survieillissement consistant en un chauffage depuis la température QT jusqu'à une

température de maintien T_h à une vitesse de chauffage supérieure à 10 °C/s , une étape de maintien à la température de maintien T_h pendant une pluralité de durées t_m et un refroidissement jusqu'à la température ambiante à une vitesse de refroidissement supérieure à 10 °C/s , mais pas trop élevée afin de ne pas former de martensite fraîche dans la structure,

5 - détermination de l'au moins un point de fonctionnement du moyen de la section de surveillance de sorte que le premier paramètre de traitement final OAP1 et le second paramètre de traitement final OAP2 résultant des points de fonctionnement satisfassent :

$$OAP1 \geq OAP1 \text{ min}$$

et

10 $OAP2 \leq OAP2 \text{ max,}$

les points de fonctionnement déterminés comprenant au moins l'un des points de fonctionnement suivants : une durée de maintien de la pièce dans le four, la puissance thermique et la température de surveillance

15 dans lequel, si $T(t)$ est la température en $°C$ de la pièce en acier à l'instant t , t_0 l'instant du début du traitement final et t_f l'instant de la fin du traitement final :

le premier paramètre de surveillance correspondant OAP1 est :

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_f} \exp(-Q / R(T(t) + 273)) dt$$

20 dans lequel Q = énergie d'activation de la diffusion du carbone et R = constante des gaz parfaits, $R = 8,314\text{ J/(mol.K)}$,

et le second paramètre de surveillance OAP2 est :

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

T_0 étant la température à l'instant t_0 ,

25 avec $a = b = 0,016$, t étant en secondes, et caractérisé en ce que l'étape de traitement thermique de la pièce sur l'équipement est effectuée selon les points de fonctionnement déterminés du moyen de surveillance.

3 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel les propriétés mécaniques souhaitées sont des valeurs minimales pour au moins une propriété de traction telle que la limite d'élasticité et/ou la résistance à la traction et pour au moins une propriété de ductilité telle que l'allongement total et/ou l'allongement uniforme et/ou le taux de dilatation des trous et/ou les propriétés de flexion.

30

4 - Procédé selon la revendication 1 à 3, dans lequel la température de recuit AT du

premier traitement de référence est choisie de façon à obtenir avant la trempe une structure contenant au moins 50 % d'austénite, et la température de trempe QT du premier traitement de référence est inférieure au point de transformation Ms de l'acier de façon à obtenir une structure comportant juste après la trempe au moins de la martensite et de l'austénite, et le

5 surveillance du traitement de référence final est effectué à une température au moins égale à la température de trempe QT et inférieure au point de transformation Ac1 de l'acier.

5 - Procédé selon la revendication 4, dans lequel le recuit est effectué à une température supérieure à Ac3 afin d'obtenir avant la trempe une structure entièrement austénitique.

10 6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 5, dans lequel le revêtement par immersion à chaud est une étape de galvanisation ou de recuit après galvanisation.

15 7 - Procédé selon la revendication 1, dans lequel, pour déterminer le premier paramètre de traitement final minimal et le second paramètre de traitement final maximal, des expériences sont réalisées sur une ligne de recuit continue.

8. - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la composition chimique de l'acier comprend en % en poids :

$$0,1 \% \leq C \leq 0,5 \%$$

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

20 $1 \% \leq Mn \leq 7 \%$

$$Al \leq 2 \%$$

$$P \leq 0,02 \%$$

$$S \leq 0,01 \%$$

$$N \leq 0,02 \%$$

25 facultativement un ou plusieurs éléments choisis parmi Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, V, Ti, Zr et B, dont les teneurs sont telles que :

$$Ni \leq 0,5 \%,$$

$$0,1 \% \leq Cr \leq 0,5 \%,$$

$$0,1 \% \leq Mo \leq 0,03 \%$$

30 $Cu \leq 0,5 \%$

$$0,02 \% \leq Nb \leq 0,05 \%$$

$$0,02 \% \leq V \leq 0,05 \%$$

$$0,001 \% \leq Ti \leq 0,15 \%$$

$$0,2 \% \leq Zr \leq 0,3 \%$$

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

5 avec : $Nb + V + Ti + Zr/2 \leq 0,2 \%$.

le reste étant constitué de fer et d'impuretés inévitables.

9. - Procédé selon la revendication 8, dans lequel $Q = 148\ 000$ J/mol.