



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2000/07/06
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2001/01/07
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2009/04/07
(30) Priorité/Priority: 1999/07/07 (FR99 08 758)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22D 11/06* (2006.01),
C21D 8/02 (2006.01), *C22C 38/04* (2006.01),
C22C 38/58 (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
GUELTON, NICOLAS, FR;
FARAL, MICHEL, FR;
FARAL, ODILE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
USINOR, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE DE FABRICATION DE BANDES EN ALLIAGE FER-CARBONE-MANGANESE, ET BANDES AINSI
PRODUITES

(54) Title: MANUFACTURING PROCESS FOR IRON-CARBON-MANGANESE ALLOY STRIPS, AND STRIPS
PRODUCED THEREBY

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un procédé de production de bandes en alliage fer-carbone- manganèse, selon lequel : - on coule sur une machine de coulée une bande mince d'épaisseur 1,5 à 10 mm directement à partir d'un métal liquide de composition en pourcentages pondéraux : C compris entre 0,001 et 1,6% ; Mn compris entre 6 et 30% ; Ni ≤ 10% avec (Mn + Ni) compris entre 16 et 30% ; Si ≤ 2,5% ; Al ≤ 6% ; Cr ≤ 10% ; (P + Sn + Sb + As) ≤ 0,2% ; (S + Se + Te) ≤ 0,5% ; (V + Ti + Nb + B + Zr + terres rares) ≤ 3% ; (Mo + W) ≤ 0,5% ; N ≤ 0,3% ; Cu ≤ 5%, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ; - on lamine à froid ladite bande à un taux de réduction compris entre 10 et 90% en une ou plusieurs étapes ; - et on effectue un recuit de recristallisation de ladite bande. L'invention concerne également une bande susceptible d'être produite par ce procédé.



Abrégé descriptif

L'invention concerne un procédé de production de bandes en alliage fer-carbone-manganèse, selon lequel :

- on coule sur une machine de coulée une bande mince d'épaisseur 1,5 à 10 mm directement à partir d'un métal liquide de composition en pourcentages pondéraux : C compris entre 0,001 et 1,6% ; Mn compris entre 6 et 30% ; Ni \leq 10% avec (Mn + Ni) compris entre 16 et 30% ; Si \leq 2,5% ; Al \leq 6% ; Cr \leq 10% ; (P + Sn + Sb + As) \leq 0,2% ; (S + Se + Te) \leq 0,5% ; (V + Ti + Nb + B + Zr + terres rares) \leq 3% ; (Mo + W) \leq 0,5% ; N \leq 0,3% ; Cu \leq 5%, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on lamine à froid ladite bande à un taux de réduction compris entre 10 et 90% en une ou plusieurs étapes ;

- et on effectue un recuit de recristallisation de ladite bande.

L'invention concerne également une bande susceptible d'être produite par ce procédé.

PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES EN ALLIAGE FER - CARBONE - MANGANESE, ET BANDES AINSI PRODUITES

L'invention concerne la fabrication de bandes d'alliages ferreux. Plus
5 précisément, elle concerne la fabrication de bandes en alliage fer-carbone-manganèse par
coulée directe sous forme de bandes minces.

On connaît depuis longtemps les aciers Hadfield Fe-Mn (11 à 14%)-C (1,1 à
1,4%) qui peuvent être qualifiés d'« aciers à forte teneur en manganèse ». Ils présentent la
particularité d'avoir une résistance très élevée et une capacité de durcissement sous l'effet
10 de chocs ou de frottements répétés. On connaît également les aciers austénitiques du type
Fe-Mn (15 à 35%)-Al (0 à 10%)-Cr (0 à 20%)-C (0 à 1,5%) qui dérivent simultanément des
aciers Hadfield et des aciers inoxydables austénitiques Fe-Cr-Ni dont on a progressivement
remplacé le nickel par du manganèse et le chrome par de l'aluminium. Ces aciers à forte
teneur en manganèse se caractérisent par une forte capacité d'écaillage qui leur permet
15 d'associer un haut niveau de résistance à une excellente ductilité. On peut donc les utiliser
avec profit pour la fabrication d'éléments de renfort fabriqués par emboutissage pour
l'industrie automobile. C'est au maillage mécanique, assisté éventuellement par la
transformation martensitique $\gamma \rightarrow \epsilon$ que ces aciers doivent leur grande capacité
d'écaillage. En se propageant, les macles facilitent la déformation plastique, mais en se
20 faisant mutuellement obstacle, elles contribuent aussi à l'augmentation de la contrainte
d'écoulement.

Divers documents traitent de la composition et de la fabrication de tels aciers à
très forte teneur en manganèse, par exemple WO 93/13233, WO 95/26423, WO 97/24467.
Ces aciers ont toujours, jusqu'à présent, été fabriqués par la filière classique coulée
25 continue de brames d'épaisseur 200 mm environ - laminage à chaud - laminage à froid -
recuit - décapage - skin-pass. Cette filière présente essentiellement trois inconvénients.
D'abord son coût, lié à l'utilisation d'un train à bandes qui est une installation nécessitant
un investissement très élevé et consommant beaucoup d'énergie, puisqu'il est nécessaire de
fortement réchauffer les brames avant de les laminier. Ensuite l'existence d'un risque de
30 fissuration à chaud de la bande lors de ce réchauffage, pendant lequel se forme également
une épaisse couche de calamine qui est défavorable aussi bien à la qualité de surface du
produit qu'au rendement métallurgique du process de fabrication. Enfin, dans l'ensemble,
il s'agit d'une filière de fabrication longue, ne permettant pas toujours de réagir
promptement à une demande pressante de la part d'un client.

35 Le but de l'invention est de proposer une méthode de fabrication de bandes
d'alliages ferreux à forte teneur en manganèse plus rapide et moins coûteuse que la
méthode classiquement connue, et permettant d'obtenir des produits d'au moins aussi
bonne qualité que par cette précédente méthode.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de production de bandes en alliage fer-carbone-manganèse, selon lequel :

- on coule sur une machine de coulée une bande mince d'épaisseur 1,5 à 10 mm directement à partir d'un métal liquide de composition en pourcentages pondéraux : C compris entre 0,001 et 1,6% ; Mn compris entre 6 et 30%, Ni \leq 10% et avec (Mn + Ni) compris entre 16 et 30% ; Si \leq 2,5% ; Al \leq 6% ; Cr \leq 10% ; (P + Sn + Sb + As) \leq 0,2% ; (S + Se + Te) \leq 0,5% ; (V + Ti + Nb + B + Zr + terres rares) \leq 3% ; (Mo + W) \leq 0,5% ; N \leq 0,3% ; Cu \leq 5% ; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on lamine à froid ladite bande à un taux de réduction compris entre 10 et 90% en une ou plusieurs étapes ;

- et on effectue un recuit de recristallisation de ladite bande.

L'invention concerne également une bande susceptible d'être produite par ce procédé.

Comme on l'aura compris, l'invention repose en premier lieu sur l'utilisation d'un procédé de coulée du métal liquide directement sous forme d'une bande de faible épaisseur. Celle-ci peut éventuellement subir un laminage à chaud en ligne au moyen d'une installation de faible dimension, dont le coût de fabrication et d'utilisation est très inférieur à celui d'un train à bandes. De plus, la suppression du laminage à chaud sur un train à bandes élimine les risques de fissuration à chaud lors du réchauffage dont on a parlé. Suivent ensuite des opérations de laminage à froid, recuit et éventuellement skin-pass, dont l'exécution selon les modalités qui seront précisées permet d'obtenir les propriétés du produit souhaitées.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit.

Le procédé de coulée directe de bandes minces d'acier de 1,5 à 10 mm d'épaisseur est aujourd'hui bien connu, notamment sous sa forme dite « coulée entre cylindres ». L'acier liquide se solidifie contre les parois latérales de deux cylindres horizontaux rapprochés, refroidis intérieurement et mis en rotation en sens inverses, et ressort sous les cylindres sous forme d'une bande solidifiée. Celle-ci peut être directement bobinée, puis envoyée aux installations de traitement à froid, ou subir un laminage à chaud en ligne avant le bobinage. Selon l'invention, l'utilisation d'un tel procédé permet de raccourcir la filière de fabrication des bandes d'acier à haute teneur en manganèse grâce à la suppression du passage au train à bandes, alors que ce passage est nécessaire dans la filière classique débutant par la coulée de brames. Cette suppression est d'autant plus avantageuse que les aciers austénitiques à forte teneur en manganèse se caractérisent par l'absence de transformation de phase au cours de leur refroidissement. En effet, l'une des fonctions classiques du laminage à chaud des aciers ferritiques, au carbone ou inoxydables, est l'affinement de la microstructure juste avant que ne se produise la transformation de phase. Mais les aciers à haute teneur en manganèse qui offrent le meilleur compromis résistance-ductilité à la température de mise en forme sont complètement austénitiques, du moins

avant déformation, depuis leur solidification jusqu'à la fin de leur refroidissement. Donc le laminage à chaud des aciers austénitiques à forte teneur en manganèse n'a pas un intérêt métallurgique important. Sa fonction se limite à une simple réduction d'épaisseur du produit pour obtenir une bande susceptible d'être laminée à froid. Dans leur cas, il n'y a
5 donc pas d'inconvénient à obtenir par coulée de bandes minces une bande d'épaisseur relativement proche de son épaisseur finale, sous réserves que ladite bande soit exempte de porosités centrales après sa coulée. Un léger laminage à chaud en ligne, tel qu'on le décrit, est suffisant pour refermer ces éventuelles porosités.

L'invention s'applique à la fabrication d'aciers à haute teneur en manganèse qui
10 ont la composition suivante, les pourcentages étant des pourcentages pondéraux :

- leur teneur en carbone est comprise entre 0,001 et 1,6%, préférentiellement comprise entre 0,2 et 0,8% ; une teneur inférieure à 0,2% oblige à procéder à une décarburation du bain d'acier liquide qui peut être coûteuse à réaliser, en particulier lorsque le manganèse est déjà présent en quantité importante ; de plus, cette teneur minimale de
15 0,2% permet d'obtenir une interaction entre le carbone et les dislocations : le carbone, en bloquant les dislocations, permet un durcissement supplémentaire par rapport au maclage, et permet d'améliorer la résistance à la traction de 50 à 100 Mpa ; une teneur supérieure à 0,8% rend plus délicate l'optimisation des teneurs en autres éléments d'alliage en vue de l'obtention des propriétés mécaniques les plus favorables ;

20 - leur teneur en manganèse est comprise entre 6 et 30%, sachant que le total de leurs teneurs en manganèse et nickel est compris entre 16 et 30% et que leur teneur en nickel peut aller jusqu'à 10% ;

- leur teneur en silicium peut aller jusqu'à 2,5%, sachant que cet élément n'est qu'optionnel ;

25 - leur teneur en aluminium est inférieure à 6% sachant que cet élément n'est qu'optionnel ;

- si du chrome est présent, la teneur en chrome est au maximum de 10% ;

- leur teneur en phosphore peut aller jusqu'à 0,2%, sachant que l'étain, l'antimoine et l'arsenic éventuellement présents sont, de ce point de vue, assimilables au phosphore et
30 comptabilisés avec lui dans la composition de l'acier ; au-delà, on risque d'obtenir des défauts dans les zones ségréguées de la bande ; ces défauts seraient provoqués par des retards à la solidification là où se trouvent des ségrégations ; si on lamine à chaud alors que du métal à l'état liquide est encore présent par endroits dans le produits, il y a, de ce fait, un risque de décohésion de la microstructure ;

35 - le total de leurs teneurs en soufre, sélénium et tellure peut aller jusqu'à 0,5% ;

- le total de leurs teneurs en vanadium, titane, niobium, bore, tantale et zirconium et terres rares, qui précipitent les nitrures et carbonitrures, peut aller jusqu'à 3% ;

- le total de leurs teneurs en molybdène et tungstène peut aller jusqu'à 0,5% ;

- leur teneur en azote peut aller jusqu'à 0,3%.

Selon l'invention, un acier à très forte teneur en manganèse présentant une composition telle que précédemment définie (un exemple typique d'une telle composition est Fe - C : 0,55% - Mn : 21,5%) est coulé sous forme de bandes minces d'épaisseur 1,5 à 10 mm, directement à partir de métal liquide. A cet effet, la coulée entre cylindres de bandes d'épaisseur de l'ordre de 3 à 4 mm est particulièrement adaptée à la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

A sa sortie des cylindres, la bande traverse, de préférence, une zone telle qu'une enceinte inertée par une insufflation de gaz, où elle est soumise à un environnement non oxydant (atmosphère neutre d'azote ou d'argon, voire une atmosphère comportant une certaine proportion d'hydrogène pour la rendre réductrice), afin d'éviter ou de limiter la formation de calamine à sa surface. On a vu que les aciers du type coulé étaient particulièrement sensibles à la formation de calamine, et il est moins difficile de limiter cette formation sur des bandes minces coulées directement à partir de métal liquide que sur des brames épaisses devant être coulées sur une installation de coulée continue classique, puis réchauffées avant leur laminage à chaud. En sortie de cette zone d'inertage on peut également placer un dispositif de décalaminage de la bande par projection de grenailles ou de CO₂ solide sur sa surface ou par brossage, afin d'éliminer la calamine qui aurait pu se former malgré les précautions prises. On peut également choisir de laisser se former la calamine de façon naturelle sans chercher à inerte l'atmosphère environnant la bande, puis d'éliminer cette calamine par un dispositif tel qu'on vient de le décrire.

Autant que possible immédiatement après la sortie de la bande de l'installation d'inertage ou de décalaminage a lieu, de préférence, un laminage à chaud en ligne de cette même bande. Il n'est, cependant, pas obligatoire dans le cas où la bande serait d'emblée satisfaisante en termes de porosités et d'état de surface. C'est en grande partie ce laminage qui justifie les mesures prises préférentiellement pour éviter ou limiter la formation de calamine, et/ou pour éliminer la calamine qui aurait pu se former. En effet, effectuer ce laminage à chaud sur une bande calaminée pourrait conduire à des incrustations de calamine dans la surface de la bande, qui détérioreraient sa qualité de surface. Le rôle essentiel de ce laminage à chaud est de refermer les porosités susceptibles d'avoir été formées au cœur de la bande lors de sa solidification, et d'améliorer son état de surface en écrasant les pics de rugosité éventuellement présents à la surface de la bande, en particulier lorsque des cylindres de coulée à rugosité élevée ont été utilisés. Le taux de réduction minimal à appliquer à la bande lors de ce laminage à chaud est de 10% si on veut refermer correctement les porosités, typiquement de 20%. Un taux allant jusqu'à 60% (obtenu en une ou plusieurs étapes) est cependant envisageable, en particulier si on a affaire à une bande présentant une forte rugosité de surface, ou si on désire obtenir un produit final présentant une très faible épaisseur. La température à laquelle est effectuée ce laminage à chaud est sans grande importance du point de vue métallurgique, puisque, comme on l'a

dit, l'acier a une structure austénitique à toute température et ne subit donc pas de transformation de phase qui pourrait influencer sur le résultat qualitatif du laminage à chaud.

Après ce laminage à chaud éventuel mais préférentiel, la bande peut éventuellement être bobinée, là encore à une température qui n'a guère d'importance autre que pratique, puisqu'aucune transformation métallurgique notable autre qu'une croissance des grains n'est susceptible de se produire pendant la période où la bande bobinée se refroidit à faible vitesse. La croissance des grains n'aura, de toute façon, qu'une ampleur limitée, dont les effets seront faciles à annuler par les opérations de laminage à froid et de recuit qui suivront. Eventuellement, le séjour de la bande sous forme de bobine peut être l'occasion de parachever la précipitation des carbures, nitrures et carbonitrures.

La bande coulée puis éventuellement laminée à chaud subit ensuite (directement ou après une opération de bobinage-débobinage) un laminage à froid, préférentiellement précédé d'un décapage acide (par exemple à l'acide chlorhydrique) permettant d'assurer l'obtention d'un bon état de surface de la bande. Le taux de réduction appliqué lors de ce laminage à froid est de 10 à 90%, typiquement de l'ordre de 75%. Il est obtenu en une ou plusieurs étapes. Si on est parti d'une bande coulée de 3 à 4 mm d'épaisseur, que l'on a réduite à 2,5 à 3 mm d'épaisseur après laminage à chaud, on se retrouve typiquement avec une bande laminée à froid dont l'épaisseur est de l'ordre de 0,6-0,8 mm.

La bande subit ensuite un recuit de recristallisation qui doit lui conférer des caractéristiques de résistance à la traction et de ductilité élevées. Ce recuit peut être effectué de différentes manières, à savoir par exemple :

- un recuit dit « recuit compact » où la bande est chauffée jusqu'à une température de 900 à 1000°C, voire 1100°C, à une vitesse d'environ 500°C/s, puis est immédiatement refroidie à une vitesse comprise entre 100 et 6000°C/s, qui est fonction de l'épaisseur de la bande et des caractéristiques du fluide de refroidissement ; typiquement, une bande de 0,8 mm d'épaisseur chauffée à 1000°C se refroidit à 200°C/s si elle est trempée à l'hélium et à 5000°C/s si elle est trempée à l'eau ;

- un recuit continu où la bande est portée entre 800 et 850 °C, et maintenue à cette température pendant 60 à 120 s environ ;

- un recuit base où la bande est maintenue entre 700 et 750°C pendant 10 à 90 mn environ ;

Dans tous les cas, on obtient, dans l'exemple considéré, une taille des grains recristallisés inférieure à 10 µm. De manière générale, on peut dire que les aciers à haute teneur en manganèse concernés par l'invention tolèrent une grande variation des conditions de recuit, en raison de leur forte teneur en éléments d'alliage qui freine la croissance des grains.

On a regroupé dans le tableau 1 les caractéristiques de traction obtenues sur un acier de composition C = 0,57%, Mn = 21,47%, Si = 0,038%, Ni = 0,03%, Cr = 0,005%, Cu = 0 003%, P = 0,009%, N = 0,034%, S = 0,005%, Al = 0,003%, Mo = 0,003%, ayant

subi un traitement selon l'invention tel qu'exposé précédemment, comprenant la coulée entre cylindres d'une bande de 4 mm d'épaisseur, un laminage à chaud de cette bande jusqu'à 2,6 mm d'épaisseur, un laminage à froid jusqu'à 1 mm d'épaisseur, et enfin un recuit continu de 90 s à 800°C. A titre de comparaison, figurent également dans le tableau 1 les caractéristiques de traction d'un acier de référence obtenu par un procédé classique de fabrication de bandes d'acier à haute teneur en manganèse de composition C = 0,53%, Mn = 26,4%, Si = 0,045%, P = 0,013%, Al = 1,6%, N = 0,074%, comparable à celles décrites dans le document WO 93/13233. Les caractéristiques de traction ont été mesurées parallèlement à la direction de laminage.

10

	Invention	Référence
Module d'Young (GPa)	197	187
Limite d'élasticité $R_{p0,2\%}$ (MPa)	571	441
Résistance maximale (MPa)	1152	881
Allongement réparti (%)	53,1	52,8
Allongement à la rupture (%)	62,5	57,6
Coefficient d'écroutissage	0,45	0,51
Coefficient d'anisotropie	1	0,96

Tableau 1 : Caractéristiques de traction comparées d'un acier selon l'invention et d'un acier de référence

Ce tableau montre notamment que la résistance mécanique est améliorée de plus de 30% sur l'acier de l'invention par rapport à l'acier de référence. La dispersion des résultats est inférieure à 4%. Cette amélioration de la résistance mécanique ne s'accompagne pas d'une diminution de la ductilité, bien au contraire, puisque l'allongement à la rupture est, lui aussi, considérablement augmenté.

Le process d'élaboration de la bande peut s'arrêter après le recuit (après un éventuel décapage de la bande recuite), ou être complété de manière classique par un passage au skin-pass effectué selon des modalités habituelles.

REVENDICATIONS

1) Procédé de production de bandes en alliage fer-carbone-manganèse, selon lequel :

5 - on coule sur une machine de coulée une bande mince d'épaisseur 1,5 à 10 mm directement à partir d'un métal liquide de composition en pourcentages pondéraux : C compris entre 0,001 et 1,6% ; Mn compris entre 6 et 30%, Ni \leq 10% et avec (Mn + Ni) compris entre 16 et 30% ; Si \leq 2,5% ; Al \leq 6% ; Cr \leq 10% ; (P + Sn + Sb + As) \leq 0,2% ; (S + Se + Te) \leq 0,5% ; (V + Ti + Nb + B + Zr + terres rares) \leq 3% ; (Mo + W) \leq 0,5% ; N \leq 10 0,3% ; Cu \leq 5%, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on lamine à froid ladite bande à un taux de réduction compris entre 10 et 90% en une ou plusieurs étapes ;

- et on effectue un recuit de recristallisation de ladite bande.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la teneur en carbone dudit métal liquide est comprise entre 0,2 et 0,8%.

3) Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite bande est obtenue par coulée entre deux cylindres horizontaux rapprochés, refroidis intérieurement et mis en rotation en sens inverses.

4) Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'entre la 20 coulée de la bande et le laminage à froid, on lamine à chaud ladite bande à un taux de réduction compris entre 10 et 60% en une ou plusieurs étapes.

5) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite bande traverse une zone sous atmosphère non oxydante entre sa coulée et son laminage à chaud.

6) Procédé selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que ladite 25 bande subit une opération de décalaminage avant son laminage à chaud.

7) Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la bande est bobinée après sa coulée ou son laminage à chaud et débobinée avant son laminage à froid.

8) Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite bande subit un décapage acide avant son laminage à froid.

9) Procédé selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que ledit recuit de 30 recristallisation est un recuit compact effectué à une température de 900 à 1100°C, immédiatement suivi par un refroidissement de la bande à une vitesse de 100 à 6000°C/s.

10) Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit recuit de recristallisation est un recuit continu effectué à une température de 800 à 850°C pendant 35 60 à 120 s.

11) Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit recuit de recristallisation est un recuit base effectué à une température de 700 à 750°C pendant 10 à 90 mn.

12) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite bande est décapée après ledit recuit de recristallisation.

13) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ladite bande subit un passage au skin-pass après le recuit de recristallisation.

14) Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite bande subit un passage au skin-pass après le décapage.