

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 796 685 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
24.09.1997 Bulletin 1997/39

(51) Int Cl.⁶: **B22D 11/06, C22C 38/40**

(21) Numéro de dépôt: **97400539.9**

(22) Date de dépôt: **12.03.1997**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU NL
PT SE**

(30) Priorité: **22.03.1996 FR 9603545**

(71) Demandeurs:
• **USINOR SACILOR
92800 Puteaux (FR)**
• **Thyssen Stahl Aktiengesellschaft
47166 Duisburg (DE)**

(72) Inventeurs:
• **Paradis, Philippe
Molingham, 62330 Isbergues (FR)**

• **Damasse, Jean-Michel
62330 Isbergues (FR)**
• **Marchinonni, Christian
57780 Rosselange (FR)**
• **Bobadilla, Manuel
57140 Saulny (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger
USINOR SACILOR,
Direction Propriété Industrielle,
Immeuble "La Pacific",
La Défense 7,
11/13 Cours Valmy,
TSA 10001
92070 La Défense (FR)**

(54) **Procédé de coulée continue d'une bande d'acier inoxydable austénitique sur une ou entre deux parois mobiles dont les surfaces sont pourvues de fossettes, et installation de coulée pour sa mise en oeuvre**

(57) L'invention a pour objet un procédé de coulée continue d'une bande d'acier inoxydable austénitique directement à partir de métal liquide de composition, exprimée en pourcentages pondéraux: C ≤ 0,08 %; Si ≤ 1 %; Mn ≤ 2 %; P ≤ 0,045 %; S ≤ 0,030 %; Cr compris entre 17,0 et 20,0 %; Ni compris entre 8,0 et 10,5 % sur une machine de coulée sur une ou entre deux parois mobiles dont la surface extérieure est pourvue de fossettes et dont on inerte la zone environnant le ménisque avec un gaz d'inertage de composition maîtrisée, caractérisé en ce que:

- on confère audit métal liquide un rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ supérieur à 1,55, avec:

$$Cr_{\text{éq}} = \% Cr + 1,37 \times \% Mo + 1,5 \times \% Si + 2 \times \% Nb + 3 \times \% Ti$$

et

$$Ni_{\text{éq}} = \% Ni + 0,31 \times \% Mn + 22 \times \% C + 14,2 \times \% N + \% Cu;$$

- on utilise une ou des parois mobiles dont l'ensemble de la surface comporte des fossettes jointives de diamètre compris entre 100 et 1500 μm et de profondeur comprise entre 20 et 150 μm;
- et on utilise un gaz d'inertage consistant au moins partiellement en un gaz soluble dans l'acier.

L'invention a également pour objet une installation de coulée pour la mise en oeuvre de ce procédé.

EP 0 796 685 A1

Description

L'invention concerne la coulée continue des métaux. Plus précisément, elle concerne les installations de coulée continue des métaux tels que l'acier inoxydable sous forme de bandes minces, par solidification du métal liquide sur une paroi mobile ou entre deux parois mobiles. Ces parois mobiles peuvent, en particulier, être constituées par les surfaces latérales d'un ou deux cylindres à axe horizontal énergiquement refroidis intérieurement.

Ces dernières années ont vu s'accomplir des progrès sensibles dans le développement des procédés de coulée de minces bandes d'acier directement à partir de métal liquide. Le procédé qui semble, l'heure actuelle, être le plus susceptible de déboucher rapidement sur une application industrielle est la coulée entre deux cylindres refroidis intérieurement, tournant autour de leurs axes horizontaux dans des sens opposés, et disposés en regard l'un de l'autre, la distance minimale entre leurs surfaces étant sensiblement égale à l'épaisseur que l'on désire conférer à la bande coulée (par exemple de quelques mm). L'espace de coulée renfermant l'acier liquide est défini par les surfaces latérales des cylindres, sur lesquelles s'initie la solidification de la bande, et par des plaques de fermeture latérale en réfractaire appliquées contre les extrémités des cylindres. Les cylindres peuvent éventuellement être remplacés par deux bandes refroidies en défilement. Pour couler des produits d'épaisseur encore plus faible, on a aussi proposé de réaliser la solidification par dépôt du métal liquide sur la surface refroidie d'un cylindre unique en rotation.

L'obtention immédiate d'une bonne qualité de surface de la bande est un élément essentiel de la réussite de l'opération de coulée. En effet, l'intérêt majeur de la coulée de bandes minces directement à partir de métal liquide est la possibilité qu'elle donne de supprimer ou de réduire considérablement l'ampleur de l'opération de laminage à chaud du demi-produit épais habituellement coulé. Lorsque l'acier est coulé en formats épais, il est possible de supprimer les défauts de surface par meulage, et de toute façon le taux de laminage important permet d'atténuer sensiblement leur importance. Au contraire, dans les procédés de coulée de bandes minces, il est impératif d'obtenir une surface comportant peu de défauts dès la coulée. En particulier, la bande doit être autant que possible exempte de petites fissures superficielles appelées "microcraques", car celles-ci sont dommageables pour la qualité du produit fini après le laminage à froid qui doit conférer son épaisseur définitive à la bande.

Ces microcraques ont en général une profondeur de l'ordre de 40 μm et une ouverture inférieure ou égale à 20 μm , et on remarque qu'elles sont associées à une plage où le métal est enrichi en éléments qui ségrègent au moment de la solidification, tels que le nickel et le manganèse. Il est donc clair que ces défauts se forment au moment de la solidification de l'acier sur les cylindres. Leur apparition est liée aux contractions du métal lors de la solidification, contractions dont l'ampleur dépend du chemin de solidification, donc de la composition du métal coulé. Les conditions de contact entre l'acier et la surface des cylindres ont également une grande importance, en ce qu'elles gouvernent les transferts thermiques responsables de la solidification. Elles sont principalement contrôlées par la rugosité de la surface des cylindres, et également par la nature du gaz qui est présent au moment de la solidification dans les parties gravées en creux de cette surface lorsqu'elle n'est pas parfaitement lisse. En effet, ce gaz forme un "matelas" entre le métal et le cylindre, et son influence sur les transferts thermiques dépend de sa nature et de sa quantité présente. Ces deux paramètres sont, notamment, gouvernés par le dispositif d'inertage de la lingotière qui est utilisé pour protéger l'acier liquide de l'oxydation atmosphérique, notamment dans la zone où la surface du métal entre en contact avec le cylindre, appelée "ménisque". De manière générale, les transferts thermiques sont plus intenses lorsqu'on utilise un gaz d'inertage présentant une solubilité significative dans l'acier liquide, tel que l'azote, que lorsqu'on utilise un gaz d'inertage insoluble dans l'acier liquide tel que l'argon.

Dans le document EP 0309247, il est proposé de conférer à la surface des cylindres une rugosité sous forme de "fossettes", c'est à dire de gravures en creux d'ouvertures circulaires ou ovales d'un diamètre de l'ordre de 0,1 à 1,2 mm et d'une profondeur de 5 à 100 μm . Le document EP 0409645 s'intéresse également à la nature du gaz d'inertage, et propose de conjuguer l'utilisation de fossettes avec celle d'un mélange de gaz soluble (azote, hydrogène, CO_2 , ammoniac) et insoluble (argon, hélium) dans le métal liquide. Un gaz d'inertage trop soluble dans le métal risque de ne pas empêcher le métal de pénétrer jusqu'au fond des fossettes: on obtient alors une solidification rapide génératrice de microcraques (tout comme si la surface de coulée était rigoureusement lisse) qui, en outre, laisse subsister des reliefs sur la surface de la bande constituant l'impression "en négatif" des fossettes. Inversement, un gaz totalement insoluble risque de se dilater exagérément, et d'imprimer des creux à la surface de la bande. Dans d'autres documents, il est proposé de réaliser ces fossettes par usinage laser (EP 0577833) ou par grenailage (JP 6134553, JP 6328204). Dans tous les documents que l'on vient de citer, les fossettes sont non jointives, et séparées les unes des autres par des plages planes ou très faiblement rugueuses.

On a également proposé (document EP 0396862) de réaliser sur les cylindres des rainures circumférencielles écartées les unes des autres de 50 μm à 3 mm, larges de 10 μm à 1 mm et profondes de 30 à 500 μm .

Un autre document (WO 95/13889) a proposé de réaliser des cylindres présentant sur leur surface des crêtes et des rainures circumférencielles profondes de 10 à 60 μm et espacées de 100 à 200 μm . Cette forme de gravure est conjuguée à une exigence sur la composition du métal, qui est un acier inoxydable austénitique, par exemple de type SUS 304, dont le rapport $\text{Cr}_{\text{éq}}/\text{Ni}_{\text{éq}}$ doit être inférieur à 1,60, et même de préférence à 1,55. Cette dernière exigence

revient à dire que la solidification du métal doit s'effectuer dans le domaine de l'austénite primaire. Si le rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ est supérieur à ces valeurs, les bandes présentent des dépressions en forme de "peau de crocodile" pouvant dégénérer en microcraques.

5 Toutefois, l'expérience montre que sur ces types d'aciers inoxydables austénitiques, la bande est fortement sensible à la fissuration à chaud. Il y a alors le risque de provoquer la formation de craques longitudinales de taille importante, qui constituent un problème au moins aussi grave que celui posé par les microcraques que l'on cherchait à éviter. Pour y remédier, il faut diminuer drastiquement les quantités d'éléments résiduels fragilisants présents dans le métal, tels que le soufre et le phosphore. Cela conduit à des exigences particulières sur le choix des matières premières et/ou sur le mode d'élaboration de l'acier liquide qui, inévitablement, augmentent le prix de revient des produits.

10 D'autre part, les méthodes que l'on vient de citer ne procurent pas totalement satisfaction, en ce que, dans bien des cas, on constate toujours la formation de microfissures sur le produit, même si elle est notablement réduite par rapport au cas où on coule l'acier sur des cylindres lisses ou à rugosité non maîtrisée.

Le but de l'invention est de procurer aux aciéristes une méthode leur permettant de couler des aciers inoxydables austénitiques, par exemple (mais pas uniquement) ceux de type SUS 304 sous forme de bandes minces de quelques mm d'épaisseur, comportant aussi peu que possible aussi bien de microcraques que de craques longitudinales, sans pour autant qu'il soit nécessaire d'opérer sur un métal liquide à teneur drastiquement faible en éléments résiduels.

15 L'invention a pour objet un procédé de coulée continue d'une bande d'acier inoxydable austénitique directement à partir de métal liquide de composition, exprimée en pourcentages pondéraux, $C \leq 0,08 \%$; $Si \leq 1 \%$; $Mn \leq 2 \%$; $P \leq 0,045 \%$; $S \leq 0,030 \%$; Cr compris entre 18,0 et 20,0 %; Ni compris entre 8,0 et 10,5 % sur une machine de coulée sur une ou entre deux parois mobiles dont la surface extérieure est pourvue de fossettes et dont on inerte la zone environnant le ménisque avec un gaz d'inertage de composition maîtrisée, caractérisé en ce que:

- on confère audit métal liquide un rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ supérieur à 1,55, avec:

25
$$Cr_{\text{éq}} = \% Cr + 1,37 \times \% Mo + 1,5 \times \% Si + 2 \times \% Nb + 3 \times \% Ti$$

et

30
$$Ni_{\text{éq}} = \% Ni + 0,31 \times \% Mn + 22 \times \% C + 14,2 \times \% N + \% Cu;$$

- on utilise une ou des parois mobiles dont l'ensemble de la surface comporte des fossettes jointives de diamètre compris entre 100 et 1500 μm et de profondeur comprise entre 20 et 150 μm ;
- 35 - et on utilise un gaz d'inertage consistant au moins partiellement en un gaz soluble dans l'acier.

Dans un exemple préféré de réalisation, lesdites parois mobiles sont constituées par les surfaces extérieures de deux cylindres refroidis à axes horizontaux tournant en sens inverses.

L'invention a également pour objet une installation de coulée pour la mise en oeuvre de ce procédé.

40 Comme on l'aura compris, le but poursuivi par l'invention est atteint en conjuguant des exigences concernant la composition du métal, la rugosité de la ou des surfaces de coulée et la composition du gaz d'inertage.

Comme on l'a dit, une bande mince d'un métal sensible à la fissuration à chaud est fortement susceptible de développer lors de sa solidification des craques longitudinales. Afin de remédier à cet inconvénient, il est proposé, selon l'invention, d'effectuer la solidification de la bande non pas intégralement dans le domaine de l'austénite primaire, mais dans un domaine comportant de la ferrite primaire. La proportion de ferrite primaire ne doit cependant pas être trop importante, afin de minimiser les contractions que subit le métal lors de sa solidification, contractions qui sont liées au passage de la ferrite à l'austénite. Dans ces conditions, pour obtenir ce résultat, un acier inoxydable austénitique (par exemple ceux du type SUS 304 selon la norme AISI) dont la composition exprimée en pourcentages pondéraux, est: $C \leq 0,08 \%$; $Si \leq 1 \%$; $Mn \leq 2 \%$; $P \leq 0,045 \%$; $S \leq 0,030 \%$; Cr compris entre 17,0 et 20,0 %; Ni compris entre 8,0 et 10,5 %, doit en plus répondre à la condition: $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}} > 1,55$, et de préférence $1,55 < Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}} < 1,70$. Avec $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ compris entre 1,55 et 1,70, les variations de volume liées à la transformation ferrite-austénite qui débute avant la fin de la solidification demeurent minimales et sont aisément compensées par des apports de métal liquide. Lorsque $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ est supérieur à 1,70, les contractions liées à la transformation ferrite-austénite commencent à s'accroître et la réduction des microcraques devient moins significative.

55 Le rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ est calculé à partir des formules de Hammar et Swensson, c'est à dire:

- $Cr_{\text{éq}} = \% Cr + 1,37 \times \% Mo + 1,5 \times \% Si + 2 \times \% Nb + 3 \times \% Ti;$

$$- Ni_{\text{éq}} = \% Ni + 0,31 \times \% Mn + 22 \times \% C + 14,2 \times \% N + \% Cu.$$

5 Cette composition particulière de l'acier, pour pouvoir pleinement jouer son rôle de limitation des défauts superfi-
ciels, doit aller de pair avec une configuration de la surface des cylindres de coulée garantissant une excellente ho-
mogénéité des transferts thermiques sur l'ensemble de ladite surface. De ce point de vue, les configurations habituel-
lement utilisées dans l'art antérieur où les surfaces de coulée sont conditionnées de manière à présenter des zones
gravées en creux (rainures ou fossettes) séparées les unes des autres par des plages planes ou très faiblement
10 rugueuses, ne peuvent convenir. En effet, elles présentent, notamment du fait de l'absence de possibilités de passage
du gaz d'une zone en creux à une autre, une alternance brutale de portions relativement larges où le métal est direc-
ttement au contact du cylindre refroidi et de portions également larges où le métal est au contact d'un matelas gazeux
qui adoucit les conditions de refroidissement. Cette alternance est préjudiciable à une bonne homogénéité du refroi-
dissement de la bande, et devient un inconvénient majeur lorsqu'on coule un métal susceptible de subir une transfor-
15 mation ferrite-austénite lors de sa solidification.

15 Dans ces conditions, l'impression sur la surface des cylindres de fossettes jointives, donc ne laissant que peu de
place à un contact direct entre le métal et le cylindre et permettant un passage du gaz d'inertage d'une fossette à
l'autre, permet de réaliser l'homogénéité de refroidissement souhaitée. Les pics de rugosité servent de sites d'amor-
çage de la solidification, alors que les parties en creux constituent des "joints de contraction" du métal au cours de la
solidification, et permettent une meilleure répartition des contraintes que si la surface des cylindres présentait entre
20 les fossettes des plateaux lisses ou faiblement rugueux. Bien sûr, une homogénéité du refroidissement serait égale-
ment réalisée si on utilisait des cylindres dont les surfaces seraient rigoureusement lisses. Mais le refroidissement
serait alors trop brutal et on ne profiterait plus de la présence des joints de contraction qui permettent d'"amortir" la
transformation ferrite-austénite. Cela générerait des criques en grande quantité. D'autre part, on se priverait de la
possibilité de moduler l'intensité des transferts thermiques en jouant sur la composition et le débit du gaz d'inertage,
25 qui permet, par exemple, de régler en cours de coulée le bombé des cylindres (voir la demande de brevet français FR
2 732 627).

D'autre part, l'utilisation de fossettes plutôt que de rainures comme dans WO 95/13889 procure une solidification
plus homogène sur la largeur du produit, du fait du caractère aléatoire de la structure superficielle du cylindre.

30 Pour obtenir le résultat recherché, les fossettes jointives doivent avoir un diamètre de 100 à 1500 μm si elles sont
de forme au moins approximativement circulaire. Il est entendu qu'elles peuvent également être de forme plus ou
moins grossièrement elliptique. Leurs dimensions doivent alors leur conférer une surface sensiblement équivalente à
celle qu'auraient des fossettes circulaires du type précédemment cité. Leur profondeur est comprise entre 20 et 150 μm .

35 Les fossettes peuvent être imprimées sur les cylindres par les moyens habituels connus: usinage laser, photogra-
vure, grenailage. Dans ce dernier cas notamment, il va de soi que le mode opératoire pour obtenir des fossettes de
la dimension recherchée doit tenir compte des propriétés mécaniques de la couche de nickel qui, habituellement,
recouvre la surface de la virole en cuivre du cylindre.

40 Ces dimensions de fossettes doivent être conjuguées à une composition du gaz d'inertage qui leur soit adaptée,
au moins dans la zone du ménisque, où le gaz environnant est piégé dans les fossettes entre la surface du cylindre
et le ménisque. On ne peut, par exemple, utiliser de l'argon pur, insoluble dans l'acier, car il formerait un "matelas" trop
épais qui rendrait trop hétérogène le contact entre l'acier et le cylindre. Il y aurait ainsi une différence de température
trop importante et trop brutale entre les points de contact et de non-contact de la peau métallique avec le cylindre.
Cela ralentirait trop la solidification, donc la consolidation de la peau métallique, et favoriserait ainsi l'apparition de
criques. Inversement, l'utilisation d'un gaz soluble pur tel que l'azote risque de ne pas convenir non plus dans le cas
45 où les fossettes ont un diamètre situé dans le haut de la fourchette précédemment définie et une profondeur faible,
car il ne pourrait empêcher l'acier de pénétrer profondément dans les fossettes, et de présenter ainsi une surface de
contact trop importante avec le cylindre. On retomberait ainsi dans les problèmes que l'on voulait éviter, avec en plus
le risque de former des reliefs sur la bande qui seraient la réplique "en négatif" de la rugosité des cylindres. Il faudra
donc par la modélisation et/ou l'expérience, déterminer quels sont les compositions de gaz d'inertage présent au niveau
du ménisque les mieux adaptées à des fossettes données et à des compositions de métal données. On utilisera le
50 plus généralement un gaz d'inertage constitué d'azote (50-100 %) et d'argon (0-50 %). On obtient d'excellents résultats
avec un tel gaz d'inertage, utilisé conjointement à des fossettes jointives de diamètre 700 à 1500 μm et de profondeur
80 à 120 μm , pour la coulée d'un acier inoxydable de type SUS 304 présentant un rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ compris entre
1,55 et 1,70.

55 Il faut également prévoir d'équiper la machine de coulée continue d'un dispositif d'inertage permettant de bien
maîtriser la composition de l'atmosphère dans la zone du ménisque. A cet effet, le dispositif décrit dans la demande
de brevet français FR 2 727 338 donne satisfaction, mais tout autre dispositif équivalent peut être utilisé.

Pour obtenir une qualité de surface du produit fini encore supérieure, on peut également prévoir d'effectuer en
ligne, juste après la coulée, un laminage à chaud à une température comprise entre 800 et 1200°C, avec un taux de

EP 0 796 685 A1

réduction supérieur ou égal à 5 %. Il permet de réduire la rugosité de la bande brute de coulée et de conférer ainsi un bel aspect de surface au produit fini laminé à froid.

A titre d'exemple, le tableau 1 illustre l'influence du rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ de l'acier sur le nombre de microcraques par dm^2 relevées sur une bande coulée entre deux cylindres. Les résultats ont été relevés pour deux diamètres moyens de fossettes (600 et 1000 μm), et pour un gaz d'inertage composé de 90% d'azote et 10% d'argon. Les compositions des aciers correspondant aux différents essais sont données dans le tableau 2: il s'agit d'aciers inoxydables austénitiques de type SUS 304 dont les teneurs en éléments résiduels ne sont pas spécialement basses.

Tableau 1 :

influence du rapport $Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$ sur le nombre de microcraques par dm^2		
$Cr_{\text{éq}}/Ni_{\text{éq}}$	Nombre de microcraques par dm^2 diamètre moyen des fossettes 600 μm	Nombre de microcraques par dm^2 diamètre moyen des fossettes 1000 μm
1,40 (référence)	20	0
1,56	40	0
1,61	80	0
1,63	120	0
1,66	200	0
1,69	300	20
1,72	420	60
1,75	580	130
1,78	760	250
1,80	960	320
1,84		570

C %	0,056	0,021	0,018	0,054	0,054	0,014	0,016	0,041	0,037	0,041	0,040
Mn %	1,57	1,52	1,58	1,42	1,49	1,63	1,55	1,30	1,22	1,14	1,20
P %	0,020	0,020	0,022	0,023	0,021	0,021	0,020	0,023	0,022	0,017	0,024
S %	0,003	0,002	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001	0,004	0,003	0,004	0,004
Si %	0,238	0,453	0,524	0,255	0,260	0,470	0,502	0,371	0,337	0,347	0,354
Ni %	10,47	10,40	10,18	9,04	9,07	10,01	10,02	8,81	8,63	8,56	8,53
Cr %	18,04	18,13	18,07	18,03	18,30	18,65	18,78	18,27	18,05	18,39	18,57
Cu %	0,244	0,035	0,035	0,161	0,079	0,178	0,027	0,107	0,148	0,019	0,156
Mo %	0,058	0,062	0,027	0,188	0,233	0,162	0,108	0,162	0,173	0,019	0,186
Nb %	0,003	0,003	0,004	0,001	0,004	0,002	0,002	0,008	0,003	0,002	0,002
Ti %	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002

N %	0,0523	0,0530	0,0441	0,0451	0,0452	0,0421	0,0441	0,0469	0,0413	0,0496	0,0407
Cr _{eq} %	18,49	18,91	18,91	18,68	19,02	19,59	19,69	19,07	18,80	18,94	19,37
Ni _{eq} %	13,18	12,12	11,73	11,46	11,45	11,59	11,50	10,89	10,56	10,52	10,52
Cr _{eq} /Ni _{eq}	1,40	1,56	1,61	1,63	1,66	1,69	1,71	1,76	1,78	1,80	1,84

Tableau 2: composition des aciers utilisés lors des essais du tableau 1

Comme on le voit, pour un diamètre moyen des fossettes de 1000µm, on obtient une surface de bande exempte ou pratiquement exempte de microcraques jusqu'à un rapport Cr_{eq}/Ni_{eq} de 1,69 inclusivement. On considère habituellement qu'une densité de microcraques par dm² inférieure ou égale à 40 est un très bon résultat. De ce point de vue, l'utilisation de fossettes de plus faible diamètre (600 µm) donne des résultats moins satisfaisants. Mais il faut souligner que les bandes ainsi obtenues sont, pour les deux types de fossettes, exemptes de craques longitudinales, sauf justement celles pour lesquelles on avait un rapport Cr_{eq}/Ni_{eq} de 1,40. Et la présence de telles craques longitudinales, visibles à l'oeil nu, est un défaut absolument rédhibitoire car il subsiste sur les produits laminés qu'il rend totalement impropres à l'utilisation. Comme on l'a dit, pour ne pas obtenir de telles craques longitudinales sur un acier qui aurait un rapport Cr_{eq}/Ni_{eq} inférieur 1,55, il faudrait abaisser ses teneurs en éléments fragilisants (soufre et phosphore notamment), ce qui augmenterait sensiblement le coût de l'élaboration. La conjugaison des conditions de coulée selon l'invention permet de résoudre ce problème.

On a également étudié plus en détail l'influence du diamètre des fossettes sur la formation des microcraques, et les résultats en sont résumés dans le tableau 3. On a considéré deux nuances différentes correspondant à des rapports Cr_{eq}/Ni_{eq} de 1,63 et 1,80 (voir le tableau 2 pour leur composition détaillée). Le gaz d'inertage était composé de 90% d'azote et 10% d'argon.

Tableau 3 :

influence du diamètre des fossettes sur le nombre de microcraques par dm ²		
Diamètre moyen des fossettes (µm)	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{eq} /Ni _{eq} = 1,63	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{eq} /Ni _{eq} = 1,80
100	400	2000
400	240	1350
600	120	960
800	30	580
1000	0	320
1200	20	300
1500	50	360

On voit dans ces exemples que c'est principalement pour des diamètres de fossettes de l'ordre de 700 à 1500 µm et un rapport Cr_{eq}/Ni_{eq} de 1,63 que l'on obtient les meilleurs résultats, en terme de densité de microcraques. On a noté sur tous les échantillons examinés l'absence de craques longitudinales.

En ce qui concerne l'influence de la composition du gaz d'inertage (en l'occurrence, son caractère plus ou moins soluble dans l'acier), les résultats de son étude sont résumés dans le tableau 4. Les essais ont été conduits en utilisant des cylindres dont les fossettes avaient un diamètre moyen de 1000 µm.

Tableau 4 :

influence de la composition du gaz d'inertage sur le nombre de microcraques par dm ²		
% d'argon / d'azote	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{eq} /Ni _{eq} = 1,63	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{eq} /Ni _{eq} = 1,80
0 / 100	5	300
10 / 90	0	320

EP 0 796 685 A1

Tableau 4 : (suite)

influence de la composition du gaz d'inertage sur le nombre de microcraques par dm ²		
%	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{éq} /Ni _{éq} = 1,63	Nombre de microcraques par dm ² Cr _{éq} /Ni _{éq} = 1,80
20 / 80	0	360
30 / 70	10	400
40 / 60	20	440
50 / 50	50	490
60 / 40	90	
80 / 20	200	
100	300	

On note que les résultats sont excellents principalement pour les teneurs en argon inférieures ou égales à 50%, avec un rapport Cr_{éq}/Ni_{éq} de 1,63, l'optimum étant atteint pour un rapport argon/azote de 10 / 90 à 20 / 80 %. Au-dessus de 50 % d'argon, on constate toutefois que la rugosité du cylindre s'imprime "en négatif" sur la bande de manière excessive, et on ne recommande pas de travailler dans cette gamme de valeurs.

Enfin, en ce qui concerne l'influence d'un laminage à chaud en ligne effectué juste après la coulée sur la rugosité Ra de la bande, le tableau 5 montre cette influence sur des bandes comportant un rapport Cr_{éq}/Ni_{éq} de 1,63 coulées sur des cylindres à fossettes de diamètre moyen 1000 µm avec un gaz d'inertage composé de 90% d'azote et de 10% d'argon.

Tableau 5 :

influence du laminage à chaud en ligne sur la rugosité de la bande	
Taux de réduction au laminage à chaud	Ra (µm)
0 % (pas de laminage)	10,6
5 %	4,2
10 %	3,2
20 %	2,2
30 %	1,6
40 %	1,4
50 %	1,2

La rugosité de la bande diminue lorsque le taux de réduction de son épaisseur lors du laminage à chaud augmente. Les rugosités Ra habituellement rencontrées sans laminage à chaud sur les bandes de l'art antérieur sont de l'ordre de 4,5 µm au minimum: un taux de réduction de 5% suffit donc pour obtenir des rugosités plus faibles dans les conditions optimales de l'invention.

Comme on l'a dit, l'invention peut être appliquée sur des machines de coulée sur une ou deux parois mobiles de produits métalliques minces, telles qu'une machine de coulée sur un cylindre unique, ou une machine de coulée entre bandes. L'essentiel est, pour cette installation, que la composition de l'acier, la ou les surfaces de coulée mises au contact du métal liquide présentent les caractéristiques de rugosité qui ont été décrites, et que l'environnement gazeux au niveau du ménisque puisse également être rendu conforme à l'enseignement précédent.

Revendications

1. Procédé de coulée continue d'une bande d'acier inoxydable austénitique directement à partir de métal liquide de composition, exprimée en pourcentages pondéraux: C ≤ 0,08 %; Si ≤ 1 %; Mn ≤ 2 %; P ≤ 0,045 %; S ≤ 0,030 %; Cr compris entre 17,0 et 20,0 %; Ni compris entre 8,0 et 10,5 % sur une machine de coulée sur une ou entre deux parois mobiles dont la surface extérieure est pourvue de fossettes et dont on inerte la zone environnant le ménisque

EP 0 796 685 A1

avec un gaz d'inertage de composition maîtrisée, caractérisé en ce que:

- on confère audit métal liquide un rapport $Cr_{\text{équ}}/Ni_{\text{équ}}$ supérieur à 1,55, avec:

5

$$Cr_{\text{équ}} = \% Cr + 1,37 \times \% Mo + 1,5 \times \% Si + 2 \times \% Nb + 3 \times \% Ti$$

et

10

$$Ni_{\text{équ}} = \% Ni + 0,31 \times \% Mn + 22 \times \% C + 14,2 \times \% N + \% Cu;$$

- on utilise une ou des parois mobiles dont l'ensemble de la surface comporte des fossettes jointives de diamètre compris entre 100 et 1500 μm et de profondeur comprise entre 20 et 150 μm ;
- 15 - et on utilise un gaz d'inertage consistant au moins partiellement en un gaz soluble dans l'acier.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit rapport $Cr_{\text{équ}}/Ni_{\text{équ}}$ est compris entre 1,55 et 1,70.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdites fossettes ont un diamètre compris entre 700 et 1500 μm et une profondeur comprise entre 80 et 120 μm .
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit gaz d'inertage est un mélange à 50-100 % d'azote et à 0-50 % d'argon.
- 25 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on fait subir à ladite bande, directement après sa coulée, un laminage à chaud à une température de 800 à 1200°C avec un taux de réduction supérieur ou égal à 5 %.
- 30 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que lesdites parois mobiles sont constituées par les surfaces extérieures de deux cylindres refroidis à axes horizontaux tournant en sens inverses.
7. Installation de coulée continue de produits métalliques minces du type comportant une ou deux parois mobiles refroidies contre lesquelles est effectuée la solidification desdits produits, lesdites parois comportant des fossettes, et un dispositif permettant de maîtriser la composition de l'atmosphère gazeuse environnant le ménisque, caractérisé en ce que lesdites fossettes sont jointives et ont un diamètre compris entre 100 et 1500 μm et une profondeur comprise entre 20 et 150 μm .
- 35 8. Installation de coulée continue de produits métalliques minces selon la revendication 7, caractérisée en ce que lesdites parois mobiles sont constituées par les surfaces extérieures de deux cylindres refroidis à axes horizontaux tournant en sens inverses.
- 40

45

50

55



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 97 40 0539

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
X,D	WO 95 13889 A (BHP STEEL JLA PTY LTD ;ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND (JP); MAHAPAT) 26 Mai 1995	7,8	B22D11/06 C22C38/40
Y	* le document en entier *	1-6	

Y	US 5 160 382 A (SMITH GAYLORD D ET AL) 3 Novembre 1992 * figure 1 * * revendication 5 *	1-6	

A	EP 0 164 678 A (ALSTHOM ATLANTIQUE) 18 Décembre 1985 * figure 1 *	1,2	

A	EP 0 481 481 A (NIPPON STEEL CORP) 22 Avril 1992 * page 3, ligne 16 - page 4, ligne 21 * * tableaux * * figures *	1-3	

X,D	EP 0 577 833 A (NIPPON STEEL CORP) 12 Janvier 1994 * revendication 1 * * figures 3,4 *	7,8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6) B22D C22C

A,D	EP 0 409 645 A (NIPPON STEEL CORP ;MITSUBISHI HEAVY IND LTD (JP)) 23 Janvier 1991 * tableaux * * revendications * * figures *	1,4	

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26 Juin 1997	Examineur Riba Vilanova, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 01.82 (P04C02)