(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 988 901 B1

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
12.11.2003 Bulletin 2003/46

(51) Int Cl.[7]: **B21B 1/46**

(21) Numéro de dépôt: **99402235.8**

(22) Date de dépôt: **10.09.1999**

(54) **Procédé de fabrication d'une bande mince en acier inoxydable**

Herstellungsverfahren eines dünnen Bandes aus rostfreiem Stahl

Manufacturing method for stainless steel thin strip

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

(30) Priorité: **21.09.1998 FR 9811777**

(43) Date de publication de la demande:
29.03.2000 Bulletin 2000/13

(73) Titulaire: **UGINE S.A.**
92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeurs:
- **Chassagne, Francis**
  62330 Isbergues (FR)
- **Mazurier, Frédéric**
  62400 Bethune (FR)
- **Gratacos, Pascal**
  57000 Metz (FR)

(74) Mandataire: **Bouget, Lucien et al**
Cabinet Lavoix
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cédex 09 (FR)

(56) Documents cités:
WO-A-96/01710

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 531 (M-1333), 30 octobre 1992 (1992-10-30) -& JP 04 200801 A (NIPPON STEEL CORP), 21 juillet 1992 (1992-07-21)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 002, 29 février 1996 (1996-02-29) -& JP 07 251244 A (NIPPON STEEL CORP), 3 octobre 1995 (1995-10-03)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 325 (M-1148), 19 août 1991 (1991-08-19) -& JP 03 124352 A (KOBE STEEL LTD), 27 mai 1991 (1991-05-27)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 012, 26 décembre 1996 (1996-12-26) -& JP 08 215797 A (NIPPON STEEL CORP), 27 août 1996 (1996-08-27)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 097, no. 002, 28 février 1997 (1997-02-28) -& JP 08 252653 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 1 octobre 1996 (1996-10-01) & DATABASE WPI Week 9649 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 96-492794, 1 octobre 1996 (1996-10-01)**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 418 (M-1650), 5 août 1994 (1994-08-05) -& JP 06 126406 A (NIPPON STEEL CORP), 10 mai 1994 (1994-05-10)**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 988 901 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] L'invention concerne la fabrication des bandes minces en acier inoxydable, directement à partir de métal liquide, par solidification à l'intérieur d'une lingotière constituée par deux parois refroidies se déplaçant à la même vitesse que la bande solidifiée, telles que les parois externes de deux cylindres en rotation à axes horizontaux.

[0002] Dans ce procédé de coulée qui est en cours d'industrialisation sous le nom de « coulée entre cylindres », l'un des problèmes majeurs liés à la qualité de la bande est la présence possible de porosités dans le coeur de la bande. Lorsque ces porosités se retrouvent sur les produits à l'issue des transformations ultérieures subies par la bande (telles que des décapages, des recuits, des laminages à froid et d'autres opérations de transformation), elles limitent le champ d'application des produits en raison de l'altération des propriétés mécaniques qu'elles procurent.

[0003] Les causes de l'apparition de ces porosités au coeur des bandes coulées entre cylindres peuvent être similaires à celles qui provoquent (à une échelle dimensionnelle supérieure) les retassures dans les lingots et les porosités centrales dans les produits de coulée continue classique, à savoir la fermeture par du métal solide de poches renfermant du métal encore liquide lorsque la solidification du produit (qui, normalement, est substantiellement achevée lorsque la bande quitte les parois de la lingotière, c'est à dire que le coeur de la bande ne se trouve plus totalement à l'état liquide) ne s'effectue pas de manière totalement régulière. Le refroidissement et la solidification du métal liquide que renferment ces poches s'accompagnent d'une contraction de ce métal, qui fait apparaître un espace vide. Celui-ci ne peut être comblé avant la fin de la solidification, car cette poche refermée n'est plus alimentée par du nouveau métal liquide. Ces porosités doivent être distinguées des défauts sphériques dits « soufflures » qui sont dus à un dégagement de gaz dissous et se produisent le plus souvent à proximité de la surface des produits.

[0004] Le document EP 0 396 862 propose un procédé visant à supprimer les porosités centrales, et également d'autres défauts internes et superficiels, lors de la coulée de bandes d'acier entre deux cylindres. Selon ce procédé, les cylindres de coulée comportent sur leurs surfaces des rainures circonférentielles précisément dimensionnées, et disposées de manière décalée sur les deux cylindres. On vise ainsi à éviter des décollements des peaux métalliques solidifiées sur les surfaces des cylindres, qui entraîneraient des irrégularités dans la solidification de la bande. Il apparaît cependant que la seule prévention de ces décollements est insuffisante pour éviter totalement l'apparition des porosités centrales.

[0005] Le document JP 8252653 propose un procédé selon lequel on pratique en ligne avec la coulée un laminage à chaud de la bande dans des conditions respectant l'inégalité suivante :

$$r \geq (2{,}74 \times 10^{-5}\, T^2 - 6{,}88 \times 10^{-2}\, T + 43{,}55)\, (t_0 / w_0)$$

avec:

- r : taux de réduction du laminage à chaud ;
- T : température de laminage à chaud en °C ;
- t_0: diamètre de la porosité dans le sens de l'épaisseur de la bande ;
- w_0 :diamètre de la porosité dans le sens de la largeur de la bande.

[0006] Il faut donc, selon ce procédé, que le laminage à chaud s'effectue avec un taux de réduction suffisant pour que les porosités soient refermées pendant ce laminage, et ce taux minimal dépend de la température de laminage (c'est à dire la température à laquelle se trouve la bande à son entrée dans l'emprise des cylindres) et de la forme et de l'orientation des porosités. Cependant, on a constaté que ces conditions de laminage sont encore insuffisantes pour obtenir assurément une fermeture de toutes les porosités, et surtout qu'elles n'évitent pas toujours que les porosités refermées ne s'ouvrent à nouveau lors de la transformation de la bande ou de la mise en oeuvre des produits qui en sont issus, ce qui provoque leur rupture.

[0007] Le but de l'invention est de proposer un procédé garantissant une fermeture définitive des porosités centrales apparues dans le coeur de la bande après sa solidification complète.

[0008] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une bande mince en acier inoxydable par solidification directe de l'acier liquide sous forme d'une bande d'épaisseur inférieure ou égale à 8 mm dans une installation de coulée comportant deux parois refroidies en mouvement et par laminage à chaud de ladite bande dont la solidification est substantiellement achevée lorsqu'elle quitte lesdites parois, caractérisé en ce que le laminage à chaud est effectué sur un laminoir dont les cylindres de travail ont un diamètre compris entre 400 et 900 mm, en ce que la température de la bande à sa sortie du laminoir est comprise entre 800 et 1100°C, et en ce que le taux de réduction de l'épaisseur de la bande lors du laminage à chaud est compris entre 15 et 50%.

[0009] Préférentiellement, le laminage à chaud est effectué en ligne avec la coulée de la bande. L'installation de coulée peut être du type « coulée entre cylindres ».

[0010] Comme on l'aura compris, le but de l'invention est atteint par la combinaison d'exigences portant sur le diamètre des cylindres de travail du laminoir à chaud, la température de la bande à sa sortie des cylindres et le taux de réduction de l'épaisseur de la bande lors du laminage à chaud.

[0011] L'invention s'applique à la coulée d'aciers inoxydables de toutes classes, qui ont classiquement des teneurs en carbone inférieures ou égales à 1%, des teneurs en silicium inférieures ou égales à 1%, des teneurs en manganèse inférieures ou égales à 15%, des teneurs en chrome comprises entre 10 et 30%, des teneurs en cuivre inférieures ou égales à 5% et des teneurs en azote inférieures ou égales à 0,5% (ces teneurs sont exprimées en pourcentages pondéraux). Ces aciers peuvent également contenir des quantités importantes de nickel (jusqu'à 40%) ou de molybdène (jusqu'à 8%). Par ailleurs, comme c'est habituellement le cas, d'autres éléments sont présents dans le métal, soit au titre d'impuretés, soit au titre d'éléments d'alliage, en particulier du soufre, du phosphore, du titane, du niobium, du zirconium. Leur total ne doit pas dépasser 2% en poids.

[0012] Comme on l'a dit, une bande mince d'acier inoxydable coulée entre cylindres est fortement susceptible de développer des porosités dans son coeur, lors de sa solidification, lorsqu'une poche liquide est refermée par du métal solide. Ce phénomène se produit en fin de solidification de la zone pâteuse, appelée aussi « zone équiaxe », située entre les deux peaux solidifiées au contact des cylindres, appelées aussi « zones colonnaires ». La zone équiaxe est très difficile à maîtriser, et son épaisseur peut varier en fonction de la vitesse de solidification des zones colonnaires. Ainsi, la zone équiaxe peut se refermer localement de manière anticipée, aux niveaux où la croissance des zones colonnaires a été plus rapide que la normale. En aval du point de fermeture de la zone équiaxe, les poches liquides ne peuvent plus être correctement réalimentées en métal liquide, et des porosités se forment par contraction du métal lors de la solidification de ces poches liquides. Ce cas reste néanmoins assez rare, et en fait, généralement, l'isolement d'une poche liquide se produit par le regroupement dans le liquide de cristaux équiaxes qui viennent former un bouchon obstruant la zone équiaxe. Les porosités qui se forment dans la zone équiaxe sont constituées par des ensembles de canaux et de cavités exempts de gaz, dont la dimension maximale selon l'épaisseur de la tôle correspond à l'épaisseur de la zone équiaxe (soit 100 à 400 μm), et qui peuvent atteindre une longueur de 1 à 2 mm dans les autres directions. Comme on l'a dit, il ne s'agit pas d'une soufflure sphérique qui aurait pour origine un dégagement de gaz, ou d'un défaut interne débouchant à la surface de la bande.

[0013] L'idée à la base de l'invention est de créer, lors du laminage à chaud de la bande solidifiée, des conditions telles qu'elles conduisent non seulement à une fermeture des porosités centrales comme il est déjà connu, mais également à un véritable soudage des parois opposées des porosités, que le laminage a permis de rapprocher. De cette façon, on s'assure que les porosités ne risqueront pas de s'ouvrir lors des mises en forme ultérieures de la bande ou lors de l'utilisation des produits ainsi réalisés. Lors du laminage à chaud de la bande, deux étapes se succèdent. Tout d'abord, les parois internes du défaut se rapprochent progressivement au fur et à mesure que l'épaisseur de la bande se réduit, jusqu'à leur mise en contact. Puis, une fois ce contact réalisé, un soudage des parois se réalise par diffusion des éléments constitutifs de l'acier au travers de l'interface. Mais un soudage efficace des parois doit déjà avoir été obtenu dès avant la sortie de la bande de l'emprise des cylindres du laminoir, car sinon le relâchement de la compression de la bande qui se produit en sortie des cylindres conduit à un décollement partiel des parois.

[0014] L'efficacité du soudage dépend essentiellement de deux paramètres : la durée de la mise en contact forcé des parois dans le laminoir et la température à laquelle s'effectue cette mise en contact. Ce contact forcé doit donc avoir lieu dès que possible après l'entrée de la bande dans le laminoir, et sa durée dépend principalement, pour une vitesse de laminage donnée (qui est, dans le cas d'un laminage en ligne, en grande partie conditionnée par l'épaisseur de la bande avant son laminage), du diamètre des cylindres de travail du laminoir et du taux de réduction de son épaisseur qu'ils imposent à la bande. Plus le diamètre des cylindres et le taux de réduction sont élevés, et plus la mise en contact forcé des parois des porosités est rapide et prolongée. On ne peut toutefois pas se contenter d'affirmer qu'il suffit, pour résoudre le problème posé de manière satisfaisante, de laminer la bande avec un taux de réduction et un diamètre de cylindres aussi élevés que possible. En effet, un taux de réduction trop élevé, qui irait au-delà des capacités de déformation à chaud de la bande, conduit à l'apparition de fissures superficielles sur la bande appelées « criques », qui sont absolument à éviter. D'autre part, la température à laquelle s'effectue la mise en contact forcé des parois des porosités dépend non seulement de la température d'entrée de la bande dans le laminoir, mais aussi de la durée du contact entre la bande et les cylindres, car ce contact provoque un refroidissement de la bande. Si, pour une température d'entrée de la bande donnée, les cylindres ont un diamètre très élevé, le refroidissement de la bande qu'ils provoquent risque de conduire celle-ci à une température insuffisante pour que le soudage des parois des porosités puisse être complet. A cet effet, la valeur de la température de la bande à sa sortie des cylindres fournit une bonne indication de la réelle possibilité qu'ont eu les parois des porosités de se souder les unes aux autres dans l'emprise des cylindres.

[0015] La température de la bande à la sortie des cylindres doit donc être suffisante pour permettre le soudage des porosités, mais elle ne doit pas être non plus trop élevée, afin d'éviter une charge thermique excessive sur les cylindres. Celle-ci conduirait à une dégradation de leur surface aboutissant à une détérioration de l'aspect de surface de la bande sous la forme d'une rugosité excessive. L'objectif de l'invention ne peut donc être atteint sans l'obtention d'effets se-

condaires gênants pour la qualité générale de la bande que si on combine le diamètre des cylindres, le taux de réduction et la température de la bande en sortie du laminoir de manière adéquate.

[0016] Pour déterminer comment ces paramètres doivent être combinés, on a effectué des séries d'essais, au cours desquels, pour un type d'acier inoxydable donné, on a fait varier le diamètre des cylindres de travail du laminoir, le taux de réduction de l'épaisseur de la bande et la température de la bande en sortie du laminoir. Le laminoir était disposé en ligne avec l'installation de coulée. Chaque essai a fait l'objet d'une caractérisation permettant de déterminer si le soudage des porosités a été efficace ou non. Cette caractérisation a consisté à casser une éprouvette de traction et à examiner le faciès de rupture. Si le faciès présente des porosités qui se sont ouvertes au cours de l'essai de traction, on déduit que le soudage n'a pas été satisfaisant. Si le faciès ne présente aucune porosité apparente, le soudage est jugé avoir été satisfaisant.

[0017] Le tableau 1 regroupe les compositions des aciers sur lesquels ont été effectués les essais dont les résultats sont donnés dans le tableau 2. Les teneurs des différents éléments sont données en pourcentages pondéraux. Le tableau 1 donne également les épaisseurs en sortie des cylindres de coulée des bandes sur lesquelles les essais ont été effectués, ainsi que les vitesses de coulée correspondantes, mesurées entre les cylindres de coulée et le laminoir à chaud.

	Coulées A	Coulées A'	Coulées B	Coulées C
C	0,05	0,05	0,04	0,01
Mn	1,5	1,5	0,4	0,2
P	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,03
S	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Si	0,3	0,3	0,3	0,5
Ni	8,6	8,6	< 0,3	< 0,1
Cr	18	18	16,5	11,5
Cu	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2
Mo	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,1
Ti	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,15
N	0,05	0,05	0,04	0,01
Epaisseur de la bande	4 mm	2 mm	3 mm	3 mm
Vitesse de coulée	25 m/mn	100 m/mn	60 m/mn	60 m/mn

Tableau 1 : Composition des aciers des coulées d'essai, épaisseur des bandes coulées et vitesses de coulées

[0018] Les compositions des coulées de types A et A' correspondent à celles d'aciers inoxydables austénitiques classiques de type AISI 304. Les coulées de type B correspondent à des aciers inoxydables ferritiques de type AISI 430. Les coulées de type C correspondent à des aciers inoxydables ferritiques de type AISI 409 stabilisé au titane.

[0019] Le tableau 2 expose les résultats d'essais effectués sur les bandes issues de ces coulées, avec les conditions d'essai correspondantes.

Tableau 2:

Résultats des essais réalisés sur les coulées de types A, A', B, C						
Domaine de l'invention	Type de la coulée	Diamètre des cylindres du laminoir (mm)	Taux de réduction (%)	Température de la bande en sortie du laminoir (°C)	Soudage des porosités	Autres défauts
non	A	300	50	1100	non	néant
non	A	400	10	1100	non	néant
non	A	400	15	750	non	néant
oui	A, A', B, C	400	15	800	oui	néant
oui	A, A', B, C	400	15	1100	oui	néant

Tableau 2: (suite)

Résultats des essais réalisés sur les coulées de types A, A', B, C						
Domaine de l'invention	Type de la coulée	Diamètre des cylindres du laminoir (mm)	Taux de réduction (%)	Température de la bande en sortie du laminoir (°C)	Soudage des porosités	Autres défauts
non	A	400	15	1150	oui	trop forte rugosité
non	A	400	50	750	non	néant
oui	A, A', B, C	400	50	800	oui	néant
oui	A, A', B, C	400	50	1100	oui	néant
non	A	400	50	1150	oui	trop forte rugosité
non	A	400	60	1100	oui	critiques
non	A	900	10	1100	non	néant
non	A	900	15	750	non	néant
oui	A, A', B, C	900	15	800	oui	néant
oui	A, A', B, C	900	15	1100	oui	néant
non	A	900	15	1150	oui	trop forte rugosité
non	A	900	50	750	non	néant
oui	A, A', B, C	900	50	800	oui	néant
oui	A, A', B, C	900	50	1100	oui	néant
non	A	900	50	1150	oui	trop forte rugosité
non	A	900	60	1100	oui	critiques
non	A	1000	50	750	non	néant

[0020] Il ressort de ces essais qu'un soudage efficace des porosités est obtenu sans apparition de criques et sans rugosité excessive à la surface de la bande lorsque les trois conditions suivantes sont réunies :

- un diamètre des cylindres de travail du laminoir compris entre 400 et 900 mm ;
- un taux de réduction de l'épaisseur de la bande lors du laminage compris entre 15 et 50%;
- une température de la bande en sortie du laminoir d'au moins 800°C et d'au plus 1100°C.

[0021] En revanche, on n'a pas noté d'influence, dans les conditions d'essais, de la combinaison épaisseur de la bande-vitesse de coulée : les résultats des coulées de type A' sont identiques à ceux des coulées de type A, pour des paramètres de coulée par ailleurs identiques.

[0022] Ces essais, comme on l'a dit, ont été effectués avec un laminoir à chaud disposé en ligne avec l'installation de coulée et précédant l'installation de bobinage de la bande. Dans l'esprit de l'invention, cette caractéristique n'est pas indispensable, et le laminage à chaud peut être effectué sur une installation séparée de l'installation de coulée et de bobinage, donc après un débobinage et un réchauffage de la bande brute de coulée. Cependant, un laminage en ligne est conseillé pour diverses raisons. Tout d'abord, cette solution présente des avantages économiques liés au caractère continu des opérations. En premier lieu, le processus de fabrication de la bande s'en trouve raccourci. De plus, on fait l'économie d'une bobineuse, et aussi d'une installation de réchauffage de relativement forte puissance puisque la bande coulée peut être suffisamment chaude pour obtenir les températures de laminage adéquates, éventuellement à l'aide d'un capot arrêtant le rayonnement de la bande entre sa sortie des cylindres de coulée et son entrée dans le laminoir. Si un réchauffage de la bande s'avère cependant nécessaire, il peut être effectué à l'aide d'un four à induction de puissance réduite, suffisante pour élever la température de la bande en défilement de quelques centaines

de degrés. D'autre part un laminage en ligne, en supprimant la nécessité d'un bobinage de la bande brute de coulée, supprime du même coup les risques de détérioration de la bande lors de ce bobinage qui aurait lieu sur une bande relativement épaisse présentant une structure non recristallisée. Enfin, la suppression du réchauffage de la bande à partir de la température ambiante jusqu'à la température de laminage à chaud supprime les réoxydations de la surface de la bande qui sont habituelles lors de cette opération. Ces réoxydations formeraient de la calamine, qui risquerait de s'incruster à la fois dans la bande et dans les cylindres du laminoir et de conduire ainsi à une dégradation de l'aspect de surface du produit après décapage.

[0023] L'invention s'applique non seulement aux installations de coulée entre cylindres, mais à toute autre type d'installation de coulée de bandes minces d'acier inoxydable entre deux surfaces refroidies en mouvement, telles que des bandes en défilement.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une bande mince en acier inoxydable par solidification directe de l'acier liquide sous forme d'une bande d'épaisseur inférieure ou égale à 8 mm dans une installation de coulée comportant deux parois refroidies en mouvement et par laminage à chaud de ladite bande dont la solidification est substantiellement achevée lorsqu'elle quitte lesdites parois, **caractérisé en ce que** le laminage à chaud est effectué sur un laminoir dont les cylindres de travail ont un diamètre compris entre 400 et 900 mm, **en ce que** la température de la bande à sa sortie du laminoir est comprise entre 800 et 1100°C, et **en ce que** le taux de réduction de l'épaisseur de la bande lors du laminage à chaud est compris entre 15 et 50%.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**on effectue le laminage à chaud sur une installation disposée en ligne avec l'installation de coulée.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les parois refroidies de l'installation de coulée sont constituées par les surfaces de deux cylindres en rotation à axes horizontaux.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines dünnen Bands aus nichtrostendem Stahl durch unmittelbares Festwerdenlassen des flüssigen Stahls in Form eines maximal 8 mm dicken Bands in einer Gießanlage, die zwei in Bewegung befindliche gekühlte Wände aufweist, und durch Warmwalzen des Bands, das beim Verlassen der Wände im wesentlichen festgeworden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Warmwalzen in einem Walzgerüst erfolgt, dessen Zylinder einen zwischen 400 und 900 mm betragenden Durchmesser besitzen, dass die Temperatur des Bands bei dessen Austritt aus dem Walzgerüst zwischen 800 und 1100°C beträgt, und dass der Grad der Reduzierung der Dicke des Bands beim Warmwalzen zwischen 15 und 50% beträgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Warmwalzen in einer Anlage erfolgt, die in einer Fertigungslinie mit der Gießanlage liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gekühlten Wände der Gießanlage durch die Oberflächen zweier rotierender Zylinder mit horizontalen Achsen gebildet sind.

Claims

1. Method of manufacturing a thin stainless steel strip by direct solidification of liquid steel in the form of a strip of a thickness less than or equal to 8mm in a casting apparatus comprising two cooled walls in motion, and by hot rolling of the said strip the solidification of which is substantially achieved when it leaves the said walls, **characterised in that** hot rolling is carried out on a rolling mill the working cylinders of which have a diameter of between 400 and 900 mm, **in that** the temperature of the strip when it comes out of the rolling mill is between 800 and 1100°C, and **in that** the rate of reduction in the thickness of the strip when it is hot rolled is between 15 and 50%.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** hot rolling is carried out on apparatus arranged in line with the casting apparatus.

3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the cooled walls of the casting apparatus are formed by the surfaces of the two cylinders in rotation on horizontal axes.