



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2000/03/06

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2000/09/26

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2009/05/12

(30) Priorité/Priority: 1999/03/26 (FR99/03778)

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

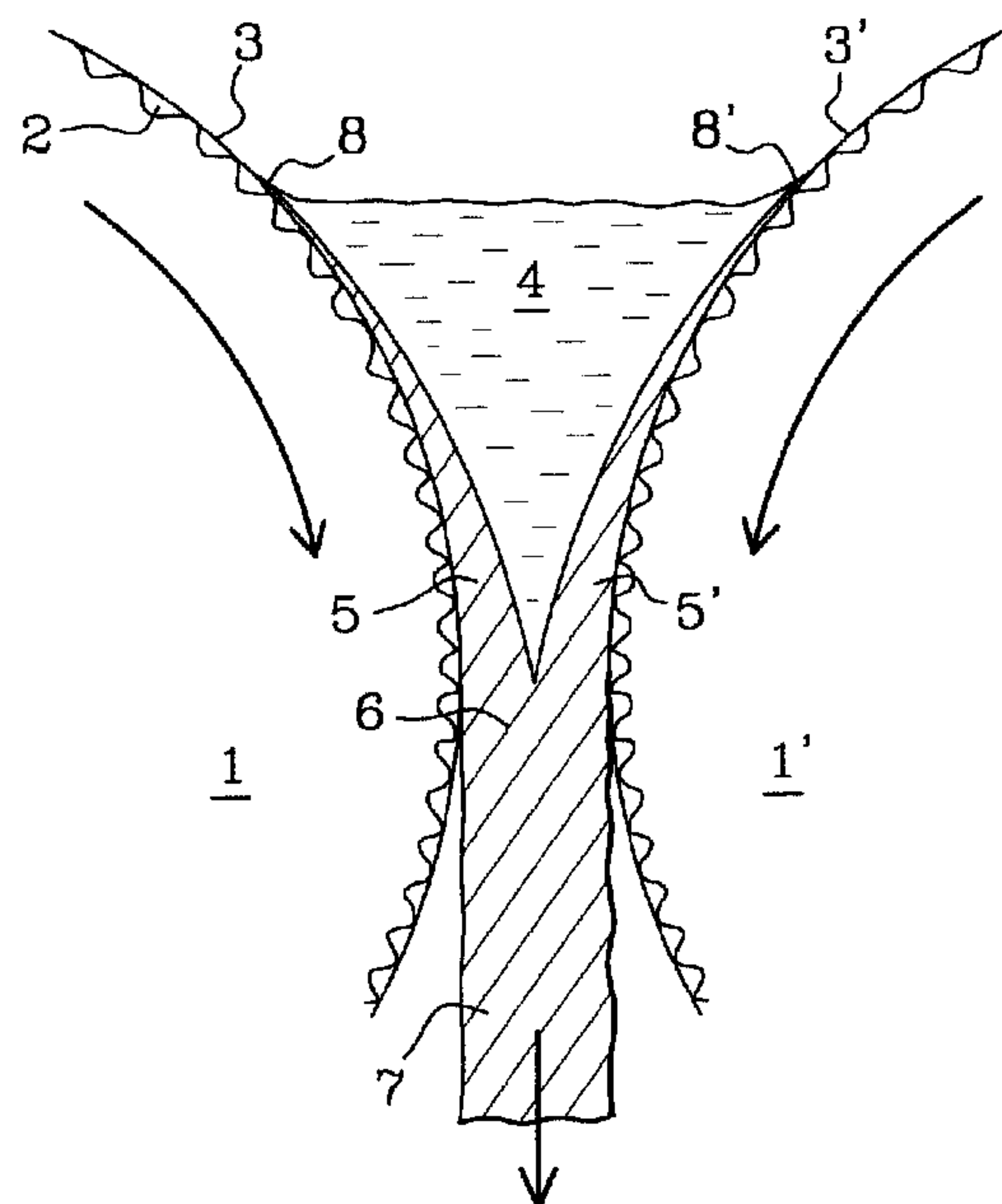
(72) Inventeurs/Inventors:
POIRIER, FRANCOIS, FR;
COMMARIEU, FRANCOISE, FR;
MARCHIONNI, CHRISTIAN, FR;
VICENTE, PATRICE, FR;
FARAL, MICHEL, FR;
SELARIES, JACQUES, FR

(73) Propriétaire/Owner:
SOLLAC, FR

(74) Agent: OGILVY RENAULT LLP/S.E.N.C.R.L.,S.R.L.

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES EN ACIER AU CARBONE PAR COULEE CONTINUE ENTRE DEUX CYLINDRES

(54) Title: PROCEDURE FOR THE FABRICATION OF CARBON STEEL BANDS BY CONTINUOUS CASTING BETWEEN TWO CYLINDERS



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un procédé de fabrication de bandes (7) d'épaisseur inférieure ou égale à 10 mm en acier au carbone directement à partir d'acier liquide (4), par coulée dudit acier liquide (4) entre les surfaces latérales (3) en cuivre ou alliage de cuivre de deux cylindres horizontaux (1, 1') en rotation refroidis intérieurement, caractérisé en ce que : - ledit acier liquide (4) a la composition, en pourcentages pondéraux carbone $\leq 0,5\%$, manganèse de 0,2 à 2%, silicium $\leq 2\%$, le rapport Mn% / Si% étant compris entre 3 et 16, optionnellement aluminium + titane + zirconium $\leq 0,10\%$, le reste étant du fer et des impuretés habituelles ; - lesdites surfaces latérales (3, 3') des cylindres (1, 1') comportent des fossettes (2) jointives, imposant auxdites surfaces (3, 3') une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 μm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 μm ; - et l'atmosphère environnant le ménisque (8, 8') de l'acier liquide (4) présent entre les cylindres (1, 1') comprend entre 40 et 100% d'azote, le restant étant composé d'un gaz neutre insoluble dans l'acier liquide (4) ou d'un mélange de tels gaz neutres. L'invention concerne également une bande susceptible d'être produite par ledit procédé, et un cylindre de coulée pour sa mise en pratique.

PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES EN ACIER AU CARBONE PAR COULEE CONTINUE ENTRE DEUX CYLINDRES

Abrégé descriptif

L'invention concerne un procédé de fabrication de bandes (7) d'épaisseur inférieure ou égale à 10 mm en acier au carbone directement à partir d'acier liquide (4), par coulée dudit acier liquide (4) entre les surfaces latérales (3) en cuivre ou alliage de cuivre de deux cylindres horizontaux (1, 1') en rotation refroidis intérieurement, caractérisé en ce que :

- ledit acier liquide (4) a la composition, en pourcentages pondéraux : carbone $\leq 0,5\%$, manganèse de 0,2 à 2%, silicium $\leq 2\%$, le rapport Mn% / Si% étant compris entre 3 et 16, optionnellement aluminium + titane + zirconium $\leq 0,10\%$, le reste étant du fer et des impuretés habituelles ;

- lesdites surfaces latérales (3, 3') des cylindres (1, 1') comportent des fossettes (2) jointives, imposant auxdites surfaces (3, 3') une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 μm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 μm ;

- et l'atmosphère environnant le ménisque (8, 8') de l'acier liquide (4) présent entre les cylindres (1, 1') comprend entre 40 et 100% d'azote, le restant étant composé d'un gaz neutre insoluble dans l'acier liquide (4) ou d'un mélange de tels gaz neutres.

L'invention concerne également une bande susceptible d'être produite par ledit procédé, et un cylindre de coulée pour sa mise en pratique.

Figure pour l'abrégé : figure 2

SOL 99/010

PROCEDE DE FABRICATION DE BANDES EN ACIER AU CARBONE PAR COULEE CONTINUE ENTRE DEUX CYLINDRES

L'invention concerne la coulée continue des métaux. Elle concerne plus
5 particulièrement la coulée de bandes minces métalliques en acier au carbone sur des
installations du type appelé « coulées entre cylindres ».

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 principalement utilisé aujourd'hui est la coulée dudit métal
10 liquide 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 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
15 bande, et par des plaques de fermeture latérale en réfractaire appliquées contre les
extrémités des cylindres. Le métal liquide initie sa solidification au contact des surfaces
extérieures des cylindres, sur lesquelles il forme des « peaux » solidifiées, dont on fait en
sorte qu'elles se rejoignent au niveau du « col », c'est à dire de la zone où la distance entre
les cylindres est minimale.

20 Ces procédés de coulée concernent aussi bien la coulée d'acier au carbone que la
coulée d'aciers inoxydables ou d'autres alliages ferreux. Cependant, l'application
industrielle de la coulée entre cylindres aux aciers au carbone ne peut s'envisager de
manière acceptable que si on parvient à obtenir de manière constante une qualité de surface
des bandes suffisante pour que les traitements ultérieurs subis par ces bandes (laminages à
25 froid, traitements de surface...) soient possibles et conduisent à l'obtention de produits
exempts de défauts rédhibitoires. Il est, en particulier, primordial que les bandes issues
d'une installation de coulée entre cylindres soient exemptes de fissures superficielles,
appelées criques, car sinon de graves incidents peuvent se produire lors de leur laminage à
froid.

30 Pour tenter d'éviter ces criques, on a déjà proposé des solutions mettant en jeu une
texturation particulière de la surface des cylindres de coulée, à savoir une succession de
rainures contigües et parallèles, associées de préférence à un métal coulé calmé silicium-
manganèse à teneur en soufre élevée, supérieure à 0,02% (document EP-A-0 740 972).
Mais cette solution complique la préparation des cylindres par rapport aux modes de
35 préparation plus classiques, et dans ses conditions optimales, limite le domaine
d'application des produits coulés à celles où la teneur en soufre élevée du métal est
tolérable.

Le but de l'invention est de procurer aux aciéristes un procédé de fabrication de
bandes minces en acier au carbone par coulée entre cylindres conduisant à l'obtention

fiable de bandes exemptes de criques superficielles, cette méthode ne devant pas limiter de manière excessive le champ d'application des produits, ni conduire forcément à l'utilisation de méthodes longues et complexes pour la préparation de la surface des cylindres.

5 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication de bandes d'épaisseur inférieure ou égale à 10 mm en acier au carbone directement à partir d'acier liquide, par coulée dudit acier liquide entre les surfaces latérales en cuivre ou alliage de cuivre de deux cylindres horizontaux en rotation refroidis intérieurement, caractérisé en ce que :

10 - ledit acier a la composition, en pourcentages pondéraux : carbone $\leq 0,5\%$, manganèse de 0,2 à 2%, silicium $\leq 2\%$, le rapport Mn% / Si% étant compris entre 3 et 16, optionnellement aluminium + titane + zirconium $\leq 0,10\%$, le reste étant du fer et des impuretés habituelles ;

15 - lesdites surfaces latérales des cylindres comportent des fossettes jointives, imposant auxdites surfaces une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 μm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 μm ;

 - et l'atmosphère environnant le ménisque de l'acier liquide présent entre les cylindres comprend entre 40 et 100% d'azote, le restant étant composé d'un gaz neutre insoluble dans l'acier liquide ou d'un mélange de tels gaz neutres.

20 L'invention concerne également des bandes susceptibles d'être produites par ce procédé, ainsi que les cylindres de coulée nécessaires à sa mise en pratique.

 Comme on l'aura compris, l'invention consiste à combiner des conditions particulières sur la composition de l'acier, l'état de surface des cylindres et la composition de l'atmosphère environnant la surface de l'acier liquide présent entre les cylindres. Les
25 inventeurs ont constaté que la combinaison revendiquée conduisait à l'obtention régulière de produits ayant les qualités de surface requises. Les conditions de mise en œuvre de ce procédé ont également l'avantage de ne pas conduire à un process de coulée sensiblement plus contraignant que les process habituels. De plus, le procédé de l'invention ne nécessite pas d'actions sur la composition du métal qui augmenteraient sensiblement le prix de
30 revient de la bande, puisqu'il n'est pas nécessaire d'ajouter au métal liquide d'éléments d'alliage coûteux ou d'imposer au métal liquide des teneurs inhabituellement basses en certains éléments. De même, les gammes d'utilisation des produits fabriqués à partir des bandes ainsi produites ne sont pas limitées par la présence en quantités plus élevées que d'ordinaire d'éléments tels que le soufre, qui pourraient altérer radicalement les propriétés
35 mécaniques desdits produits. Enfin, cette invention n'implique pas d'augmentation des flux de chaleur à extraire du métal liquide par les cylindres, alors qu'une telle augmentation serait dommageable pour la durée d'utilisation de la surface externe refroidie desdits cylindres.

2a

L'invention concerne également un cylindre de coulée pour la coulée de bandes minces métalliques dont la surface latérale en cuivre ou alliage de cuivre comporte des fossettes jointives, caractérisée en ce que lesdites fossettes imposent auxdites surfaces une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 μm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 μm .

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée en référence aux figures annexées suivantes :

- la figure 1, qui représente schématiquement, vu de face et en coupe transversale, l'espace de coulée d'une installation de coulée entre cylindres, en y montrant le comportement du ménisque de l'acier liquide présent entre les cylindres de coulée dans des conditions correspondant à celles de l'art antérieur ;

- la figure 2, qui représente schématiquement le comportement du ménisque dans le cas de l'invention.

Selon les inventeurs, une condition essentielle pour l'obtention d'une bande coulée entre cylindres exempte de criques superficielles est l'obtention d'un bon ancrage des peaux de la bande sur l'ensemble des surfaces des cylindres lors de la solidification. Un tel ancrage garantit que les différentes contraintes liées aux contractions thermiques et aux éventuels changements de phase subis par les peaux sont répartis de manière uniforme, alors que des hétérogénéités dans ces contraintes peuvent provoquer des criques superficielles. Ils préconisent donc d'utiliser des cylindres de coulée dont la surface présente une rugosité relativement importante, sous forme de « fossettes ». Ces fossettes, comme il est connu (voir par exemple le document EP- A - 0 796 685), sont des dépressions de formes grossièrement circulaires ou ovales, que l'on peut ménager sur la surface du cylindre par projection de billes en métal ou en céramique. Dans ces conditions, au cours de la solidification, les peaux métalliques pénètrent à l'intérieur des fossettes, d'autant plus profondément que celles-ci ont un fort diamètre. Elles se comportent donc comme des points d'ancrage des peaux sur les cylindres.

Toutefois, cette pénétration ne doit pas être trop importante, pour plusieurs raisons. Si les fossettes sont plus profondes que 200 μm en moyenne et si l'acier en cours de solidification les remplit totalement, la surface de la bande comportera « en négatif » l'image en relief des fossettes, autrement dit un bosselage, qui n'est généralement pas désirable sur le produit final. Il faudra l'écraser lors des laminages ultérieurs que subira la bande, et un tel écrasement n'est pas toujours possible de manière suffisante à l'aide des taux de réduction habituellement pratiqués sur les bandes coulées entre cylindres. D'autre part, il n'est pas toujours souhaitable que le contact entre la peau en cours de solidification et la surface du cylindre soit très étroit, car cela conduirait à un flux de chaleur extrait du métal par le cylindre très important. Il contribue à dégrader rapidement la surface des cylindres, en y accentuant les phénomènes de fatigue. Des indices classiques décrivant la rugosité de la surface des cylindres sont l'indice Ra et l'indice Rz. Si on considère que la surface des cylindres est une succession de saillies et de creux par rapport à un niveau moyen, et que ces saillies et creux ont une hauteur ou une profondeur y, Ra et Rz sont, selon les normes en vigueur, calculés de la manière suivante.

Sur une longueur L donnée (égale à la circonférence du cylindre dans notre cas),

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

Sur une longueur donnée L_i égale à 1/5 de la circonférence du cylindre (i variant

$$\text{de 1 à 5), } R_{Zi} = \frac{\sum_{i=1}^5 Y_{pi} + \sum_{i=1}^5 Y_{vi}}{5}$$

- 5 Y_{pi} (i variant de 1 à 5) étant la hauteur des 5 saillies les plus élevées et Y_{vi} (i variant de 1 à 5) étant la profondeur des 5 creux les plus profonds. On pose ensuite selon la norme DIN 4768 que $R_Z = \frac{1}{5} (R_{Z1} + R_{Z2} + R_{Z3} + R_{Z4} + R_{Z5})$

Dans le procédé selon l'invention, il faut que ces fossettes soient jointives, c'est à dire que leurs périphéries ne soient pas systématiquement séparées par des plages planes. 10 En effet, l'alternance de larges plages planes, où le contact entre le métal et le cylindre est étroit, et de fossettes où ce contact est plus relâché, peut être défavorable à l'obtention d'une surface de bande exempte de criques, car, dans ce cas, les zones à fort refroidissement sont présentes dans une proportion qui peut être trop importante. De préférence, les fossettes sont réparties de façon aléatoire. De plus, l'absence de plages 15 planes permet d'augmenter le nombre de points d'ancrage de la peau solidifiée.

Un autre facteur à prendre en considération est la composition du gaz qui est utilisé pour inerte l'atmosphère entourant le ménisque, c'est à dire la périphérie de la surface du métal liquide présent entre les cylindres, au niveau de laquelle s'amorce la solidification des peaux. En effet, les fossettes, au moment où elles viennent au contact du 20 ménisque, contiennent du gaz, qui reste donc emprisonné entre le fond de chaque fossette et la peau en cours de solidification. En fonction de ses caractéristiques physico-chimiques, ce gaz va influencer sur les conditions de formation des peaux. L'expérience montre que si ce gaz est insoluble dans l'acier (ce qui est le cas de l'argon et de l'hélium), il forme un « matelas » gazeux qui peut empêcher une pénétration profonde du métal dans les fossettes. 25 Cela peut aller dans le sens d'une diminution de la formation des criques par l'effet des contraintes liées à la contraction de la peau lors de sa solidification et de son refroidissement. Mais on peut aussi observer la formation de criques par un autre mécanisme : la dilatation du gaz peut conduire localement à des pertes de contact entre la peau et le cylindre, ce qui ralentit exagérément les transferts thermiques. La peau s'en 30 trouve fragilisée localement, ce qui est favorable à la formation de criques. On peut également dans certains cas retrouver sur la bande un marquage en creux, si la dilatation du gaz insoluble a été suffisamment importante pour repousser la peau en cours de solidification. La pénétration procure également un bon ancrage de la peau sur le cylindre, ce qui, comme on l'a dit, favorise l'homogénéité des transferts thermiques sur l'ensemble 35 de la surface de la peau et va donc dans le sens d'une diminution de la formation de criques superficielles. Il n'y a pas, dans l'absolu, de composition de gaz d'inertage qui serait

universellement idéale, et cette composition doit pouvoir être ajustée en fonction des autres conditions opératoires, au besoin pendant la coulée elle-même.

Les conditions de mouillage de la surface du cylindre par l'acier liquide au niveau du ménisque sont également très importantes pour l'établissement des transferts thermiques. Elles dépendent notamment de la composition du métal liquide.

La figure 1 représente schématiquement l'espace de coulée d'une installation de coulée continue de bandes minces métalliques entre deux cylindres 1, 1' parallèles refroidis intérieurement, en rotation autour de leurs axes maintenus horizontaux. Des fossettes 2 sont ménagées sur leurs surfaces externes 3, 3' qui sont en cuivre ou alliage de cuivre. De l'acier liquide 4 est présent dans l'espace de coulée défini par les surfaces 3, 3', où il est amené à partir d'un récipient appelé répartiteur au moyen d'une busette en réfractaire (non représentée). Au contact des surfaces 3, 3', l'acier liquide 4 se solidifie pour former des peaux 5, 5' dont l'épaisseur croît au fur et à mesure de leur progression vers le bas de l'espace de coulée sous l'effet de la rotation des cylindres 1, 1'. Les peaux 5, 5' se rejoignent au niveau du col 6 pour former une bande 7 entièrement solidifiée qui est extraite de l'espace de coulée par un dispositif classique non représenté, comportant par exemple des rouleaux pinceurs. Comme représenté, les surfaces des peaux 5, 5' pénètrent à l'intérieur des fossettes 2, ce qui procure à la surface de la bande 7 une forme légèrement bosselée. Pour des raisons de clarté de la figure, l'échelle des différentes parties de l'installation n'a pas été respectée. A titre indicatif, les cylindres 1, 1' ont généralement un diamètre de 500 à 1500 mm, le diamètre et la profondeur des fossettes 2 sont de l'ordre de quelques dizaines à plusieurs centaines de μm , et l'épaisseur des bandes est de quelques mm (jusqu'à 10 mm, couramment 2 à 6 mm).

Habituellement, les conditions de mouillage des surfaces 3, 3' des cylindres 1, 1' par l'acier liquide 4, lors de la coulée d'aciers au carbone, font que le ménisque 8 prend la forme représentée sur la figure 1, à savoir que le contact acier 4 - surface 3, 3' peut s'effectuer avec un angle de raccordement aigu. Au niveau du ménisque 8, 8', il y a donc un interstice 9, 9' entre l'acier liquide 4 et la surface 3, 3' du cylindre 1, 1'. Sous l'effet de la rotation des cylindres 1, 1', on assiste donc à un entraînement (symbolisé par les flèches 10, 10') du gaz formant l'atmosphère environnant le ménisque 8, 8' à l'intérieur des fossettes 2. Un bon mouillage de la surface 3, 3' du cylindre 1, 1' par l'acier liquide inhibe l'entraînement de la couche limite de gaz présente au voisinage de la surface 3, 3' du cylindre 1, 1', entre le cylindre 1, 1' et la peau solidifiée 5, 5', ce qui permet d'éviter la possibilité de formation d'un marquage en creux sur la surface de la bande 7. La présence d'un tel angle de raccordement rend la forme et la position du ménisque peu stables, ce qui introduit des variations significatives dans la manière dont s'amorce la solidification des peaux 5, 5'. De plus, l'entraînement de gaz influe de manière plus ou moins aléatoire sur la composition et le volume du gaz formant le matelas gazeux présent dans les fossettes 2, ce qui provoque également des hétérogénéités dans le déroulement de la solidification des

peaux 5, 5'. Il est probable que ces phénomènes au niveau du ménisque 8, 8' rendent difficile la recherche et le maintien permanent de conditions de coulée qui éviteraient l'apparition de criques superficielles.

Des méthodes ont déjà été proposées pour améliorer la stabilité des conditions au ménisque 8, 8'. Selon l'une d'entre elles on impose des vibrations au ménisque 8, 8', soit en faisant vibrer les cylindres 1, 1' (document EP - A - 0 670 757), soit en plongeant un émetteur ultrasonore dans l'acier liquide 4 (document EP - A - 0 684 098), soit en appliquant des champs électromagnétiques à l'acier liquide dans la zone du ménisque 8, 8' (document EP - A - 0 754 515). Cette méthode présente l'inconvénient de nécessiter des appareillages spéciaux qui compliquent la construction de l'installation de coulée. Selon une autre méthode (document EP - A - 0 732 163), on utilise des cylindres à très faible rugosité ($R_a < 5 \mu\text{m}$), et on forme à l'intérieur du métal liquide 4, en agissant sur sa composition, des produits de désoxydation qui améliorent les conditions de mouillage au ménisque 8, 8'. Cette méthode impose cependant d'avoir au sein du métal liquide 4 une concentration d'inclusions oxydées relativement importante. Cela exclut de couler en bandes minces des aciers ayant l'excellente propreté inclusionnaire exigée par beaucoup d'utilisations des bandes d'acier au carbone. On a également proposé (document EP - A - 0 740 972 déjà cité) de coupler l'utilisation d'une surface des cylindres finement rainurée avec l'addition d'au moins 0,02% de soufre pour obtenir des conditions de transfert thermique plus régulières. Ces méthodes ne s'appliquent que dans le cas où les cylindres 1, 1' ont une rugosité très faible (R_a de quelque μm), et elles ont pour but premier d'accroître l'intensité des transferts thermiques entre les cylindres 1, 1' et le métal liquide 4. Or on a vu que de telles conditions peuvent causer l'apparition de criques superficielles. Ces méthodes de l'art antérieur ne peuvent donc résoudre le problème posé par cette apparition de criques. En outre, comme on l'a dit, des flux de chaleur extraits trop importants raccourcissent la durée de vie des surfaces extérieures des cylindres, dont la fabrication et le montage sur les noyaux des cylindres sont des opérations très onéreuses. Enfin, la présence d'une quantité de soufre aussi importante dans le métal limite la gamme d'applications des produits qui seront fabriqués à partir des bandes coulées.

Selon l'invention, on parvient à limiter considérablement, voire à supprimer totalement cette apparition de criques lors de la coulée en bandes minces d'aciers au carbone en respectant simultanément les conditions suivantes :

- la teneur en carbone de l'acier est inférieure à 0,5%, sa teneur en manganèse est comprise entre 0,4 et 2%, sa teneur en silicium est inférieure à 2%, le rapport $\text{Mn}\% / \text{Si}\%$ est compris entre 3 et 16 (tous les pourcentages sont des pourcentages pondéraux) ;

- les fossettes 2 sont jointives et réparties de manière aléatoire sur les surfaces 3, 3' des cylindres 1, 1', et confèrent à ces surfaces 3, 3' une rugosité R_z comprise entre 40 et 130 μm et une rugosité R_a comprise entre 10 et 20 μm ;

- et l'atmosphère environnant le ménisque 8, 8' est composée d'azote pour au moins 40%.

En respectant ces conditions, on parvient à obtenir un ménisque 8, 8' qui a la configuration représentée sur la figure 2, à savoir un angle de raccordement obtus entre la surface 3, 3' du cylindre 1, 1' et l'acier liquide 4. On supprime ainsi les entraînements de gaz 10 entre le ménisque 8, 8' et la surface 3, 3' du cylindre 1, 1'. Le gaz présent dans les fossettes 2 lors de la formation des peaux 5, 5' était donc dans sa totalité déjà présent avant le contact avec le ménisque 8, 8', et on obtient ainsi des conditions d'initiation et de développement de la solidification des peaux 5, 5' plus stables et plus aisément reproductibles que dans les conditions de l'art antérieur. La stabilité de la position du ménisque 8, 8' est également meilleure, sans qu'il soit nécessaire à cet effet d'utiliser des moyens de mise en vibration du ménisque 8, 8' tels que ceux décrits précédemment.

Une possible explication à cette obtention de conditions de mouillage favorables est que dans le cas où l'acier a la composition citée, il se produit une évaporation importante de manganèse, et à un degré moindre, de silicium, qui viennent se déposer sur les surfaces 3, 3' des cylindres 1, 1'. Ce dépôt, qui est constamment renouvelé pendant la coulée, procure probablement aux interfaces cylindre - acier des propriétés favorables, sous réserve que l'atmosphère environnante soit pratiquement exempte d'oxygène qui pourrait se combiner aux éléments évaporés et modifier la composition du dépôt. En dessous d'un rapport Mn% / Si% de 3 et au dessus d'un rapport Mn% / Si% de 16, on n'obtient pas ces conditions de mouillage particulièrement favorables.

L'expérience des inventeurs montre que l'absence de criques superficielles sur la bande 7 est obtenue lorsqu'on associe ces conditions de mouillage à l'utilisation d'un environnement gazeux et de cylindres 1, 1' répondant aux critères précédemment précisés. Dans ces conditions, on obtient des transferts de rugosité entre les peaux 5, 5' et les cylindres 1, 1' dont la régularité est satisfaisante.

Une condition préférée pour l'obtention du résultat recherché est d'effectuer la coulée sans utiliser de matériau de couverture, donc en laissant nue la surface du métal liquide 4, de manière à ne pas gêner l'évaporation et le dépôt sur les cylindres 1, 1' des éléments volatils.

Le procédé selon l'invention est compatible avec la présence d'aluminium dans l'acier. Comme il est connu, on peut accompagner cette présence d'aluminium par une addition de quelques dizaines de ppm de calcium destinée à transformer les inclusions d'alumine en aluminates de chaux liquides à la température de fusion de l'acier. On évite ainsi le bouchage des orifices de coulée du répartiteur par les inclusions d'alumine, et on confère aux inclusions oxydées une plasticité et une morphologie bien adaptées aux traitements thermomécaniques que la bande subira ultérieurement, ainsi qu'aux futures utilisations des produits qui en seront issus. On peut également envisager de remplacer partiellement ou totalement l'aluminium par d'autres éléments fortement désoxydants, tels

que le titane et/ou le zirconium. La teneur maximale totale en ces désoxydants forts est de 0,1%.

Par rapport aux autres méthodes précédemment proposées pour obtenir une bonne stabilité du ménisque 8, 8' (et qui, rappelons-le, ne permettaient pas d'obtenir de manière
5 fiable une bande 7 exempte de criques superficielles), le procédé selon l'invention présente l'avantage de ne pas nécessiter la présence au sein du métal liquide 4 d'une quantité relativement importante d'inclusions oxydées qui pourraient être défavorables pour beaucoup d'utilisations du métal final. De plus, ces inclusions d'oxydes risqueraient de former des plaques au voisinage du ménisque qui pourraient être emprisonnées par les
10 peaux 5, 5'. On détériorerait ainsi la qualité de la surface de la bande 7. On considère qu'il est préférable de ne pas dépasser une teneur de 100 ppm en oxygène total (c'est à dire présent soit sous forme dissoute, soit sous forme combinée dans des inclusions oxydées), et préférentiellement de maintenir cette teneur entre 30 et 70 ppm. Cette teneur en oxygène total dépend en grande partie de la teneur en oxygène dissous qui est déterminée par les
15 équilibres chimiques entre l'acier liquide 4 et son environnement, et notamment par les teneurs de l'acier liquide 4 en éléments désoxydants : manganèse, silicium et éventuellement aluminium. Une façon d'obtenir une basse teneur en oxygène (donc une bonne propreté inclusionnaire du produit final) dans l'acier liquide 4 au moment de sa solidification, même s'il ne contient pas de désoxydants très forts tels que l'aluminium ou
20 le titane, est d'imposer une telle basse teneur lors de l'élaboration de l'acier en poche en réalisant un équilibre chimique entre le métal et un laitier fortement enrichi en chaux et appauvri en oxydes de silicium et de manganèse, et d'empêcher ensuite autant que possible l'oxygène atmosphérique de pénétrer dans l'acier liquide 4, par un inertage soigné de l'installation de coulée.

25 Il n'est pas, non plus, nécessaire d'imposer la présence d'une quantité élevée de soufre dans le métal liquide 4, qui conduirait à restreindre les possibilités d'utilisation des produits fabriqués à partir des bandes coulées. Le soufre est un élément dont on cherche à limiter la présence dans la plupart des aciers au carbone à caractéristiques mécaniques élevées. La présence de carbone à une teneur maximale de 0,5% n'est pas très
30 contraignante, dans la mesure où la plupart des aciers au carbone que l'on peut désirer couler sous forme de bandes minces répondent à cette caractéristique.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec une atmosphère environnant la surface libre de l'acier liquide 4 comportant 100% d'azote. Toutefois, cette teneur peut descendre de manière acceptable jusqu'à 40%, le restant étant composé d'un gaz inerte et insoluble
35 dans l'acier (tel que l'argon ou l'hélium) ou d'un mélange de tels gaz. En jouant sur la composition du gaz d'inertage, on peut, comme il est connu, moduler l'intensité des transferts thermiques entre les cylindres 1, 1' et l'acier liquide 4, et agir sur la productivité de l'installation, ainsi que sur la forme des cylindres résultant de leur dilatation (document EP - A - 0 736 350).

Tous ces résultats sont obtenus dans le cas de l'utilisation de cylindres 1, 1' dont les surfaces 3, 3' sont en cuivre ou alliage de cuivre, éventuellement recouvertes par une pellicule d'alliage à base de nickel ou de chrome, comme c'est souvent le cas.

Une méthode classique, rapide et peu coûteuse pour former les fossettes 2 sur les surfaces 3, 3' des cylindres 1, 1' est de projeter des billes en métal ou en céramique sur lesdites surfaces 3, 3'. En jouant sur le nombre, les matériaux, les diamètres et la pression de projection des billes, on peut obtenir les configurations désirées pour lesdites fossettes 2. D'autres méthodes (utilisant un laser ou une attaque chimique ou une électroérosion des surfaces 3, 3', ou un marquage par moletage des surfaces 3, 3') sont également envisageables.

Si les conditions de coulée conduisent à la présence à la surface de la bande 7 de reliefs un peu trop importants, suite à une relativement forte pénétration du métal liquide 4 dans les fossettes 2, on peut prévoir de laminier à chaud la bande 7 pour écraser ces reliefs, de préférence sur une installation disposée en ligne avec l'installation de coulée.

A titre d'exemple, on peut citer le cas d'une coulée de bandes de 2,6 mm d'épaisseur réalisée sur un acier ayant la composition : C = 0,042% ; Mn = 0,816% ; P = 0,006% ; S = 0,005% ; Si = 0,220% ; Al = 0,002% ; Ni = 0,066% ; Cr = 0,126% ; Cu = 0,085% ; N = 0,0058%. La rugosité des cylindres était définie par un Ra de 21 μ m et un Rz de 92 μ m obtenus par projection de billes d'acier. Les caractéristiques de composition et de rugosité étaient donc conformes à l'invention (en particulier le rapport Mn% / Si% était égal à 3,7). Lorsque, selon l'invention, l'inertage de la surface du métal liquide était assuré par de l'azote pur ou par un mélange azote-argon 50-50%, on n'observait pas de criques sur la surface de la bande. En revanche, un inertage à 100% d'argon provoquait l'apparition de criques, toutefois en relativement faible nombre.

On prend également pour exemple une coulée de référence d'une bande de 2,6 mm d'épaisseur dont la composition était : C = 0,0426% ; Mn = 0,303% ; P = 0,004% ; S = 0,0007% ; Si = 0,186% ; Al = 0,003% ; Ni = 0,035% ; Cr = 0,075% ; Cu = 0,031% ; N = 0,0044%. Le rapport Mn% / Si% était cette fois de 1,6, donc non conforme à l'invention. La rugosité des cylindres était la même que pour la coulée précédente. L'inertage de la surface du métal liquide était assuré par un mélange argon-azote 70-30%. Ces deux dernières caractéristiques tombaient en dehors des exigences de l'invention. Dans ces conditions, on a constaté l'apparition significative de criques sur la surface de la bande.

Une autre coulée de référence d'une bande de 2,6 mm d'épaisseur avait pour composition : C = 0,054% ; Mn = 0,601% ; P = 0,007% ; S = 0,004% ; Si = 0,320% ; Al = 0,003% ; Ni = 0,040% ; Cr = 0,100% ; Cu = 0,028% ; N = 0,0059%. Le rapport Mn% / Si% était de 1,9, donc non conforme à l'invention. Les cylindres avaient un Ra de 8 μ m et un Rz de 35 μ m, donc une rugosité insuffisamment prononcée pour être dans les conditions de l'invention. L'inertage était assuré à 100% par de l'azote. Là encore, on a observé des criques en nombre significatif sur la surface de la bande.

Une autre coulée particulièrement intéressante a été réalisée pour obtenir une bande de 3,9 mm d'épaisseur. Sa composition était : C = 0,049% ; Mn = 0,791% ; P = 0,005% ; S = 0,006% ; Si = 0,200% ; Al = 0,003% ; Ni = 0,028% ; Cr = 0,049% ; Cu = 0,015% ; N = 0,0052%. Le rapport Mn% / Si% était de 4, donc conforme à l'invention.

5 L'inertage de la surface du métal était assuré par de l'azote pur ou par un mélange azote-argon 50-50%. L'un des cylindres avait un Ra de 21 μ m et un Rz de 92 μ m (selon l'invention), et l'autre cylindre avait un Ra de 8 μ m et un Rz de 35 μ m (hors de l'invention). Il s'est avéré que la face de la bande qui s'est solidifiée contre le cylindre à forte rugosité conformément à l'invention était exempte de criques, alors que la face

10 opposée de la bande, qui s'est solidifiée contre le cylindre à faible rugosité hors de l'invention présentait de nombreuses criques. Ce dernier exemple montre bien l'influence fondamentale de la rugosité des cylindres sur le résultat final, toutes choses étant égales par ailleurs.

L'invention permet donc de réaliser un bon ancrage des peaux 5, 5' en cours de

15 solidification sur les surfaces 3, 3' des cylindres pour éviter des criques qui seraient dues à une fragilité excessive des peaux 5, 5'.

REVENDICATIONS :

1. Procédé de fabrication de bandes (7) d'épaisseur inférieure ou égale à 10 mm en acier au carbone directement à partir d'acier liquide (4), par coulée dudit acier liquide (4) entre les surfaces latérales (3) en cuivre ou alliage de cuivre de deux cylindres horizontaux (1, 1') en rotation refroidis intérieurement, caractérisé en ce que :

- ledit acier liquide (4) a la composition, en pourcentages pondéraux carbone ~ 0,5%, manganèse de 0,2 à 2%, silicium ~ 2%, le rapport Mn% / Si% étant compris entre 3 et 16, optionnellement aluminium + titane + zirconium ~ 0,10%, le reste étant du fer et des impuretés habituelles;

- lesdites surfaces latérales (3, 3') des cylindres (1, 1') comportent des fossettes (2) jointives, imposant auxdites surfaces (3, 3') une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 µm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 µm; et

- l'atmosphère environnant le ménisque (8, 8') de l'acier liquide (4) présent entre les cylindres (1, 1') comprend entre 40 et 100% d'azote, le restant étant composé d'un gaz neutre insoluble dans l'acier liquide (4) ou d'un mélange de tels gaz neutres.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit acier liquide (4) comporte moins de 100 ppm d'oxygène total.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit acier liquide (4) comporte de 30 à 70 ppm d'oxygène total.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdites fossettes (2) jointives sont réparties de manière aléatoire sur les surfaces (3, 3') des cylindres (1, 1').

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'atmosphère environnant le ménisque (8, 8') du métal liquide (4) présent entre les cylindres (1, 1') comprend 100% d'azote.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la surface de l'acier liquide (4) présent entre les cylindres (1, 1') est exempte de matériau de couverture.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ladite bande (7) subit ensuite un laminage à chaud.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit laminage à chaud est effectué en ligne, après la coulée de ladite bande (7).

9. Cylindre (1, 1') de coulée pour la coulée de bandes minces métalliques (7) dont la surface latérale (3, 3') en cuivre ou alliage de cuivre comporte des fossettes (2) jointives, caractérisée en ce que lesdites fossettes (2) imposent auxdites surfaces (3, 3') une rugosité Rz comprise entre 40 et 200 μm et une rugosité Ra comprise entre 10 et 40 μm .

10. Cylindre (1, 1') selon la revendication 9, caractérisé en ce que lesdites fossettes (2) sont ménagées sur ladite surface par projection de billes.

11. Cylindre (1, 1') selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que lesdites fossettes (2) sont réparties de manière aléatoire sur sa surface.

1/1

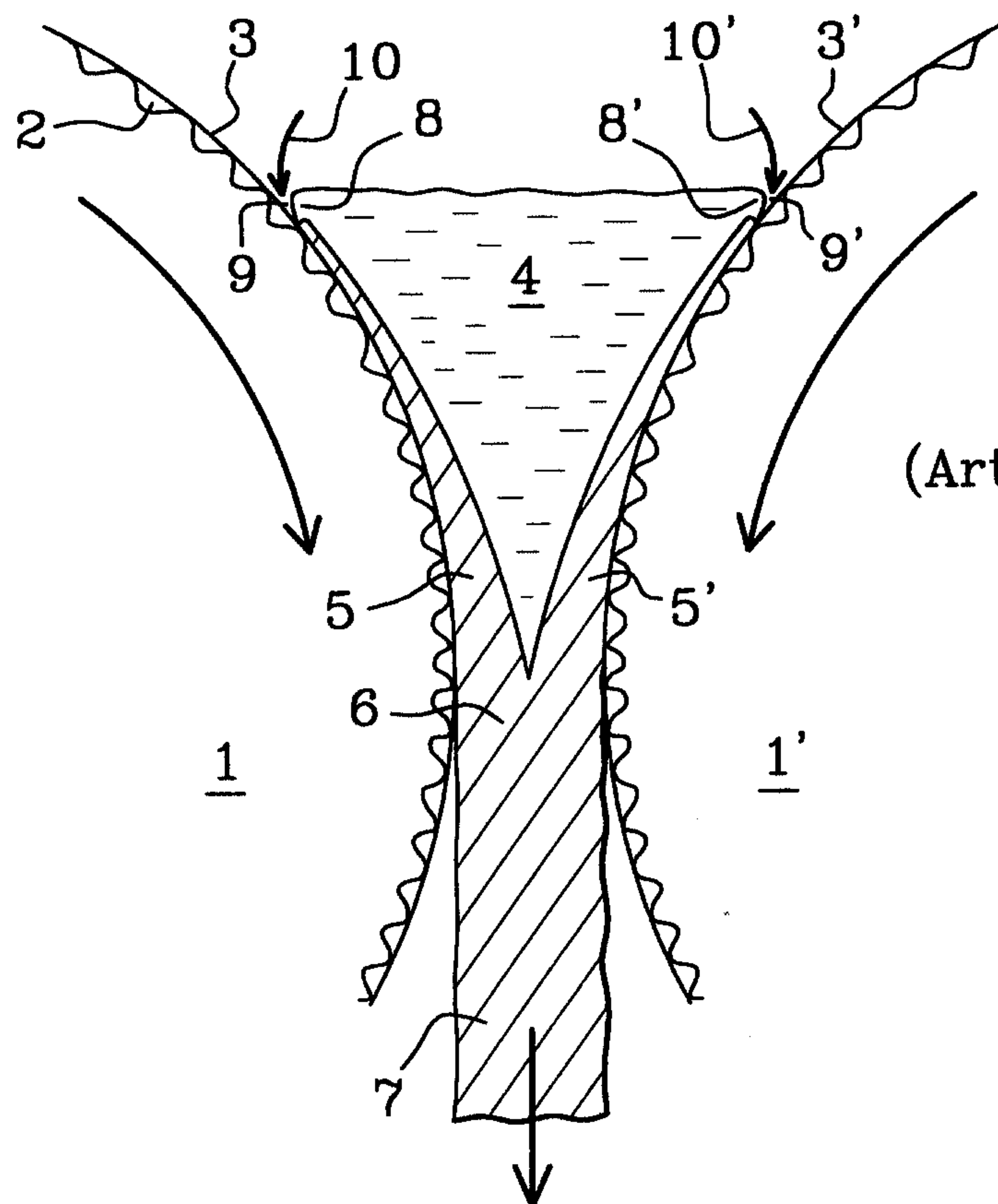


FIG.1
(Art antérieur)

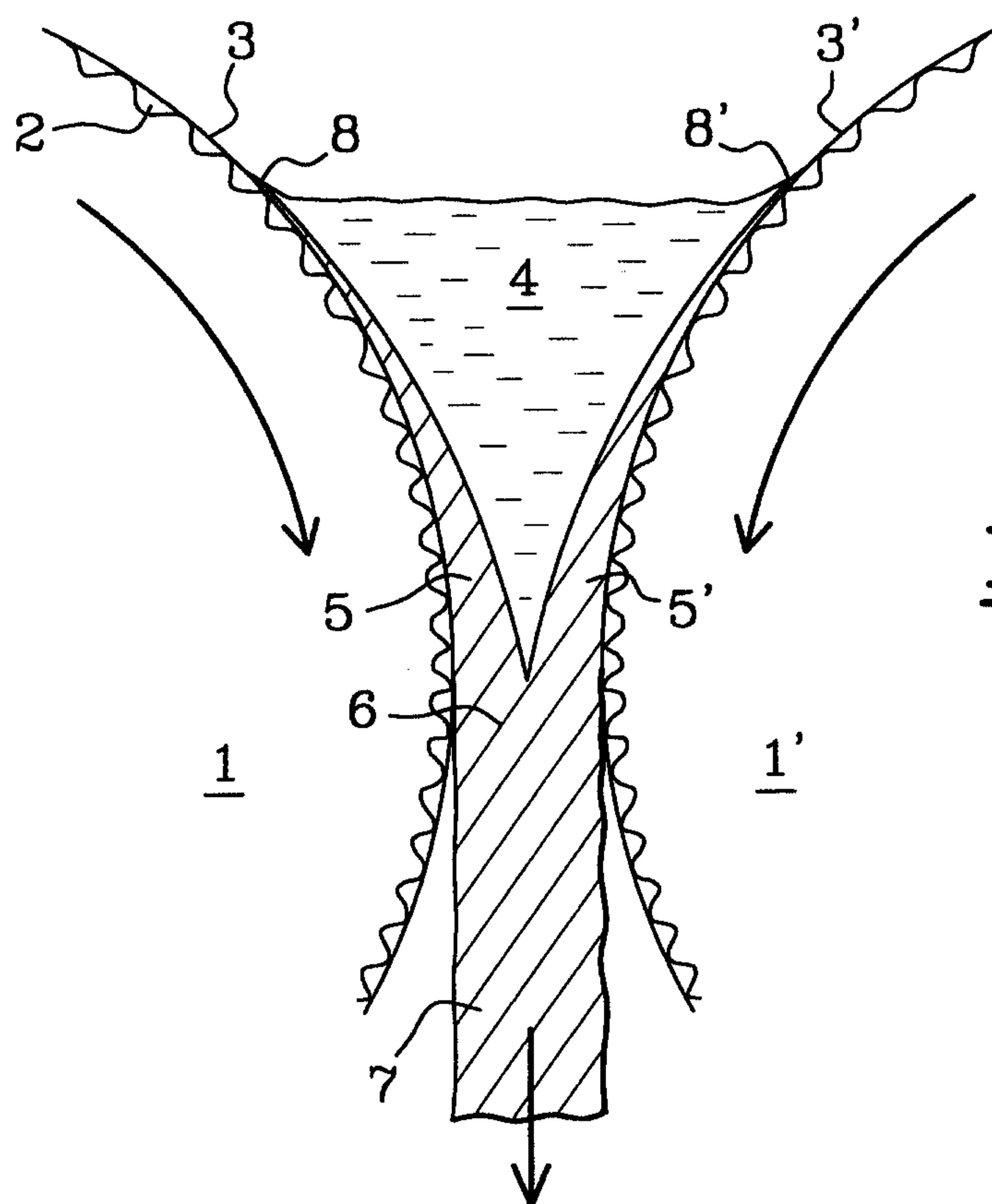


FIG.2

