

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 81 06999**

---

⑤④ Procédé et dispositif de coulée continue du type courbe.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). B 22 D 11/14, 11/04.

⑫② Date de dépôt..... 2 avril 1981.

⑫③ ⑫② ⑫① Priorité revendiquée : Japon, 2 avril 1980, n°s 43380/80 et 43382/80.

⑫④ Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 41 du 9-10-1981.

---

⑫⑦ Déposant : Société dite : NIPPON STEEL CORPORATION, résidant au Japon.

⑫⑧ Invention de : Yasuo Suzuki, Shuji Nagata, Takashiro Nonaka et Tadashi Murakami.

⑫⑨ Titulaire : *Idem* ⑫⑦

⑫⑩ Mandataire : Bugnion Propriété Industrielle SARL,  
23-25, rue Nicolas-Leblanc, 59000 Lille.

La présente invention est relative à un procédé de coulée continue et, plus particulièrement, à des perfectionnements pour redresser un jet d'acier dans un procédé de coulée continue du type courbe. La présente invention est également relative à un dispositif de coulée  
5 continue du type courbe pour réaliser ce procédé.

Récemment, la technique de coulée continue, dans laquelle un métal en fusion est coulé de manière continue, dans le but d'obtenir un jet, a été développée et a remplacé le procédé de réalisation d'un lingot suivi d'un laminage rude, dans l'industrie métallurgique,  
10 incluant l'industrie de l'acier. La dimension des sections d'acier produites par le procédé de coulée continue, dans lequel les sections d'acier sont directement obtenues à partir d'acier en fusion, en coulant de manière continue un tel acier, est considérablement augmentée. Le procédé de coulée continue est supérieur au procédé conventionnel de réalisation d'un  
15 lingot et de laminage rude, dans le haut rendement de production de brames, de "blooms", etc ..., et la faible consommation d'énergie pour produire les brames, etc ... La raison est que les dimensions des sections d'acier produits par coulée continue, comparées aux lingots, sont augmentées. Les classes d'acier, auxquelles le procédé de coulée continue  
20 peut être appliqué, sont devenues très variées ces dernières années.

Dans le procédé de moulage continu, un jet chaud, avec un noyau liquide est cintré depuis une direction verticale en une forme courbe, et ensuite, redressé horizontalement. Alternativement, un jet chaud avec un noyau liquide est redressé depuis une forme courbe jusqu'à  
25 une ligne horizontale. Après le redressement, le jet est coupé à la longueur désirée. Toutefois, des contraintes tendent à se créer dans le jet pendant le cintrage, ou le redressement, et ceci provoque la formation de défauts. La section horizontale du jet après redressement n'est pas complètement solidifiée, et ainsi, inclut le noyau liquide  
30 dans la coulée moderne à grande vitesse, et, pour cette raison, la génération (a) de contraintes de gonflement du jet causé par la pression ferrostatique du métal en fusion (qui seront désignées ultérieurement par contraintes de gonflement) et (b) de contraintes du jet causées par le redressement, dans la phase de redressement (qui seront désignées ultérieurement par contraintes de redressement) est la cause d'un problème  
35 très compliqué, qui y est expliqué en détail ci-dessous.

Avantageusement, les sections de jet coulé en continu, et coupé, présentant une température très élevée sont soumises à

- 2 -

la phase de laminage, alors que les sections de jet sont maintenues sensiblement à leur température élevée, d'où il résulte que l'énergie calorifique et le coût pour obtenir des laminages peuvent être baissés, comparés à un procédé dans lequel les sections de jets sont d'abord chauffées puis laminées. Toutefois, des contraintes sont générées dans le jet coulé en continu pour des raisons compliquées, et ceci, à son tour, provoque la génération de fissures sur la surface extérieure et dans l'intérieur du jet dans un procédé de coulée continue. Pour cette raison, selon les procédés industriels conventionnels, les sections d'acier chaud doivent être refroidies à température ambiante et soumises à l'enlèvement des défauts avant d'être soumises à la phase de laminage. Dans le but de rendre possible de soumettre directement les sections d'acier chaud obtenu par une coulée continue à la phase de laminage, les sections d'acier doivent, d'une manière évidente, être exemptes des fissures internes et doivent être exemptes de défauts de surface, c'est-à-dire ne doivent pas nécessiter l'enlèvement de leurs défauts de surface, etc....

Les sortes de défauts internes et externes, et les raisons pour lesquelles ces défauts apparaissent sont expliquées en détail dans la suite. Dans un procédé de coulée continue largement utilisé, un moule courbe pour couler le jet courbé longitudinalement est utilisé de manière à maintenir faible la hauteur du dispositif de coulée continue, ainsi que le coût de l'installation. La hauteur d'un dispositif de coulée continue est la distance verticale depuis la surface supérieure du moule à la région de guidage horizontal pour le jet. Durant le redressement du jet courbé longitudinalement, c'est-à-dire l'application au jet d'un cintrage opposé à la courbe du jet, des fissures internes, des fissures de surface transversale, des fissures de bord, etc..., peuvent être générées du fait des contraintes de gonflement et/ou des contraintes de redressement.

L'un des moyens techniques conventionnels pour éviter les fissures internes, les fissures de surface transversale, les fissures de bord, etc..., est de disposer les rouleaux de support et de guidage du jet, qui a quitté le moule, de manière à ce que les distances entre ces rouleaux soient très faibles, ce qui fait que l'intensité et les contraintes de gonflement sont plus faibles. Un autre moyen technique est qu'un refroidissement intensif à une zone de refroidissement secondaire après que le moulage ait lieu, et se déroule, pour

- 3 -

augmenter la résistance à la chaleur de la coquille solidifiée, par exemple en pulvérisant de l'eau sur l'acier avec un taux de 1,0 l/kg. Un autre moyen technique vise à maintenir les contraintes de redressement du jet courbé à un niveau bas, et consiste en une méthode de redressement du jet non solidifié présentant un noyau liquide, dans lequel les contraintes de redressement de l'ordre de 0,1 à 0,25 % sont réparties sur une longue région de redressement du jet, qui est ainsi amené horizontalement après être passé par une pluralité de points de redressement. Cette méthode sera désignée ultérieurement par méthode de redressement multi-point. Par ailleurs, la plupart des dispositifs de coulée continue modernes pour produire des jets de 200 - 300 mm d'épaisseur opère avec les paramètres suivants.

Rayon de courbure de l'arc de base : 10 - 13 m

(grand rayon de courbure)

Vitesse de coulée : 0,7 - 2,0 m/minute

Rouleaux de support et de guidage : la distance entre ces rouleaux est faible.

Refroidissement secondaire : refroidissement par pulvérisation intensive d'eau.

Lorsque la méthode de redressement multi-point ci-dessous est appliquée à ces dispositifs de coulée continue, avec l'hypothèse que la hauteur du dispositif (10-13 m) n'est pas augmentée, le point de départ du redressement multi-point est positionné à une distance du ménisque dans le moule s'élevant à 15,7 - 20,4 m le long du jet. Cette distance est déterminée par le fait que la hauteur du dispositif de 10 à 13 m est importante. La température de surface du jet et l'épaisseur de la coquille solidifiée à ce point de départ sont respectivement de 700 à 900 ° C, et d'environ 80 à 120 mm (valeur estimée). Si le jet présente une section transversale de 250 mm d'épaisseur et de 1800 mm de largeur, l'épaisseur de la coquille solidifiée dans la direction de la petite largeur du jet s'élève à 70 à 90 % de la largeur du jet. Le jet qui est redressé, alors que la coquille solidifiée est d'une telle épaisseur, présente des défauts de fissures de bord (en pourcentage) de l'ordre de 10 à 30 %, et un point d'évaluation des fissures internes (taux de génération C : 1,5) de l'ordre de 4 à 5 %, même si le jet est redressé par des moyens de redressement utilisant des dispositifs pour contrôler la force de redressement et d'autres dispositifs relevant d'un niveau technique très poussé. Si un jet, présentant les défauts

- 4 -

qui sont décrits ci-dessus, est laminé à la température appropriée de laminage, un rendement très satisfaisant ne peut pas être obtenu.

La publication STAHL UND EISEN VOL 95 (1975), No 16, pages 733-741, décrit un procédé pour couler, au moyen d'un moule courbe, un jet (épaisseur moyenne de 150 mm) présentant un rayon de courbure de 3,9 m à des vitesses de coulée de 0,9 m/minute et 0,4 m/minute, pour refroidir secondairement le jet par pulvérisation d'eau et pour redresser le jet en une pluralité (trois) de points de redressement. La hauteur du dispositif de coulée continue est de 4,0 - 4,2 m. Le procédé de STAHL UND EISEN ne tend pas à proposer un jet approprié pour la méthode de laminage direct. Toutefois, les inventeurs ont prêté attention à ce procédé, en considérant un procédé de coulée continue capable de satisfaire les conditions de la méthode de laminage direct. En conclusion, les inventeurs considèrent qu'il est difficile dans le procédé de STAHL UND EISEN de diminuer les défauts de surface à un point aussi bas, qui permette de soumettre directement le jet à la phase de laminage. C'est parce que la coquille solidifiée au point de départ du redressement est très épaisse et, à cause de cette épaisseur, la limite admissible des contraintes de redressement est faible d'après l'analyse, par les présents inventeurs, des paramètres de coulée.

Un des buts de la présente invention est de proposer un procédé de coulée continue du type courbe qui est très efficace et qui évite la formation de défauts de surface transversaux, de fissures de bord, et d'autres défauts, et également, fournisse un jet pour la phase de laminage alors que le jet est maintenu sensiblement à sa température très élevée.

Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif de coulée continue du type courbe qui présente une faible hauteur et une grande efficacité, et permette la production d'un jet capable d'être directement soumis à la phase de laminage.

Le jet produit par le procédé et le dispositif mentionnés ci-dessus doit présenter une bonne qualité dans le sens usuel. C'est-à-dire, le jet doit être exempt de ségrégation centrale, de fissure interne, de défaut de surface, et d'inclusion non métallique. Les qualités spécifiques du jet, nécessaires pour atteindre les objets de la présente invention sont : la qualité de surface du jet qui est si bonne que le jet peut être laminé sans enlèvement des défauts de surface ; et, une grande température du jet après redressement et coupe,

de préférence dans le domaine des températures du démarrage du laminage. Du fait du faible nombre de défauts, le jet peut être laminé sans enlever les défauts de surface, tandis que du fait de la température élevée, aucun réchauffage n'est nécessaire pour le laminage. Selon d'autres  
5 buts de la présente invention, il est proposé un procédé de coulée continue du type courbe utilisant un moule courbe, où un acier en fusion est coulé de manière continue dans le moule courbe pour obtenir un jet courbé présentant une épaisseur qui n'est pas inférieure à 200 mm et le jet  
10 courbe est soumis à un redressement multi-point, caractérisé en ce que le redressement est commencé dans une région du jet où l'épaisseur de la coquille solidifiée n'est pas supérieure à 60 mm, et est achevé dans une région du jet où l'épaisseur de la coquille solidifiée n'est pas  
15 supérieure à 60 mm. Selon ce procédé, la région du jet où l'épaisseur de la coquille solidifiée (épaisseur de la coquille solidifiée au niveau de chacun des côtés intérieur et extérieur du jet courbe) est faible, est soumise à un redressement, et les contraintes admissibles de redressement sont multipliées par deux ou plus par rapport aux procédés conventionnels, d'où il résulte que le jet peut être produit avec un très petit  
20 nombre de défauts de surface. Puisque les contraintes admissibles de redressement sont plus élevées que dans les procédés conventionnels, les défauts de surface ne se produisent pas, bien que le jet subisse pendant le processus de redressement des contraintes supérieures à celles d'un jet redressé par un procédé conventionnel. En plus, même le jet courbé  
25 présentant un petit rayon de courbure peut être redressé en une ligne horizontale par une méthode de redressement, dans laquelle le nombre des points de redressement (de trois à cinq) correspond à celui des méthodes conventionnelles, et un tel redressement ne provoque pas la formation des fissures de surface. Il en résulte qu'une bonne qualité de surface, du point de vue défauts de surface, et une petite zone de redressement  
30 sont simultanément obtenues par la présente invention, c'est-à-dire qu'une coulée continue avec des contraintes faibles de gonflement peut être réalisée dans un dispositif de coulée continue du type courbe présentant une faible hauteur.

Un dispositif de coulée continu du type courbe selon la présente invention comprend :

- un moule courbe,
- des moyens pour supporter et guider un jet courbe extrait du moule courbe,

- 6 -

- des moyens pour redresser le jet courbe en au moins deux points du jet,

5 - des moyens de refroidissement secondaires pour pulvériser un mélange de gaz et de liquide vers le jet courbe dans la région des moyens de support et de guidage et ce dispositif présente une hauteur qui n'est pas supérieure à 4,9 m, plus particulièrement pas supérieure à 3,5 m.

10 Les moyens de redressement peuvent être des rouleaux de pincement qui sont disposés dans les zones de redressement et qui définissent une courbe présentant une pluralité de centres de courbure. Le dispositif de coulée continue du type courbe peut comprendre par ailleurs des rouleaux dans une zone de roulement horizontale où les rouleaux de plus petit diamètre sont disposés à une distance faible entre eux. Le jet redressé dans la zone de redressement est ensuite guidé dans la zone de roulement horizontale et convoyé dans cette zone sur une longueur variable. Dans le dispositif de coulée continue du type courbe de 15 la présente invention, la coquille solidifiée de la région du jet dans la zone de redressement, peut être rendue faible, du fait de (a) la faible hauteur du dispositif, et (b) le refroidissement lent et/ou la 20 vitesse élevée de coulée.

L'invention sera mieux comprise si l'on se réfère à la description ci-dessous, ainsi qu'aux dessins en annexe qui en font partie intégrante.

25 La figure 1 est un graphe des contraintes de redressement en fonction de l'épaisseur de la coquille solidifiée.

La figure 2 est un graphe de la température des coins du jet en fonction de l'épaisseur de la coquille solidifiée.

La figure 3 est un graphe de la hauteur du dispositif de coulée continue en fonction des contraintes de gonflement maximum.

30 La figure 4 est un dessin schématique illustrant les parties essentielles du dispositif de coulée continue du type courbe selon la présente invention.

Les figures 5A, 5B et 6 illustrent une mise en oeuvre des moyens de refroidissement secondaires pour pulvériser le mélange gaz-liquide, les figures 5A et 5B étant respectivement une vue partielle en coupe et une vue de côté d'une buse de pulvérisation, et la figure 6 étant une vue partielle d'un dispositif de coulée continue.

La figure 7 illustre les éléments séparés d'un rouleau.

L'aspect théorique de la présente invention, qui va être décrit ci-dessous, doit être interprété comme ne limitant pas la présente invention. Les présents inventeurs ont réalisé des recherches expérimentales sur les dispositifs du type courbe pour couler en continu un acier en fusion, dans le but de déterminer les conditions d'une telle coulée continue qui provoquent aucune fissure de surface transversale, fissure interne ou fissure de bord du jet redressé. Comme résultat des recherches expérimentales, les présents inventeurs ont découvert une condition de coulée continue pour diminuer la somme des contraintes de gonflement ( $\epsilon_{\beta}$ ) et de contraintes de redressement ( $\epsilon_{\gamma}$ ) à une valeur inférieure aux contraintes critiques de génération des fissures ( $\epsilon_{\zeta}$ ).

L'une des conditions de coulée continue est la température du jet. Si le jet est soumis à une déformation quelconque, incluant le redressement, le jet est susceptible de présenter des fissures à une température où les contraintes critiques de génération des fissures ( $\epsilon_{\zeta}$ ) deviennent faibles. Cette température est appelée température de fragilité. Cette température pour les aciers communément utilisés est de 700 à 900 °C. Il est pour cette raison important, pour éviter les fissures, de réaliser toute déformation du jet à une température qui soit en dehors du domaine de température de fragilité. Le jet d'acier est avantageusement soumis à une déformation ou un redressement à une température excédant 900 °C.

Plus la température, à laquelle le redressement est réalisé, de la région du jet, est élevée, plus la coquille solidifiée est fine et présente une résistance faible. Le redressement d'une région du jet présentant une température élevée et une coquille solidifiée fine peuvent provoquer la formation de fissures, car la coquille solidifiée est sérieusement affectée par les contraintes de gonflement. Des remarques ci-dessous, il doit être compris que les contraintes de redressement et les contraintes de gonflement affectent en combinaison le jet qui est déformé ou redressé. De plus, à une température de redressement supérieure à 900 °C, la tendance à la formation des fissures, du fait des contraintes de gonflement devient manifeste. Ainsi, la formation des fissures lors du redressement, peut être évitée simplement en résolvant les deux exigences qui sont contradictoires l'une de l'autre. C'est-à-dire, le maintien de la température de redressement à une valeur élevée pour éviter la température de fragilité, et simultanément, le maintien des contraintes de gonflement à une valeur faible de manière à



- 8 -

ne pas provoquer la formation de fissures dans la fine coquille solidifiée. Les conditions de coulée continue découvertes par les présents inventeurs, dans le but d'associer les conditions contradictoires sont : l'utilisation d'un moule courbe réalisant une pression statique et des contraintes de gonflement ( $\epsilon_B$ ) plus faibles que dans le moule rectiligne, et achever le redressement dans une région du jet présentant une épaisseur de coquille solidifiée de 60 mm ou moins, pour un jet présentant une épaisseur d'au moins 200 mm, particulièrement de 200 à 300 mm, réalisant ainsi le redressement en dehors du domaine de température de fragilité. Une petite distance entre le moule courbe et le point de départ du redressement est préférable pour réaliser le redressement à l'extérieur du domaine de température de fragilité. Un dispositif de coulée continue, dans lequel la distance entre le moule courbe et la région horizontale du jet est faible, est appelé dispositif de coulée continue à tête basse. Le dispositif de coulée continue à tête basse de la présente invention doit présenter un petit rayon de courbure, de préférence d'approximativement 3 à 5 m, et doit opérer avec une vitesse élevée de coulée et/ou des conditions de refroidissement lent.

En se référant à la figure 1, la relation entre les contraintes de redressement, l'épaisseur de la coquille solidifiée et la génération de fissures est illustrée. Les contraintes de redressement dans la figure 1 indiquent les contraintes générées à l'interface de solidification du côté intérieur du jet courbé, mais seulement les contraintes de redressement. C'est-à-dire, les contraintes de gonflement ne sont pas incluses dans les valeurs montrées en ordonnée dans la figure 1. Les données expérimentales, selon la présente invention, de coulée et de redressement de jets d'acier de 250 mm d'épaisseur, en utilisant un dispositif de coulée continue à tête basse sont montrées dans la figure 1. Tel qu'il ressort de cette figure, lorsque l'épaisseur de la coquille solidifiée est de 60 mm ou moins, les contraintes de redressement peuvent être augmentées de 0,2 %, qui sont les contraintes de redressement conventionnelles dans l'Art Antérieur. Si l'épaisseur de la coquille solidifiée est inférieure à 20 mm, le danger de cassure devient grand. L'épaisseur minimum de la coquille solidifiée est de préférence 20 mm. Si le redressement est réalisé avec une épaisseur de coquille solidifiée de 20 à 60 mm, les contraintes de redressement, qui ne résultent pas dans la formation de fissures, peuvent être approximativement multipliées par deux, comparées aux procédés conventionnels. Ceci ne permet pas seulement

la résolution efficace du problème des fissures causées par le redressement, mais présente ainsi une conséquence technique, tel que cela est illustré en figure 2. Tel qu'il ressort de cette figure, si la coquille solidifiée présente une épaisseur de 60 mm ou moins, la température des coins du jet est plus élevée que 900 °C, et est à l'extérieur du domaine de température de fragilité A. La température d'un jet a le plus tendance à baisser dans les coins du jet. Toutefois, la température des coins du jet peut être maintenue supérieure à 900 °C, de préférence 1000 °C, ou encore plus, si le jet est redressé en contrôlant l'épaisseur de la coquille solidifiée à 60 mm ou moins.

Une autre conséquence technique de la fine coquille solidifiée, c'est-à-dire la coquille solidifiée présentant une épaisseur de 60 mm ou moins, est que le relâchement des contraintes induites dans le jet, comme résultat de la déformation, se produit de 10 à 100 fois plus rapidement à cause de la température élevée du jet, comparé aux procédés conventionnels. Ceci contribue à supprimer la formation de fissures, tel que cela est décrit ci-dessus. Dans le but de maintenir les contraintes de gonflement à un niveau bas, il est nécessaire de maintenir la hauteur du dispositif de coulée continue du type courbe à un niveau bas, tel que cela est décrit ci-dessus. Ceci peut être obtenu par un petit rayon de courbure du moule courbe, qui, à son tour, conduit à réduire le rayon de courbure du jet.

Si un tel jet est redressé, par exemple, en un point, les contraintes de redressement peuvent être accrues au-delà des contraintes critiques de génération des fissures ( $\epsilon_c$ ). Le redressement multi-point utilisé pour redresser le jet présentant un petit rayon de courbure permet la distribution des contraintes de redressement sur la zone de redressement, d'une manière telle que les contraintes de redressement à chaque point de redressement ne dépassent pas les contraintes critiques de génération des fissures. Dans un tel redressement multi-point, une fine coquille (60 mm ou moins) et une haute température (900 °C ou plus) permettent le relâchement des contraintes à une vitesse élevée. Ceci signifie que les contraintes peuvent être allégées en un intervalle de temps pendant lequel le jet voyage dans un espace court entre un nombre de points de redressement, même si la vitesse de coulée est élevée. Une accumulation de contraintes, qui cause la génération des fissures, ne se produit pas.

Une autre conséquence technique d'une fine coquille solidifiée

- 10 -

est expliquée ci-après. Si le jet courbe est redressé, le côté intérieur (face concave) et le côté extérieur (face convexe) du jet courbe sont soumis à des forces tensionnelles et à des forces de compression, respectivement, lesquelles forces agissent le long d'une direction longitudinale du jet courbe. La distribution des forces dans la direction de la petite largeur du jet est telle que la limite, qui divise le jet en la section concave sous les forces tensionnelles et la section convexe sous les forces de compression, s'étend longitudinalement le long du jet, et l'amplitude de ces forces, est proportionnelle à la distance, le long de la direction de la petite largeur, de cette limite à un point donné du jet soumis à l'une de ces forces. Les forces tensionnelles mentionnées ci-dessus constituent l'une des causes qui génèrent des fissures de surface et internes lorsque le jet courbe est redressé. Le redressement d'un jet courbe selon la présente invention, dans lequel l'épaisseur de la coquille solidifiée d'une région du jet courbe redressée, est contrôlée à 60 mm ou moins, est contraint par la coquille solidifiée à une faible valeur comparée aux procédés conventionnels, d'où il résulte que la position de l'axe neutre n'est pas le centre entre les faces concave et convexe, comme dans les procédés conventionnels, mais est décalée par rapport à ce centre en direction de la face concave. La force tensionnelle, qui est proportionnelle à la distance depuis l'axe neutre, tel que cela a été établi ci-dessus, est réduite dans la présente invention comparée aux procédés conventionnels et ainsi, la force tensionnelle n'est pas autant cause de fissures.

25 L'importance de l'épaisseur de la coquille solidifiée va être comprise d'après l'aspect théorique de la présente invention décrit ci-dessous.

30 Comme pour la condition opérationnelle pour atteindre l'épaisseur de la coquille solidifiée au point de redressement en utilisant un dispositif de coulée continue à tête basse, il est nécessaire de se reposer sur au moins une coulée ou une extraction du jet à grande vitesse et un refroidissement secondaire lent. La coulée à vitesse élevée et le refroidissement secondaire lent sont avantageusement employés pour produire le jet, assurant ainsi une productivité élevée pour produire des jets à haute température sans défaut. La vitesse d'extraction (coulée) ne doit pas être inférieure à 1,2 m/minute, plus particulièrement de 1,5 à 3 m/minute. Le refroidissement du jet avant le redressement doit être réalisé par un mélange de gaz et de liquide. Par ce mélange, il

est possible d'ajuster sur une grande étendue le degré de refroidissement, depuis un refroidissement lent à un refroidissement intensif. La proportion de gaz et de liquide dans le mélange en fonction de la vitesse de flux, dans le cas d'une coulée à une vitesse de 1,2 m/minute ou plus, particulièrement de 1,5 à 3 m/minute, doit être telle que la  
5 vitesse de flux d'air soit de 25 à 50 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/heure, et la vitesse du flux d'eau soit de 0,2 à 15 l/minute. La vitesse de flux d'eau et la vitesse de flux d'air peuvent être respectivement aussi élevées que 30 l/minute et 50 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/heure, dans le but de refroidir intensément le jet.

10 Il va être expliqué dans la suite comment déterminer le nombre des points de redressement dans une méthode de cintrage multi-point de la présente invention. La hauteur du dispositif de coulée continue du type courbe doit être faible pour que l'épaisseur de la coquille solidifiée ne soit pas supérieure à 60 mm aux points de départ  
15 et de fin du redressement, et, en plus, les contraintes de gonflement soient limitées à 0,4 % ou moins. Le rayon de courbure du moule courbe et le nombre de points de redressement doivent être mutuellement dépendants et doivent être tels que la faible hauteur du dispositif et les contraintes de redressement induites par le redressement multi-point  
20 n'excèdent pas les contraintes de génération des fissures ( $\epsilon_c$ ). La distance entre les rouleaux doit être telle que le relâchement rapide des contraintes soit pleinement utilisé, du fait de la fine coquille et de la température élevée. Le nombre des points de redressement est déterminé d'après les considérations précédentes. Toutefois, le nombre  
25 des points de redressement est de préférence aussi grand que possible, parce que la force de réaction du jet vers les rouleaux de redressement peut être distribuée sur un nombre de rouleaux de redressement, et ainsi, atténuée. De telles forces de réaction sont appliquées aux rouleaux de redressement, lorsque la partie supérieure à faible température du jet, formée à la fin de la coulée voyage au travers de ces rouleaux, ou lorsque  
30 la partie inférieure du jet voyage au travers de ces rouleaux pendant la période de coulée non stationnaire. Le nombre des points de redressement est de préférence maintenu aussi faible que possible, de manière à ce que seulement une petite quantité de travail soit nécessaire pour  
35 ajuster et maintenir l'alignement des rouleaux dans la zone de roulement de redressement du dispositif de coulée continue du type courbe.

Il est très opportun, dans la mise en oeuvre du procédé de la présente invention, du point de vue d'une telle hauteur faible du

dispositif de coulée continue du type courbe, de supprimer les contraintes de gonflement, de manière à ce que le rayon de courbure du moule courbe soit de 2 à 4,9 m et, ainsi, soit faible, et que le redressement du jet coulé soit réalisé dans une zone de redressement multi-point du dispositif où le nombre des points de redressement soit au moins de deux ou au plus de quinze.

Le moule courbe doit avoir un rayon de courbure d'au moins 2 m, parce que ces 2 m sont le rayon minimum pour assurer un écoulement en douceur de l'acier en fusion dans le moule au moyen d'une buse à immersion, et également, pour obtenir une vitesse élevée de coulée.

Le procédé de la présente invention est particulièrement adapté pour la production de brames. Le moule courbe présentant une section transversale sensiblement rectangulaire est pour cette raison utilisé pour la coulée. Si le moule courbe présente un faible rayon de courbure, une section transversale normalement rectangulaire du jet peut être plus facilement obtenue après redressement en utilisant un moule présentant une section transversale trapézoïdale (le côté supérieur plus petit et le côté inférieur plus grand du trapèze sont dirigés respectivement vers les côtés extérieur et intérieur de la courbe du jet) comparé à un moule présentant une section normalement rectangulaire. Le moule courbe, pour cette raison, comprend celui présentant une section trapézoïdale.

La valeur du gonflement ( $\delta_{\beta}$ ) et les contraintes de gonflement ( $\epsilon_{\beta}$ ) sont exprimées par les équations suivantes (1) et (2), respectivement :

$$\delta_{\beta} = \frac{\alpha \cdot k \cdot p \cdot l^4 \cdot \sqrt{l}}{d^3 \cdot v} \text{ (mm)} \quad \dots (1)$$

$$\epsilon_{\beta} = \frac{1600 \cdot \delta_{\beta} \cdot d}{l^2} \text{ (\%)} \quad \dots (2),$$

où

$\alpha$  est un facteur de forme du jet et est de 0,15 dans le cas d'une brame ;

$k = 1,02/1500-T$  ;

T est la température d'une région donnée du jet en °C ;

P est la pression ferrostatique du métal en fusion en  $\text{kg/mm}^2$  ;

d est l'épaisseur de la coquille solidifiée en mm ;

l est la distance entre les rouleaux en mm ; et,

- 13 -

V est la vitesse de coulée en mm/minute.

Le dispositif de coulée continue à tête basse, utilisé selon la présente invention fait que la pression ferrostatique peut être maintenue à un niveau bas.

5 La figure 3 illustre les résultats de recherches effectuées par les présents inventeurs, et les contraintes de gonflement maximum estimées, des dispositifs de coulée continue modernes représentatifs, et ces contraintes ont été calculées par les présents inventeurs avec les hypothèses suivantes : une coulée à vitesse élevée et refroidissement  
10 lent est réalisée dans ces dispositifs, et un jet présente une épaisseur de coquille solidifiée de 60 mm ou moins, et une température de surface de 900 °C ou plus , depuis la zone courbe jusqu'à la zone horizontale pour ces dispositifs.

Tel que cela est bien connu, les fissures internes du fait  
15 du gonflement peuvent être largement supprimées en maintenant les contraintes de gonflement à 0,4 % ou moins dans la région située au moins depuis directement en-dessous du moule courbe jusqu'au point de fin de solidification , de préférence dans toute la zone du dispositif de coulée continue du type courbe. De plus, lorsque les contraintes de gonflement  
20 sont réduites de 0,4 % à 0 %, les ségrégations du centre peuvent être efficacement supprimées, simultanément à la réduction des contraintes de gonflement.

Il ressort de la figure 3 que les contraintes de gonflement maximum ( $\epsilon_{\beta}$ ) de 0,4 % ou moins peuvent être obtenues en réalisant une  
25 coulée à vitesse élevée et refroidissement lent, d'un jet, qui est formé par le moule d'un dispositif de coulée continue du type courbe présentant une hauteur de 4,9 m ou moins. Ceci signifie que, avec une coulée continue à vitesse élevée et refroidissement lent, dans le but d'assurer une fine coquille de solidification dans la zone de redressement ou la  
30 zone horizontale du dispositif de coulée continue du type courbe, et également une température de surface élevée du jet, c'est-à-dire 900 °C ou plus, de préférence 1000 °C ou plus, des fissures internes du fait des contraintes de gonflement peuvent être largement supprimées. La hauteur du dispositif de coulée continue du type courbe de 3,5 m ou moins  
35 contribue à la suppression des fissures internes et des ségrégations centrales, étant donné que les contraintes de gonflement sont presque 0 %.

Le diamètre ( $D_R$ ) des rouleaux est exprimé par :

- 14 -

$$D_R = f(p L) \quad \dots (3),$$

lorsque la valeur de gonflement ( $\delta_{\beta}$ ) et les contraintes de gonflement ( $\epsilon_{\beta}$ ) sont exprimées par les équations (1) et (2), respectivement. L est la longueur du corps des rouleaux. Par ailleurs, par exemple, le refroidissement lent ainsi que la coulée (extraction) à vitesse élevée, rendent possible pour le jet de quitter le dispositif de coulée continue à température élevée, en accord avec le procédé selon la présente invention. Le refroidissement lent provoque la réduction de K dans l'équation (1), alors que la coulée (extraction) à vitesse élevée provoque la réduction de  $\sqrt{\frac{t}{v}}$  dans l'équation (1). Etant donné qu'à la fois K et  $\sqrt{\frac{t}{v}}$  sont réduits, la valeur de gonflement ( $\delta_{\beta}$ ) et les contraintes de gonflement ( $\epsilon_{\beta}$ ) sont diminuées proportionnellement. Un exemple d'un dispositif de coulée continue du type courbe capable de réaliser la coulée avec les contraintes de gonflement maximum de 0,4 % ou moins présente une hauteur de 4,9 m ou moins et un moule courbe pour former une brame de 250 mm d'épaisseur et 2100 mm de large. Il présente des rouleaux, dont les principaux, dans la zone courbe, présentent un diamètre de 140 à 300 mm et sont espacés de 190 à 300 mm, et les principaux dans la zone horizontale présentent un diamètre de 250 à 300 mm et sont espacés de 300 à 800 mm, plus particulièrement de 450 à 800 mm. La coulée est réalisée sous une vitesse de coulée élevée, et un refroidissement lent. La vitesse de coulée peut être de 1,5 m/minute. Les conditions de refroidissement peuvent être telles que la portion du jet adjacente à la région courbe du jet présente une épaisseur de la coquille solidifiée de 60 mm ou moins, et une température de surface de 900 °C ou plus. Il faut noter que la distance maximum entre les rouleaux de la zone horizontale peut être aussi élevée que 800 mm, et que le diamètre minimum des rouleaux peut être aussi petit que 300 mm. Par ces conditions, la température élevée du jet, qui quitte le dispositif de coulée continue du type courbe, peut être assurée.

Un dispositif de coulée continue du type courbe, connu d'après la publication STAHL UND EISEN Vol 95 (1975), No 16, pages 733-741, est un dispositif pour produire des brames de petite largeur présentant une épaisseur moyenne de 150 mm et une largeur moyenne de 600 mm, et ayant une hauteur de 4 à 4,2 m. Dans ce dispositif, les rouleaux principaux disposés dans la zone horizontale du dispositif de coulée continue du type courbe, présentent un diamètre de 380 mm et sont disposés de manière à ce que la distance entre les rouleaux soit de

430 mm. Ces rouleaux sont considérés dans le domaine de la coulée continue comme ayant un diamètre important et étant très proches les uns des autres. Ces rouleaux sont désavantageux, d'un point de vue coût de l'installation, qui est élevée, car le coût et le nombre des rouleaux sont élevés.

Le procédé de coulée continu du type courbe selon la présente invention réalise la coulée de brames épaisses et larges, par exemple, présentant une épaisseur de 250 mm et une largeur de 2100 mm. Le gonflement de telles brames épaisses et larges peut être efficacement évité même si une opération à température élevée est réalisée. Ceci est accompli par le fait que la hauteur du dispositif de coulée continue est de 4,9 m ou moins, et de plus, par le fait que les rouleaux disposés dans la zone courbe pour réaliser un redressement multi-point présentent un petit diamètre, et chacun des rouleaux consiste en des éléments séparés de rouleaux. Un exemple des paramètres de coulée, qui rend possible la coulée de brames épaisses et larges consiste en la distance entre les rouleaux principaux disposés dans la zone horizontale du dispositif de coulée continue du type courbe de 800 mm ou moins, le diamètre de ces rouleaux de 350 mm ou moins, et la vitesse de coulée de 1,6 à 1.8 m/minute. En plus de la coulée de brames épaisses et larges, une température élevée des brames à l'extrémité du dispositif de coulée continu du type courbe, c'est-à-dire 1100 °C ou plus, est atteinte par ces paramètres, la qualité de ségrégation centrale est remarquablement améliorée et, le pourcentage d'enlèvement des défauts des brames est considérablement abaissé, comparé aux procédés conventionnels.

Dans la figure 4, les parties essentielles du dispositif de coulée continue du type courbe selon la présente invention sont schématiquement illustrées. Dans cette figure, la référence numérique 1 désigne un moule courbe, et un jet 3 présentant un rayon de courbure ( $R_1$ ) de l'ordre de 2 à 4,9 m est extrait du moule courbe 1, guidé et supporté par le tablier de rouleaux 2 qui consiste en huit paires de rouleaux pilotés ou non pilotés. Ce tablier de rouleaux 2 est suivi par cinq segments. Le premier segment est formé par les premiers moyens de redressement 4 consistant en six paires de rouleaux. A la première paire de rouleaux de ces premiers moyens de redressement 4, le redressement depuis la courbe présentant le rayon de courbure ( $R_1$ ) vers la ligne horizontale est démarré et l'épaisseur de la coquille solidifiée d'une région du jet, où le redressement est démarré, est de 60 mm ou moins. Dans les



- 16 -

premiers moyens de redressement 4, le redressement est réalisé cinq fois et change le rayon de courbure de  $(R_1)$  à  $(R_2)$ ,  $(R_3)$ ,  $(R_4)$ ,  $(R_5)$  et  $(R_6)$  respectivement. De la même manière, les seconds moyens de redressement 5 en tant que seconds segments, et les troisièmes moyens de redressement 6, en tant que troisièmes segments, redressent le jet et les courbes présentant des rayons de courbure de  $(R_7)$  à  $(R_{15})$  sont suivies par le jet qui est redressé. Le redressement est terminé à  $R_{15} = \infty$ . Dans le procédé de la présente invention, l'épaisseur de la coquille solidifiée doit être de 60 mm ou moins dans toute la région du jet où le rayon de courbure du jet  $(R_i)$  est augmenté depuis la valeur inférieure à celle du moule vers la valeur maximale finale. L'épaisseur de la coquille solidifiée de la région horizontale du jet dans le quatrième et le cinquième segments, qui sont les unités de redressement et d'extraction 7 et 8, respectivement, n'est pas spécialement limitée. Dans les unités de redressement et d'extraction 7 et 8, le jet est extrait et guidé vers un poste de coupe (non représenté) et pendant ce temps, le jet n'est ni réchauffé, ni intentionnellement maintenu à la même température.

La température du jet coupé quittant le dispositif de coulée continue du type courbe peut être aussi élevée que la température de laminage selon la présente invention. Le diamètre des rouleaux le long du jet, les distances entre les rouleaux, les temps de redressement et les autres paramètres montrés en figure 4, doivent être pris en tant qu'illustration de la présente invention, et non limitativement.

Dans les figures 5A, 5B et 6, un exemple de buse pour la pulvérisation du mélange air et liquide est représenté. Ces buses sont utilisées dans le tablier de rouleaux 2 (figure 4) pour supporter et guider le jet dans les zones de redressement définies par les premiers, seconds et troisièmes moyens de redressement 4, 5, et 6, respectivement. Les buses 9 pour pulvériser l'air et le gaz, qui seront simplement désignées dans la suite buses de pulvérisation 9, présentent une sortie 9a, qui est définie par une paroi tubulaire avec une fente de largeur  $W$  et de longueur  $l$ . La largeur  $W$  peut être de 2 à 3 mm, et la longueur  $l$  peut être de 10 à 30 mm. La partie tubulaire des tubes de pulvérisation 9 définissent à l'intérieur une zone de pressurisation 9b présentant un diamètre  $\phi$  qui peut être de 12 à 14 mm. La sortie 9a est formée d'une manière telle que la surface frontale de la paroi tubulaire est divisée en deux moitiés. Les buses de pulvérisation 9 sont disposées au-dessus

- 17 -

et en-dessous de la région du jet pour faire subir au jet un refroidissement secondaire par le mélange air et eau. Une pluralité de buses de pulvérisation 9, c'est-à-dire cinq buses de pulvérisation 9 dans la figure 6, sont disposées dans la direction de l'axe des rouleaux 30, et ces buses  
5 de pulvérisation 9 appliquent le mélange air et eau sur la région du jet exposée entre les rouleaux 30. Des circuits pour alimenter séparément en air et en eau chacune des buses de pulvérisation 9 sont disposés au-dessus et en-dessous du jet 3; mais seulement les circuits d'alimentation au-dessus du jet sont montrés dans la figure 6. L'une des régions  
10 de refroidissement, c'est-à-dire la région du jet soumise à un refroidissement secondaire au moyen du système d'alimentation commun, est montrée en figure 6. Les références numériques 11 et 31 désignent les conduits principaux pour l'eau et l'air de refroidissement, respectivement. Le circuit d'alimentation pour l'alimentation de l'eau de refroidissement  
15 depuis le conduit principal 11 vers chaque buse de pulvérisation 9 comprend un conduit principal de contrôle 12 de l'eau de refroidissement et ce conduit principal de contrôle 12 est équipé d'un débitmètre  $a_1$ , d'une vanne de contrôle du flux  $b_1$ , et d'une vanne d'arrêt  $c_1$ . Un conduit de ramification monté avec un collecteur intermédiaire 16 et un tube  
20 d'étranglement 17 est connecté au conduit principal de contrôle 12. Un collecteur final 18 et un tube terminal 19 sont successivement connectés au conduit de ramification 13, et le tube terminal 19 est également connecté au tube de mélange de gaz et d'eau 10. D'un autre côté, le circuit d'alimentation pour l'air comprimé depuis le conduit principal 31  
25 jusqu'à chacune des buses de pulvérisation 9, comprend un conduit principal de contrôle 22, monté avec un débitmètre  $a_2$  d'air comprimé et une vanne de contrôle  $b_2$  de l'air comprimé. Un collecteur intermédiaire 26, un conduit de ramification 23, un collecteur final 26 et un tube terminal 29 sont successivement connectés au conduit principal de contrôle  
30 22. Le tube terminal 29 est intégralement connecté au tube 10 de mélange de gaz et d'eau. Chacune des buses de pulvérisation 9 est connectée à la partie frontale du tube 10 de mélange d'eau et de gaz.

Les buses de pulvérisation illustrées dans les figures 5A, 5B et 6, sont illustrées dans une demande de brevet japonaise déposée  
35 par NIPPON STEEL CORPORATION, toutefois, le but de la présente demande est d'obtenir l'épaisseur de la coquille solidifiée spécifiée ici.

Dans la figure 7, une mise en oeuvre de la présente invention est montrée où un rouleau ou plus des moyens de redressement consiste

- 18 -

en au moins deux éléments de rouleau séparés et disposés dans la direction de la grande largeur du jet. Du fait de tels éléments de rouleaux séparés, le diamètre des rouleaux peut être diminué et ainsi, les rouleaux peuvent être disposés près les uns des autres (40-50 mm) dans la direction longitudinale du jet. A cause de la disposition rapprochée des rouleaux, il est plus facile d'opérer avec un jet chaud présentant une coquille solidifiée fine et une faible rigidité, et particulièrement d'absorber les forces de réaction lors du redressement de la première et de la dernière parties d'un jet. Les rouleaux 30 consistent en deux éléments de rouleaux 30' et 30" présentant respectivement un support 45. Les éléments de rouleaux 30' et 30" peuvent être pilotés tel que cela est montré en figure 6, au moyen des moteurs 49, qui sont connectés d'une manière opérationnelle aux éléments de rouleaux 30' et 30" par un accouplement 47 et une boîte de réduction 48. Les supports centraux 45 et les supports 49, qui sont reliés à la partie pilotée des éléments de rouleaux, sont solidarisés au châssis du dispositif, ou à une poutre transversale (non représentée). Les éléments de rouleau séparés sont décrits dans la demande de brevet japonaise publiée 10124/1976, toutefois, le but de la présente application est d'utiliser ces rouleaux en tant que dispositif de guidage pour le jet.

Tel que cela est bien connu dans le domaine de la coulée continue, les moyens de support et de guidage et les moyens de redressement doivent être occasionnellement démontés du dispositif de coulée continue, et être remplacés par des nouveaux, lorsque les dimensions des jets varient. Les segments, dans lesquels différents paires de rouleaux sont disposées, sont avantageux pour démonter ces rouleaux d'un seul bloc, et faciliter la manipulation pour le changement des dimensions du jet.

La présente invention va être expliquée au moyen d'exemples.

30 EXEMPLE 1

Un jet présentant une épaisseur de 250 mm et une largeur de 1000 mm a été coulé dans un dispositif de coulée continue du type courbe présentant une hauteur de 3,2 m. La première courbe du jet a été définie par le moule courbe, et son rayon de courbure a été de 3 m. Les paramètres de coulée pour produire le jet ont été les suivants.

Vitesse de coulée :  $V = 1,7$  m/minute

Taux de pulvérisation d'eau : 0,8 l/kg

L'épaisseur de la coquille solidifiée aux points de redres-

- 19 -

sement du jet courbe a été de :

$$d \leq 43 \text{ mm.}$$

Dans le but d'établir une comparaison, les paramètres de coulée ont été réglés comme suit :

5 Vitesse de coulée :  $V = 0,7 \text{ m/minute} \sim 0,5 \text{ m/minute}$

Taux de pulvérisation de l'eau :  $1,8 \text{ l/kg.}$

L'épaisseur de la coquille solidifiée aux points de redressement du jet courbe a été :

$$d = 70 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm.}$$

10 Les pourcentages de défauts du jet ont été les suivants.

	Défauts de surface	Partie interne Fissures
Présente invention	0,5 %	0 %
15 Exemple de comparaison	20 %	30 %

#### EXEMPLE 2

20 Un jet présentant une épaisseur de 250 mm, et une largeur de 1000 mm a été coulé par un dispositif de coulée continue, du type courbe (figure 4) présentant une hauteur de 3 m. La première courbe du jet a été définie par le moule courbe et son rayon de courbure était de 3,2 m. Les paramètres de coulée pour produire le jet ont été les suivants.

Vitesse de coulée :  $V = 1,7 \text{ m/minute}$

Taux de pulvérisation de l'eau :  $0,8 \text{ l/kg.}$

25 L'épaisseur de la coquille solidifiée aux points de redressement du jet courbe a été :  $d < 43 \text{ mm.}$

Les diamètres des rouleaux principaux disposés dans la partie horizontale du dispositif de coulée continue du type courbe étaient de 300 - 320 mm et la distance entre ces rouleaux était de 500 - 600 mm.

- 20 -

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de coulée continue du type courbe, mettant en oeuvre un moule courbe, où de l'acier en fusion est coulé en continu dans un moule courbe pour obtenir un jet courbe présentant une épaisseur d'au moins 200 mm, et le jet courbe est soumis à un redressement multi-point, caractérisé en ce que le redressement est commencé dans une région du jet où l'épaisseur de la coquille de solidification n'est pas supérieure à 60 mm, et est achevée dans une région du jet où l'épaisseur de la coquille solidifiée n'est pas supérieure à 60 mm.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la hauteur du dispositif de coulée continue est inférieure à 4,9 m, de préférence inférieure à 3,5 m, et la vitesse d'extraction du jet n'est pas inférieure à 1,2 m/minute, de préférence est de 1,5 à 3 m/minute.

3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les contraintes de gonflement du jet sont maintenues à une valeur pas supérieure à 0,4 % sur au moins la région du jet redressée, de préférence sur toute la zone du dispositif de coulée continue du type courbe.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moule courbe utilisé pour réaliser la coulée présente une section sensiblement rectangulaire, dans une coupe par un plan horizontal.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le redressement et la coupe du jet sont réalisés sans que le jet soit réchauffé ou sans que la température du jet soit maintenue et d'une manière telle que le jet coupé présente une température de pas moins de 900 °C, de préférence pas moins de 1.000° C.

6. Procédé selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la dite pluralité de points de redressement ne comprend pas plus de 15 points.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'épaisseur de la coquille solidifiée est d'au moins 20 mm.

8. Dispositif de coulée continue du type courbe, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un moule courbe,
- des moyens pour supporter et guider un jet courbe extrait du moule courbe,
- des moyens pour redresser le jet courbe en au moins deux points du jet,

- 21 -

- des moyens de refroidissement secondaires pour pulvériser un mélange de gaz et de liquide sur le jet courbe dans la région des moyens de support et de guidage, et ce dispositif présentant une hauteur qui n'est pas supérieure à 4,9 m particulièrement pas supérieure à  
5 3,5 m.

9. Dispositif de coulée continue, selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend par ailleurs des rouleaux pour supporter le jet courbe présentant sensiblement une section transversale rectangulaire, et les dits rouleaux consistant en des éléments de rouleaux  
10 séparés, et disposés dans la direction de la grande largeur du jet.

10. Dispositif de coulée continue, selon la revendication 8, caractérisé en ce que le moule courbe présente un rayon de courbure de 2 à 4,9 m.

11. Dispositif de coulée continue, selon la revendication 8,  
15 caractérisé en ce que les moyens de redressement comprennent des rouleaux de petit diamètre, qui sont disposés à une courte distance les uns des autres et dans une région horizontale du jet.

1

Fig. 1

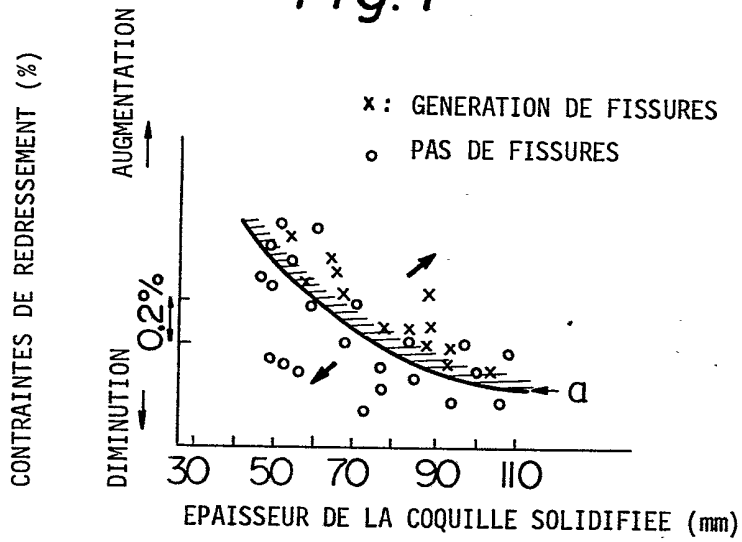


Fig. 2

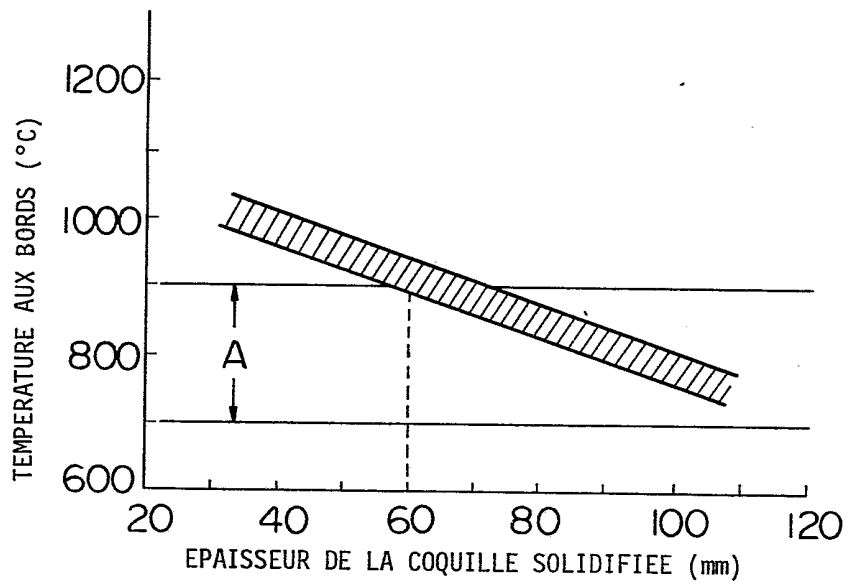


Fig. 3

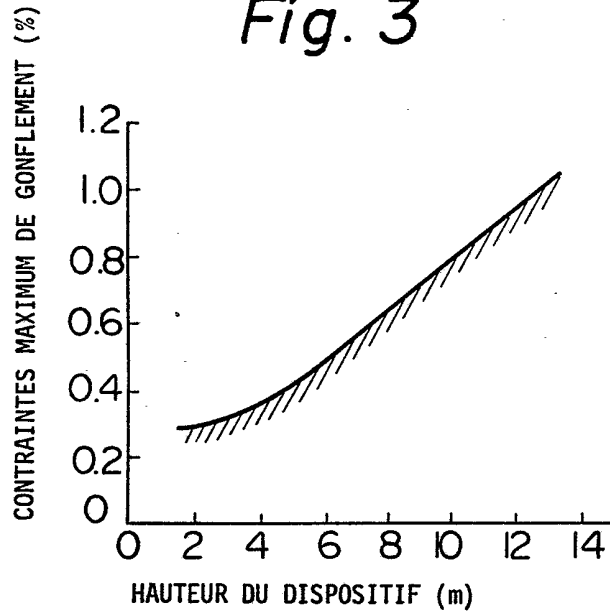
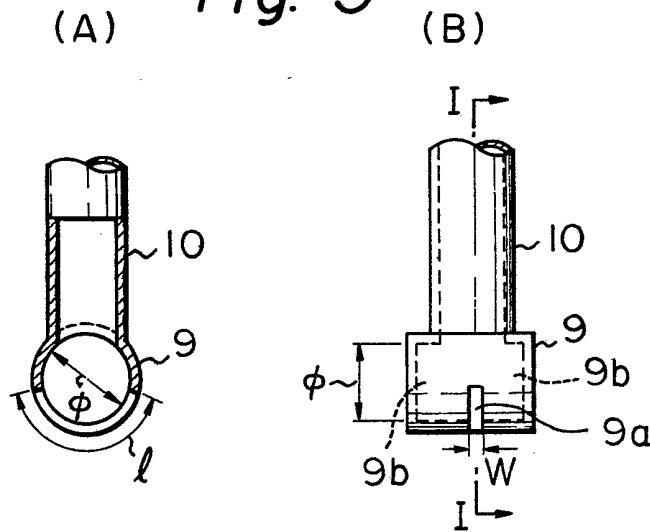


Fig. 5





3

Fig. 4

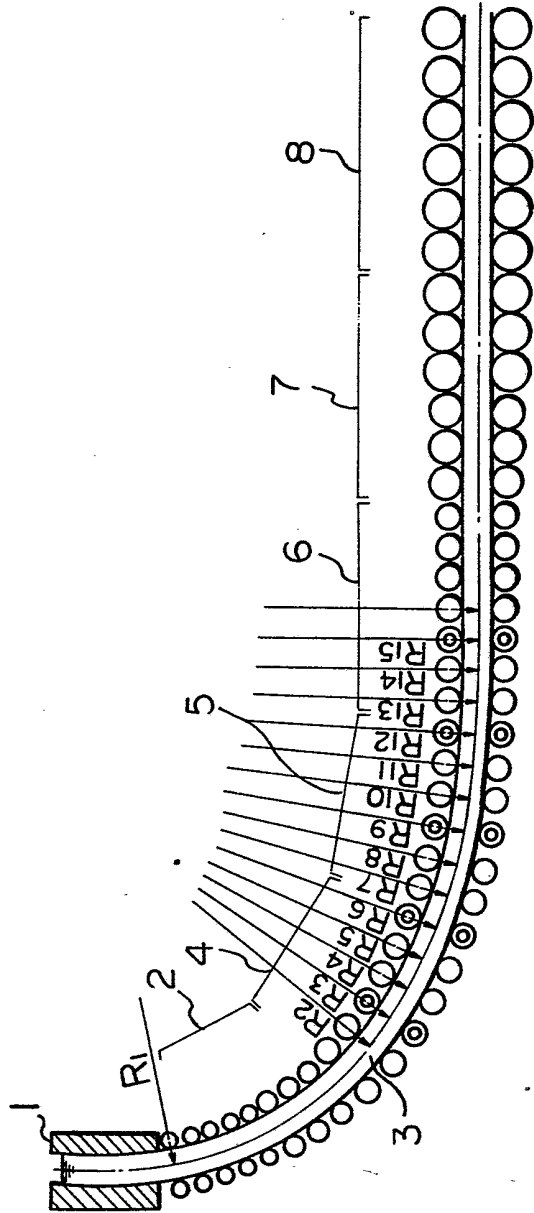


Fig. 6

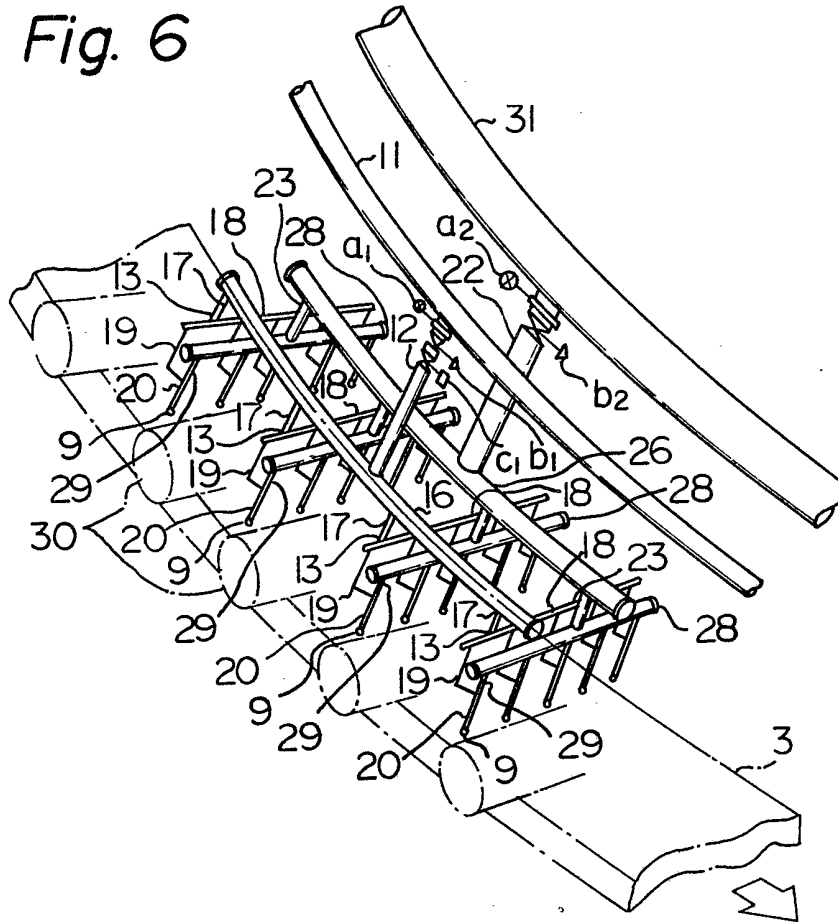


Fig. 7

