



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
13.05.1998 Bulletin 1998/20

(51) Int Cl. 6: B22D 11/06

(21) Numéro de dépôt: 97402589.2

(22) Date de dépôt: 31.10.1997

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

• Salvado, Olivier  
77400 Thorigny (FR)

(30) Priorité: 07.11.1996 FR 9613777

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

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

(72) Inventeurs:  
• Damasse, Jean-Michel  
62330 - Isbergues (FR)

(54) Procédé de coulée continue entre cylindres

(57) Procédé de détection de défauts lors d'une coulée continue entre cylindres selon lequel, au cours de la coulée, on mesure un signal dépendant de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), on sépare ledit signal en différentes composantes harmoniques, le résultat de la comparaison des composantes harmoniques ainsi

obtenues avec des harmoniques de référence étant représentative d'un état de défauts des cylindres, cet état de défauts des cylindres permettant de définir différentes règles de conduite du procédé.

Application notamment à la coulée continue entre cylindres de bandes minces en acier.

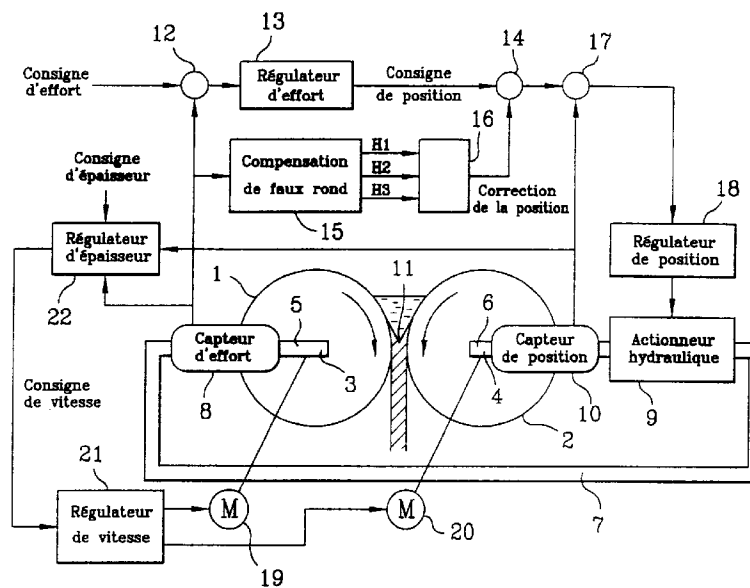


FIG. 1

EP 0 841 112 A1

## Description

La présente invention concerne la coulée continue entre cylindres de produits métalliques minces, notamment en acier.

Selon cette technique connue, le produit fabriqué, par exemple une bande mince en acier de quelques millimètres d'épaisseur, est obtenue en déversant le métal en fusion dans un espace de coulée défini entre deux cylindres d'axes parallèles, refroidis et entraînés en rotation en sens contraire. Au contact des parois froides des cylindres, appelées viroles, le métal se solidifie et les peaux de métal solidifiées, entraînées par la rotation des cylindres, se rejoignent au niveau du col entre les cylindres, pour former la dite bande, extraite vers le bas.

L'exploitation du procédé de coulée entre cylindres est soumise à diverses contraintes relatives tant au produit coulé qu'à la mise en oeuvre de l'installation de coulée.

La bande coulée doit en particulier avoir une section correspondant, en forme et dimensions, à la section souhaitée, la section réelle de la bande étant directement fonction de l'espace, appelé entrefer, entre les cylindres au niveau du col.

Pour cela, on connaît un procédé de régulation de la coulée continue entre cylindres, décrite dans la demande de brevet FR-A-2728817, selon lequel on mesure l'effort d'écartement des cylindres (RSF) et on agit en conséquence sur la position relative desdits cylindres. Ce procédé permet d'agir sur la position relative des cylindres pour les écarter en cas d'effort trop important ou les rapprocher dans le cas d'effort trop faible, afin notamment d'éviter des percées de métal liquide ou même une rupture de la bande coulée, et aussi pour éviter un endommagement des cylindres en cas de sur-solidification du métal coulé.

Par ailleurs, on sait que un faux rond des cylindres ne peut pas être totalement évité, d'une part pour des raisons mécaniques et d'autre part du fait des déformations thermiques subies par la virole, lors du premier contact du métal en fusion au moment du démarrage de la coulée, et aussi ultérieurement lors de la rotation des cylindres. Il est déjà connu de compenser ce faux rond, qui sera appelé par la suite "faux rond normal" (ou encore "faux rond mécanique" bien qu'étant en partie d'origine thermique), en agissant automatiquement sur la position des paliers d'au moins un des cylindres en fonction de la position angulaire des cylindres, de manière à garder un entrefer le plus constant possible. Compte tenu de l'impossibilité pratique de mesurer directement l'entrefer, il a déjà été proposé d'utiliser comme paramètre représentatif du faux rond un signal fourni par les moyens de mesure de l'effort d'écartement des cylindres, le système de compensation de faux rond étant alors combiné avec un système de régulation tel que celui décrit dans le document FR-A-2728817 déjà cité.

La mise en oeuvre de ces procédés ne permet toutefois pas de détecter en temps réel certains défauts

susceptibles de perturber la coulée ou même de conduire à son arrêt, ou d'endommager durablement les cylindres.

On connaît déjà des méthodes de détection de défauts, visuelles ou autres, permettant de déceler des défauts liés au procédé de coulée, à la thermo-hydraulique du métal en fusion, ou encore ceux connus sous le nom de "bandes brillantes". Ce dernier type de défaut correspond à une diminution localisée de la rugosité de surface des cylindres, laquelle entraîne des variations du refroidissement de la bande qui peuvent être détectées par de mesures de température effectuées sur la bande coulée. Mais l'observation de ces défauts ne peut se faire que a posteriori, sur la bande déjà formée, et donc tardivement après leur apparition. Or ces défauts peuvent endommager l'état de surfaces des cylindres, et ceci d'autant plus qu'ils sont perçus tardivement, ces endommagements pouvant alors devenir irrémédiables.

Certains défauts pourraient a priori être détectés à partir de l'observation directe du signal représentant l'effort d'écartement des cylindres. Mais les variations de ce signal représentent à la fois des variations d'effort dues au faux rond normal et des variations dues à d'autres paramètres où événements pouvant survenir en cours de coulée. Une observation directe du signal d'effort ne permet donc pas de déterminer la part de chacune de ces causes dans les variations du signal.

La présente invention a pour but de résoudre les problèmes évoqués ci-dessus et vise à permettre, à partir de la mesure de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), la détection en temps réel de défauts, avant qu'une amplification de ces défauts provoque des dégâts irrémédiables notamment aux cylindres. L'invention a aussi pour but de permettre un suivi de l'évolution de ces défauts, afin de pouvoir proposer à l'opérateur des actions correctives ou d'interruption de la coulée en fonction de la gravité desdits défauts.

Avec ces objectifs en vue l'invention a pour objet un procédé de coulée continue entre cylindres de produit métalliques minces, notamment en acier, selon lequel on mesure en continu, au cours de la coulée, l'effort d'écartement des cylindres, et on génère un signal représentatif des variations de l'effort d'écartement (RSF) en fonction du temps, et on agit, notamment en fonction du dit signal, sur l'écartement des cylindres pour compenser le faux rond des cylindres, ce procédé étant caractérisé en ce que, dans le but de détecter des défauts autres que le faux rond des cylindres, on décompose ledit signal en différentes composantes harmoniques, et on compare ces dites composantes harmoniques à des harmoniques de référence de rang correspondant, les résultats de ladite comparaison étant représentatifs d'un état de défaut du procédé de coulée, et on définit, en fonction des résultats de ladite comparaison, des règles de conduite du procédé de coulée.

Les inventeurs ont en effet pu établir, suite à de nombreux essais effectués à échelle industrielle, qu'il existe une certaine relation entre les variations des si-

gnaux représentatifs de l'effort d'écartement et l'apparition de défauts lors de la coulée. Par exemple, l'apparition sur un cylindre du défaut appelé bande brillante se caractérise par la présence d'une perturbation sur le signal de l'effort d'écartement mesuré. Cette perturbation est cyclique et se manifeste à chaque tour du cylindre. Elle reflète une sur-solidification du produit lorsqu'il passe au col et se traduit par des variations de l'effort qui sont nettement plus rapides que celles qui peuvent être engendrées par exemple par des variations de l'épaisseur du produit solidifié.

Les inventeurs ont alors imaginé de faire une décomposition en harmoniques des dits signaux de manière à différencier dans ces signaux la part pouvant être attribuée au faux rond normal et celle provenant d'autres causes. Ils ont ainsi vérifié, par comparaison des composantes harmoniques relevées lors de diverses coulées, que, bien que les signaux représentatifs de l'effort d'écartement varient en particulier en fonction du faux rond, même lorsque celui-ci est compensé par un système de compensation, des variations de certaines composantes harmoniques correspondaient à l'apparition de défauts lors des coulées. Il est donc apparu qu'une analyse, effectuée en continu au cours des coulées, de ces composantes harmoniques pourrait permettre, par comparaison avec une référence obtenue expérimentalement lors de coulées considérées sans défauts, de détecter quasiment en temps réel des écarts révélateurs de tels défauts de coulée, bien plus rapidement que par les méthodes connues.

Une hypothèse explicative de la relation existant entre les variations des composantes harmoniques et la présence de défauts de coulée est que le faux rond normal provoque des variations du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres (RSF) qui sont majoritairement lentes et douces, autrement dit que dudit signal se dégagent, du fait du dit faux rond normal, essentiellement une composante harmonique de rang faible, de fréquence égale à la fréquence de rotation des cylindres. Par contre, des défauts réels, tels que les bandes brillantes évoquées précédemment, engendrent principalement des variations brusques dudit signal et donc des harmoniques de rang plus élevé. Typiquement, le spectre du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres et résultant du seul faux rond normal est caractérisé par une composante harmonique de rang 0 importante (par exemple 70% de l'amplitude totale du signal) et des harmoniques de rang supérieur en décroissance rapide (20% pour l'harmonique de rang 1, 10% pour l'harmonique de rang 2). On note rarement la présence d'harmoniques de rang plus élevé. Par contre, dans le cas de la présence de bandes brillantes, la répartition des harmoniques est différente du cas ci-dessus, la présence d'un front de sur-solidification au niveau de la bande brillante engendrant plus d'harmoniques élevées.

Il est précisé que ici et par la suite, on désigne par harmonique de rang  $i$  la composante du signal à une

fréquence  $F_i=2^i F_0$ ,  $F_0$  étant la fréquence fondamentale correspondant à la vitesse de rotation des cylindres. De manière similaire, on désignera par la suite par  $h_i$  l'amplitude des composantes harmoniques de rang  $i$ , et par  $H_i$  une valeur représentative des harmoniques de rang  $i$  considérées sur un nombre de tours prédéterminé des cylindres.

Selon une disposition particulière de l'invention lorsque un système de régulation de l'entrefer, tel que décrit précédemment, est mis en place, on peut utiliser comme signal représentatif des variations de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), issu de la mesure du dit effort, un signal associé utilisé comme consigne de déplacement des paliers d'au moins un cylindre. C'est à dire que le signal qui est alors décomposé en différentes composantes harmoniques est directement lié à ladite consigne de déplacement élaborée par un module de compensation de faux rond, et reflétant donc les variations de l'effort d'écartement.

Pour effectuer la décomposition du signal en ses différentes composantes harmoniques, on pourra notamment utiliser une transformée de Fourier rapide appliquée au signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), ce signal étant donc soit directement le signal de mesure de l'effort d'écartement, soit un signal correspondant élaboré par le dit module de compensation de faux rond.

Dans une disposition préférée de l'invention, on calcule la valeur  $H_i$  représentative de chaque harmonique de rang  $i$  comme étant une valeur moyenne des amplitudes  $h_i$  de chaque harmonique, déterminée sur un nombre donné de tours des cylindres. La valeur  $H_i$  représentative de chaque harmonique étant calculée comme étant une moyenne sur un nombre de tours donné des amplitudes mesurées, ceci permet d'atténuer l'effet de défauts aléatoires et localisés dans le temps et l'espace, non répétitifs sur plusieurs tours de cylindre. Ainsi, si le défaut est engendré par un problème durable sur un cylindre, le système intégrera complètement cette donnée au bout dudit nombre de tours, alors que l'effet des harmoniques n'apparaissant que sur un nombre de tours faible, notablement inférieur au dit nombre de tours donné, sera considérablement atténué.

La comparaison du signal mesuré avec un signal d'une coulée jugée bonne peut s'effectuer de différentes manières. On peut comparer simplement termes à termes les valeurs  $H_i$  représentatives de chaque harmonique du signal mesuré à des valeurs de références  $H_{ir}$  provenant de mesures effectuées lors de coulées jugées bonnes, et vérifier que la somme des différences des valeurs  $H_i$  représentatives de chaque harmonique avec les valeurs  $H_{ir}$  de référence n'est pas trop élevée. On peut aussi comparer la proportion de chaque harmonique par rapport à une répartition proportionnelle de référence. Toutefois, préférentiellement, la comparaison sera effectuée sur la base d'un barycentre des harmoniques, ce barycentre étant calculé en pondérant chaque harmonique d'un coefficient prédéterminé, de

manière à accorder aux différentes harmoniques des importances relatives en pondérant de façon inégale ces dernières. Ce mode de calcul est justifié par des constatations expérimentales : lors d'une coulée jugée bonne, la première harmonique est la plus importante, l'importance des différentes harmoniques étant décroissante en fonction du rang croissant des harmoniques considérées. En pondérant les harmoniques de rang plus élevé par un coefficient adapté, les variations de ces harmoniques de rang élevé seront en quelque sorte amplifiées, rendant leur apparition ou augmentation plus facilement perceptible dans le résultat du calcul de barycentre.

On pourra par exemple calculer un barycentre fréquentiel  $B_f$  en affectant à chaque fréquence d'harmoniques un coefficient représentant l'amplitude de l'harmonique considéré :

$$B_f \text{ (Hz)} = \frac{\sum H_i * F_i}{\sum H_i}$$

et normer ce barycentre par la fréquence fondamentale pour obtenir un rapport  $R = B_f / F_0$  qui pourra être comparé à une valeur de référence  $R_0$  prédéterminée, de manière à s'affranchir d'éventuelles différences de fréquence fondamentale, et donc de vitesse effective des cylindres, entre la coulée considérée et la référence.

On pourra de plus calculer la dérivée  $dR/dt$  et également comparer le résultat à un deuxième seuil prédéterminé, permettant ainsi de suivre l'évolution du rapport  $R$  dans le temps, une évolution rapide de  $R$  étant en quelque sorte le signe d'une aggravation rapide d'un défaut.

Avec les valeurs des différents paramètres :

A représentant l'amplitude totale des variations :  $A = \sum H_i$

R représentatif de la part ou de l'importance des défauts dans le signal,

et  $E = dR/dt$

on peut établir un tableau de décision, comme on le verra par la suite, qui pourra être utilisé pour proposer en temps réel à l'opérateur des actions correctives sur certains paramètres de coulée, dans le but visé de remédier à des défauts le plus rapidement possible après leur apparition.

D'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'exemples de réalisation de l'invention, donnée à titre indicatif et nullement limitatif, à lire conjointement aux dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un dispositif de coulée entre cylindres avec un système de régulation de type connu en soi, mais utilisant une décomposition en harmonique du signal de compen-

sation de faux rond,

- la figure 2 représente un tableau de décision permettant de définir la démarche à suivre au cours de la coulée en fonction des valeurs des différents paramètres fournis par le procédé selon l'invention,
- les figures 3a, 3b, 3c et 3d présentent, sous forme de tracés représentant les variations des différents paramètres mesurés ou calculés, les résultats obtenus lors d'une coulée jugée bonne avec procédé de compensation de faux rond,
- les figures 4a, 4b, 4c et 4d présentent les tracés correspondants obtenus lors d'une coulée jugée mauvaise.

L'installation de coulée, représentée seulement partiellement à la figure 1, comporte de manière classique, et connue en soi, deux cylindres 1, 2, d'axes parallèles, espacés l'un de l'autre d'une distance nommée entrefer. Elle correspond à l'épaisseur souhaitée de la bande coulée, moins l'écrasement dû à la RSF. Les deux cylindres 1, 2 sont entraînés en rotation de sens contraires, à même vitesse. Ils sont portés par des paliers 3, 4, schématiquement représentés, de deux supports 5, 6 montés sur un châssis 7. Le support 5, et donc l'axe du cylindre 1 correspondant, est fixe par rapport au châssis 7. L'autre support 6 est mobile en translation sur le châssis 7. Sa position est réglable et déterminée par des vérins de poussée 9 agissant de manière à rapprocher ou éloigner les supports 5, 6, l'un de l'autre. Des moyens de mesure de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), tels que des pesons 8, sont disposés entre le support fixe 5 et le châssis 7. Des capteurs 10 permettent de mesurer la position du support mobile 6, et donc les variations de position par rapport à une position de consigne prédéterminée en fonction de l'épaisseur souhaitée de la bande.

Lors d'une coulée, le métal en fusion est déversé entre les cylindres, et commence à se solidifier au contact de leurs parois refroidies en formant des peaux solidifiées qui sont entraînées par la rotation des cylindres et se rejoignent sensiblement au niveau du col 11 entre les cylindres pour former la bande solidifiée extraite vers le bas. Ce faisant, le métal exerce sur les cylindres un effort d'écartement (RSF), mesuré par les pesons 8, cet effort étant variable notamment en fonction du degré de solidification du métal.

Pour réguler cet effort, et garantir la continuité de la coulée, l'installation de coulée comporte un système de régulation. Dans ce système de régulation, la différence entre le signal de la consigne d'effort et le signal de l'effort mesuré par le capteur d'effort 8 est calculée par un premier comparateur 12. Le signal de cette différence est introduit dans un régulateur d'effort 13 qui détermine un signal de consigne de position introduit dans un deuxième comparateur 14. Le signal de l'effort mesuré par le capteur d'effort 8 est aussi introduit dans un système de compensation de faux rond 15 qui effectue une décomposition en harmoniques du signal d'effort et gé-

nère des signaux  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  de compensation de chacune des dites harmoniques. Ces signaux  $H_1$ ,  $H_2$  et  $H_3$  sont additionnés dans un sommateur 16 qui engendre un signal de consigne de correction de la position qui est transmis au deuxième comparateur 14. Le signal de sortie du deuxième comparateur 14 est introduit dans un troisième comparateur 17 ainsi qu'un signal de position provenant du capteur de position 10. Le signal de sortie du troisième comparateur 17 est introduit dans le régulateur de position 18 qui commande les vérins 9.

La rotation des cylindres 1 et 2 est assurée respectivement par des moteurs 19 et 20 commandés par un régulateur de vitesse 21. Ce régulateur de vitesse 21 reçoit un signal d'un régulateur d'épaisseur 22 recevant lui-même un signal de consigne d'épaisseur, le signal d'effort émis par le capteur d'effort 8 et le signal de position émis par le capteur de position 10.

Une action sur les vérins 9 est exécutée automatiquement par ce système de régulation, qui permet par exemple d'agir sur les vérins 9 dans le sens conduisant à un écartement des cylindres pour réduire l'effort d'écartement (RSF), ou inversement dans le sens d'un rapprochement des cylindres pour augmenter l'effort. De manière similaire, ce système permet d'effectuer une compensation au moins partielle du faux rond normal, c'est à dire de compenser un éventuel désaxage existant entre l'axe de la virole et son axe de rotation ainsi que les irrégularités de forme d'un cylindre, que celles-ci soient d'origine mécanique ou thermique. Le système de régulation prend alors en compte ces défauts de forme et de coaxialité pour donner une consigne de déplacement aux vérins de poussée 9 commandant l'entrefer des cylindres afin de maintenir cet entrefer le plus constant possible au cours de la rotation des cylindres.

On va maintenant décrire une méthode préférée de détermination des différents paramètres A, R et E qui seront utilisés pour avertir l'opérateur de la présence de défauts et de la gravité de ceux-ci.

Dans cette méthode on utilise une décomposition en harmoniques du signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres, cette décomposition étant effectuée dans le module de compensation de faux rond 15 à l'aide d'une transformée de Fourier. On pourrait tout aussi bien réaliser la même opération non pas à l'aide d'une transformée de Fourier mais avec une transformée de Laplace ou toute autre opération mathématique ou de traitement du signal telle que par exemple l'utilisation de filtres permettant d'obtenir le même résultat, à savoir une décomposition d'un signal en différentes composantes harmoniques.

On calcule ensuite les valeurs  $H_i$  comme indiqué précédemment, c'est à dire en effectuant une moyenne des amplitudes  $h_i$  sur un nombre de tours prédéterminé des cylindres, par exemple sur les dix derniers tours. On notera que la méthode de calcul des coefficients  $H_i$  précédente n'est donnée qu'à titre d'exemple et n'est absolument pas limitative. Les valeurs  $H_i$  représentati-

ves de chaque harmonique de rang  $i$  peuvent également être calculées comme étant la valeur efficace de l'amplitude  $h_i$  des harmoniques ou toute autre valeur calculée caractérisant ces dites harmoniques, ce calcul pouvant être fait selon une moyenne arithmétique, selon la méthode des moindres carrés ou selon toute autre méthode.

Quel que soit le mode de calcul, les valeurs  $H_i$  sont représentatives de l'amplitude relative de chaque harmonique de rang  $i$  et de fréquence  $F_i$ .

On calcule ensuite le critère  $B_f$  comme étant un barycentre fréquentiel des différentes harmoniques. C'est à dire que l'on calcule le barycentre des fréquences des harmoniques considérées, chaque valeur  $F_i$  étant affectée d'un poids constitué par la valeur  $H_i$  correspondante, soit :

$$B_f = \sum H_i \times F_i / \sum H_i.$$

On utilisera en général uniquement les harmoniques de rang 0, 1 et 2. Toutefois il serait bien évidemment possible de prendre en compte plus d'harmoniques.

Afin de pouvoir effectuer des comparaisons valables à des vitesses de rotation des cylindres différentes, on calcule alors le ratio  $R_f = B_f/F_0$ ,  $F_0$  correspondant à la fréquence de rotation des cylindres.

Dans le cas pris en exemple où seules sont prises en compte les trois premières harmoniques, on obtient alors les trois critères suivants :

- amplitude globale des variations du signal :  $A = H_1 + H_2 + H_3$ ,
- barycentre normé :

$$R_f = (F_1 \times H_1 + F_2 \times H_2 + F_3 \times H_3) / ((H_1 + H_2 + H_3) \times F_0)$$

- évolution de  $R_f$  dans le temps :  $E = dR_f/dt$ .

Une comparaison de ces différents critères calculés en cours de coulée avec un seuil prédéterminé permet alors de détecter pour la coulée en cours si un tel défaut apparaît.

A titre d'exemple, dans un cas où le signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres est le signal issu du module de compensation de faux rond, c'est à dire exprimé en valeur de déplacement du cylindre mobile, et en présence du seul faux rond normal, on peut avoir :

$$H_0 = 700 \mu\text{m}, H_1 = 200 \mu\text{m}, H_2 = 100 \mu\text{m}, \text{ avec } F_0 = 0,2 \text{ Hz}, F_1 = 0,4 \text{ Hz et } F_2 = 0,8 \text{ Hz,}$$

$$\text{alors } B_f = 0,3 \text{ Hz et } R_f = 1,5.$$

Si une bande brillante apparaît, ces valeurs deviennent respectivement 350  $\mu\text{m}$ , 350  $\mu\text{m}$  et 300  $\mu\text{m}$  pour

$H_0$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ , et alors  $R_f = 2,25$ .

On voit ainsi que en fixant simplement un seuil adéquat sur  $R_f$ , par exemple  $R_{f\text{seuil}}=1,6$ , le passage de  $R_f$  au dessus de ce seuil peut activer une alarme signalant un défaut.

Une meilleure appréciation de la gravité des défauts peut être obtenue par la prise en compte simultanée des trois critères mentionnés ci-dessus.

Pour cela, on pourra par exemple utiliser un tableau de décision tel que représenté figure 2 qui indique directement à l'opérateur l'état défectologique de la coulée, c'est à dire lui donne une indication sur la présence, l'importance, et l'évolution de défauts et signale le besoin d'entreprendre des actions correctives, telles que des modifications de certains paramètres de coulée pour essayer de remédier aux défauts apparus, ou au pire la nécessité d'arrêter la coulée pour éviter des dégâts irrémédiables à l'installation de coulée.

Ce tableau présente par exemple la démarche à suivre en fonction des valeurs relatives des coefficients A,  $R_f$  et E :

- A "petit" est le signe de faibles variations de l'effort d'écartement des cylindres, la coulée se déroule dans de bonnes conditions,
- quand A est "moyen",
- si R et E sont "petit", ce qui signifie pas ou peu de défauts,, la coulée se déroule encore dans de bonnes conditions,
- si R est "petit" et E "grand", cela peut signifier que, bien qu'il n'y ait pas de présence réelle de défauts, le point de fonctionnement de l'installation est instable, pour des raisons liées essentiellement au faux rond "normal", et une alarme du procédé de coulée est déclenchée pour avertir l'opérateur d'un besoin de modifier par exemple les conditions thermiques de la virole (température ou débit de l'eau de refroidissement),
- si R est "grand" et E "petit", ce qui signale la présence de défauts, sans tendance notable à une éventuelle aggravation de ceux-ci, une alarme du procédé de coulée est déclenchée,
- si R et E sont "grand", signalant la présence de défauts et l'aggravation de ceux-ci, un arrêt de la coulée est demandé,
- quand A est "grand",
- si R et E sont "petit", aucun défaut latent n'est signalé, le faux rond normal est correctement compensé, mais l'amplitude des déplacements du cylindre mobile pour réaliser cette compensation est importante, ce qui n'est pas grave pour la coulée elle-même, mais peut révéler des problèmes de géométrie des cylindres,
- si R est "grand" et E "petit", ce qui signale en plus la présence de défauts, mais sans aggravation notable, une alarme du procédé de coulée est déclenchée,
- si E est "grand", quelque soit la valeur de R, une

forte aggravation des défauts est signalée et un arrêt rapide de la coulée est demandé.

On notera que les caractères "petit", "moyen" et "grand" des différents critères sont appréciés par comparaison à des données expérimentales acquises lors de coulées antérieures.

A titre d'illustration des possibilités de détection de défauts par le procédé selon l'invention, on peut se reporter aux figures 3a, 3b, 3c et 3d qui présentent les variations des différents paramètres mesurés et calculés lors d'une coulée avec procédé de compensation de faux rond jugée bonne, et aux figures 4a, 4b, 4c et 4d qui montrent comparativement les courbes obtenues lors d'une coulée présentant des défauts de bandes brillantes.

Les figures 3a et 4a présentent les variations de l'effort d'écartement des cylindres exprimé en pourcentage de la RSF admissible, mesuré pendant 40 minutes à partir du début de coulée.

Les figures 3b et 4b montrent l'évolution pendant ce temps du paramètre A, c'est à dire l'amplitude moyenne sur 10 tours, en  $\mu\text{m}$ , du déplacement des paliers du cylindre mobile commandé par le module de compensation du faux rond.

Les figures 3c et 4c montrent en correspondance temporelle l'évolution du paramètre R.

Les figures 3d et 4d montrent en correspondance sur le même graphique les évolutions des valeurs  $H_0$ ,  $H_1$  et  $H_2$ , représentatives des amplitudes des harmoniques de rang 0, 1 et 2, la première ( $H_0$ ) étant représenté en bas du schéma, la seconde ( $H_1$ ) au milieu et la troisième ( $H_2$ ) en haut.

On constate que, dans le cas de la coulée jugée bonne, la croissance de A pendant environ les 20 premières minutes correspond à une croissance similaire de  $H_0$  et reflète essentiellement l'évolution de la compensation de faux rond, jusqu'à obtenir une stabilité de A au voisinage de  $50 \mu\text{m}$ , signalant une compensation de faux rond quasi-parfaite. On note également une stabilité du paramètre R au bout d'une dizaine de minutes, après une excursion de R vers des valeurs supérieures, correspondant à une amplitude relativement importante de  $H_2$  pendant la même période de début de coulée.

Par comparaison, les tracés des figures 4b, 4c et 4d, relatifs à une coulée dont le déroulement a été fortement perturbé, montrent des amplitudes importantes de  $H_1$  et  $H_2$  pendant environ 40 minutes, avec une valeur élevée de a pendant la même période, et surtout une valeur élevée de R.

On comprendra aisément au vu de ces relevés que une comparaison, effectuée en temps réel en cours de coulée, des valeurs de A et surtout de R avec des seuils prédéterminés aurait permis de détecter rapidement les défauts correspondant aux fortes amplitudes des harmoniques  $H_1$  et  $H_2$ , et d'agir immédiatement sur les paramètres de coulée pour éviter qu'ils ne s'aggravent.

L'invention n'est pas limitée aux modes de calculs

des différents paramètres indiqués ci-dessus uniquement à titre d'exemple.

En particulier, en utilisant toujours les mêmes valeurs  $H_i$  représentatives de l'amplitude de chaque harmonique, on pourra calculer un autre barycentre B du spectre harmonique de la valeur représentative de l'effort d'écartement des cylindres, par exemple en affectant alors à chaque valeur  $H_i$  un coefficient de pondération judicieusement choisi permettant d'accentuer dans la valeur calculée de ce barycentre l'influence des harmoniques de rang plus élevé, qui sont significatives de défauts. Quelque soit le type de calcul de barycentre utilisé, on utilisera des valeurs représentatives des différentes harmoniques et des coefficients de pondération relatifs à chaque harmonique tels que l'on puisse aisément suivre l'évolution de la valeur du barycentre et la comparer à des valeurs expérimentales en vue de définir en temps réel un niveau déféctologique par comparaison avec l'état déféctologique (coulée sans problèmes, coulée perturbée, coulée mauvaise ayant conduit à un arrêt ou à un endommagement des cylindres, etc) des coulées précédentes.

Pour effectuer la comparaison des harmoniques, on pourra également définir une répartition de référence des amplitudes des harmoniques, en pourcentage de chaque harmonique par rapport au signal total, par exemple en posant a priori que la première harmonique représente 66% de ce signal, la deuxième 17 % et la troisième également 17%. On pourra alors suivre l'évolution de cette répartition au cours de chaque coulée et, par comparaison avec la répartition de référence, apprécier facilement d'éventuels écarts. Cette comparaison pourra par exemple être faite en calculant une somme  $R_d$  des différences entre la proportion  $H_i/A$  de chaque composante harmonique dans le signal mesuré représentatif de l'effort d'écartement et la proportion de référence  $\alpha_i$  :  $R_d = \text{pos}(\alpha_0 - H_0/A) + \text{pos}(H_1/A - \alpha_1) + \dots + \text{pos}(H_i/A - \alpha_i)$ , (c'est à dire, chaque élément de cette somme n'est comptabilisé que s'il est positif). De cette façon, si la proportion de l'harmonique de rang 0 est supérieure à la proportion de référence ou si la proportion d'une harmonique de rang supérieur ou égal à 1 est inférieure à la proportion de référence, la différence relative à l'harmonique considérée n'est pas prise en compte. Par exemple, si le premier harmonique représente par exemple 98 % de A, le second 2 % et le troisième 0 %, ce qui correspondrait à une absence presque totale d'harmonique de rang supérieur à 0 et donc à une absence de défauts,  $R_d=0$ .

Dans le cas où l'installation de coulée continue entre cylindres ne comporterait pas de système de régulation de l'entrefer en fonction du faux rond, on pourrait bien évidemment appliquer le procédé selon l'invention précédemment décrit en prenant directement comme signal soumis à une décomposition en harmonique la mesure directe des variations de l'effort d'écartement des cylindres (RSF), l'utilisation des valeurs  $H_i$  issues du module de compensation de faux rond restant tou-

tefois particulièrement pratique lorsque un tel module de compensation existe déjà dans l'installation et effectuée déjà, dans le cadre de son fonctionnement habituel, la décomposition en harmonique requise.

## Revendications

1. Procédé de coulée continue entre cylindres de produits métalliques minces, notamment en acier, selon lequel on mesure en continu, au cours de la coulée, l'effort d'écartement des cylindres (RSF), et on génère un signal représentatif des variations de l'effort d'écartement (RSF) en fonction du temps, et on agit, notamment en fonction du dit signal, sur l'écartement des cylindres pour compenser le faux rond des cylindres, caractérisé en ce que, dans le but de détecter des défauts autres que le faux rond des cylindres, on décompose ledit signal en différentes composantes harmoniques, et on compare ces dites composantes harmoniques à des harmoniques de référence de rang correspondant, les résultats de ladite comparaison étant représentatifs d'un état de défaut du procédé de coulée, et on définit, en fonction des résultats de ladite comparaison, des règles de conduite du procédé de coulée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit signal représentatif, issu de la mesure des variations l'effort d'écartement des cylindres (RSF), est un signal associé utilisé comme consigne de déplacement des paliers d'un cylindre dans une boucle de régulation de l'écartement entre lesdits cylindres.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on utilise une transformée de Fourier afin de décomposer ledit signal représentatif de l'effort d'écartement des cylindres (RSF) en différentes composantes harmoniques.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour effectuer la comparaison, on utilise comme valeur représentative de chaque harmonique de rang i, une valeur  $H_i$  correspondant à la moyenne des amplitudes  $h_i$  des harmoniques de ce rang mesurées sur un nombre de tours donné.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour effectuer la comparaison, on utilise un barycentre des harmoniques, ce barycentre étant calculé en pondérant une valeur représentative de chaque harmonique d'un coefficient prédéterminé.
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce

que on calcule un barycentre fréquentiel ( $B_f = (\sum (H_i \times F_i)) / (\sum H_i)$ ) dans lequel la valeur représentative de chaque harmonique est sa fréquence  $F_i$  et le coefficient de pondération  $H_i$  représente l'amplitude de l'harmonique considérée.

5

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la comparaison est effectuée sur la base d'un ratio  $R_f = B_f / F_0$ , où  $F_0$  est la fréquence correspondant à la vitesse de rotation des cylindres. 10
8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la comparaison est effectuée en utilisant comme critère de comparaison la proportion  $H_i/A$  de chaque composante harmonique par rapport au signal représentatif de l'effort d'écartement,  $H_i$  représentant l'amplitude de l'harmonique de rang  $i$  et  $A = \sum H_i$ . 15
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le résultat de la comparaison est représenté par la somme  $R_d = \text{pos}(\alpha_0 - H_0/A) + \text{pos}(H_1/A - \alpha_1) + \dots + \text{pos}(H_i/A - \alpha_i)$ . 20
10. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 9, caractérisé en ce qu'on utilise un tableau de décision pour déterminer la conduite à suivre pour la coulée, en fonction des valeurs des critères : 25
- $A = \sum H_i$ , 30
  - $R$  ( $R_f$  ou  $R_d$ ),
  - $E = dR/dt$ .

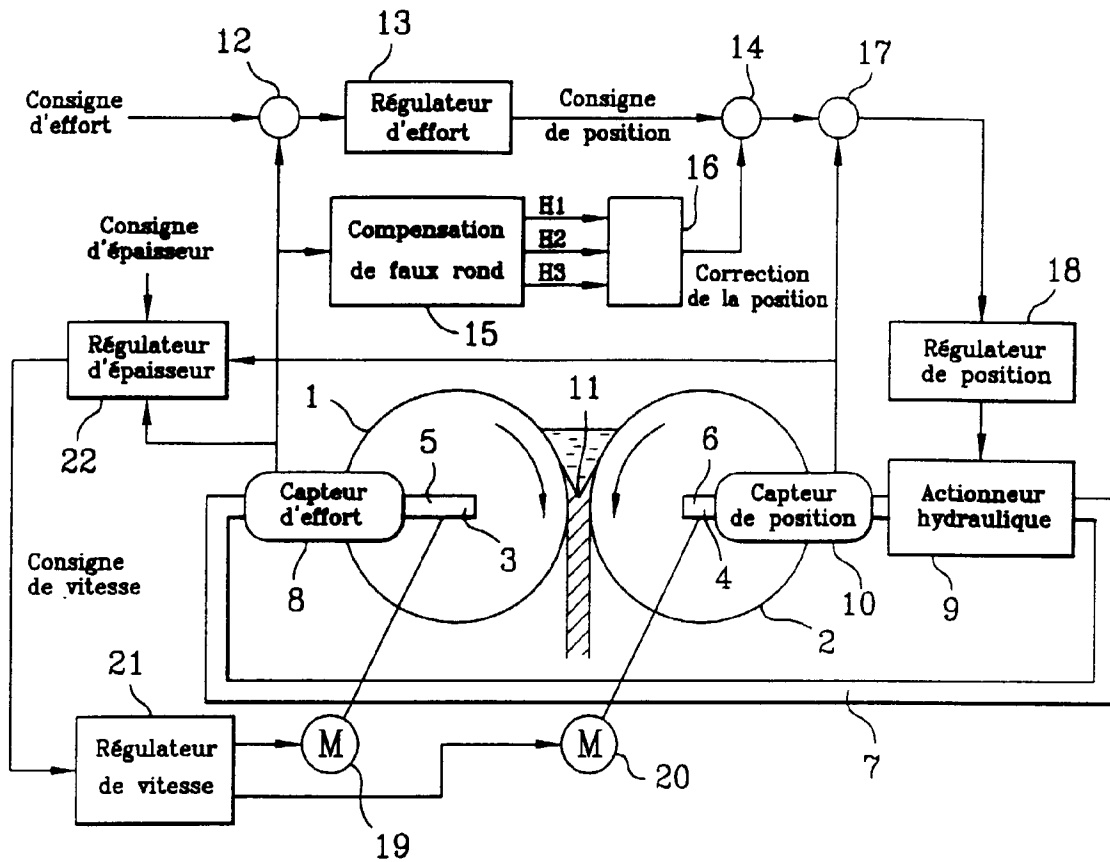
35

40

45

50

55



**FIG.1**

TABLEAU DE DECISION							
A	petit	moyen		grand			
1		E \ R	petit	grand	E \ R	petit	grand
	petit		1	2	petit	1	2
	grand		2	3	grand	3	3

- 1: perturbations faibles
- 2: alarme processus
- 3: arrêt de la coulée

**FIG.2**

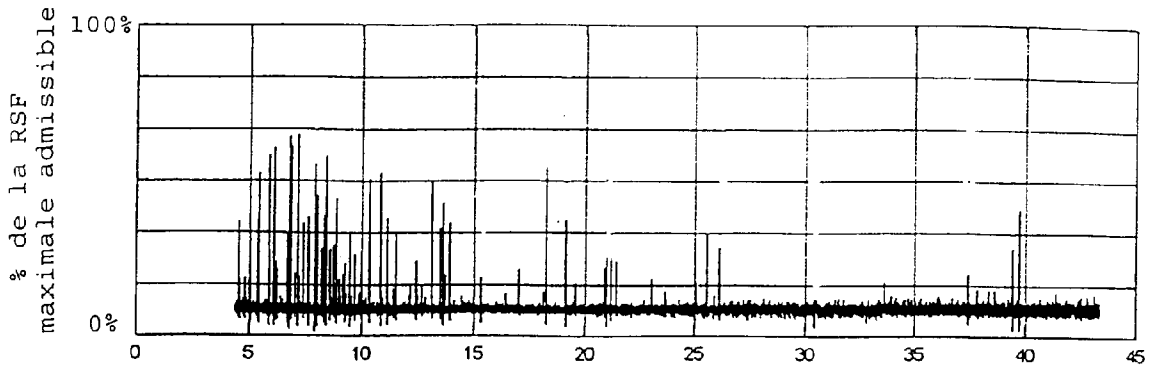


Fig. 3a

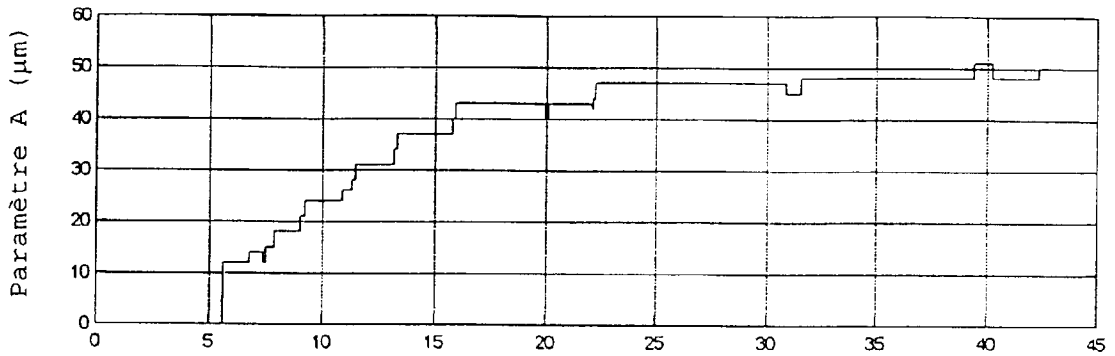


Fig. 3b

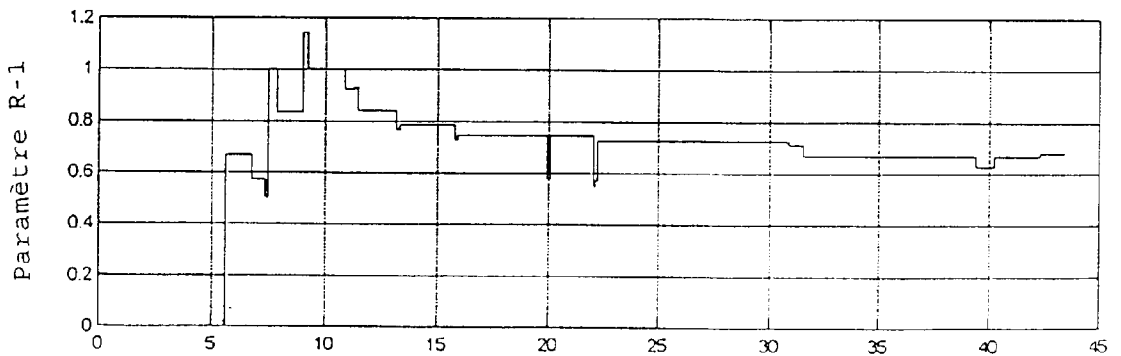


Fig. 3c

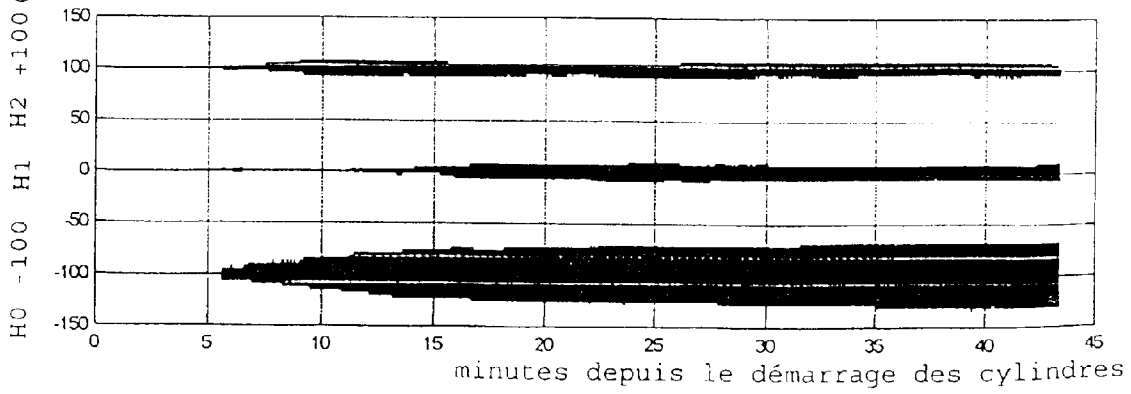


Fig. 3d

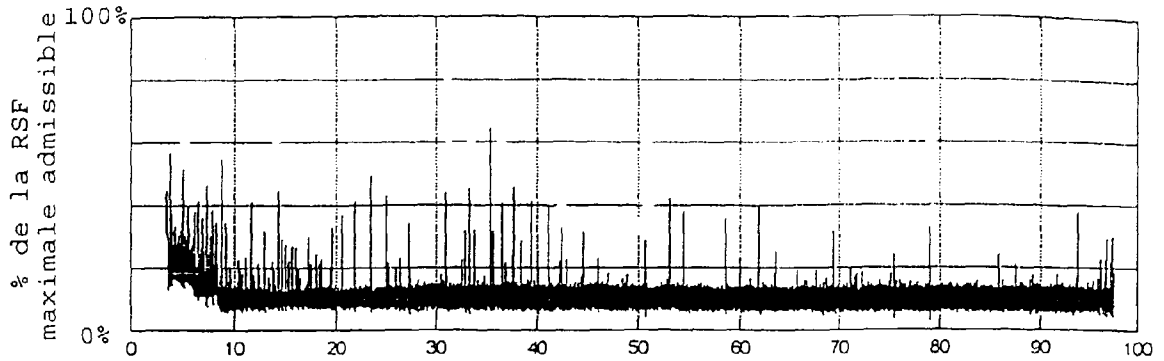


Fig. 4a

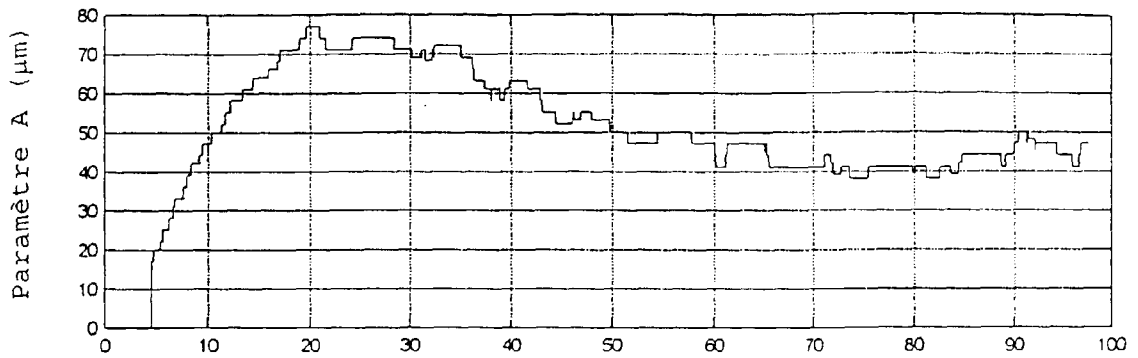


Fig. 4b

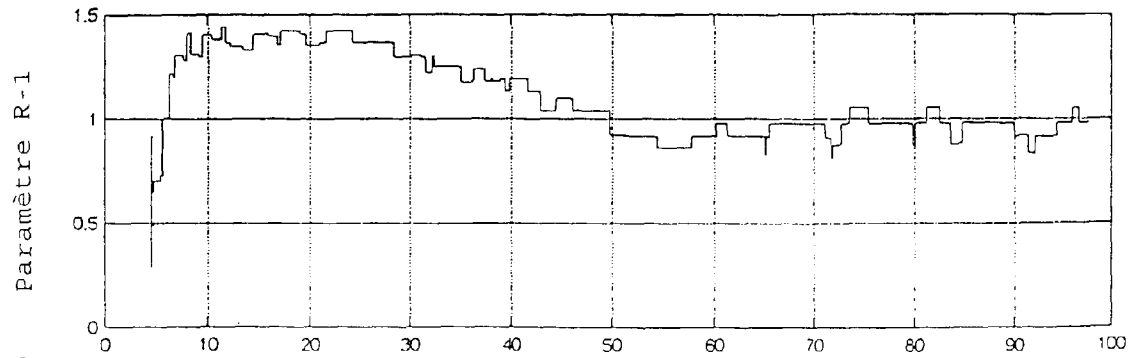


Fig. 4c

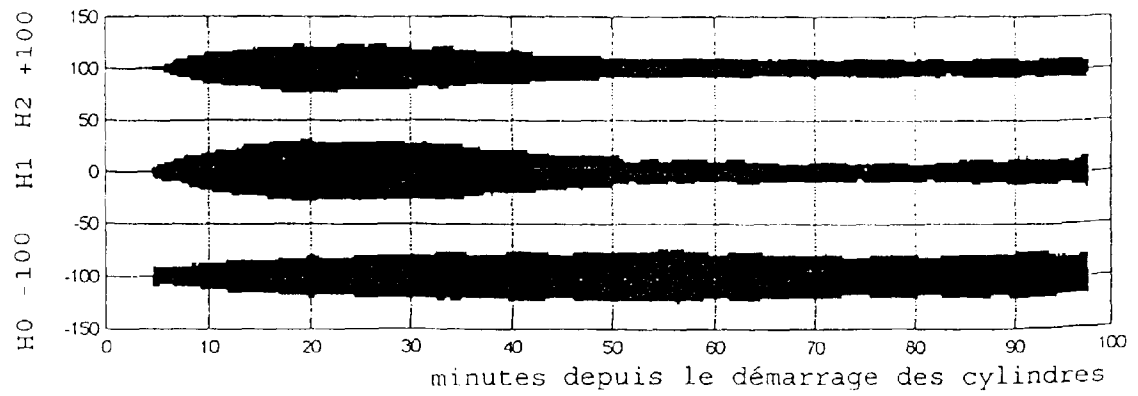


Fig. 4d



Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 97 40 2589

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.6)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 335 (M-1283), 21 juillet 1992 & JP 04 100666 A (NISSHIN STEEL CO LTD), 2 avril 1992, * abrégé *	1-3,10	B22D11/06
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 029 (P-540), 28 janvier 1987 & JP 61 200453 A (NIPPON STEEL CORP), 5 septembre 1986, * abrégé *	1-3,10	
X	--- US 4 678 023 A (KNAPP DAVID J ET AL) 7 juillet 1987 * whole document *	1-3,10	
A	--- US 4 222 254 A (KING JR EUGENE O ET AL) 16 septembre 1980 * colonne 6, ligne 2 - colonne 7, ligne 16 * * revendications * * figures *	1,10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.6)
A	--- US 4 910 985 A (BALLYNS JACOBUS) 27 mars 1990 * figures * * revendications *	1,10	B22D
A	--- US 5 203 188 A (OSGOOD PETER N ET AL) 20 avril 1993 * revendication 1; figures *	1,10	
A	--- US 4 850 211 A (SEKIGUCHI KUNIO ET AL) 25 juillet 1989 * figures * * revendications *	1,10	
	--- -/--		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		16 février 1998	Riba Vilanova, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03 82 (F04C02)



Office européen  
des brevets

**RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE**

Numéro de la demande  
EP 97 40 2589

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A,D	EP 0 719 607 A (USINOR SACILOR ; THYSSEN STAHL AG (DE)) 3 juillet 1996 * revendications * * figures * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16 février 1998	Examineur Riba Vilanova, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P/0402)