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

(11) EP 1 657 003 A1

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
**17.05.2006 Bulletin 2006/20**

(51) Int Cl.:
***B21B 38/00*** *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **05292206.9**

(22) Date de dépôt: **20.10.2005**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
**AL BA HR MK YU**

(30) Priorité: **12.11.2004 FR 0412109**

(71) Demandeur: **VAI CLECIM**
**42403 Saint-Chamond (FR)**

(72) Inventeurs:
- **Abi Karam, Michel**
  **92400 Courbevoie (FR)**
- **Lopez Sabio, Emilio**
  **46520 Puerto de Sagunto**
  **Valencia (ES)**

(74) Mandataire: **Lagrange, Jacques Etienne M.M. et al**
**Cabinet Lavoix**
**2, place d'Estienne d'Orves**
**75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(54) **Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir**

(57) L'invention a pour objet un procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir équipée d'un vérin hydraulique comme dispositif de serrage des cylindres de laminage. Ce vérin hydraulique comporte un capteur de mesure de la position de la partie mobile par rapport à la partie fixe, ce capteur délivre un signal numérique POS. Dans le procédé de l'invention on détecte les vibrations par une observation directe du signal de position (POS) et sa comparaison par rapport a une fenêtre spatiotemporelle (F) dont les dimensions sont déterminées en fonction de la fréquence a détecter. Conformément a l'invention on peut définir différentes fenêtres d'observation (F) adaptées à la détection de différents phénomènes vibratoires. Dans un laminoir tandem on observe le signal de position (POS) du vérin hydraulique de chaque cage de laminage selon le procédé de l'invention ce qui permet de détecter la mise en vibration sur chacune des cages et de déterminer la cage sur lequel le phénomène a commencé.

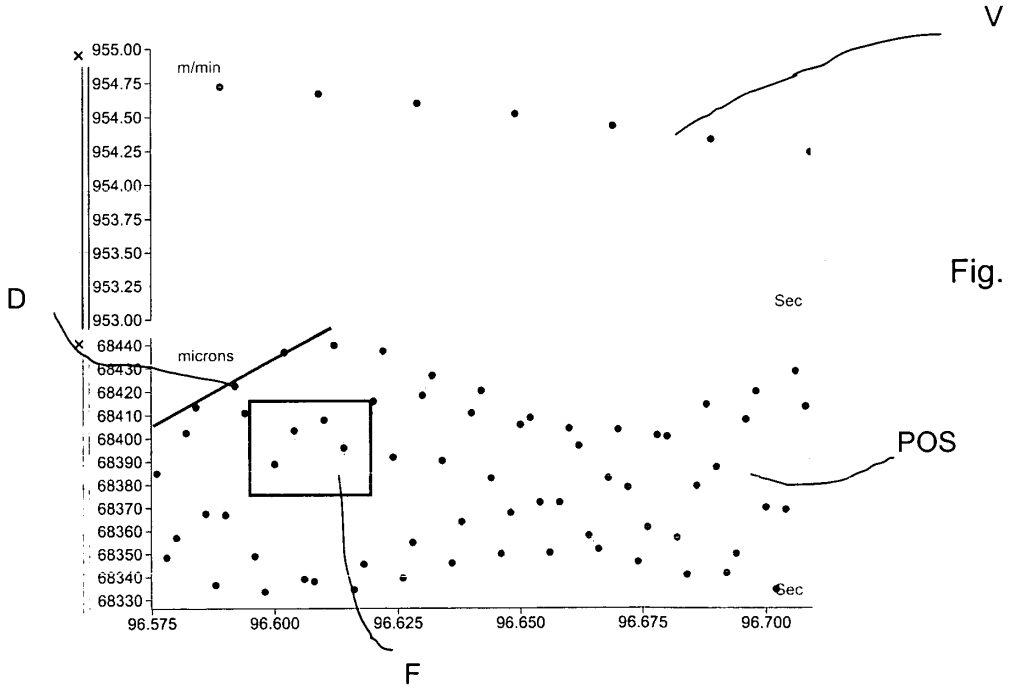


Fig. 4

EP 1 657 003 A1

## Description

**[0001]** La présente invention se rapporte à un procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir, aussi bien en laminage à chaud qu'en laminage à froid, pour des matériaux divers. L'invention s'applique particulièrement à la détection des vibrations qui affectent l'épaisseur lors du laminage de produits plats sous forme de bande, notamment en utilisant des laminoirs tandem.

**[0002]** Les produits métallurgiques, en particulier les produits plats tels que les tôles, les bandes ou les feuillards, qu'ils soient en acier, en aluminium, ou en d'autres métaux ou alliages, sont, en général, fabriqués par laminage à l'aide de laminoirs constitués d'au moins une cage de laminoir et, par exemple, constitués d'un ensemble de cages disposées à la suite les unes des autres pour former ce qu'on appelle un train de laminoirs tandem.

**[0003]** D'une façon générale, une cage de laminoir comporte des masses en rotation importante, telles que les cylindres de travail ou d'appui, ou des engrenages de réducteur. Ces masses peuvent entrer en vibration de façon intempestive, en particulier lorsqu'on cherche à laminer à grande vitesse.

**[0004]** Ce phénomène, appelé parfois "chatter", qu'on observe plus particulièrement sur les trains tandem à froid, ressemble à un phénomène de résonance car il se traduit par une vibration à une fréquence sensiblement fixe pour une cage de laminoir déterminée et il apparaît au-delà d'un certain seuil de vitesse. Il peut provoquer des irrégularités d'épaisseur de la bande ou des casses de celle-ci, ou des marques sur les cylindres. Il est d'autant plus gênant pour la production que le remède plus immédiat qui peut lui être apporté est la réduction de la vitesse de laminage.

**[0005]** L'origine de ces vibrations est mal connue, mais semble se trouver notamment dans les interactions entre la traction des bandes en amont et en aval d'une cage et le processus de réduction d'épaisseur de la cage.

**[0006]** Afin de mieux comprendre ces phénomènes, on a modélisé le comportement des cages de laminoir et disposé sur celles-ci des accéléromètres. Les simulations et les mesures résultant de ces essais ont montré que les vibrations les plus gênantes avaient des fréquences se situant d'une part dans la bande comprise entre 100 Hz et 250 Hz (troisième octave) et dans la bande comprise entre 500 Hz et 700 Hz (cinquième octave).

**[0007]** Les effets de ces deux types de vibration ne semblent d'ailleurs pas être les mêmes puisque on a mis en évidence que les vibrations du troisième octave provoquent des défauts d'épaisseurs et des casses de bande alors que les vibrations de cinquième octave provoquent des marques sur les cylindres d'appui. De plus, selon les conditions précises de laminage, l'entrée en vibration ne se fera pas toujours à la même fréquence mais dans une des plages indiquées.

**[0008]** Afin d'éviter les inconvénients de ce phénomène de chatter, il est souhaitable de pouvoir détecter le plus tôt possible l'apparition de ces vibrations de façon à prendre les mesures correctrices nécessaires, par exemple, réduire la vitesse de laminage.

**[0009]** Pour cela, il a été proposé, par exemple dans BE 890928 de disposer des accéléromètres sur les cages, de filtrer le signal émis par ceux-ci dans une bande de fréquence adaptée, et de déclencher une action correctrice lorsque le signal filtré dépasse un certain seuil.

**[0010]** Une telle méthode permet d'éviter les dommages les plus importants tels que les bris de bande. Mais, le capteur, du type accéléromètre, est très sensible à toutes les accélérations et le signal est généralement entaché de bruit de fond. Aussi, on a cherché à l'installer au plus près de l'endroit où les vibrations indésirables vont prendre naissance, en général. On a également proposé de les installer sur les paliers des cylindres de laminage ce qui oblige à équiper tous les jeux de paliers et refaire les connexions à chaque changement de cylindres.

**[0011]** Plus récemment on a pu installer ces capteurs sur le haut de la cage de laminoir et enregistrer un signal exploitable, il est alors important de soigner le traitement du signal pour extraire et détecter le parasite que l'on recherche.

**[0012]** Mais, ce traitement du signal, pour éliminer le bruit de fond, génère un retard qui peut être néfaste au déclenchement de l'alarme et de l'action de correction au moment voulu. De plus le traitement simple dans une bande de fréquences ne permet pas de distinguer les fréquences de vibrations qui ont une origine néfaste de celles qui correspondent aux vibrations normales provoquées par certaines masses tournantes de l'installation.

**[0013]** Dans un brevet plus récent, EP 1 125 649 on a tenté de remédier à ces inconvénients en proposant un traitement d'un signal acoustique issu d'un microphone. Le problème de la localisation du capteur et de sa fragilité est ainsi résolu mais il reste celui du traitement du signal. En effet un microphone capte toutes les fréquences acoustiques présentes et le signal est entaché d'un bruit de fond important. De manière à éliminer les bruits de fond on propose dans ce brevet un traitement du signal, fondé sur la combinaison de plusieurs approches, dont le but est d'identifier l'apparition des vibrations nuisibles. Pour cela il combine des filtres passe-bande, des détections de pics, des calculs de facteur de résonance, des analyses de Fourrier, et déclenche une alarme lorsqu'un de ces paramètres, ou leur combinaison dépasse un certain seuil dans une bande de fréquence prédéterminée.

**[0014]** Cette méthode présente des inconvénients car le temps de traitement du signal est trop long et détecte essentiellement la divergence de la mise en vibration d'une cage du laminoir. Or on a observé récemment que des vibrations non divergentes peuvent prendre naissance et détériorer l'épaisseur ou l'état de surface du produit laminé.

**[0015]** De plus, du fait de l'interaction des forces de laminage de chaque cage avec les tractions amont et aval de chacune d'elles, le phénomène de vibration dé-

marre en général sur une cage et se propage aux autres. Le dispositif proposé ne peut capter que les fréquences acoustiques émises par l'ensemble des cages du laminoir tandem, il n'est pas directement capable de différencier les cages les unes des autres.

**[0016]** La présente invention a pour but de résoudre ces problèmes en proposant un nouveau procédé de détection fonctionnant à partir d'un signal de mesure ne présentant pas les inconvénients précités, en particulier ne nécessitant pas de traitement préalable pour générer un signal de détection de vibration.

**[0017]** Dans un procédé selon l'invention on utilise les composants et les capteurs qui constituent une cage de laminoir moderne, à savoir les vérins hydrauliques de serrage équipés de capteurs de position numériques de grande résolution, en général au moins égale à 1 micromètre.

**[0018]** En effet, il a été observé par les inventeurs que le signal du capteur de position est perturbé par les vibrations, par un effet inattendu de transmission de ces vibrations à travers tout l'empilage des cylindres constituant la cage de laminage et le vérin hydraulique de serrage. De nombreux essais complémentaires ont permis de déterminer que le signal de position est parfaitement modulé par la vibration de façon tout à fait fiable et fidèle au niveau de la fréquence et de l'amplitude. La modulation apparaît dès le début de la naissance de la vibration et l'amplitude varie selon celle de la vibration, se superposant aux variations d'amplitude du signal dues à l'action du système de régulation de l'épaisseur.

**[0019]** Il est donc possible d'établir un procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir équipée d'un dispositif de serrage hydraulique en observant le signal de mesure du capteur de position du vérin hydraulique de serrage, ce signal de position numérique est propre de tout bruit de fond, il est habituellement observé à l'aide d'un échantillonnage dont la période est de l'ordre de la milliseconde et il suffit d'observer directement ses variations d'amplitude sur un intervalle de temps donné. Il n'est besoin d'aucun filtre qui provoquerait un retard de plusieurs périodes par rapport à celle de la vibration à détecter. Dans un procédé selon l'invention on mémorise en temps réel et en permanence le signal de mesure (POS) du capteur de position, on compare directement un échantillon de ce signal à une fenêtre (F) d'observation spatio-temporelle, dont les dimensions ainsi que la taille de l'échantillon sont choisis en fonction de la cage de laminoir et de la fréquence des vibrations à détecter, et on déclenche un signal de détection de vibration lorsque l'échantillon de signal n'est plus contenu dans ladite fenêtre (F).

**[0020]** Selon le procédé de l'invention la dimension temporelle de la fenêtre (F) d'observation représente une longueur de temps suffisante pour que l'échantillon du signal de position contenu puisse être représentatif du phénomène de vibration à détecter, si ce phénomène est venu perturber le signal de position et se trouve donc contenu aussi dans l'échantillon. D'une manière pratique dans le procédé de l'invention la dimension temporelle de la fenêtre (F) d'observation a une longueur au moins égale à un temps équivalent à 2 périodes du signal du phénomène de vibration à détecter.

**[0021]** Selon le procédé de l'invention la hauteur de la fenêtre d'observation (F) a une dimension spatiale représentant une taille supérieure à l'amplitude de la plus grande variation répétitive du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage. De manière pratique selon le procédé de l'invention la hauteur de la fenêtre d'observation (F) a une dimension spatiale représentant une amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage supérieure à 4 micromètres.

**[0022]** Selon le procédé de détection de l'invention on compte le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6) a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F) et on signale une détection de vibration lorsque le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F) est supérieur à celui qu'il est habituel d'observer lors des actions correctrices de la plus forte amplitude autorisée, des systèmes de contrôle de ladite cage de laminoir. D'une manière courante, et selon le procédé de l'invention, on signale une détection de vibration lorsque le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F) est supérieur à deux.

**[0023]** Selon un mode perfectionné du procédé de l'invention on mesure l'amplitude de chaque dépassement par rapport à la dimension de la fenêtre (F), pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration, et on détermine la pente (D) de la variation de l'amplitude de chaque dépassement, dans une même fenêtre d'observation (F), pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration.

**[0024]** Selon une variante du procédé de l'invention, on détermine la pente de la variation de l'amplitude de chaque dépassement, dans des fenêtres d'observation (F) différentes, pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration.

**[0025]** Toujours selon l'invention on utilise le procédé pour chacune des cages d'un laminoir tandem en déterminant pour cela une taille de l'échantillon du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage de chaque cage et un dimensionnement de la fenêtre d'observation adaptés aux fréquences des vibrations à détecter sur chacune desdites cages du laminoir tandem.

**[0026]** Dans le cas du laminoir tandem, on compare les pentes (D) de la variation de l'amplitude des dépassements survenus sur chaque cage du laminoir tandem. Ensuite on décide que les actions correctrices à apporter sont faites au moins sur la cage dont la pente (D) de la

variation de l'amplitude des dépassements est la plus forte.

**[0027]** Selon une autre variante du procédé de l'invention on utilise différentes tailles de l'échantillon du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage et différents dimensionnements de la fenêtre d'observation (F), pour détecter différents modes de vibration de la cage de laminoir, chacun d'eux étant adapté aux fréquences des vibrations correspondant à chacun des modes de vibration à détecter.

**[0028]** Mais l'invention sera mieux comprise par la description d'un mode particulier de réalisation.

- La figure 1 représente une cage de laminoir équipée d'un serrage hydraulique vue en élévation.
- La figure 2 représente la vue de côté de la figure 1.
- La figure 3 représente un enregistrement typique du signai de mesure du capteur de position perturbé par la vibration.
- La figure 4 illustre le procédé de l'invention.

**[0029]** Ainsi qu'il est représenté sur les figures 1 et 2 une cage de laminoir 1 de type "quarto", connue en elle-même de l'homme du métier, comporte deux colonnes de support respectivement 2 et 2' écartées et reliées par des traverses 3, 3', entre lesquelles est monté un ensemble de cylindres superposés ayant des axes parallèles et placés sensiblement dans un même plan de serrage S perpendiculaire à la direction de déplacement du produit P.

**[0030]** Chaque colonne 2, 2' a une forme fermée en anneau et comporte chacune deux montants verticaux 21, 22 (respectivement 21', 22') et deux parties horizontales 23, 24 (respectivement 23', 24').

**[0031]** L'ensemble de cylindres superposés comprend deux cylindres de travail 4, 4' entre lesquels le produit P défile, et deux cylindres de soutien 5, 5' sur lesquels s'appuient les cylindres de travail.

**[0032]** Au passage, on notera qu'il existe d'autres types de cages de laminoir que les cages quarto, et qui comprennent plus de cylindres, par exemple les cages "sexto", ou moins de cylindres, par exemple les cages "duo". L'invention s'applique à toutes les cages de laminoir.

**[0033]** Les cylindres prennent appui les uns sur les autres le long de lignes d'appui sensiblement parallèles, et dirigées suivant une génératrice dont le profil, normalement rectiligne, dépend des efforts appliqués et de la résistance des cylindres. Généralement l'effort de serrage est appliqué par des vis ou des vérins 6, 6' interposés entre la cage et les extrémités de l'arbre du cylindre de soutien supérieur 5, le cylindre de soutien inférieur 5' prenant appui par ces extrémités directement sur la cage de laminoir 1. A part ce dernier, les autres cylindres doivent donc pouvoir se déplacer par rapport à la cage et, à cet effet, sont portés par des organes de support 51, 51' appelés empoises, ils sont montés coulissants verticalement dans deux fenêtres ménagées entre les montants verticaux respectivement 21, 22 et 21', 22' des deux colonnes respectivement 2 et 2'de la cage de laminoir 1.

**[0034]** Les cylindres sont montés rotatifs autour de leur axe dans des paliers installés dans ces organes de supports. Ainsi le cylindre de soutien supérieur 5 est équipé à ses extrémités de deux organes de supports 51 a, 51 b coulissants verticalement entre les montants verticaux 21, 22 et 21', 22' des deux colonnes 2 et 2' de la cage de laminoir 1. Le cylindre de soutien inférieur 5' est équipé à ses extrémités de deux organes de support 51'a, 51'b pouvant coulisser entre les montants verticaux 21, 22 et 21', 22' des deux colonnes 2 et 2' de la cage de laminoir 1 pour les besoins de démontage et de changement des cylindres de soutien.

**[0035]** Pendant la phase de laminage les organes de support 51'a, 51'b du cylindre de soutien inférieur 5' appuient directement sur les parties horizontales inférieures 24, 24' des colonnes 2, 2' de la cage de laminoir 1

**[0036]** L'invention se rapporte à des cages de laminoir dont les moyens de serrage sont constitués par des vérins hydrauliques. Dans le mode de réalisation décrit et correspondant aux figures 1 et 2 ces vérins hydrauliques sont installés à la partie supérieure de la cage. Mais il existe des configurations dans lesquelles ces vérins sont installés à la partie inférieure de la cage de laminoir. C'est dans ce dernier cas le cylindre de soutien supérieur est directement appuyé par ses organes de support 51 a, 51 b sur les parties horizontales supérieures 23, 23' des colonnes 2, 2' de la cage de laminoir 1.

**[0037]** L'invention peut s'appliquer indifféremment à l'une ou l'autre des configurations sans sortir du cadre de la protection donnée par les revendications.

**[0038]** Des moyens de serrage constitués de vérins hydrauliques prenant appui sur la surface inférieure de la partie horizontale supérieure 23, 23' des colonnes 2 et 2' de la cage de laminoir 1, exercent un effort vertical dans le sens de resserrement des cylindres pour le laminage du produit P passant entre les cylindres de travail 4, 4'.

**[0039]** Généralement, chaque cylindre de travail est monté rotatif, autour de son axe, sur des paliers portés par deux organes de support appelés empoises 41 a, 41 b et 41'a, 41'b et celles-ci sont montées coulissantes, parallèlement au plan de serrage S passant par les axes des cylindres de travail, chacune entre deux faces de guidage planes ménagées respectivement de part et d'autre dudit plan de serrage sur les deux côtés de la fenêtre correspondante de la cage. Comme les cylindres de soutien ont un grand diamètre, les faces de guidage correspondantes 52, 52' sont généralement ménagées directement sur les deux montants de la colonne correspondante de la cage.

**[0040]** En revanche, les cylindres de travail ayant un diamètre plus faible, leurs empoises sont plus petites et les faces de guidage correspondantes 42, 42', qui sont plus resserrées, sont ménagées, généralement, sur deux pièces massives 7 fixées sur les deux montants encadrant la fenêtre et s'étendant en saillie vers l'inté-

rieur de celle-ci. Ces blocs peuvent comporter des dispositifs de contrôle de la flexion des cylindres de travail, généralement des vérins, non représentés sur la figure. Il n'est pas besoin de décrire davantage tous ces dispositifs bien connus des cages de laminoirs, qui ont fait l'objet de nombreuses publications et brevets.

**[0041]** Ainsi peut-on appliquer une force d'écrouissage réglable par la pression hydraulique du vérin sur le produit à laminer P par l'intermédiaire de l'empilage des cylindres en rotation qui permettent ainsi le défilement du produit P. Chaque vérin hydraulique est constitué d'un corps de vérin 61 et d'un piston 62 entre lesquels on injecte de l'huile. La pression hydraulique provient d'une centrale équipée de pompes et l'huile est généralement injectée dans le vérin par l'intermédiaire de servo-valves. Ces dispositifs ne sont pas représentés, ils sont bien connus dans le domaine des équipements de laminoirs et du laminage, ils ont fait l'objet de nombreux brevets et publications.

**[0042]** Pour contrôler l'action d'écrouissage sur le produit on équipe le vérin hydraulique d'un capteur de position. Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 1 le corps du vérin 61 constitue la partie fixe du dispositif de serrage et s'appuie sur la surface inférieure de la partie horizontale 23 de la colonne 2 de la cage de laminage 1. Le piston 62 constitue la partie mobile du dispositif de serrage qui exerce l'effort sur la partie supérieure des empoises 51 a, 51 b du cylindre de soutien supérieur 5. Le mouvement du piston est transmis par une tige 65 au capteur 64 installé au dessus de la colonne. On dispose souvent un seul capteur de position situé dans l'axe du vérin de serrage hydraulique. Pour réaliser cela on pratique un perçage 25 dans la partie horizontale supérieure 23 de la colonne 2. L'étanchéité par rapport au corps du vérin 61 et à la tige 65 reliée au piston 62 est assurée par un dispositif d'étanchéité 63. Il n'est pas besoin de décrire d'avantage ce genre de montage qui a fait l'objet de brevets de la part du déposant. Bien entendu le même dispositif est installé dans l'autre colonne 2' de la cage de laminoir et, dans le mode de réalisation décrit, ce dispositif exerce l'effort de serrage entre la partie horizontale 23' de la colonne 2' et l'empoise 51 b du cylindre d'appui supérieur 5.

**[0043]** Par ailleurs depuis de nombreuses années on connaît des capteurs de position, tels que les règles optiques digitales, qui délivrent un signal numérique de position avec une précision au moins égale au micromètre. Il existe aussi d'autres types de capteurs de position basée sur d'autres technologies capables de délivrer un signal du même type. On peut enfin noter qu'il est possible, pour des raisons de place ou de technologie de vérin, de faire l'installation inverse, c'est-à-dire installer le corps du vérin sur le sommet des empoises 51 a, 51 b du cylindre d'appui 5, le piston 62 venant alors appuyer sur la partie horizontale 23, 23' des colonnes 2 et 2' de la cage de laminoir 1.

**[0044]** Pendant le laminage sous l'effet de l'effort transmis au produit P les différentes parties de la cage de laminoir se déforment de manière élastique, les montants 21, 21' et 22, 22' s'allongent, les cylindres de travail 4,4' et les cylindres de soutien 5,5' sont écrasés ainsi que les empoises des cylindres de soutien dans une moindre mesure. L'ensemble de ces déformations est appelé cédage de la cage de laminage et sa valeur est proportionnelle à l'effort de serrage. C'est ainsi que la valeur du déplacement du piston par rapport au corps du vérin doit être plus importante que la variation produite sur l'entrefer existant entre les cylindres de travail entre lesquels le produit est laminé. Mais on sait établir les équations régissant tout cela et on sait établir des modèles de cage de laminoir et des modèles de cédage permettant de déterminer les variations d'entrefer en fonction des variations de la position des vérins de serrage et de la force de laminage. Il est ainsi possible d'assurer le contrôle de l'entrefer de laminage par celui de la position des vérins hydrauliques.

**[0045]** En outre, les différents éléments de la cage peuvent entrer en vibration. Ces vibrations sont transmises notamment aux vérins de serrage et les capteurs de position de ces vérins permettant d'enregistrer les vibrations.

**[0046]** La figure 3 montre ce qu'il est possible d'observer selon le procédé de l'invention. L'enregistrement dans la partie centrale POS montre le signal du capteur de mesure de la position du vérin hydraulique de serrage. Par un effet surprenant le signal de position retransmet la mise en vibration de chatter de l'ensemble du laminoir de manière parfaitement nette et fidèle. On l'observe ici sous forme de battements allant en s'amplifiant.

**[0047]** En effet, comme il a été dit, l'ensemble des cages d'un laminoir tandem sont susceptibles d'entrer en vibration, et ceci sur des fréquences légèrement différentes, ce qui peut expliquer le phénomène de battement. Sur ce laminoir, objet de l'expérience et des investigations des inventeurs, non équipé encore de système automatique, l'opérateur a commandé un ralentissement, visible sur la courbe V. L'effet est immédiatement visible sur le signal du capteur de position. La détection a été lente, lorsque le signal a atteint une amplitude suffisante, car cette opération a été conduite par l'opérateur en mode manuel.

**[0048]** Sur cet enregistrement on peut compter environ 10 périodes du signal sur un intervalle de temps de 100 millisecondes, ce qui correspond à une fréquence proche de 100 Hz. La courbe FT est la transformée de Fourrier du signal de position POS. Son examen a permis de vérifier que le phénomène de vibration était bien identifié par l'observation du signal de position POS. En effet la transformée de Fourier calculée sur un intervalle de temps permettant d'avoir un échantillon représentatif du signal observé, montre un pic à la fréquence d'environ 110 Hz et deux pics latéraux moindres situés approximativement à 105 Hz et 115 Hz, ils représentent les fréquences de vibration secondaires qui sont à l'origine du battement.

**[0049]** Cet enregistrement montre que les signaux pro-

venant des capteurs de position sont bien représentatifs des vibrations qu'on cherche à détecter.

**[0050]** Ainsi il n'est pas besoin de capteurs supplémentaires, comme ceux du type des accéléromètres, généralement fragiles, dont l'installation est délicate et dont le signal est souvent accompagné d'un bruit de fond important, ni d'un traitement du signal sophistiqué pour trier le signal significatif parmi l'ensemble des signaux délivrés, et nécessitant de nombreuses transformations génératrices de retards importants, pour pouvoir détecter la mise en état de vibration d'une cage de laminoir.

**[0051]** Dans le procédé de l'invention on observe de manière directe le signal de position POS issu du capteur numérique équipant les vérins hydrauliques du dispositif de serrage de la cage de laminoir pendant un intervalle de temps convenablement choisi, on surveille ainsi la forme du signal et l'évolution de son amplitude pour déclencher un signal de détection de vibration. Ceci peut être fait, selon le procédé de l'invention, par une observation directe du signal de position POS.

**[0052]** Le signal du capteur de mesure de position est délivré sous forme numérique et sa fréquence d'échantillonnage est bien entendu suffisamment élevée pour observer un signal dont la fréquence est environ 100 Hz à 200 Hz tout en répondant aux lois du traitement du signal comme la loi de Shannon. Dans la pratique on fait une lecture du capteur de position toutes les millisecondes ou toutes les deux millisecondes. Ce signal est le reflet de la commande faite par le système de régulation d'épaisseur. On peut y voir apparaître certains signaux périodiques issus des défauts de circularité ou d'excentricité des cylindres, mais la fréquence la plus élevée contenue dans ces signaux, serait alors de l'ordre de 20 Hz à 30 Hz pour une vitesse de laminage allant de 1500 à 2000 mètres par minute. Par ailleurs l'amplitude de la variation de position de la partie mobile du vérin hydraulique est en général de quelques micromètres, pouvant atteindre quelques dizaines de micromètres en fonctionnement normal et en régime établi.

**[0053]** Dans un système complet de commande d'un laminoir tandem les cages de laminage sont préréglées à des valeurs bien déterminées en fonction du produit à laminer et de la réduction d'épaisseur à obtenir, les régulations sont alors volontairement limitées dans leur amplitude d'action de façon à détecter des éventuelles anomalies de fonctionnement ou de préréglage lorsque ces régulations arrivent, par exemple en butée d'action. Il est donc parfaitement possible de savoir à partir de quelles valeurs de leur amplitude les variations du signal de position sont le reflet d'autres phénomènes. Dans l'exemple de la figure 3 le phénomène de chatter entraîne immédiatement des variations d'amplitude dépassant 10 micromètres sur un intervalle de temps de quelques dizaines de millisecondes.

**[0054]** Dans le procédé de l'invention on mémorise donc le signal de position par un certain nombre de points et on l'observe, ou on le compare à la taille d'une fenêtre spatiotemporelle, lorsque le signal n'est plus contenu dans cette fenêtre on déclenche une alarme de détection de vibration. La largeur de la fenêtre, selon l'axe du temps, a une dimension correspondant à un intervalle de temps significatif par rapport à la période du signal à détecter, dans la pratique on pourra prendre par exemple un temps supérieur ou égal à deux cycles dudit signal. Comme il a été dit précédemment la hauteur de la fenêtre, selon l'axe des espaces, a une dimension correspondant à une taille supérieure à celles des corrections répétitives données par les systèmes de régulation, dans la pratique on pourra fixer un seuil, par exemple à 4 micromètres. Il reste à déterminer la fréquence des dépassements du signal hors de la fenêtre d'observation. Pour cela on compte le nombre de dépassements hors de ladite fenêtre et on compare au nombre maximal pour lequel ces dépassements sont observés pour des actions les plus fortes des systèmes de régulation, par exemple celles qui correspondent aux butées préréglées. D'une manière pratique si on cherche à détecter une fréquence de vibration de l'ordre de 100 Hz et que l'on a mémorisé le signal de position sur un intervalle de temps équivalent à deux périodes du signai à détecter, c'est-à-dire environ 20 millisecondes, on sera sûrs d'être en présence de cette fréquence si on a plus de deux dépassements hors de la fenêtre avec une amplitude supérieure au seuil fixé.

**[0055]** On recommence ensuite la mesure avec la mémorisation du signal de position sur un autre intervalle de temps de manière à créer une autre fenêtre d'observation. Selon les cas, et pour tenir compte de particularités de certaines installations, on pourra utiliser différentes méthodes de mémorisation et stockage des mesures, comme par exemple le gel instantané d'un certain nombre de points de mesures (latch), le remplissage et la vidange d'une pile de type 'FIFO' (first IN first OUT) ou la création d'une moyenne glissante en ajoutant un nouveau point à chaque nouvelle mesure et en retirant le premier point pris en compte. De toutes ces manières on crée une succession d'échantillons de points de mesures du signal de la position du vérin hydraulique du dispositif de serrage que l'on peut comparer successivement à la fenêtre d'observation définie.

**[0056]** La figure 4 illustre ainsi la méthode d'observation du procédé de l'invention. Elle représente une vue dilatée selon l'axe horizontal du signal représenté sur la figure 3 pendant une période de temps pendant laquelle le signal de position est perturbé par le phénomène de vibration de chatter. Une fenêtre d'observation F est représentée sur la figure 4, elle correspond aux valeurs minimales des seuils qui ont été définis précédemment. Ces seuils doivent être ajustés selon les caractéristiques de l'installation et la tendance à entrer dans des états vibratoires néfastes, car il n'est pas souhaitable de provoquer des ralentissements fréquents de l'installation, mais d'autre part il est intéressant de détecter au plus tôt les vibrations, car elles affectent l'épaisseur ou l'état de surface du produit laminé P avant de devenir divergentes et de provoquer des dommages plus importants.

**[0057]** On peut d'ailleurs noter que le procédé de l'in-

vention permet, à partir de l'observation du signal de position, de détecter un état vibratoire, ou une variation dans l'état vibratoire d'une cage de laminoir, correspondant à différents phénomènes. On a déjà évoqué les défauts de circularité et d'excentricité des cylindres de laminage, mais il est possible de détecter d'autres défauts provenant, par exemple, d'une usure des organes des systèmes d'entraînement comme les engrenages des réducteurs ou les allonges de transmission des couples. Il suffit pour cela de caractériser le défaut en fréquence et en amplitude et de définir une fenêtre d'observation selon le procédé de l'invention. On pourra alors observer les échantillons mémorisés du signal de position au travers des différentes fenêtres ainsi définies et correspondant à des défauts différents à détecter.

**[0058]** Dans un laminoir tandem on pourra établir des fenêtres d'observation différentes selon chaque cage et adaptées à leur caractéristiques propres. Par exemple si certaines cages sont du type quarto et d'autres du type sexto elles auront des caractéristiques différentes, et dans tous les cas les plages de diamètre des cylindres utilisés sur chaque cage sont différentes ainsi que les caractéristiques de l'entraînement. On utilise généralement en effet les mêmes moteurs sur toutes les cages et, compte tenu des vitesses différentes du produit dans les cages successives, les rapports de réduction des réducteurs de vitesse employés sont différents. Le moyen d'action le plus rapide et le plus efficace lorsque le phénomène de chatter apparaît est de commander un ralentissement de l'installation. Mais si on veut éviter que le phénomène ne se reproduise lors de l'accélération suivante il est souhaitable de changer d'autres paramètres, sinon on est conduit à exploiter l'installation à une vitesse ralentie et les pertes de productivité sont importantes. Il est donc particulièrement important de déterminer quelle est la cage sur lequel le phénomène est apparu en premier de façon à modifier ses conditions de fonctionnement, en changeant par exemple la lubrification ou la température du lubrifiant ou tout autre paramètre connu pour son influence sur les conditions de mise en vibration d'une cage de laminoir.

**[0059]** Ainsi dans un mode de réalisation perfectionné du procédé de l'invention on calcule l'amplitude du dépassement du signal de position dans chaque fenêtre d'observation. Ceci peut se faire sur une cage déterminée à l'aide de différentes fenêtres d'observation choisies en fonction de phénomènes vibratoires différents à surveiller. Ceci peut aussi se faire sur l'ensemble du laminoir tandem à partir des fenêtres d'observation de même type, réglées aux valeurs spécifiques de chaque cage. On peut ainsi évaluer l'amplitude du phénomène selon les cages. Mais pour déterminer avec certitude quelle est la cage du laminoir tandem qui est entrée la première en vibration, le seul critère de l'amplitude peut être incertain dans des cas de figure particuliers. En effet, comme l'illustre la figure 3 le phénomène de chatter peut présenter une forme modulée par des battements dont l'amplitude varie. Cela peut compliquer la localisation du point de démarrage du phénomène.

**[0060]** Dans un autre mode de réalisation perfectionné du procédé de l'invention, après le calcul de l'amplitude des dépassements on détermine la variation de ces dépassements à l'intérieur de chaque fenêtre d'observation et on calcule le gradient de ces variations lors du démarrage du phénomène sur chacune des cages du laminoir tandem. Ceci est illustré sur la figure 4 par la pente de la droite D qui relie les sommets de la courbe représentant les oscillations du signal de position. La cage sur laquelle le problème est apparu en premier est celle pour laquelle on mesure la plus forte pente pour la droite D. En effet c'est sur cette cage que le signal s'est amplifié le plus vite, c'est donc cette cage qui était soumise au phénomène excitateur d'origine et a induit les vibrations les autres cages, ensuite il y a pu avoir des phénomènes de résonance et de battements entre les cages du laminoir tandem.

**[0061]** Dans le procédé de l'invention on peut ainsi détecter au plutôt un phénomène de vibration qui peut affecter l'épaisseur ou l'état de surface du produit laminé P, et détecter aussi un phénomène divergent et donner une alarme pouvant déclencher les actions correctrices. Après avoir commandé un ralentissement du laminoir tandem et évité des dégâts importants, l'indication, grâce au procédé de l'invention, de la cage sur laquelle le phénomène a démarré permet de modifier ses conditions de fonctionnements pour éviter que le problème ne resurgisse lors de la réaccélaration suivante.

**[0062]** Mais l'invention n'est pas limitée au seul mode de réalisation décrit. Ainsi on pourra réaliser de différentes manières le dispositif de serrage hydraulique du laminoir et l'alimenter en différents fluides possibles, de même on pourra équiper la partie mobile et/ou la partie fixe dudit dispositif de serrage de différents types de capteurs numériques donnant la position de l'une de ces deux parties par rapport à l'autre tout en restant dans le domaine de l'invention. Comme cela a été dit les phénomènes de vibration ont été observés le plus souvent sur les laminoirs tandem à froid pour le laminage de bandes d'acier, mais le procédé de l'invention peut être appliqué aux laminoirs à chaud et aux laminoirs monocages ainsi qu'à ceux utilisés pour l'élaboration de bandes en matériaux non ferreux, comme l'aluminium par exemple. Par ailleurs on a dit que le procédé de l'invention peut servir à détecter différents modes de vibrations des cages de laminoir, il est aussi possible de s'en servir pour détecter toutes les anomalies provoquant des variations rapides du signal de position, du type impulsionnelles, répétitives ou non, sans sortir du domaine de l'invention. Par exemple une marque de cylindre va provoquer un défaut qui va générer une impulsion brève à chaque tour dudit cylindre, il suffit pour la détecter selon le procédé de l'invention de déterminer les dimensions adéquates de la fenêtre d'observation. Ainsi, pour simplifier la rédaction, le terme 'vibration' a été utilisé dans les revendications, mais il doit être étendu à toute anomalie provoquant un signal, répétitif ou non, de variation rapide sans sortir du

domaine de l'invention.

**[0063]** De même les signes de référence insérés après les caractéristiques techniques mentionnées dans les revendications, ont pour seul but de faciliter la compréhension de ces dernières et n'en limitent aucunement la portée.

## Revendications

1. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) du type comportant deux montants (2, 2') formant chacun un anneau entre lesquels sont disposés un ensemble de cylindres de laminage, constitué d'au moins deux cylindres de travail (4, 4'), permettant de réduire l'épaisseur du produit à laminer (P), empilés dans un plan sensiblement vertical (S) constituant le plan de serrage et montés rotatifs dans des empoises (41, 41', 51, 51') formant palier, lesquelles sont montées coulissantes verticalement entre des surfaces de guidage supportées par les parties verticales (21, 22) des montants, ladite cage de laminoir comportant des moyens de serrage des cylindres à l'aide de vérins hydrauliques (6, 6') prenant appui sur une partie horizontale de chaque montant (23, 23') et exerçant l'effort de serrage sur les empoises des cylindres, les dits vérins hydrauliques comportant en outre un capteur de position (64) donnant à chaque instant un signal représentatif de la position (POS) de la partie mobile du vérin hydraulique(62), et de l'empoise (51), par rapport à la partie fixe du vérin (61) hydraulique, et à la partie horizontale (23) de chaque montant, **caractérisé par le fait que** l'on mémorise en temps réel et en permanence le signal de mesure (POS) du capteur de position, que l'on compare directement un échantillon de ce signal à une fenêtre (F) d'observation spatio-temporelle, la taille de l'échantillon et les dimensions de la fenêtre étant choisis en fonction de la cage de laminoir et de la fréquence des vibrations à détecter, et que l'on déclenche un signal de détection de vibration lorsque l'échantillon de signal n'est plus contenu dans ladite fenêtre (F).

2. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la dimension temporelle de la fenêtre (F) d'observation a une longueur de temps suffisante pour que l'échantillon contenu soit représentatif du phénomène de vibration à détecter.

3. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la dimension temporelle de la fenêtre (F) d'observation a une longueur au moins égale à un temps équivalent à 2 périodes du signal du phénomène de vibration à détecter.

4. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la hauteur de la fenêtre d'observation (F) a une dimension spatiale représentant une taille supérieure à l'amplitude de la plus grande variation répétitive du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6).

5. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la hauteur de la fenêtre d'observation (F) a une dimension spatiale représentant une amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique (6) de serrage supérieure à 4 micromètres.

6. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon l'une des revendications précédentes **caractérisé en ce que** l'on compte le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6) a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F).

7. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'on signale une détection de vibration lorsque le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6) a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F) est supérieur à celui qu'il est habituel d'observer lors des actions correctrices de la plus forte amplitude autorisée, des systèmes de contrôle de ladite cage de laminoir.

8. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'on signale une détection de vibration lorsque le nombre fois pour lesquelles l'amplitude du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6) a dépassé la hauteur de la fenêtre d'observation (F) est supérieur à deux.

9. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'on mesure l'amplitude de chaque dépassement par rapport à la dimension de la fenêtre (F), pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration.

10. Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'on détermine la pente (D) de la variation de l'amplitude de chaque dépassement, dans une même fenêtre d'observation (F), pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration.

**11.** Procédé de détection des vibrations d'une cage de laminoir (1) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'on détermine la pente de la variation de l'amplitude de chaque dépassement, dans des fenêtres d'observation (F) différentes, pour les fenêtres d'observation ayant déclenché un signal de détection de vibration.

**12.** Procédé de détection de différents modes de vibrations d'une cage de laminoir (1) selon le procédé de l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on utilise différentes tailles de l'échantillon du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage (6) et différents dimensionnements de la fenêtre d'observation (F), chacun d'eux étant adaptés aux fréquences des vibrations correspondant à chacun des modes de vibration à détecter.

**13.** Procédé de détection des vibrations des cages d'un laminoir tandem comportant une pluralité de cages, utilisant le procédé de l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** pour chaque cage de laminoir on utilise une taille de l'échantillon du signal de mesure de la position (POS) du vérin hydraulique de serrage et un dimensionnement de la fenêtre d'observation adaptés aux fréquences des vibrations à détecter sur ladite cage de laminoir.

**14.** Procédé de détection des vibrations des cages d'un laminoir tandem comportant une pluralité de cages utilisant le procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** l'on détermine les pentes (D) de la variation de l'amplitude des dépassements pour chaque cage du laminoir tandem.

**15.** Procédé de détection et de correction des vibrations des cages d'un laminoir tandem selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** les actions correctrices à apporter sont faites au moins sur la cage dont la pente (D) de la variation de l'amplitude des dépassements est la plus forte.

1/2

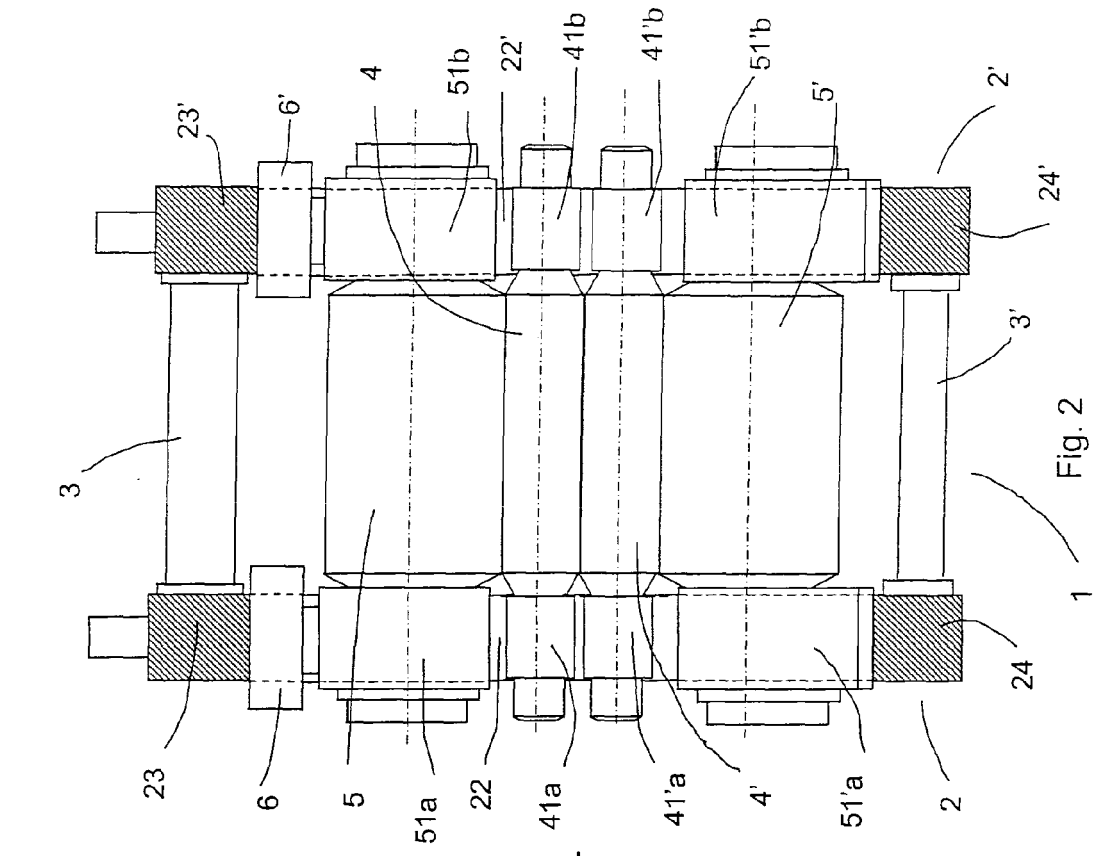
23'
6'
4
51b
22'
41b
41'b
51'b
5'
2'
24'
3'
3
1
23
6
5
51a
22
41a
41'a
4'
51'a
2
24

Fig. 2

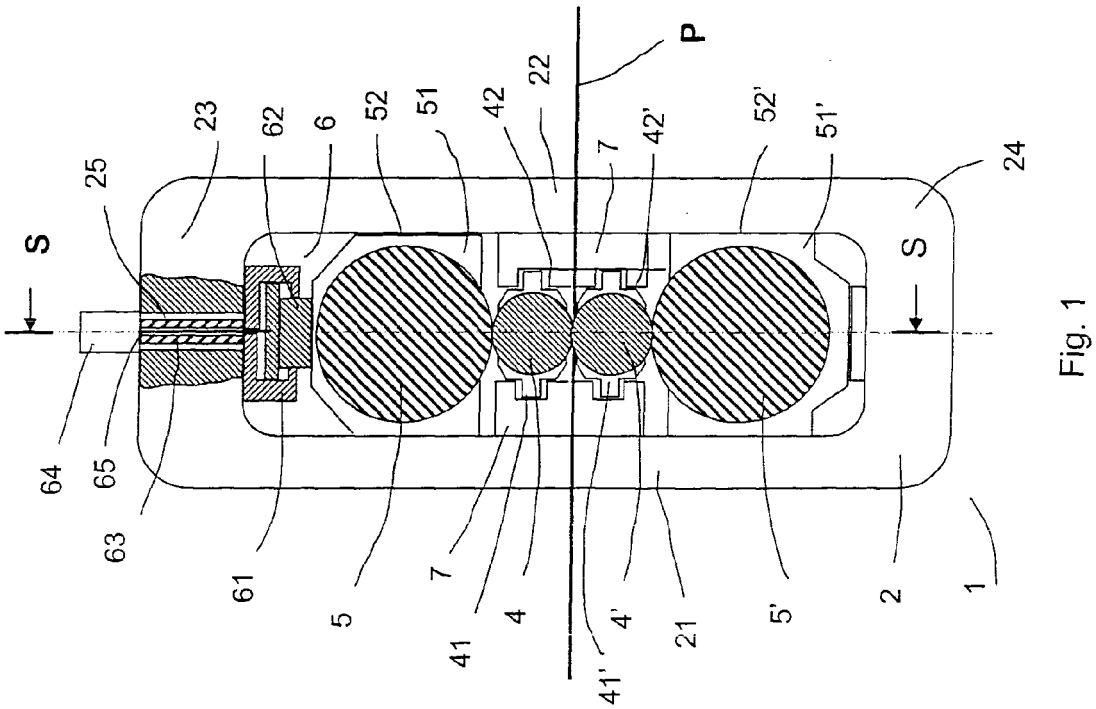
P
S
S
23
62
6
52
51
42
22
7
42'
52'
51'
24
25
64
65
63
61
5
7
41
4
41'
4'
21
5'
2
1

Fig. 1

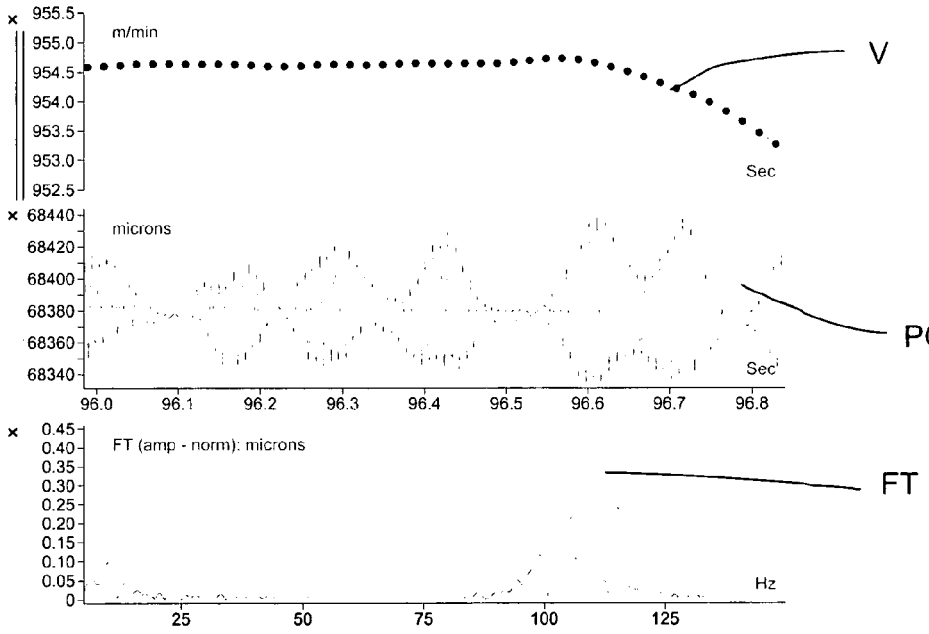
955.5
955.0
954.5
954.0
953.5
953.0
952.5
m/min
V
Sec
68440
68420
68400
68380
68360
68340
microns
POS
Sec
96.0
96.1
96.2
96.3
96.4
96.5
96.6
96.7
96.8
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0
FT (amp - norm): microns
FT
Hz
25
50
75
100
125

Fig. 3

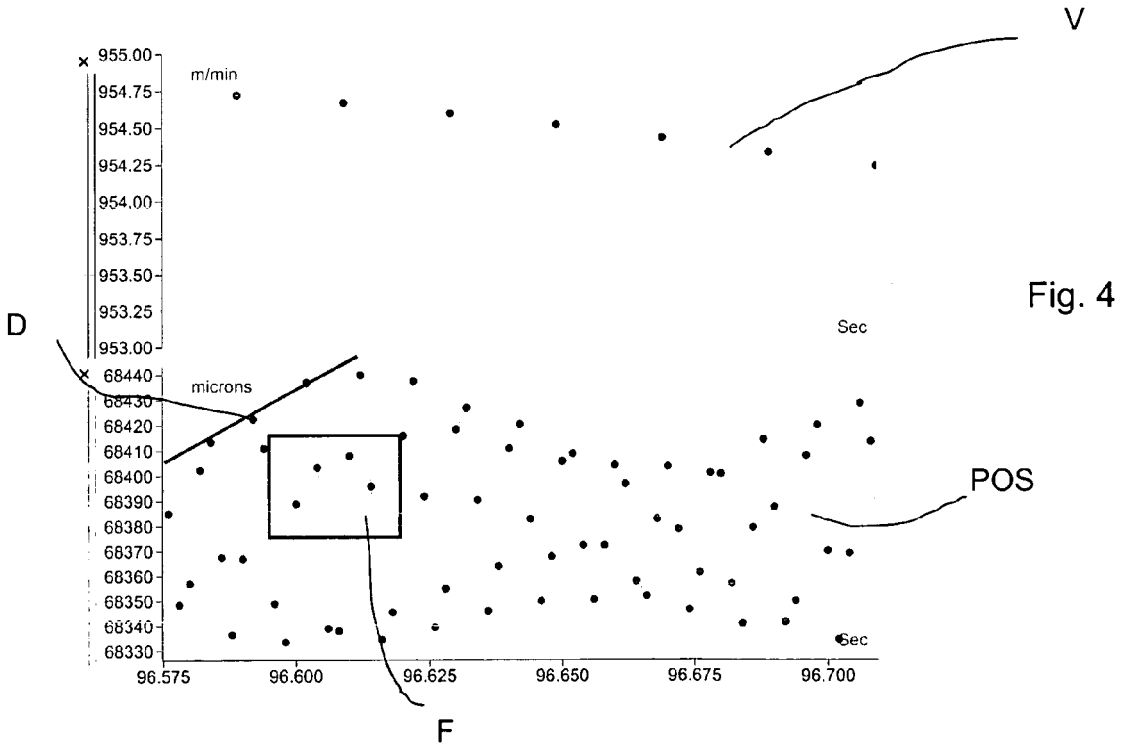
V
955.00
954.75
954.50
954.25
954.00
953.75
953.50
953.25
953.00
m/min
D
Sec
68440
68430
68420
68410
68400
68390
68380
68370
68360
68350
68340
68330
microns
POS
Sec
96.575
96.600
96.625
96.650
96.675
96.700
F

Fig. 4

Office européen des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 05 29 2206

## DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendication concernée | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC) |
|---|---|---|---|
| A | DE 100 23 554 A1 (ABB PATENT GMBH)<br>22 novembre 2001 (2001-11-22)<br>* figures 1,3 * | 1-14 | B21B38/00 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 1996, no. 10,<br>31 octobre 1996 (1996-10-31)<br>& JP 08 141612 A (NIPPON STEEL CORP),<br>4 juin 1996 (1996-06-04)<br>* abrégé * | 1 | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 1996, no. 08,<br>30 août 1996 (1996-08-30)<br>& JP 08 108205 A (SUMITOMO METAL IND LTD),<br>30 avril 1996 (1996-04-30)<br>* abrégé * | 1 | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 009, no. 300 (M-433),<br>27 novembre 1985 (1985-11-27)<br>& JP 60 137512 A (KAWASAKI SEITETSU KK),<br>22 juillet 1985 (1985-07-22)<br>* abrégé * | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)<br>B21B<br>G01H |
| A | EP 1 457 274 A (VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH & CO)<br>15 septembre 2004 (2004-09-15)<br>* revendication 1; figure 2 * | 1 | |

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

| Lieu de la recherche | Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
|---|---|---|
| Munich | 23 novembre 2005 | Forciniti, 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 (P04C02)

## ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 05 29 2206

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits members sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

23-11-2005

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|---|---|---|
| DE 10023554 A1 | 22-11-2001 | AUCUN | |
| JP 08141612 A | 04-06-1996 | AUCUN | |
| JP 08108205 A | 30-04-1996 | JP 2964887 B2 | 18-10-1999 |
| JP 60137512 A | 22-07-1985 | AUCUN | |
| EP 1457274 A | 15-09-2004 | AUCUN | |

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82