



(19)

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 466 675 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
20.12.2006 Bulletin 2006/51

(51) Int Cl.:
B21B 37/20^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **04300199.9**

(22) Date de dépôt: **08.04.2004**

(54) **Procédé et dispositif de régulation de l'épaisseur d'un produit laminé**

Verfahren und Vorrichtung zur Dickenregelung eines gewalzten Produktes

Method and device for controlling the thickness of a rolled product

(84) Etats contractants désignés:
DE ES FR GB IT SE

(30) Priorité: **11.04.2003 FR 0304583**

(43) Date de publication de la demande:
13.10.2004 Bulletin 2004/42

(73) Titulaire: **VAI CLECIM**
42400 Saint-Chamond (FR)

(72) Inventeur: **Abi-Karam, Michel**
92400 Courbevoie (FR)

(74) Mandataire: **Catherine, Alain et al**
Cabinet Harlé & Phélip
7, rue de Madrid
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:

- **BILKHU T S ET AL: "DYNAMIC CONTROL OF TENSION, THICKNESS AND FLATNESS FOR A TANDEM COLD MILL" AISE STEEL TECHNOLOGY, AISE, PITTSBURG, PA, US, vol. 78, no. 10, octobre 2001 (2001-10), pages 49-54, XP001111117 ISSN: 0021-1559**
- **PARKS J C: "AUTOMATIC GAUGE CONTROLE-A PRIMER" AISE STEEL TECHNOLOGY, AISE, PITTSBURG, PA, US, vol. 77, no. 7, juillet 2000 (2000-07), pages 60-62, XP000966016 ISSN: 0021-1559**
- **MALONE R N: "GAGE IMPROVEMENT AT LTV STEEL, INDIANA HARBOR WORKS' 80-IN. TANDEM MILL" IRON AND STEEL ENGINEER, ASSOCIATION OF IRON AND STEEL ENGINEERS. PITTSBURGH, US, vol. 69, no. 8, 1 août 1992 (1992-08-01), pages 70-78, XP000297469 ISSN: 0021-1559**
- **HAND K E: "ELECTRICAL MODERNIZATION OF 52-IN., 5-STAND REDUCTION MILL AT MIDWEST" IRON AND STEEL ENGINEER, ASSOCIATION OF IRON AND STEEL ENGINEERS. PITTSBURGH, US, vol. 69, no. 8, 1 août 1992 (1992-08-01), pages 60-69, XP000297468 ISSN: 0021-1559**

EP 1 466 675 B1

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

Description

[0001] L'invention a pour objet un procédé de régulation de l'épaisseur finale d'un produit laminé, à la sortie d'une installation de laminage en tandem, permettant en particulier d'optimiser la productivité d'une telle installation en équilibrant les courants des moteurs d'entraînement des différentes cages, de façon à permettre une augmentation de la vitesse générale de laminage, sans risque de surcharge de l'un ou l'autre des moteurs. L'invention couvre également un dispositif de régulation permettant la mise en oeuvre d'un tel procédé.

[0002] L'invention est prévue spécialement pour le laminage à froid de bandes métalliques, par exemple en acier, mais peut s'appliquer, d'une façon générale, à toute installation comportant plusieurs cages de laminage fonctionnant en tandem pour la réduction d'épaisseur progressive d'un produit défilant successivement entre les cylindres de travail desdites cages.

[0003] On sait qu'un laminoir comporte, de façon générale, au moins deux cylindres de travail montés à l'intérieur d'une cage de support et définissant un entrefer de passage du produit à laminer, la cage portant des moyens d'application d'un effort de serrage réglable entre les cylindres. Le nombre de cylindres peut varier selon le type de laminoir par exemple duo, quarto, sexto ou autre.

[0004] Pour déterminer l'avancement du produit entre les cylindres, ces derniers sont entraînés en rotation autour de leur axe par des moyens moteurs qui appliquent un couple d'entraînement, soit directement sur les cylindres de travail, soit indirectement, sur les cylindres d'appui dans un montage quarto ou sur des cylindres intermédiaires dans un montage sexto.

[0005] On connaît depuis longtemps des installations de laminage dites « en tandem » comportant au moins deux cages successives réalisant chacune une partie de la réduction d'épaisseur. A partir d'une épaisseur brute, le produit subit donc, dans la première cage, une première réduction d'épaisseur et il en sort à une vitesse déterminée par la vitesse de rotation des cylindres de travail. Dans la seconde cage, il subit une seconde réduction d'épaisseur et sort à une vitesse supérieure pour respecter la loi de conservation des masses. Les cylindres de travail de la seconde cage doivent donc être entraînés en rotation à une vitesse supérieure à celle des cylindres de la première cage, ces vitesses étant dans le rapport inverse des réductions effectuées dans chaque cage.

[0006] D'autre part, les couples de rotation appliqués sur les cylindres de travail sont réglés de façon que chaque cage intermédiaire exerce un effort de traction sur la bande sortant de la cage précédente.

[0007] Il est nécessaire d'assurer une régulation, d'une part de la réduction d'épaisseur effectuée dans chacune des cages afin d'obtenir, à la sortie de l'installation, un produit ayant une épaisseur constante avec un certain degré de précision et, d'autre part, de maintenir la bande parfaitement tendue dans chaque espace dit « inter-cages » entre deux cages successives, afin d'éviter d'atteindre des niveaux de traction qui risqueraient d'entraîner une rupture de la bande.

[0008] Habituellement, le contrôle de l'épaisseur de la bande au cours de son passage dans les cages successives d'un laminoir tandem est assuré par le contrôle du débit masse, encore appelé « mass flow ».

[0009] Dans un procédé de régulation connu, utilisé habituellement pour obtenir, à la sortie de l'installation, une bande ayant une épaisseur donnée, on maintient à une valeur constante, d'une part l'épaisseur de la bande à la sortie de la première cage, et d'autre part, le rapport des vitesses entre la première et la dernière cage.

[0010] Les vitesses des cages intermédiaires peuvent être déduites de ces conditions car elles sont imposées par la loi de conservation des masses de métal traversant les cages du laminoir, et elles sont dans le rapport inverse des réductions que l'on attribue à chaque cage de laminage.

[0011] La régulation de l'épaisseur à la sortie de la première cage est généralement assurée, sur un laminoir moderne, par les moyens de serrage qui sont pilotés par une jauge d'épaisseur située en aval de cette cage. Certains systèmes plus perfectionnés comportent aussi une jauge d'épaisseur en amont de cette cage. Un tel système de régulation du laminoir tandem couramment appelé « automatic gage control » ou AGC, est décrit, par exemple, dans l'article « *Dynamic Control of Tension, Thickness and Flatness for a Tandem Cold Mill* » de Tirlochan S.Bilkhu, paru dans la revue *AISE Steel Technology*, vol 78, n°10, Octobre 2001, pages 49-54.

[0012] D'autre part, pour assurer la régulation des efforts de traction dans les espaces inter-cages, on agit généralement sur les moyens de serrage des cages, car il n'est pas possible de modifier le rapport des vitesses entre les cages successives sans affecter l'épaisseur de sortie. On installe pour cela, dans chaque espace inter-cages, un dispositif de mesure de traction tel qu'un rouleau tensiomètre qui agit en régulation sur le serrage de la cage située en aval. Une jauge d'épaisseur, placée à la sortie de l'installation de laminage, contrôle l'épaisseur finale en agissant sur la vitesse de la dernière ou des deux dernières cages du laminoir tandem. Un tel système de contrôle des tractions inter-cages, aussi appelé « automatic tension control » ou ATC, est décrit également dans l'article de la revue *AISE Steel Technology* cité plus haut.

[0013] Dans chaque cage, il est nécessaire que la force et le couple de laminage appliqués, respectivement, pour une certaine réduction d'épaisseur, par les moyens de serrage et par les moyens d'entraînement des cylindres de travail, soient adaptés aux caractéristiques du produit à laminer. Pour chaque type de produit, il faut donc élaborer un « schéma de laminage », qui détermine les réductions successives d'épaisseur affectées à chaque cage en fonction des caractéristiques du produit.

téristiques géométriques et métallurgiques du produit.

[0014] Cependant, il n'est pas possible de demander aux opérateurs d'établir, de manière optimale et à chaque instant, un schéma de laminage pour chaque produit entrant dans la production annuelle du laminoir.

[0015] De façon connue, pour obtenir un résultat de ce type de manière automatique, on peut utiliser un système de pré réglage de calcul des schémas de laminage, prenant en compte toutes les caractéristiques de l'installation telles que les puissances des moteurs d'entraînement, les intensités et les vitesses maximales des moteurs, les forces maximales possibles sur les cages de laminage, etc. Ce système de pré réglage doit aussi tenir compte des caractéristiques géométriques et métallurgiques du produit à laminier et de l'interface produit/laminoir pour établir des paramètres de laminage adaptés à chaque format et nature de bande composant la production annuelle du laminoir. Ces paramètres sont, en particulier, l'épaisseur d'entrée et l'épaisseur de sortie, éventuellement la température, la dureté, ou encore la contrainte d'écoulement et la variation de cette contrainte au fur et à mesure de la réduction d'épaisseur, ainsi que le coefficient de frottement de l'interface tôle/cylindre.

[0016] Ce système de pré réglage peut se présenter sous forme de tables à entrées multiples donnant les réglages à afficher pour chaque cage en fonction des paramètres d'entrée. Dans certains systèmes connus, les opérateurs entrent par avance les caractéristiques des bandes à laminier selon le programme de production prévu et il suffit alors de valider ces données à l'arrivée de la tête de la bande du produit considéré dans l'installation de laminage.

[0017] Cependant, on peut aussi utiliser des systèmes de pré réglage plus perfectionnés comportant un modèle mathématique qui calcule un schéma de réduction pour chaque bande entrant dans le laminoir tandem. Un tel modèle établit alors des valeurs de réduction possibles pour les cages et peut réaliser certaines optimisations de façon à choisir le schéma de laminage correspondant à la meilleure répartition de la puissance. Les modèles les plus perfectionnés ont aussi la possibilité de se recalculer en enregistrant fréquemment les valeurs réelles des paramètres de laminage tels que les forces de laminage, les couples appliqués par les moteurs et leurs vitesses.

[0018] Par ailleurs, il faut avoir la possibilité de faire varier la vitesse générale de l'installation de laminage afin d'accélérer ou de ralentir le produit à la sortie de l'installation. Or, la loi de conservation des masses ne permet de régler les vitesses que l'une par rapport à l'autre, en valeur relative. Dans un procédé connu, on agit donc sur la vitesse de l'une des cages, appelée cage pivot et la vitesse des autres cages est gérée par un système de contrôle de façon à conserver les rapports de vitesse correspondant à la répartition du taux de réduction entre les différentes cages.

[0019] En pratique, les moyens d'entraînement en rotation des cylindres sont des moteurs électriques ayant une vitesse de base pour laquelle ils donnent leur couple nominal. De ce fait, il est tenu compte, dans la conception du train de laminoir, d'une réduction d'épaisseur moyenne pour chaque cage. Les moteurs étant, en général construits pour avoir la même vitesse de base, on installe bien souvent, entre le moteur et la cage, un réducteur de vitesse dont le rapport de réduction est différent pour chaque cage de manière à obtenir la même vitesse sur l'arbre grande vitesse du réducteur.

[0020] Cette conception générale du laminoir tandem avec un échelonnement des vitesses sur l'arbre grande vitesse, déterminant la vitesse de rotation des cylindres de laminage, de la première cage à la dernière, s'appelle couramment le « cône de vitesse ».

[0021] Or, dans la réalité de la production, le taux de réduction exact à appliquer à chaque cage pour obtenir sur le produit la réduction d'épaisseur souhaitée, ne coïncide pas exactement avec l'échelonnement des vitesses des moteurs. Il en résulte que tous les moteurs ne se trouvent pas sur le même point de fonctionnement. Si l'on veut augmenter la vitesse générale de laminage, certains moteurs vont donc atteindre leur limite d'intensité avant d'autres et empêcher ainsi de produire à la vitesse optimale de l'installation.

[0022] Par conséquent, dans de très nombreux cas, la vitesse maximale possible ne peut pas être atteinte et la productivité de l'installation de laminage ne correspond pas à sa capacité théorique.

[0023] Les systèmes de pré réglage utilisés actuellement ne permettent pas de résoudre ce problème. En effet, certains paramètres de laminage importants tels que le coefficient de frottement entre la bande et les cylindres de laminage, qui dépend des états de surface et de la lubrification, ne sont accessibles aux modèles de réglage que par un calcul très indirect à partir des mesures d'intensité, de force et de vitesse. Lorsque l'on procède à un changement des cylindres de travail, le diamètre et l'état de surface des cylindres vont changer, ainsi que l'équilibre thermique du laminoir. Même si l'on utilise un modèle mathématique, celui-ci ne pourra pas trouver très rapidement le bon réglage des réductions par cage permettant d'obtenir la vitesse maximale de l'installation, donc l'optimum de sa productivité.

[0024] L'invention a pour objet de résoudre un tel problème, et, en particulier, d'optimiser la productivité de l'installation, grâce à un procédé permettant d'améliorer l'efficacité du dispositif de régulation sans complication excessive de celui-ci. Le procédé selon l'invention peut, en effet, être mis en oeuvre par des moyens simples et relativement peu onéreux qui s'ajoutent simplement aux moyens de régulation utilisés habituellement.

[0025] L'invention concerne donc, d'une façon générale, un procédé de régulation de l'épaisseur finale d'un produit laminé à la sortie d'une installation de laminage en tandem associée à un système général de contrôle des différentes cages déterminant une augmentation progressive de la vitesse de rotation des cylindres en fonction de la variation progressive d'épaisseur d'une cage à la suivante, et à un système de régulation de la réduction d'épaisseur et de la

tension du produit dans chaque espace entre deux cages successives.

[0026] Conformément à l'invention, le système de régulation réalise, en temps réel, un équilibrage dynamique, entre les différentes cages, des couples appliqués dans chaque cage sur les cylindres de travail, sans perturbation sensible de l'épaisseur finale du produit à la sortie de l'installation.

5 **[0027]** De façon particulièrement avantageuse, le système de régulation commande une variation de la vitesse de laminage dans au moins l'une des cages et modifie en conséquence la répartition de la réduction d'épaisseur et l'échelonnement des vitesses entre les différentes cages afin de répartir de façon sensiblement égale, sur l'ensemble des moyens moteurs, l'effort à appliquer pour l'entraînement du produit à une vitesse donnée à la sortie de l'installation avec maintien de l'épaisseur finale à une valeur déterminée.

10 **[0028]** Comme habituellement, la réduction globale d'épaisseur à effectuer entre l'entrée et la sortie de l'installation est répartie selon un schéma de laminage, par un système de pré réglage.

[0029] Selon une autre caractéristique préférentielle, on détecte à chaque instant la charge imposée, dans chaque cage, aux moyens d'entraînement en rotation des cylindres de travail pour l'obtention de la vitesse fixée par le schéma de laminage, et l'on diminue la réduction d'épaisseur affectée à la cage la plus chargée afin de réaliser un équilibrage dynamique des charges appliquées sur les différentes cages.

15 **[0030]** Dans un premier mode de réalisation, pour diminuer la réduction d'épaisseur affectée à la cage la plus chargée, on diminue la vitesse de rotation des cylindres de ladite cage par rapport à la vitesse fixée par le schéma de laminage.

[0031] Cependant, une telle diminution de la vitesse de la cage la plus chargée détermine une diminution automatique de la vitesse de la cage suivante pouvant engendrer un défaut d'épaisseur à la sortie de l'installation pendant une période transitoire d'avance du produit dans l'espace inter cages. Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse, ce défaut d'épaisseur potentiel est compensé par anticipation en commandant une variation en sens inverse de la vitesse de toutes les cages situées en amont de ladite cage la plus chargée, susceptible de diminuer la réduction d'épaisseur effectuée dans lesdites cages amont, afin de réaliser un transfert de charge sur les cages placées en aval de ladite cage la plus chargée.

25 **[0032]** Dans un autre mode de réalisation, pour diminuer la réduction d'épaisseur à réaliser dans la cage la plus chargée, on augmente la vitesse de laminage dans la cage précédente située immédiatement en amont, afin de diminuer l'épaisseur du produit avant son arrivée dans la cage la plus chargée. Une telle augmentation de vitesse dans la cage précédente détermine une augmentation correspondante de vitesse dans la cage la plus chargée qui pourrait engendrer un défaut d'épaisseur à la sortie de l'installation pendant une période transitoire. Selon l'invention, ce défaut d'épaisseur potentiel est compensé, par anticipation, en commandant une augmentation de la vitesse de laminage dans les cages situées encore en amont de ladite cage précédente, de façon à réaliser un transfert de charges sur l'ensemble des cages placées en amont de la cage la plus chargée, en augmentant la réduction d'épaisseur effectuée dans chacune de celles-ci.

30 **[0033]** Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, on réalise un suivi permanent de la variation d'épaisseur du produit au cours de son avance de la première à la dernière cage de l'installation, afin de commander une variation de vitesse de certaines cages susceptibles de compenser un défaut d'épaisseur potentiel pendant une période transitoire correspondant au temps nécessaire à l'avance, entre deux cages successives, de la variation d'épaisseur résultant d'une variation de vitesse de la cage amont, afin de maintenir constante, à chaque instant, l'épaisseur du produit à la sortie de la dernière cage de l'installation.

40 **[0034]** Il est d'ailleurs possible de combiner des variations de vitesse sur les deux ensembles de cages situés respectivement en amont et en aval de la cage la plus chargée, en produisant un transfert de charge vers certaines cages desdits ensembles amont et aval, selon la charge détectée, de façon à équilibrer toutes les cages de l'installation, tout en maintenant constante l'épaisseur finale du produit à la sortie de celle-ci.

45 **[0035]** Un tel procédé permet, après réalisation de l'équilibrage dynamique des charges appliquées sur toutes les cages, d'augmenter la vitesse de laminage dans l'une des cages servant de cage pivot, le système de régulation faisant alors varier en conséquence les vitesses des autres cages, de façon à augmenter la vitesse du produit à la sortie de l'installation sans perturbation de l'épaisseur finale et en maintenant l'équilibrage dynamique entre toutes les cages.

[0036] En pratique, une telle augmentation de la vitesse générale de l'installation représente un gain pouvant aller jusqu'à 15% de la vitesse maximale obtenue sans équilibrage dynamique des couples appliqués.

50 **[0037]** Comme indiqué plus haut, les moyens d'entraînement des cylindres sont, généralement, des moteurs électriques. Dans ce cas, le système de régulation selon l'invention permet de réaliser un équilibrage dynamique des courants sans dépasser l'intensité nominale dans chaque moteur.

55 **[0038]** L'invention couvre également un dispositif de régulation perfectionné pour la mise en oeuvre du procédé et comportant, à cet effet, un circuit en boucle fermée d'équilibrage dynamique, entre les différentes cages, des couples appliqués par les moyens moteurs de chaque cage pour l'obtention de l'épaisseur finale souhaitée et le maintien de celle-ci à une valeur sensiblement constante.

[0039] Le dispositif de régulation étant associé, de façon classique, à un système de pré réglage de la réduction d'épaisseur affectée à chaque cage et de la vitesse de laminage correspondante, le circuit d'équilibrage dynamique

selon l'invention comporte des moyens de correction, sur chaque cage, de la consigne de vitesse déterminée par le système de pré réglage, de façon à modifier la répartition de la réduction d'épaisseur entre les différentes cages.

[0040] Dans un mode de réalisation préférentiel, le circuit d'équilibrage dynamique comporte un module de contrôle des transitoires agissant en boucle fermée sur les moyens d'entraînement des cylindres, de façon à apporter, par anticipation, une correction supplémentaire à la consigne de vitesse pendant une période transitoire d'avancement du produit entre une cage dont la consigne de vitesse a été corrigée et la cage suivante.

[0041] De préférence, ce module de contrôle des transitoires est associé à un dispositif de suivi permanent de la variation d'épaisseur du produit au cours de son défilement entre l'entrée et la sortie de l'installation, qui détermine les instants du début et de la fin de la période transitoire pendant laquelle une correction supplémentaire est apportée à la consigne de vitesse d'au moins l'une des cages.

[0042] D'autres caractéristiques avantageuses apparaîtront dans la description qui va suivre d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre d'exemple et représenté sur les dessins annexés.

[0043] La figure 1 représente schématiquement une installation de laminage en tandem équipée d'un système de régulation d'épaisseur et de traction selon l'art antérieur.

[0044] La figure 2 représente schématiquement une installation de laminage en tandem équipée d'un système de régulation d'épaisseur et de traction selon l'invention.

[0045] La figure 3 illustre schématiquement la répartition des courants des moteurs d'une installation de laminage en tandem selon l'art antérieur.

[0046] Sur la figure 1, on a représenté schématiquement l'ensemble d'une installation de laminage en tandem, comportant cinq cages de laminoir repérées de 1 à 5. Une telle installation, prévue, par exemple pour le laminage à froid de tôles, fonctionne en continu, et est associée à un dispositif de traction d'entrée.

[0047] Chaque cage de laminoir, par exemple de type quato comporte deux cylindres de travail T, T' définissant un entrefer de passage du produit à laminer B et prenant appui sur deux cylindres de soutien S, S' entre lesquels est appliqué un effort de laminage par des moyens de serrage tels que des vérins hydrauliques 11,21,31,41,51.

[0048] Un moyen d'entraînement en rotation tel qu'un moteur électrique 12, 22, 32, 42, 52 applique, directement ou indirectement, un couple de laminage sur au moins l'un des cylindres de travail T, T'. La force et le couple de laminage sont fonctions de la nature du produit à laminer, ainsi que de la réduction d'épaisseur à réaliser dans chaque cage.

[0049] Habituellement, comme on l'a indiqué, l'épaisseur du produit est maintenue constante à la sortie de la cage 1. A cet effet, on peut, par exemple, installer à la sortie de cette cage une jauge d'épaisseur 13 qui assurera cette fonction par action sur le serrage hydraulique 11. On peut aussi améliorer cette régulation en mesurant l'épaisseur brute h_0 de la bande B à l'entrée de l'installation à l'aide d'une autre jauge d'épaisseur 13' installée à l'entrée de la cage 1 et agissant également sur le serrage hydraulique 11 de celle-ci.

[0050] De façon connue, un schéma de laminage établi à l'avance permet, en fonction des caractéristiques du produit à laminer et des possibilités de l'installation, de répartir la réduction d'épaisseur entre les différentes cages et l'échelonnement des vitesses qui en résulte afin de respecter la loi de conservation des masses.

[0051] Si l'on appelle h_i l'épaisseur de la bande à la sortie d'une cage de rang i et V_i la vitesse de sortie du produit, qui correspond à la vitesse d'entraînement des cylindres de la même cage, cette loi s'écrit, en régime permanent, de la façon suivante :

$$h_1 V_1 = h_2 V_2 ; h_2 V_2 = h_3 V_3 ; h_3 V_3 = h_4 V_4 ; h_4 V_4 = h_5 V_5 \quad (1)$$

dans laquelle h_1 est l'épaisseur à la sortie de la cage 1, V_1 la vitesse du moteur 12 de la même cage, et ainsi de suite jusqu'à la cage 5.

[0052] D'autre part, un système de régulation permet, à partir des indications données par des tensiomètres 15, 25, 35, 45 installés en sortie, respectivement, des cages 1, 2, 3, 4 d'agir sur les moyens de serrage hydraulique, respectivement 21, 31, 41, 51 des cages suivantes 2, 3, 4, 5 afin de corriger la réduction d'épaisseur et, par conséquent, le couple appliqué, de façon à maintenir une traction constante dans chaque espace 10, 20, 30, 40 entre deux cages successives, sans modifier le rapport entre les vitesses d'entraînement des cylindres respectifs.

[0053] Ainsi, dans le mode de régulation le plus courant d'un laminoir tandem, le tensiomètre 15 installé en sortie de la cage 1 agit sur le serrage hydraulique 21 de la cage 2, le tensiomètre 25 installé en sortie de la cage 2 agit sur le serrage hydraulique 31 de la cage 3 et ainsi de suite. On est donc assuré qu'à chaque instant la vitesse de la bande à l'entrée d'une cage est égale à la vitesse de la bande à la sortie de la cage précédente.

[0054] Pour assurer le débit métal, le système de pré réglage détermine, selon le schéma de laminage, la réduction d'épaisseur à effectuer dans chaque cage et la vitesse du moteur correspondant permettant de satisfaire l'équation (1).

[0055] Si l'on appelle h_i^* la consigne d'épaisseur à la sortie de la cage de rang i et V_i^* la vitesse du moteur qui dépend

de la vitesse générale de laminage et du ratio de vitesses à respecter, il vient :

$$h_1 \cdot V_1^* = h_2 \cdot V_2^* ; h_2 \cdot V_2^* = h_3 \cdot V_3^* ; h_3 \cdot V_3^* = h_4 \cdot V_4^* ; h_4 \cdot V_4^* = h_5 \cdot V_5^* \quad (2)$$

[0056] Etant donné que l'épaisseur de sortie de la cage 1 est maintenue constante, on peut écrire :

$$h_5^* = h_4 \cdot V_4^* / V_5^* = h_3 \cdot V_4^* / V_5^* \cdot V_3^* / V_4^* \text{ etc...} = h_1 \cdot V_1^* / V_5^*, \text{ soit :}$$

$$h_5^* = h_1 \cdot V_1^* / V_5^* \quad (3)$$

[0057] Ainsi, dans le mode de régulation le plus courant d'un laminoir tandem, le tensiomètre 15 installé dans l'espace inter-cages 10 en sortie de la cage 1 agit sur le serrage hydraulique 21 de la cage 2, le tensiomètre 25 installé dans l'espace 20 en sortie de la cage 2 agit sur le serrage hydraulique 31 de la cage 3 et ainsi de suite. Grâce à cette régulation de traction, à chaque instant la vitesse de la bande à l'entrée d'une cage est maintenue égale à la vitesse de la bande à la sortie de la cage précédente.

[0058] Par conséquent, comme le montre la figure 1, si l'épaisseur h_1 à la sortie de la cage 1 et la vitesse V_1 du moteur 11 sont maintenus constants, la régulation d'épaisseur peut être assurée, de façon classique, au moyen d'une jauge d'épaisseur 53 placée à la sortie 50 de la dernière cage 5 et agissant sur la vitesse V_5 du moteur 52 ou, parfois, du moteur 42 de la cage 4.

[0059] Comme indiqué plus haut, toutes les réductions intermédiaires sont fixées par un système de pré réglage qui détermine les consignes d'épaisseurs intermédiaires h_i^* de chaque cage dont dépend le couple de rotation à appliquer par chacun des moyens moteurs 12, 22, 32, 42, 52.

[0060] Un tel système de pré réglage, non représenté sur la figure, peut être constitué simplement de tables de pré réglage indiquant les épaisseurs intermédiaires pour chaque cage, mais peut aussi utiliser un modèle mathématique capable de calculer les épaisseurs intermédiaires h_i^* en fonction des caractéristiques du produit à laminier, à partir de bases de données périodiquement remises à jour par des mesures sur le laminoir.

[0061] Il est aussi nécessaire de pouvoir faire varier et régler l'allure générale de l'installation de laminage de manière à accélérer ou ralentir l'ensemble du tandem. Or l'équation (2) ne permet de régler les vitesses qu'en valeur relative l'une par rapport à l'autre. De façon connue, le système de pré réglage détermine toutes les consignes d'épaisseurs h_i^* en fonction des caractéristiques du produit à laminier et de la puissance disponible sur les cages de laminoir, avec un certain degré d'optimisation qui dépend des performances du modèle mathématique utilisé.

[0062] Cependant, la référence vitesse d'une cage du laminoir, encore appelée cage pivot, est laissée libre et accessible à l'opérateur qui peut la modifier afin de piloter l'ensemble des cages en vitesse, pour accélérer ou ralentir l'ensemble de l'installation.

[0063] La partie du système de contrôle d'un laminoir tandem qui gère l'ensemble des vitesses autour de celle d'une cage prise comme pivot et permet de commander des rampes d'accélération et de ralentissement est couramment appelé le « master vitesse ».

[0064] Dans un laminoir à 5 cages on peut utiliser la cage 3 comme cage pivot. Les vitesses des autres cages sont alors calculées selon les équations (2) et il vient en supposant V_3 disponible pour le réglage général de vitesse :

$$V_4^* = h_3^* / h_4^* \cdot V_3^* ; V_5^* = h_4^* / h_5^* \cdot V_4^* = h_4^* / h_5^* \cdot h_3^* / h_4^* \cdot V_3^* = h_3^* / h_5^* \cdot V_3^* \quad (4)$$

Et de même : $V_2^* = h_3^* / h_2^* \cdot V_3^*$ et $V_1^* = h_2^* / h_1^* \cdot V_2^* = h_3^* / h_2^* \cdot h_2^* / h_1^* \cdot V_3^*$

soit : $V_2^* = h_3^* / h_2^* \cdot V_3^*$ et $V_1^* = h_3^* / h_1^* \cdot V_3^* \quad (5)$

EP 1 466 675 B1

[0065] Ainsi toutes les vitesses des cages sont déterminées en fonction de celle de la cage pivot, les équations (4) donnant les vitesses de celles situées en aval de la cage pivot et les équations (5) donnant les vitesses de celles situées en amont de la cage pivot, dans le sens de défilement du produit.

[0066] Un contrôle final de l'épaisseur est assuré par la jauge 53 installée en sortie de la cage 5, de façon à corriger les erreurs résiduelles en modifiant la vitesse de la dernière cage de l'installation de laminage, ou celles des deux dernières cages.

[0067] De telles pratiques sont bien connues et donnent d'excellents résultats en terme de qualité et de régularité sur la tolérance de l'épaisseur obtenue, mais elles ne résolvent pas le problème de l'équilibrage des courants des moteurs des cages, du fait de l'imprécision sur la connaissance exacte des points de fonctionnement des moteurs et des valeurs réelle des paramètres définissant le frottement tôle/cylindre.

[0068] C'est ainsi que l'on se retrouve fréquemment dans la situation illustrée par la figure 3.

[0069] Si l'on mesure la charge imposée, dans chaque cage, aux moyens moteurs 11, 21, ..., 51, par exemple l'intensité du courant dans le cas de moteurs électriques, il apparaît que l'une des cages, par exemple la cage 3, est saturée en courant alors qu'il existe une réserve de puissance sur les cages situées en amont et en aval. Il n'est, cependant, pas possible d'accélérer l'installation de laminage, car cela exigerait encore plus de courant pour le moteur de la cage 3. Il n'est donc pas possible d'utiliser toute la puissance disponible et la productivité de toute l'installation est ainsi limitée.

[0070] L'invention permet de résoudre ce problème en réalisant, à chaque instant, un équilibrage dynamique, entre toutes les cages, des couples à appliquer par les moteurs.

[0071] Par convention, dans toute la suite, nous noterons h_i^* l'épaisseur de la bande à la sortie de la cage i correspondant à la valeur de consigne du taux de réduction affecté à la cage i par le système de pré réglage, et h_i la valeur de l'épaisseur réelle de sortie de la cage i .

[0072] L'idée de l'invention est de diminuer en temps réel le taux de réduction de la cage trop chargée en modifiant les vitesses des cages de façon à changer, par un dispositif agissant en boucle fermée, toutes les valeurs h_i^* sans perturber le maintien à une valeur constante de l'épaisseur de sortie h_5 . Si on considère l'exemple donné par la figure 3, il est possible de diminuer la réduction de la cage 3, en augmentant l'épaisseur de sortie h_3^* . De ce fait, pour maintenir constante l'épaisseur finale h_5 à la sortie 50 de l'installation, il faut demander plus de réduction à la cage 4 mais, précisément, celle-ci a de la puissance disponible. Il en résulte donc un équilibrage des courants par un transfert de puissance sur les cages situées en aval de la cage surchargée.

[0073] Pour atteindre cet objectif, les équations de la régulation de « mass flow » montrent qu'il faut diminuer V_3 .

[0074] En effet, comme indiqué plus haut, l'épaisseur h_1 est maintenue constante en agissant sur les moyens de serrage 11 de la cage. Si les consignes de vitesse V_1^* et V_2^* sont maintenues constantes, ou dans un rapport constant, étant donné que :

$$h_1^* V_1^* = h_2^* V_2^*,$$

h_2 est aussi une épaisseur constante.

[0075] Par ailleurs, étant donné que $h_2^* V_2^* = h_3^* V_3^*$, si l'on diminue V_3^* , l'épaisseur h_3 à la sortie de la cage 3 va augmenter puisque le produit des deux est constant.

[0076] Une diminution de la consigne de vitesse de la cage 3 provoque donc une augmentation de l'épaisseur de sortie h_3 et, par conséquent, une diminution du couple à appliquer par le moteur 13, ce qui permet d'atteindre l'effet recherché.

[0077] Ceci est vrai en régime permanent, c'est à dire après le temps de transfert nécessaire à la nouvelle épaisseur sortant de la cage 3, pour atteindre la cage 4. Mais dans l'intervalle de temps, si l'action sur les vitesses se limite à ce qui a été décrit, on va générer un défaut transitoire d'épaisseur. En effet dès le changement de vitesse de la cage 3, la régulation de traction entre les cages 3 et 4 va agir pour maintenir l'égalité des vitesses dans l'espace inter-cages 13. Comme l'épaisseur à l'entrée de la cage 4 n'a pas encore changé, du fait de la distance nécessaire de transfert, la loi de « mass flow » va changer l'épaisseur h_4 de sortie de la cage 4 et par conséquent l'épaisseur h_5 à la sortie de la cage 5.

[0078] Or, il ne serait pas acceptable que le système d'équilibrage des courants génère des longueurs hors tolérance d'épaisseur correspondant aux distances entre cages, chaque fois qu'il est nécessaire de changer les vitesses des cages pour l'équilibrage des courants, c'est à dire en permanence puisqu'il s'agit d'un système de régulation en temps réel agissant en boucle fermée.

[0079] Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, ce défaut potentiel d'épaisseur peut être compensé par anticipation en le créant à l'avance par un changement de vitesse simultané des cages 1 et 2, dans l'exemple choisi.

[0080] En effet si l'on augmente simultanément les vitesses des cages 1 et 2, h_1 étant maintenue constante par la régulation de la cage 1, h_2 sera aussi constante. Comme la vitesse de la cage 3 n'a pas encore changé, l'épaisseur de

sortie h_3 va augmenter, ce qui est le but recherché. Pendant une période transitoire, à l'aide d'un dispositif de suivi en temps réel de l'avance du produit dans l'installation, on attend que la surépaisseur h_3 atteigne la cage 4 pour baisser la vitesse de la cage 3 et simultanément replacer à leurs vitesses initiales les cages 1 et 2, à l'aide de dispositifs agissant en boucle fermée.

5 **[0081]** Ainsi, dès le changement de vitesse simultanément des cages 1 et 2, l'épaisseur h_3 a augmenté et, lorsque l'on baisse simultanément la vitesse de la cage 3 en replaçant à leur valeur initiale les vitesses des cages 1 et 2, la valeur augmentée de h_3 est conservée et le débit $h_3 V_3$ est constant à l'entrée de la cage 4. L'épaisseur h_4 est donc maintenue constante ainsi que l'épaisseur de sortie h_5 .

10 **[0082]** Il est ainsi possible d'éviter une surcharge de la cage 3 en modifiant son taux de réduction par une diminution de sa vitesse et en transférant la puissance sur les cages situées en aval. De plus, le défaut potentiel d'épaisseur résultant de cette variation instantanée de la vitesse peut être compensé par anticipation de façon à maintenir constante l'épaisseur de sortie h_5 , grâce au procédé de l'invention qui permet de commander en temps réel et pendant l'intervalle transitoire, des variations instantanées de l'épaisseur, au moyen d'une modification temporaire en sens inverse des vitesses des cages situées en amont de la cage surchargée.

15 **[0083]** Mais on peut aussi, dans une variante de l'invention, et toujours dans le cas illustré par la figure 3, diminuer le taux de réduction de la cage 3 en diminuant l'épaisseur d'entrée dans cette cage, c'est-à-dire l'épaisseur de sortie h_2 de la cage 2.

20 **[0084]** Les équations (2) montrent que ce résultat peut être obtenu en augmentant la vitesse de la cage 2. En effet étant donné que l'épaisseur h_1 à la sortie de la cage 1 est maintenue constante par la régulation de la cage 1, une augmentation de la vitesse de la cage 2 va se traduire par une diminution de l'épaisseur h_2 , ce qui est le but recherché. Cette augmentation du taux de réduction d'épaisseur dans la cage 2 entraîne une augmentation de la puissance consommée par le moteur 12. Il se produit donc un transfert de puissance sur les cages situées en amont de la cage la plus chargée.

25 **[0085]** Mais de la même façon que précédemment, il apparaît que cette action sur la cage 2 risque d'engendrer un défaut potentiel d'épaisseur pendant la période transitoire. En effet le changement de vitesse de la cage 2, avant que la nouvelle épaisseur n'arrive dans la cage 3, va se traduire par un changement de l'épaisseur en sortie de la cage 3, en raison de la régulation de la traction dans l'espace inter-cages 20. Ceci va se répercuter jusqu'à l'épaisseur de sortie toujours par le biais des régulations de traction dans les espaces inter-cages. De telles perturbations ne sont pas acceptables car elles conduiraient à dégrader les performances globales de la régulation de l'épaisseur sur l'ensemble de l'installation.

30 **[0086]** Il faut donc compenser l'action faite sur la cage 2 dans la période transitoire. Selon l'invention, ce défaut potentiel va être compensé par anticipation, pendant la période transitoire, en commandant une variation de la vitesse de la cage 1. En effet l'épaisseur h_1 est constante grâce à la régulation de la cage 1 et, par ailleurs, la régulation de « mass flow » nous donne :

35

$$h_1 * V_1^* = h_2 * V_2^* \quad (2).$$

40 **[0087]** Une diminution de la consigne de vitesse V_1^* va donc induire une diminution de l'épaisseur h_2 ce qui est le but recherché. Ensuite, quand l'épaisseur diminuée h_2 atteint la cage 3 le dispositif de suivi de l'épaisseur, travaillant en temps réel et en boucle fermée permet d'augmenter en même temps les vitesses des cages 1 et 2 pour obtenir l'effet recherché sans provoquer de variation de l'épaisseur h_5 à la sortie de l'installation de laminage.

45 **[0088]** D'une façon générale, dans cette variante de l'invention, on évite donc une surcharge dans une cage en augmentant la vitesse de la cage précédente et, pour compenser le défaut potentiel d'épaisseur ainsi engendré, on commande une augmentation de vitesse de la ou des cages situées encore en amont.

[0089] L'invention permet ainsi de réaliser un transfert de puissance de la cage surchargée sur l'ensemble des cages situées en amont, tout en maintenant constante l'épaisseur de sortie.

50 **[0090]** Cependant, en pratique, il ne serait pas facile d'isoler un cas particulier comme celui de la figure 3 et de distinguer deux façons différentes de diminuer une surcharge détectée sur une cage. Le procédé de l'invention, qui fonctionne en temps réel et est appliqué à une installation conçue en boucle fermée, permet de rééquilibrer à chaque instant les courants des moteurs d'entraînement des cages en combinant les effets d'un équilibrage sur les cages amont avec ceux d'un équilibrage sur les cages aval, et ceci pour toutes les cages simultanément. Ainsi on aura en permanence des courants équilibrés dans tous les moteurs d'entraînement des cages du laminoir et, lors du laminage d'un produit déterminé, selon le schéma de laminage déterminé par le système de prééquilibrage, s'il reste de la puissance disponible sur les moteurs, on pourra augmenter la vitesse générale de l'installation et augmenter de la même valeur sa productivité.

55 **[0091]** L'invention couvre également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé représenté à titre d'exemple sur la figure 2. Cette représentation est purement schématique car une telle installation peut faire appel, non seulement aux

technologies classiques des circuits électroniques utilisant des circuits élémentaires de comparateurs, amplificateurs, contrôleurs, comportant eux-mêmes des réglages de gains d'action proportionnelle, intégrale et différentielle, mais aussi aux technologies plus récentes de contrôle numérique à base de calculateurs et de microprocesseurs, dès lors qu'elles permettent d'agir en boucle fermée, avec des temps de réponse suffisamment courts pour exécuter une action en temps réel, vis à vis des autres temps de réponse des autres parties de l'installation de laminage.

[0092] Dans une installation selon l'invention on trouve un niveau 6 d'équilibrage dynamique des courants en boucle fermée, et un niveau 7 de contrôle des transitoires que l'on peut appeler « tranche épaisseur ».

[0093] Le niveau 6 d'équilibrage dynamique comporte une mesure des courants consommés par les moteurs des cages à l'aide de transformateurs d'intensité 16, 26, 36 46, 56.

[0094] Le système d'équilibrage dynamique 6 contient aussi des circuits de comparaison capables de sélectionner à chaque instant la cage la plus chargée, ainsi que la fonction de transfert et les gains nécessaires à la conversion des différences de charge en une variation des consignes d'épaisseur, qui seront les nouvelles références d'épaisseur h_i^* des cages conduisant, en régime permanent, à l'équilibre des courants.

[0095] Le circuit 6 va générer les variations nécessaires au contrôle des épaisseurs inter-cages, à l'aide de contrôleurs à réglage de gain proportionnel, intégral et différentiel, de façon à réduire les taux de réduction des cages les plus chargées de la manière décrite dans le procédé de l'invention.

[0096] La tranche épaisseur 7 comporte les circuits nécessaires à la transformation des variations des épaisseurs inter-cages en consignes de vitesse des moteurs d'entraînement, ainsi que ceux de la gestion des transitoires et, notamment, le système de suivi de l'avance de la bande B dans l'installation de laminage.

[0097] Compte tenu du suivi du produit et des variations des consignes élaborées par le circuit d'équilibrage dynamique 6, le contrôle des transitoires 7 va élaborer les variations transitoires et anticipatives de vitesse des cages qui vont permettre de réaliser l'équilibrage des courants, sans provoquer de variation même transitoire de l'épaisseur de sortie. L'ensemble de ces circuits agit en temps réel, en régulation et en boucle fermée entre la mesure des différences des courants des moteurs, prises en quelque sorte comme signal d'erreur à l'entrée de la boucle, et les variations de consignes des vitesses des moteurs d'entraînement, qui en constituent les signaux de sortie.

[0098] Un tel dispositif, selon l'invention, d'équilibrage des courants des moteurs d'entraînement fonctionnant en temps réel et en boucle fermée, peut s'adapter à tout dispositif de régulation de l'épaisseur de sortie et fait partie intégrante de celui-ci.

[0099] Bien entendu l'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui vient d'être décrit à titre de simple exemple et peut s'appliquer à tout ensemble de cages de laminage fonctionnant en tandem et comprenant au moins deux cages successives.

[0100] D'autre part, l'invention ne se limite pas au laminage à froid et peut aussi bien s'appliquer à un laminoir tandem à chaud comme par exemple le train finisseur d'un train à bandes à chaud.

[0101] Le système de régulation AGC qui a été décrit succinctement peut être de tout type permettant un contrôle de l'épaisseur finale du produit laminé. En effet, du fait que l'invention repose sur le respect de la loi de « mass flow », il serait possible d'imaginer des variantes dans le fonctionnement de la régulation d'épaisseur.

[0102] De même la mise en oeuvre peut être faite de différentes façons sans sortir du cadre de l'invention, en particulier selon un mode de traitement numérique et vectoriel assez récent, habituellement dénommé « régulation multivariable ».

[0103] 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 régulation de l'épaisseur finale d'un produit laminé (B) à la sortie d'une installation de laminoir comportant au moins deux cages de laminage (1-5) fonctionnant en tandem et déterminant chacune une partie de la réduction globale d'épaisseur à réaliser, par passage du produit entre deux cylindres de travail (T, T'), chaque cage étant associée à des moyens (11-51) d'application d'un effort réglable de serrage entre les cylindres de travail et à des moyens moteurs (12-52) d'application, sur les cylindres de travail, d'un couple d'entraînement en rotation à une vitesse réglable, l'installation étant associée à un système général de contrôle des vitesses des différentes cages déterminant une augmentation progressive de la vitesse de rotation des cylindres en fonction de la variation progressive d'épaisseur d'une cage à la suivante, et à un dispositif de régulation de la réduction d'épaisseur et de la tension du produit (B) dans chaque espace 10, 20, 30, 40 entre deux cages successives, **caractérisé par le fait que** le dispositif de régulation réalise, en temps réel, un équilibrage dynamique, entre les différentes cages (1-5), des couples appliqués, dans chaque cage, sur les cylindres de travail (T, T'), sans perturbation sensible de l'épaisseur finale h_5 du produit (B) à la sortie de l'installation.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé par le fait que** le dispositif de régulation commande une variation

EP 1 466 675 B1

de la vitesse de laminage dans au moins l'une des cages (3) et modifie en conséquence la répartition de la réduction d'épaisseur et l'échelonnement des vitesses entre les différentes cages (1-5) afin de répartir de façon sensiblement égale sur l'ensemble des moyens moteurs (12-52) l'effort à appliquer pour l'entraînement du produit (3) à une vitesse donnée à la sortie de l'installation avec maintien de l'épaisseur finale h_5 à une valeur déterminée.

- 5
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la réduction globale d'épaisseur (h_0-h_5) à effectuer entre l'entrée et la sortie de l'installation est répartie, selon un schéma de laminage, par un système de pré réglage déterminant la réduction d'épaisseur à effectuer par chaque cage (1-5) et l'échelonnement corrélatif des vitesses (V1-V5) de rotation des cylindres de travail, **caractérisé par le fait que** l'on détecte à chaque instant la charge imposée, dans chaque cage (1-5), aux moyens (12-52) d'entraînement en rotation des cylindres de travail pour l'obtention de la vitesse fixée par le schéma de laminage et que l'on diminue la réduction d'épaisseur affectée à la cage la plus chargée (3) afin de réaliser un équilibrage dynamique des charges appliquées sur les différentes cages.
- 10
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé par le fait que**, pour diminuer la réduction d'épaisseur affectée à la cage la plus chargée, on diminue la vitesse de rotation des cylindres de ladite cage par rapport à la vitesse fixée par le schéma de laminage.
- 15
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la diminution de la vitesse de la cage (3) la plus chargée détermine une diminution automatique de la vitesse de la cage suivante (4) pouvant engendrer un défaut d'épaisseur à la sortie de l'installation pendant une période transitoire d'avance du produit dans l'espace inter-cages, **caractérisé par le fait que** ce défaut d'épaisseur potentiel est compensé par anticipation en commandant une variation en sens inverse de la vitesse de toutes les cages (1, 2) situées en amont de ladite cage la plus chargée (3), susceptible de diminuer la réduction d'épaisseur effectuée dans lesdites cages amont (1, 2), afin de réaliser un transfert de charge sur les cages placées (4, 5) en aval de ladite cage (3) la plus chargée.
- 20
6. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé par le fait que** pour diminuer la réduction d'épaisseur à réaliser par la cage la plus chargée (3), on augmente la vitesse de laminage dans la cage précédente (2) située immédiatement en amont, afin de diminuer l'épaisseur du produit (B) avant son arrivée dans la cage la plus chargée (3).
- 25
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel l'augmentation de vitesse dans la cage précédente (2) détermine une augmentation automatique de vitesse dans la cage la plus chargée (3) pouvant engendrer un défaut d'épaisseur à la sortie de l'installation pendant une période transitoire d'avance du produit de la cage précédente (2) à la cage la plus chargée (3), **caractérisé par le fait que** ce défaut d'épaisseur potentiel est compensé par anticipation en commandant une augmentation de la vitesse de laminage dans au moins une cage (1) située encore en amont de ladite cage précédente (2), de façon à réaliser un transfert de charge sur l'ensemble des cages (1, 2) placées en amont de la cage la plus chargée (3), en augmentant la réduction d'épaisseur effectuée dans chacune de celles-ci.
- 30
8. Procédé selon l'une des revendications 5 et 7, **caractérisé par le fait que** l'on réalise un suivi permanent de la variation d'épaisseur du produit au cours de son avance de la première (1) à la dernière cage (5) de l'installation, afin de commander une variation de vitesse de certaines cages susceptible de compenser un défaut d'épaisseur potentiel pendant une période transitoire correspondant au temps nécessaire à l'avance entre deux cages successives, respectivement amont et aval, de la variation d'épaisseur résultant d'une variation de vitesse de la cage amont, de façon à maintenir constante, à chaque instant, l'épaisseur (h_5) du produit à la sortie de la dernière cage (5) de l'installation.
- 35
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé par le fait que** après détection de la cage (3) la plus chargée, on combine des variations de vitesse sur les deux ensembles de cages situées respectivement en amont (1, 2) et en aval (4, 5) de la cage la plus chargée (3) en produisant un transfert de charge vers certaines cages desdits ensembles amont (1, 2) et aval (4, 5) selon la charge détectée, de façon à équilibrer les charges sur toutes les cages (1-5) de l'installation, tout en maintenant constante l'épaisseur (h_5) finale du produit (B) à la sortie de celle-ci.
- 40
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par le fait que**, après réalisation de l'équilibrage dynamique des charges appliquées sur toutes les cages (1-5), la vitesse de laminage dans l'une des cages est augmentée et le système de régulation fait varier en conséquence les vitesses des autres cages de façon à augmenter la vitesse du produit (B) à la sortie de l'installation sans perturbation de l'épaisseur finale et en maintenant l'équilibrage dynamique entre toutes les cages.
- 45
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'augmentation de la vitesse générale de l'installation
- 50
55

EP 1 466 675 B1

représente un grain pouvant aller jusqu'à 15 % de la vitesse maximale obtenue sans l'équilibrage dynamique des couples appliqués.

- 5
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les moyens d'entraînement des cylindres sont des moteurs électriques (12, 22, 32, 42, 52), **caractérisé par le fait que** le système de régulation réalise un équilibrage dynamique des courants, sans dépasser une intensité nominale dans chaque moteur.
- 10
13. Dispositif de régulation de l'épaisseur finale (h_5) d'un produit laminé (B) dans une installation de laminage en tandem comportant au moins deux cages de laminage (1-5) écartées l'une de l'autre, et déterminant chacune une partie de la réduction d'épaisseur, chaque cage comportant au moins deux cylindres de travail (T, T') définissant un entrefer de passage du produit (B), des moyens (11-51) d'application d'un effort réglable de serrage entre lesdits cylindres de travail et des moyens moteurs (12-52) d'entraînement en rotation desdits cylindres à une vitesse réglable, l'installation étant associée à un système général de contrôle des vitesses des différentes cages déterminant une augmentation progressive de la vitesse de rotation des cylindres en fonction de la variation progressive d'épaisseur d'une cage (i) à la suivante (i+1), et à un dispositif de régulation de la réduction d'épaisseur et de la tension du produit dans chaque espace (10-50) entre deux cages successives (1-5), **caractérisé par le fait que** le dispositif de régulation comporte un circuit (6, 7) en boucle fermée d'équilibrage dynamique, entre les différentes cages (1-5), des couples appliqués par les moyens moteurs (12-52) de chaque cage pour l'obtention de l'épaisseur finale souhaitée (h_5) et le maintien de celle-ci à une valeur sensiblement constante.
- 15
- 20
14. Dispositif selon la revendication 13, de régulation de l'épaisseur finale (h_5) du produit laminé (B) à la sortie d'une installation de laminage dans laquelle le système général de contrôle des vitesses est associé à un système de pré-réglage de la réduction d'épaisseur affectée à chaque cage, déterminant, pour chaque cage (1-5), une consigne de vitesse ($V_1^*-V_5^*$) à appliquer aux moyens moteurs (12-52) pour réaliser une augmentation progressive de vitesse correspondant à la variation d'épaisseur d'une cage à la suivante, **caractérisé par le fait que** le circuit (6, 7) d'équilibrage dynamique comporte des moyens de correction, sur chaque cage, de la consigne de vitesse ($V_1^*-V_5^*$) déterminée par le système de pré-réglage de façon à modifier la répartition de la réduction d'épaisseur entre les différentes cages (1-5).
- 25
- 30
15. Dispositif de régulation selon la revendication 14, **caractérisé par le fait que** le circuit d'équilibrage dynamique comporte un module (7) de contrôle des transitoires agissant en boucle fermée sur les moyens (12-52) d'entraînement des cylindres, de façon à apporter par anticipation, une correction supplémentaire à la consigne de vitesse (V_i^*) pendant une période transitoire d'avancement du produit (B) entre une cage (i) dont la consigne de vitesse (V_3^*) a été corrigée et la cage suivante (i+1).
- 35
16. Dispositif de régulation selon la revendication 15, **caractérisé par le fait que** le module (7) de contrôle des transitoires est associé à des moyens de suivi permanent de la variation d'épaisseur du produit (B) au cours de son défilement entre l'entrée et la sortie de l'installation, qui déterminent les instants du début et de la fin de la période transitoire pendant laquelle une correction supplémentaire est apportée à la consigne de vitesse (V_i^*) d'au moins l'une des cages (i).
- 40
17. Dispositif de régulation selon la revendication 16 **caractérisé en ce que** le circuit (6) d'équilibrage dynamique des courants des moteurs et le module (7) de contrôle des transitoires sont conçus avec un étage final de sortie pour le contrôle des variations des vitesses comportant un régulateur à contrôle proportionnel, intégral et différentiel.
- 45
18. Installation de laminage comportant au moins deux cages (1-5) fonctionnant en Tandem, équipées de moyens de serrage réglables (11-51) des cylindres de laminage et de moyens électriques (12-52) d'entraînement en rotation desdits cylindres de laminage et comportant des moyens de régulation de l'épaisseur de sortie du produit (B) et des tractions entre les cages un système de pré-réglage du taux de réduction d'épaisseur de chaque cage et un système général de contrôle des vitesses de l'ensemble des cages (1-5) de laminage, **caractérisé en ce qu'elle** comporte un dispositif (6, 7) selon l'une des revendications 13 à 17, de régulation de l'épaisseur finale du produit laminé par équilibrage des courants des moteurs d'entraînement des cages.
- 50
- 55
19. Installation de laminage selon la revendication 18, **caractérisée en ce que** le dispositif de régulation de l'épaisseur finale (6, 7) comporte des moyens de correction de la consigne de vitesse ($V_1^*-V_5^*$) d'au moins l'un des moteurs d'entraînement (12-52), établie par le système de pré-réglage.

Claims

- 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
1. A method for controlling the final thickness of a rolled product (B) at the outlet of a rolling mill including at least two roll stands (1-5) operating in tandem and each determining a portion of the global reduction in thickness to be carried out, by running the product between two working rolls (T, T'), each stand being associated with means (11-51) for applying an adjustable clamping load between the working rolls and driving means (12-52) for applying, to the working rolls, a rotational driving torque at an adjustable speed, the plant being associated with a general speed control system of the different stands determining gradual increase in the rotational speed of the rolls in relation to the gradual variation in thickness from one stand to the next, and to a device for controlling the reduction in thickness and in tension of the product (B) in each space (10, 20, 30, 40) between two successive stands, **characterised in that** the control device performs, in real time, dynamic balance, between the different stands (1-5), of the torques applied, in each stand, on the working rolls (T, T'), without any noticeable disturbance of the final thickness h_5 of the product (B) at the outlet of the plant.
 2. A method according to claim 1, **characterised in that** the control device controls a variation in the rolling speed in at least one of the stands (3) and modifies consequently the distribution of the reduction in thickness and the gradation of the speeds between the different stands (1-5) in order to distribute substantially equally over the driving means assembly (12-52) the load to be applied for driving the product (3) at a given speed at the outlet of the plant while maintaining the final thickness h_5 at a set speed.
 3. A method according to one of the claims 1 and 2, wherein the global reduction in thickness (h_0-h_5) to be performed between the inlet and the outlet of the plant is distributed, according to a rolling pattern, using a pre-adjustment system determining the reduction in thickness to be performed by each stand (1-5) and correlative gradation of the rotational speeds (V1-V5) of the working rolls, **characterised in that** permanently the load imposed, in each stand (1-5), to the rotational driving means (12-52) of the working rolls for obtaining the speed set by the rolling pattern is detected and the reduction in thickness provided to the most loaded stand (3) is decreased in order to obtain dynamic balance of the loads applied on the different stands.
 4. A method according to claim 3, **characterised in that**, to decrease the reduction in thickness provided to the most loaded stand, the rotational speed of the rolls of said stand is decreased with respect to the speed set by the rolling pattern.
 5. A method according to claim 4, wherein the speed reduction of the most loaded stand (3) determines an automatic reduction in speed of the following stand (4) liable to produce a potential thickness defect at the outlet of the plant during a transient period infeed of the product in the inter-stand space, **characterised in that** this potential thickness defect is compensated for by anticipation by controlling reverse variation of the speed of all the stands (1, 2) situated upstream of said most loaded stand (3), liable to decrease the reduction in thickness performed in said upstream stands (1, 2), in order to perform a load transfer on the stands provided (4, 5) downstream of said most loaded stand (3).
 6. A method according to claim 3, **characterised in that** to decrease the reduction in thickness to be performed by the most loaded stand (3), the rolling speed is increased in the previous stand (2) situated immediately upstream, in order to decrease the thickness of the product (B) before its feeding in the most loaded stand (3).
 7. A method according to claim 6, wherein the increase in speed in the previous stand (2) determines an automatic increase in the speed of the most loaded stand (3) liable to produce a potential thickness defect at the outlet of the plant during a transient period infeed of the product of the previous stand (2) at the most loaded stand (3), **characterised in that** this potential thickness defect is compensated for by anticipation while controlling an increase in the rolling speed in at least one stand (1) situated still upstream of said previous stand (2), in order to perform a load transfer on all the stands (1,2) provided upstream of the most loaded stand (3), while increasing the reduction in thickness performed in each thereof.
 8. A method according to one of the claims 5 and 7, **characterised in that** the variation in thickness of the product is monitored permanently as it progresses from the first (1) to the last stand (5) of the plant, in order to control a variation in speed of certain stands liable to compensate for a potential thickness defect for a transient period corresponding to the time necessary beforehand between two successive stands, respectively upstream and downstream, of the variation in thickness resulting from a variation in speed of the upstream stand, in order to hold constant, permanently, the thickness (h_5) of the product at the outlet of the last stand (5) of the plant.

- 5 9. A method according to claim 8, **characterised in that** after detection of the most loaded stand (3), the variations in speed are combined on both sets of stands situated respectively upstream (1, 2) and downstream (4, 5) of the most loaded stand (3) while producing a load transfer towards certain stands of said upstream (1, 2) and downstream (4, 5) sets according to the load detected, in order to balance the loads on all the stands (1-5) of the plant, while holding constant the final thickness (h_5) of the product (B) at the outlet thereof.
- 10 10. A method according to one of the previous claims, **characterised in that**, after performing dynamic balance of the loads applied on all the stands (1-5), the rolling speed in one of the stands is increased and the control system causes consequently the speeds of the other stands to vary in order to increase the speed of the product (B) at the outlet of the plant without disturbing the final thickness and while preserving dynamic balance between all the stands.
- 15 11. A method according to claim 10, **characterised in that** the increase in the overall speed of the plant represents a gain of up to 15 % of the maximum speed obtained without the dynamic balance of the torques applied.
- 20 12. A method according to one of the previous claims, wherein the driving means of the rolls are electric motors (12, 22, 32, 42, 52), **characterised in that** the control system performs dynamic balance of the currents, without exceeding a rated intensity in each motor.
- 25 13. A device for controlling the final thickness (h_5) of a rolled product (B) in a tandem rolling mill including at least two roll stands (1-5) spaced apart from one another, and determining each a portion of the reduction in thickness, each stand including at least two working rolls (T, T') delineating a gap for letting through the product (B), means (11-51) for applying an adjustable clamping load between said working rolls and driving means (12-52) for driving said rolls into rotation at an adjustable speed, the plant being associated with a general speed control system of the different stands determining gradual increase in the rotational speed of the rolls in relation to the gradual variation in thickness of a stand (i) at the next (i+1), and to a device for controlling the reduction in thickness and in tension of the product in each space (10-50) between two successive stands (1-5),
characterised in that the control device includes a closed-loop circuit (6, 7) for dynamic balancing, between the different stands (1-5), of the torques applied by the driving means (12-52) of each stand in order to obtain the final thickness desired (h_5) and to maintain the latter at substantially constant value.
- 30 14. A device according to claim 13, for controlling the final thickness (h_5) of the rolled product (B) at the outlet of a rolling mill wherein the overall speed control system is associated with a pre-adjustment system of the reduction in thickness provided to each stand, determining, for each stand (1-5), a speed setpoint ($V_1^*-V_5^*$) to be applied to the driving means (12-52) for gradual increase in speed corresponding to the variation in thickness from one stand to the next,
characterised in that the dynamic balancing circuit (6, 7) includes means for correcting, on each stand, the speed setpoint ($V_1^*-V_5^*$) determined by the pre-adjustment system in order to modify the distribution of the reduction in thickness between the different stands (1-5).
- 35 15. A control device according to claim 14, **characterised in that** the dynamic balancing circuit includes a module (7) for controlling the transients acting as a closed-loop on the driving means (12-52) of the rolls, in order to provide by anticipation, an additional correction to the speed setpoint (V_i^*) for a transient infeed period of the product (B) between a stand (i) whereof the speed setpoint (V_3^*) has been corrected and the following stand (i+1).
- 40 16. A control device according to claim 15, **characterised in that** the module (7) for controlling the transients is associated with means for permanent tracking of the variation in thickness of the product (B) when running between the inlet and the outlet of the plant, which determine the instants of the beginning and of the end of the transient period during which an additional correction is made to the speed setpoint (V_1^*) of at least one of the stands (i),
- 45 17. A control device according to claim 16 **characterised in that** the dynamic balancing circuit (6) of the currents of the motors and the module (7) for controlling the transients have been designed with a final outlet stage for controlling the variations in the speeds including a proportional, integral and differential controller.
- 50 18. A rolling mill including at least two stands (1-5) operating in tandem, fitted with means for adjustable clamping (11-51) of the rolls and with electric means (12-52) for driving said rolls into rotation and including means for controlling the thickness of outlet of the product (B) and the tractions between the stands, a pre-adjustment system of the rate of reduction in thickness of each stand and a general speed control system of all the roll stands (1-5), **characterised in that** it includes a device (6,7) according to one of the claims 13 to 17, for controlling the final thickness of the rolled product by balancing the currents of the driving motors of the stands.
- 55

19. A rolling mill according to claim 18, **characterised in that** the device for controlling the final thickness (6,7) includes means for correcting the speed setpoint ($V_1^* - V_5^*$) of at least one of said driving motors (12-52), provided by the pre-adjustment system.

5

Patentansprüche

1. Regelverfahren zum Regeln der Enddicke eines gewalzten Produkts (B) am Ausgang einer Walzanlage, die mindestens zwei Ständer (1-5) aufweist, die im Tandem funktionieren und jeweils einen Teil der durch Durchlaufen des Produkts zwischen zwei Arbeitszylindern (T, T') zu verwirklichenden globalen Dickenverringering bestimmen, wobei jeder Ständer mit Mitteln (11-51) zum Anlegen einer einstellbaren Spannkraft zwischen den Arbeitszylindern und mit Antriebsmitteln (12-52) zum Anlegen auf die Arbeitszylinder eines Drehantriebsmoments mit einer einstellbaren Drehzahl verbunden ist, wobei die Anlage mit einem allgemeinen System zum Steuern der Drehzahlen der verschiedenen Ständer verbunden ist, das eine allmähliche Steigerung der Drehzahl der Zylinder in Abhängigkeit von der allmählichen Variation der Dicke von einem Ständer zum nächsten bestimmt, und mit einer Regelvorrichtung der Dickenreduzierung und der Spannung des Produkts (B) in jedem Raum (10, 20, 30, 40) zwischen zwei aufeinander folgenden Ständern, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung in Echtzeit ein dynamisches Ausgleichen der angelegten Momente auf die Arbeitszylinder (T, T') zwischen den verschiedenen Ständern (1-5) verwirklicht, ohne die Enddicke (h5) des Produkts (B) am Ausgang der Anlage merklich zu stören.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung eine Variation der Walzdrehzahl in mindestens einem der Ständer (3) steuert und die Verteilung der Dickenverringering und Abstufung der Drehzahlen zwischen den verschiedenen Ständern (1-5) entsprechend ändert, um die Kraft, die für das Antreiben des Produkts (3) mit einer gegebenen Drehzahl am Ausgang der Anlage mit Halten der Enddicke h5 auf einem bestimmten Wert anzulegen ist, auf alle Antriebsmittel (12-52) zu verteilen.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, bei dem die globale Dickenverringering (h0-h5), die zwischen dem Eingang und dem Ausgang der Anlage auszuführen ist, gemäß einem Walzschema von einem Voreinstellsystem verteilt wird, das die von jedem Ständer (1-6) durchzuführende Dickenverringering und das korrelative Abstufen der Drehzahlen (V1-V5) der Arbeitszylinder bestimmt, **dadurch gekennzeichnet, dass** man in jedem Augenblick die Last erfasst, die in jedem Ständer (1-5) an die Mittel (12-52) zum Antreiben in Drehung der Arbeitszylinder für das Erzielen der von dem Walzschema festgelegten Drehzahl auferlegt wird, und dass man die Dickenverringering, die dem am stärksten belasteten Zylinder (3) zugewiesen ist, reduziert, um ein dynamisches Ausgleichen der Lasten auszuführen, die an die verschiedenen Ständer angelegt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** man zum Verringern der Dickenverringering, die dem am stärksten belasteten Ständer zugewiesen ist, die Drehzahl der Zylinder des Ständers im Vergleich zu der von dem Walzschema festgelegten Drehzahl verringert.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Verringerung der Drehzahl des am stärksten belasteten Ständers (3) eine automatische Verringerung der Drehzahl des nächsten Ständers (4) bestimmt der einen Dickenfehler am Ausgang der Anlage während der Vorlaufübergangsperiode des Produkts in dem Zwischenständerraum verursachen kann, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser potenzielle Dickenfehler durch Vorwegnahme ausgeglichen wird, indem eine Variation in umgekehrte Richtung der Drehzahl aller Ständer (1, 2), die stromaufwärts des am stärksten belasteten Ständers (3) liegen, gesteuert wird, die die Dickenverringering verringern kann, die von den stromaufwärtigen Ständern (1, 2) ausgeführt wird, um einen Lasttransfer auf die stromabwärtigen Ständer (4, 5) des am stärksten belasteten Ständers (3) auszuführen.
6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** man zum Verringern der von dem am stärksten belasteten Ständer (3) durchzuführenden Dickenverringering die Walzdrehzahl in dem vorhergehenden Ständer (2), der unmittelbar stromaufwärts liegt, steigert, um die Dicke des Produkts (B) vor seiner Ankunft in dem am stärksten belasteten Ständer (3) zu verringern.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Steigerung der Drehzahl in dem vorhergehenden Ständer (2) eine automatische Steigerung der Drehzahl in dem am stärksten belasteten Ständer (3) bestimmt, die einen Dickenfehler am Ausgang der Anlage während einer Vorlaufübergangsperiode des Produkts von dem vorhergehenden Ständer (2) zu dem am stärksten belasteten Ständer (3) verursachen kann, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser potenzielle Dickenfehler durch Vorwegnahme ausgeglichen wird, indem eine Steigerung der Walzdrehzahl in mindestens

einem Ständer (1), der noch stromaufwärts des vorhergehenden Ständers (2) liegt, so gesteuert wird, dass ein Lasttransfer auf die Einheit der Ständer (1, 2) ausgeführt wird, die sich stromaufwärts des am stärksten belasteten Ständers (3) befinden, indem die in jedem dieser ausgeführte Dickenverringerng gesteigert wird.

- 5 **8.** Verfahren nach einem der Ansprüche 5 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** man eine ständige Mitverfolgung der Dickenvariation des Produkts im Laufe seines Vorlaufs von dem ersten (1) zu dem letzten (5) Ständer der Anlage durchführt, um eine Drehzahlvariation bestimmter Ständer zu steuern, die einen potenziellen Dickenfehler während einer Übergangsperiode ausgleichen kann, die der Zeit für den Vorlauf zwischen zwei aufeinander folgenden Ständern jeweils stromaufwärts und stromabwärts der Dickenvariation entspricht, die sich aus einer Drehzahlvariation des stromaufwärtigen Ständers ergibt, um die Dicke (h5) des Produkts am Ausgang des letzten Ständers (5) der Anlage jederzeit konstant zu halten.
- 10
- 15 **9.** Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** man nach dem Erfassten des am stärksten belasteten Ständers (3 Drehzahlvariationen auf den zwei Ständereinheiten kombiniert, die jeweils stromaufwärts (1, 2) und stromabwärts (4, 5) des am stärksten belasteten Ständers (3) liegen, indem man einen Lasttransfer zu bestimmten Ständern der stromaufwärtigen (1, 2) und stromabwärtigen (4, 5) Einheiten gemäß der erfassten Last erzeugt, um die Lasten auf allen Ständern (1-5) der Anlage auszugleichen und gleichzeitig die Enddicke (h5) des Produkts (B) anderen Ausgang konstant zu halten.
- 20
- 25 **10.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Ausführen des dynamischen Ausgleichens der an alle Ständer (1-5) angelegten Lasten die Walzdrehzahl in einem der Ständer gesteigert wird und das Regelsystem die Drehzahlen der anderen Ständer entsprechend variieren lässt, um die Drehzahl des Produkts (B am Ausgang der Anlage ohne Stören der Enddicke und unter Beibehalten des dynamischen Ausgleichs zwischen allen Ständern zu steigern.
- 30
- 35 **11.** Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steigerung der allgemeinen Drehzahl der Anlage einen Gewinn darstellt, der bis zu 15% der maximalen Drehzahl gehen kann, die ohne dynamisches Ausgleichen der angelegten Momente erzielt wird.
- 40
- 45 **12.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Antriebsmittel der Zylinder Elektromotoren (12, 22, 32, 42, 52) sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regelsystem einen dynamischen Ausgleich der Ströme ausführt, ohne eine Nennstromstärke in jedem Motor zu überschreiten.
- 50
- 55 **13.** Vorrichtung zum Regeln der Enddicke (h5) eines gewalzten Produkts (B) am Ausgang einer Tandemwalzanlage, die mindestens zwei Ständer 1-5 aufweist, die voneinander beabstandet sind und die jeweils einen Teil der Dickenverringerng bestimmen, wobei jeder Ständer mindestens zwei Arbeitszylinder (T, T') aufweist, die einen Luftspalt zum Durchgehen des Produkts (B) definieren, Mittel (11-51) zum Anlegen einer einstellbaren Spannkraft zwischen den Arbeitszylindern und Antriebsmittel (12-52) zum Antreiben der Zylinder mit einer einstellbaren Drehzahl, wobei die Anlage mit einem allgemeinen System zum Steuern der Drehzahlen der verschiedenen Ständer verbunden ist, das eine allmähliche Steigerung der Drehzahl der Zylinder in Abhängigkeit von der allmählichen Dickenvariation von einem Ständer (i) zum nächsten (i+1) bestimmt, und mit einer Regelvorrichtung zum Reduzieren der Dicke und der Spannung des Produkts (B) in jedem Raum (10-50) zwischen zwei aufeinander folgenden Ständern (1-5), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung einen Schaltkreis (6, 7) in geschlossener Schleife zum dynamischen Ausgleichen zwischen den verschiedenen Ständern (1-5) der Momente aufweist, die von den Antriebsmitteln (12-52) jedes Ständers zum Erzielen der gewünschten Enddicke (h5) und zum Beibehalten dieser auf einem im Wesentlichen konstanten Wert angelegt werden.
- 60
- 65 **14.** Vorrichtung nach Anspruch 13 zum Regeln der Enddicke (h5) des gewalzten Produkts (B) am Ausgang einer Walzanlage, bei der das allgemeine System zum Steuern der Drehzahlen mit einem Voreinstellsystem der Dickenverringerng, die jedem Ständer zugewiesen ist, verbunden ist, das für jeden Ständer (1-5) einen Sollwert (V1*-V5*) bestimmt, der an die Antriebsmittel (12-52) anzuwenden ist, um eine allmähliche Steigerung der Drehzahl herzustellen, die der Dickenvariation von einem Ständer zum nächsten entspricht, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaltkreis (6, 7) zum dynamischen Ausgleichen Mittel aufweist, um auf jedem Ständer den Drehzahlsollwert (V1*-V5*) zu korrigieren, der von dem Voreinstellsystem bestimmt wird, so dass die Verteilung der Dickenverringerng auf die verschiedenen Ständer (1-5) geändert wird.
- 70
- 75 **15.** Regelvorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaltkreis zum dynamischen Ausgleichen ein Steuermodul (7) der Transienten aufweist, die in der geschlossenen Schleife auf die Antriebsmittel (12-52)

EP 1 466 675 B1

der Zylinder einwirken, um durch Vorwegnahme eine zusätzliche Korrektur des Drehzahlsollwerts ($V1^*-V5^*$) während einer vorübergehenden Vorlaufperiode des Produkts (B) zwischen einem Ständer (i), dessen Drehzahlsollwert ($V3^*$) korrigiert wurde, und dem darauf folgenden Ständer (i+1) vorzunehmen.

- 5
16. Regelvorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuermodul (7) der Transienten mit Mitteln zum ständigen Überwachen der Dickenvariation des Produkts (B) im Laufe des Durchlaufens zwischen dem Eingang und dem Ausgang der Anlage verbunden ist, die die Augenblicke des Anfangs und des Endes der Übergangsperiode bestimmen, während welcher eine zusätzliche Korrektur an dem Drehzahlsollwert ($V1^*$) mindestens eines der Ständer (i) vorgenommen wird.
- 10
17. Regelvorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaltkreis (6) zum dynamischen Ausgleichen der Ströme der Motoren und das Modul (7) zum Steuern der Transienten mit einer Ausgangsendstufe für das Steuern der Drehzahlvariationen konzipiert sind, die einen Regler mit integraler und differenzieller Proportionalsteuerung aufweist.
- 15
18. Walzanlage mit mindestens zwei Ständern (1-5) im Tandembetrieb, ausgestattet mit einstellbaren Spannmitteln (11-51) der Walzzylinder und mit elektrischen Mitteln (12-52) zum Antreiben der Walzzylinder in Drehung und Mitteln zum Regeln der Ausgangsdicke des Produkts (B) und der Züge zwischen den Ständern eines Voreinstellsystems der Dickenverringerrate jedes Ständers und einem allgemeinen Steuersystem der Drehzahlen aller Walzständer (1-5), **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Vorrichtung (6, 7) gemäß einem der Ansprüche 13 bis 17 zum Regeln der Enddicke des gewalzten Produkts durch Ausgleichen der Ströme der Antriebsmotoren der Ständer aufweist.
- 20
19. Walzanlage nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (6, 7) der Enddicke Mittel zum Korrigieren des Drehzahlsollwerts ($V1^*-V5^*$), der von dem Voreinstellsystem erstellt wird, mindestens eines der Antriebsmotoren (12-52), aufweist.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

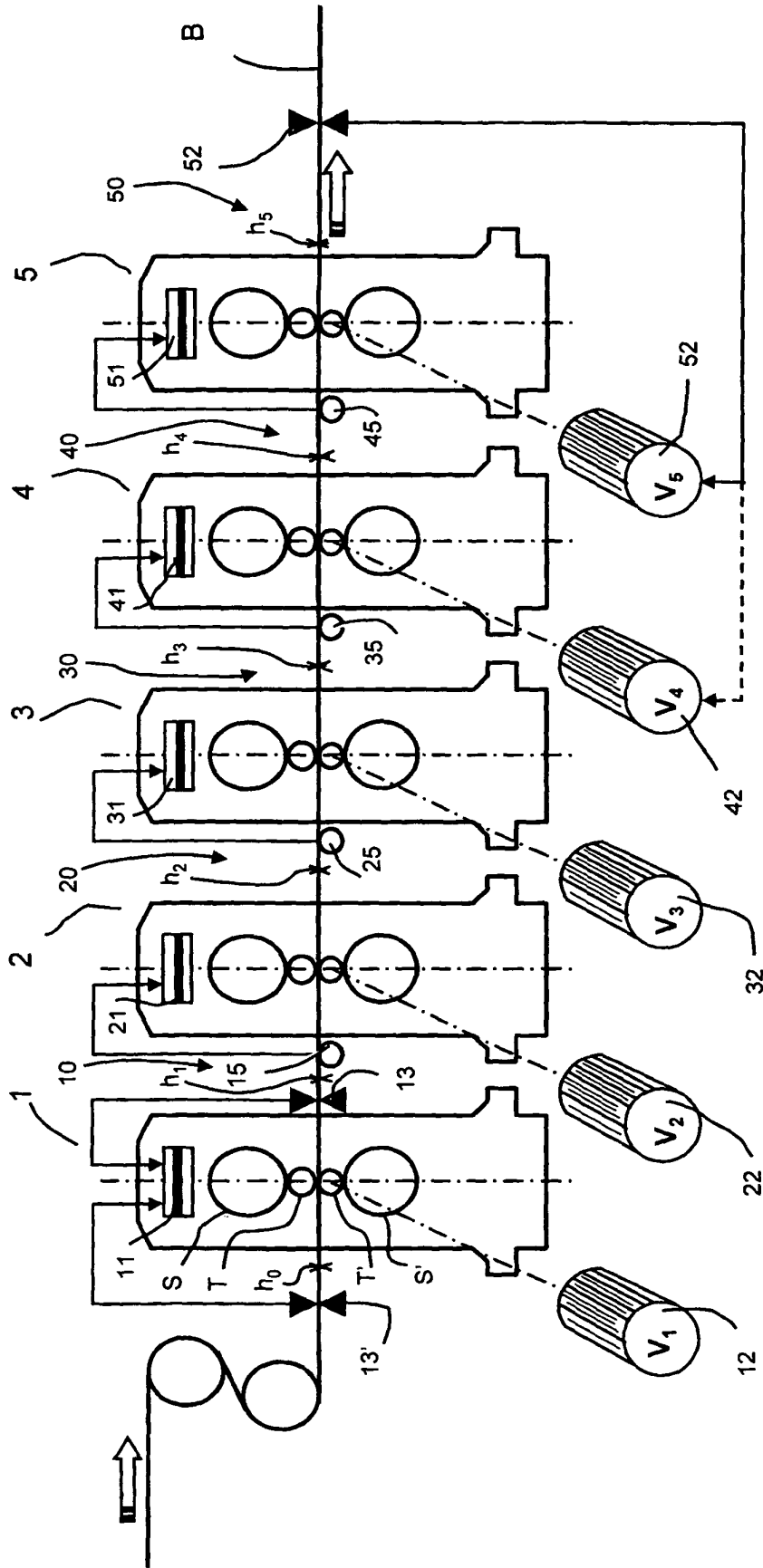


FIGURE 1

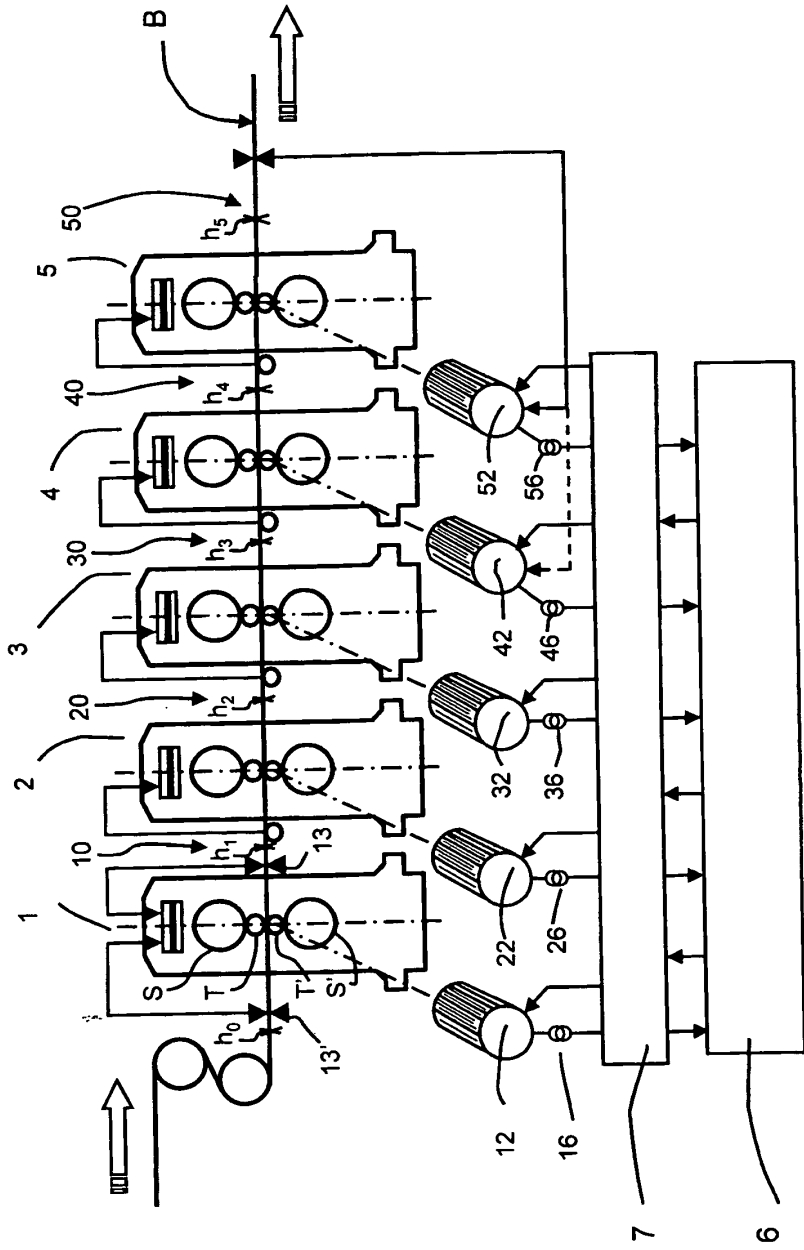


FIGURE 2

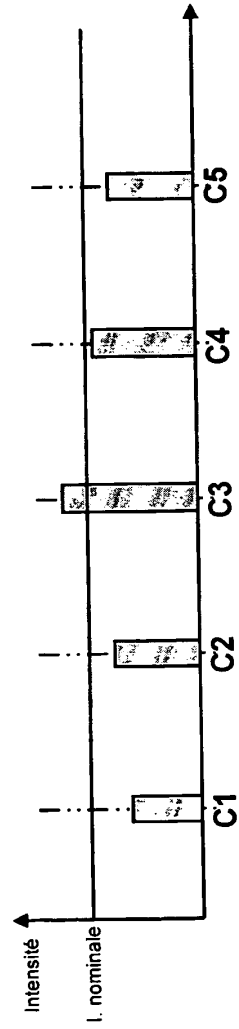


FIGURE 3