



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 020 240 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
19.07.2000 Bulletin 2000/29

(51) Int. Cl.⁷: **B21B 37/52**

(21) Numéro de dépôt: **00400038.6**

(22) Date de dépôt: **10.01.2000**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **11.01.1999 FR 9900181**

(71) Demandeur: **Alstom
75116 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Schwedt, Joseph
90 000 Belfort (FR)**

(74) Mandataire: **Gosse, Michel
ALSTOM Technology - C.I.P.D.
5, Avenue Newton
92142 Clamart Cedex (FR)**

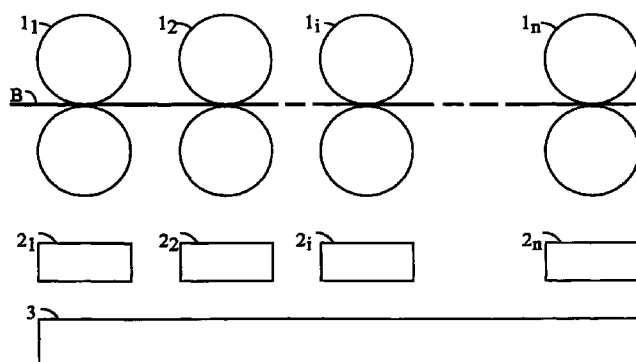
(54) **Procédé de régulation des tractions/compressions dans un laminoir multicage à chaud et système de commande correspondant**

(57) La valeur de couple de laminage est mesurée pour chaque cage ($1_1, 1_2, 1_i, 1_n$) traversée par un produit métallique (B) au moment où ce produit va atteindre la cage suivante et alors que la cage pour laquelle la mesure est effectuée est commutée en régulation de couple. La dernière cage atteinte par le produit demeure en régulation de vitesse et agit en tant que cage pilote vis-à-vis de toute autre cage située en

amont, pour permettre à celle-ci de conserver un couple égal à son couple de référence par une adaptation de sa vitesse.

Lorsque les mesures de couple de référence ont été mémorisées dans le système de commande (2,3) la régulation est obtenue par exploitation d'une clé de répartition des contraintes entre cages.

FIGURE UNIQUE



EP 1 020 240 A1

Description

[0001] L'invention concerne essentiellement un procédé de régulation pour laminoir multicage à chaud et notamment pour laminoir multicage dépourvu de capteurs de force. Ce procédé est plus particulièrement destiné à éliminer les contraintes parasites de traction/compression auxquelles est soumis un produit, de type barre, tôle ou profilé métallique, en cours de laminage.

[0002] Comme il est connu, les opérations de laminage conduisent inévitablement à l'apparition de variations plus ou moins importantes des grandeurs qui sont liées à la déformation du métal laminé. Ceci est notamment la conséquence du fait que les forces et couples de laminage, la température du produit laminé et les coefficients de frottement ne restent pas rigoureusement constants lors du laminage. Les imprécisions dues à la conduite du processus de laminage ne peuvent être complètement éliminées et il y a, par exemple, de petites variations des vitesses instantanées. Il y a aussi des perturbations qui sont dues à des oscillations occasionnées par des imperfections de la chaîne cinématique propre au laminoir ou encore à une usure des outils mis en oeuvre.

[0003] Les variations des grandeurs de laminage et les variations dimensionnelles du produit en entrée de laminoir contribuent à la détérioration des attributs dimensionnels du produit fini. Toutes ces perturbations ont pour conséquence le non-respect des consignes de traction imposées par le schéma de laminage pour les différentes cages d'un laminoir. Ce non-respect se traduit par la présence de contraintes de traction ou de compression dans les parties de produit alors situées dans les intercages.

[0004] L'apparition d'une traction ou d'une compression dans un produit en prise dans plusieurs cages successives d'un train continu a notamment lieu lors de l'engagement du produit dans une des cages, lorsque le prééclage en vitesse de cette cage est imparfait. Le produit présent dans un intercage donné travaille en traction, si la cage en aval tend à tirer la cage en amont; elle travaille en compression, si la cage en amont tend à pousser la cage en aval par son intermédiaire. La différence entre les vitesses d'un produit en sortie d'une cage amont $V_{s_{n-1}}$ et en entrée de la cage aval suivante V_{e_n} donne naissance à une contrainte $\Delta\tau$ exprimée par la loi de Hooke, qui est telle que définie ci-dessous :

$$\Delta\tau = \frac{E[(V_{e_n} - V_{s_{n-1}}) dt]}{L}$$

où $\Delta\tau$ est la variation de contrainte de traction ou de compression subie par le métal entre les deux cages, où L représente la distance entre ces cages et où E est le module de Young.

[0005] Lorsqu'un déséquilibre existe entre les vitesses de sortie $V_{s_{n-1}}$ de la cage d'amont identifiée n-1 et d'entrée V_{e_n} de la cage identifiée n qui lui succède, il se produit une modification de contrainte du métal dans l'intercage et un déplacement du point de fonctionnement des deux cages vers un point d'équilibre pour lequel le débit de sortie de la cage amont est égal au débit d'entrée de la cage qui la suit. Comme il est connu cette modification se traduit par des modifications d'épaisseur du métal laminé et des variations de glissement des deux cages concernées. Un phénomène d'auto-stabilisation du processus de laminage apparaît, il se fait au détriment des tolérances dimensionnelles du produit et du profil recherché.

[0006] L'apparition d'efforts de traction ou de compression dans un produit en prise dans plusieurs cages successives, en cours de laminage, a lieu aussi lorsque le produit n'est pas totalement homogène sur toute sa longueur et lorsqu'il présente des variations de section et/ou de dureté qui sont liées, par exemple, à des variations de température.

[0007] Ainsi, une variation de dureté dans un produit, à l'entrée d'une cage n-1, provoque une variation de section en sortie de cette cage et une variation du glissement aval, ce qui conduit à une modification du débit de métal en sortie de la cage.

[0008] Pour remédier à ces inconvénients, il existe des systèmes de commande appliqués aux laminoirs multicages qui comportent des moyens destinés à contrôler les tractions dans les différents intercages par une régulation individuelle du rapport couple de laminage/ force de laminage cage par cage. Cette régulation implique la présence de capteurs et notamment de capteurs de force de laminage qui sont coûteux, difficiles à installer et à maintenir, et qui constituent potentiellement des sources de pannes. De plus cette solution, nécessitant la présence de capteurs, n'est pas toujours applicable, notamment dans le cas de trains de laminage à barres ou poutrelles où de tels capteurs sont rarement installés.

[0009] L'invention propose donc un procédé d'estimation, et de régulation des tractions/compressions dans un laminoir multicage travaillant des produits métalliques à chaud.

[0010] Selon une caractéristique de l'invention, à partir d'une situation initiale où à l'occasion du passage d'un produit par les différentes cages du train, il est mémorisé à titre de référence la valeur de couple mesurée pour chaque cage traversée par le produit, au moment où ce produit va atteindre la cage suivante en aval et alors que la cage pour

laquelle la mesure est effectuée a été commutée de régulation de vitesse en régulation de couple. La dernière cage dans lequel le produit est entré agit en tant que cage pilote de vitesse vis-à-vis de toute autre cage, située en amont, pour permettre à celle-ci de conserver un couple égal à son couple de référence par une adaptation de sa vitesse.

[0011] Une réactualisation permanente de l'estimation du couple de traction et couple de laminage à traction nulle est effectuée pour chaque cage et l'estimation des tractions intercages permet une régulation de ces dernières à des niveaux prédéfinis dans un schéma de laminage. Ceci permet de viser un laminage avec des tractions intercages minimales, comme préconisé par de nombreux exploitants de laminoirs.

[0012] Selon une caractéristique de l'invention, à partir du moment où les mesures de couple de référence ont été mémorisées en tant que valeurs de référence de laminage, il est exploité une clé de répartition des contraintes de traction entre cages du train telle que:

$$\Delta C_{T,i} = \Delta C_i \cdot \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i} S_0 \frac{R_i}{r_i}$$

où $\Delta C_{T,i}$ correspond, suivant son signe, à la variation de contrainte de traction ou compression pour la cage de rang i parmi les n cages du train,

où R_i et r_i sont le rayon de travail et le rapport de réduction pour la cage de rang i,

où S_0 correspond à la somme des variations du couple résistant mesuré (ΔC_i) ramenées au niveau de la mécanique ($\Delta C_i \cdot r_i$) et divisées par le bras de levier

$$\left(\frac{\Delta C_i \cdot r_i}{R_i} \right),$$

ΔC_i étant la variation du couple résistant C_i par rapport au couple de référence mémorisé pour la cage de rang i, avec λ_i égal à zéro, soit si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est négatif, soit si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors qu'il s'agit de la première cage et que la variation de couple résistant mesuré ΔC_1 , décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage, dépasse un seuil paramétrable, soit encore si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors que la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est supérieure à un second seuil paramétrable et que la variation de ce couple résistant mesuré ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est inférieure à un troisième seuil paramétrable;

ou λ_i égal à ΔC_i , si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors qu'il s'agit de la première cage et que la variation de couple résistant mesuré ΔC_i décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage, est inférieure à un quatrième seuil paramétrable, ou soit encore qu'il s'agit d'une autre cage et que, soit la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est inférieure à un cinquième seuil paramétrable, soit cette variation de couple ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est supérieure à un sixième seuil paramétrable.

[0013] L'invention propose aussi un système de commande pour laminoir multicage, travaillant des produits métalliques à chaud, dont les cages sont contrôlées par des unités de commande, à logique programmée, placées sous le contrôle d'au moins une unité de supervision commune, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens matériels et logiciels permettant d'assurer la mise en oeuvre du procédé tel que défini ci-dessus.

[0014] L'invention, ses caractéristiques et ses avantages sont précisés dans la description qui suit en liaison avec la figure évoquée ci-dessous.

[0015] La figure unique présente un schéma de principe d'un laminoir multicage.

[0016] Le laminoir schématisé sur la figure unique est supposé être un laminoir à chaud pour transformation de produits métalliques B. C'est par exemple un train à fil, à profilé ou barre, ou encore à bande ou plaque. Ce train est classiquement composé d'une pluralité de cages 1 successives représentées par une cage d'entrée de train 1_1 et une cage de sortie de train 1_n entre lesquelles sont figurées deux des cages intermédiaires 1_2 et 1_i , ces cages étant symbolisées par leurs paires de cylindres respectives.

[0017] Comme connu, les cylindres des cages sont entraînés par des moteurs électriques qui sont pilotés chacun par une unité de commande 2, telles les unités 2_1 , 2_2 , 2_i et 2_n . Ces unités sont elles-mêmes comprises dans un système de commande où elles sont sous le contrôle d'au moins une unité de supervision 3. Les unités de commande et de supervision sont ici supposés de type logique programmée et organisées autour de processeurs auxquels sont associées diverses mémoires et des interfaces spécialisées, notamment pour la commande des cages et pour l'exploitation du laminoir par le personnel exploitant. La structure et les fonctions respectives de ces éléments constitutifs combinant des moyens matériels et logiciels qui sont bien connus de l'homme de métier, ne sont développées ici que pour les parties qui ont un rapport direct avec l'objet de l'invention.

[0018] Comme indiqué plus haut, le procédé selon l'invention a pour objet d'éliminer de manière coordonnée les contraintes parasites de traction/compression par action au niveau des moteurs des cages du laminoir en prenant comme référence les couples développés par les différentes cages en vue d'obtenir un état dit de traction minimale au niveau du produit laminé lors du passage de ce produit par chacune des cages.

5 [0019] Le contrôle de traction minimale sur un train continu à un double intérêt, il permet de maintenir une contrainte minimale constante au niveau du produit ce qui en améliore la qualité, il permet aussi de réduire les phases de réglage des cages et donc d'éviter les déclassements des premiers produits. Il doit être réalisé tant à l'engagement du produit dans une cage que sur toute la longueur du produit.

[0020] Le contrôle de traction minimale à l'engagement est ici basé sur l'utilisation d'un dispositif à mémoire de couple qui suppose connue la valeur du couple de laminage C_L .

10 [0021] Comme il est connu, cette valeur peut être établie en exploitant la relation:

$$J \frac{d\omega}{dt} = K \cdot \Phi \cdot I - C_L - C_P$$

15 où I est le courant d'induit du moteur de cage, Φ est l'induction dans ce moteur, ω la vitesse de rotation, J l'inertie ramenée à l'arbre moteur, K le coefficient de couple et C_P le couple de pertes mécaniques.

20 [0022] L'induction dans le moteur est reconstituée à partir de la mesure de la vitesse de rotation ω du moteur. Le couple de laminage s'écrit:

$$C_L = \frac{\omega_{base}}{\max(\omega, \omega_{base})} \frac{C_N}{I_N} I - J \frac{d\omega}{dt} - C_P$$

25 où C_N et I_N représentent respectivement le couple nominal et le courant nominal du moteur. Le calcul en temps réel du couple de laminage d'une cage peut être réalisé dans le variateur de vitesse ici supposé inclus dans l'unité de commande de cette cage. Il est alors obtenu à partir de la référence de couple C_m obtenue en sortie d'étage de vitesse et de la mesure de vitesse.

[0023] Le couple de laminage C_L est alors calculé de la façon suivante:

$$35 \quad C_L = C_M - J \cdot \frac{d\omega}{dt} - C_P$$

[0024] Un filtrage réalisé sur la référence de couple permet une mise en phase des signaux de couple et de vitesse afin d'améliorer la détermination du couple de laminage.

[0025] Un exemple de dispositif à mémoire de couple est décrit ici en relation avec les deux premières cages du train schématisé sur la figure unique. Ce dispositif agit à partir d'une situation initiale où les moteurs de ces deux cages sont régulés en vitesse, cette régulation étant réalisée de manière classique, par exemple à l'aide d'un variateur de vitesse de type SYCONUM de la demanderesse.

45 [0026] Une mesure du couple de laminage de la cage 1₁ est effectuée juste avant l'engagement dans la cage 1₂ d'un produit en cours de laminage dans la cage 1₁. Il n'y a alors aucune traction ou compression en amont ou en aval de la cage 1₁. La valeur de couple ainsi déterminée est alors mémorisée en tant que valeur de référence initiale pour la période postérieure du laminage.

[0027] Suite à cette mesure et à la mise en mémoire correspondante, le moteur de la cage 1₁ est commuté de régulation de vitesse en régulation de couple. Dès que le produit est engagé dans la cage 1₂, celle-ci, régulée en vitesse, agit alors comme cage pilote vis-à-vis de la cage 1₁ qui s'adapte en vitesse de manière à conserver son couple égal à son couple de référence.

50 [0028] La détection de la présence d'un produit dans une cage est indiquée par la présence d'un signal dit de produit en cage. Ce signal est élaboré dans le variateur de vitesse d'une cage, d'une part, en l'absence de transitoire de vitesse, lorsque le couple de laminage instantané est supérieur à une valeur de seuil fixe ou éventuellement établie en fonction du produit à laminier, et, d'autre part, lorsque le couple de laminage instantané est supérieur à un seuil depuis un temps déterminé, alors qu'un transitoire de vitesse est en cours.

[0029] La synchronisation ainsi réalisée entre les deux cages permet d'assurer une absence de contrainte dans

l'intercage, après un phénomène transitoire du aux inerties mécaniques.

[0030] Elle est obtenue par prise en compte de paramètres électriques classiquement mesurés au niveau des alimentations des moteurs des cages. Ceci évite donc les problèmes de mise en oeuvre et de stabilité classiquement liés aux capteurs, lorsque ceux-ci sont présents.

5 **[0031]** Le dispositif présente une grande sensibilité dans la mesure où les variations de traction qui se produisent en aval d'une cage, se traduisent par d'importantes variations du couple de laminage au niveau de cette cage.

[0032] A partir du moment où une absence de traction est obtenue dans l'intercage entre les deux premières cages, il est possible de répéter l'opération pour la troisième puis successivement pour toutes les cages suivantes du laminoir. Chaque cage devient tour à tour pilote pour les cages situées en amont, jusqu'au moment où le pilotage est
10 pris en main par la cage suivante.

[0033] Il est également envisageable d'utiliser un tel dispositif à mémoire de couple, lorsqu'il est prévu qu'un produit soit soumis à une traction ou une compression déterminée dans un intercage, en modifiant la valeur de couple $C_{O,i}$ mémorisée pour une cage 1_i juste avant l'impact du produit dans la cage 1_{i+1} en lui ajoutant le couple de traction ou de compression souhaité.

15 **[0034]** $C_{O,i}$ devient

$$C_{O,i} + T_{i,i+1} \cdot \frac{R_i}{r_i}$$

20

où $T_{i,i+1}$ est la valeur de la traction ou compression intercage suivant qu'elle est positive ou négative et où R_i et r_i sont le rayon de travail et le rapport de réduction de la cage 1_i .

[0035] Il est aussi prévu de mettre en mémoire, la correction de vitesse apportée par le dispositif de mémoire de couple pour une cage, lors du laminage d'un produit, à partir de la valeur de référence initiale fixée par l'opérateur ou le schéma de laminage, de manière à corriger cette valeur de référence pour le produit suivant à laminer, si les produits sont homogènes entre eux. Ceci permet un auto-apprentissage pour les différentes cages du train à partir de corrections réalisées en phase de début de laminage.

25 **[0036]** Toutefois, l'utilisation du dispositif de mémoire de couple en phase d'engagement n'est préférablement pas conservée sous cette forme pour la suite de l'opération de laminage de manière à éviter que toute variation de couple ne soit considérée comme une variation de traction intercage.

[0037] Ainsi, toutes les cages en charge, à l'exception de la dernière qui est pilote de vitesse, sont régulées en couple, mais ce n'est pas le couple résistant qui est maintenu constant comme pendant la phase d'engagement. En effet, seule la part de couple correspondant au couple de traction de la cage est régulée. Une caractéristique de l'invention
30 est de fournir les moyens d'estimer les différentes tractions intercages avec une bonne précision. Le niveau de traction régulé correspond généralement à un niveau proche de zéro ou de non-traction, mais il peut également correspondre à tout autre niveau souhaité

[0038] Le passage de la phase d'engagement à la phase de laminage normal se fait, pour la cage i , dès que le produit entre dans la cage $i+1$ et que le couple résistant de cette dernière est stable, le transitoire d'impact étant terminé.

40 **[0039]** Il est à noter que la dernière cage en charge dans un train est exploitée en tant que cage pilote de vitesse pour toute cage située en amont dans le laminoir. Toute variation de vitesse se produisant à son niveau doit donc se reporter en cascade sur toute cage placée en amont et ceci est ici réalisé par un dispositif de régulation des rapports de vitesse entre cages.

[0040] Ce dispositif a pour objet de contrôler le débit du train au droit de chaque cage pendant les phases d'engagement du produit et d'accélération globale du train, il est destiné à assurer la constance du rapport des vitesses de rotation de deux cages successives, telles 1_i et 1_{i+1} , par action sur celle de ces cages qui est en amont de l'autre.

[0041] A cet effet, le dispositif de régulation des rapports de vitesse met en mémoire, à titre de valeur de référence, le rapport de vitesses de rotation $(\omega_{i-1}/\omega_i)_0$ pour les cages 1_{i-1} et 1_i , quand la cage 1_i est commutée en régulation de couple, juste avant que le produit en cours de laminage arrive à l'entrée de la cage 1_{i+1} afin de pouvoir exploiter ultérieurement cette valeur de référence, au cours du laminage.

50 **[0042]** La cage 1_i s'auto-adapte en vitesse à l'engagement du produit en cours de laminage dans la cage 1_{i+1} grâce à la régulation de couple et elle déclenche une correction de la vitesse de la cage 1_{i-1} , située en amont, d'une valeur

55

$$\Delta V_{i-1} = \left(\frac{\omega_{i-1}}{\omega_i} \right)_0 \cdot \Delta V_i$$

[0043] Toutes les cages du laminoir qui sont situées en amont se synchronisent alors successivement sous l'effet

des régulations de rapport des vitesses spécifiques à chaque entraînement.

[0044] En phase de laminage normal le principe est exactement le même. La traction entre les cages i et i+1 est régulée par action sur la vitesse du moteur de la cage i et, comme précédemment, toutes les cages du laminoir en amont se synchronisent alors successivement sous l'effet des régulations de rapport des vitesses spécifiques à chaque entraînement.

[0045] L'algorithme permettant d'estimer toutes les tractions intercages découlent du raisonnement suivant :

[0046] On suppose d'abord qu'il n'y a pas de contrainte de traction ou compression dans le produit en entrée de la cage d'entrée 1_i et en sortie de la cage de sortie 1_n du laminoir et l'on suppose que les couples de laminage à traction nulle sont constants et que les variations de couple résistant au droit de chaque cage ne sont dues qu'aux variations des couples de traction intercage. Il est alors possible de définir les relations suivantes pour les différentes cages d'un laminoir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta C_1 = -\frac{T_1 \cdot R_1}{r_1} \\ \Delta C_2 = -\frac{T_2 \cdot R_2}{r_2} + \frac{T_1 \cdot R_2}{r_2} \\ \Delta C_i = -\frac{T_i \cdot R_i}{r_i} + \frac{T_{i-1} \cdot R_i}{r_i} \\ \Delta C_n = \quad \quad \quad + \frac{\Delta T_{n-1} \cdot R_n}{r_n} \end{array} \right.$$

où ΔC_i est la variation du couple résistant par rapport au couple mémorisé pour la cage 1_i, T_i étant la traction ou la compression intercage suivant son signe, R_i et r_i étant le rayon de travail et le rapport de réduction pour cette cage 1_i.

[0047] Ces relations permettent d'établir l'équation suivante:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i \cdot r_i}{R_i} = (0 - T_1) + (T_1 - T_2) + \dots + (T_{i-1} - T_i) + \dots + (\Delta T_{n-2} - \Delta T_{n-1}) + (\Delta T_{n-1} - 0) = 0$$

[0048] Le couple de laminage pour une cage, tel qu'indirectement mesuré à partir du couple moteur de cette cage, est constitué de deux composantes qui correspondent respectivement au couple de laminage à traction nulle et au couple de traction ou de compression. Il peut être exprimé par l'équation:

$$C_L = C_{L,O} + (T_{\text{entrée}} - T_{\text{sortie}}) \frac{R}{r}$$

où C_L est le couple de laminage ramené au moteur de cage, où $C_{L,O}$ est le couple de laminage à traction nulle ramené au moteur et où $T_{\text{entrée}}$ et T_{sortie} sont respectivement la traction ou la compression intercage en entrée et en sortie de la cage considérée.

[0049] La première des deux composantes correspond au couple à fournir par le moteur d'une cage en l'absence de traction ou de compression en amont et en aval de la cage. La seconde de ces composantes a pour effet d'augmenter ou de diminuer le couple à fournir par le moteur de la cage considérée, suivant le cas.

[0050] Lorsque aux variations des contraintes de traction ou compression intercages s'ajoutent des variations de dureté ou de température du produit en cours de laminage ou encore des écarts dimensionnels au niveau de ce produit, les relations précédemment définies deviennent:

$$\begin{aligned} \Delta C_1 &= \Delta C_{L,0,1} - \frac{T_1 \cdot R_1}{r_1} \\ \Delta C &= \Delta C_{L,0} - \frac{T \cdot R}{r} + \frac{T_1 \cdot R}{r} \\ \Delta C &= \Delta C_{L,0} - \frac{T \cdot R}{r} + \frac{\Delta T_1 \cdot R}{r} \\ \Delta C_n &= \Delta C_{L,0,n} + \frac{T_{n-1} \cdot R_n}{r_n} \end{aligned}$$

[0051] Ces relations conduisent à l'équation°:

$$\Delta C \frac{r}{R} \Delta C \frac{r}{R} S$$

mesuré ΔC_i décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage dépasse un seuil paramétrable, soit encore si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors que la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est supérieure à un second seuil paramétrable et que cette variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est inférieure à un troisième seuil paramétrable;

- λ_i est égal à ΔC_i , si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors qu'il s'agit de la première cage et que la variation de couple résistant mesuré ΔC_i décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage est inférieure à un quatrième seuil paramétrable, ou soit encore qu'il s'agit d'une autre cage et que, soit la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est inférieure à un cinquième seuil paramétrable, soit cette variation de couple ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est supérieure à un sixième seuil paramétrable.

[0052] La clé de répartition au niveau des cages d'un laminoir multicage peut donc être écrite sous la forme suivante dans le cas des variations de couple de laminage à traction nulle $\Delta C_{L,0,i}$:

$$\sum_{i=1}^n \Delta C_{L,0,i} \frac{r_i}{R_i} = \beta \cdot S_0 \sum \lambda_i = S_0$$

$$\text{d'où } \beta = \frac{1}{\sum \lambda_i}$$

[0053] Cette forme convient bien, quels que soient les niveaux de couple des cages. La clé de répartition au niveau des cages d'un laminoir multicage dans le cas des variations liées aux contraintes de traction $\Delta C_{T,i}$ est telle que:

$$\Delta C_{T,i} = \Delta C_i - \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i} S_0 \frac{R_i}{r_i}$$

et l'on a toujours

$$\sum \frac{r_i}{R_i} \Delta C_{T,i} = 0$$

[0054] Il est donc possible d'estimer les parts respectives des tractions amont et aval dans le couple total de traction du moteur d'une cage pour chacune des cages en partant de la cage de sortie 1_n du laminoir et en remontant cage par cage vers la cage d'entrée 1_1 . Cette estimation s'établit alors au moyen des relations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta C_{T,n} = \frac{T_n - 1 \cdot R_n}{r_n} \\ \Delta C_{T,n-1} = \frac{T_n - 2 \cdot R_{n-1}}{r_{n-1}} - \frac{T_n - 1 \cdot R_{n-1}}{r_{n-1}} \end{array} \right.$$

$$\Delta C_{T,1} = - \frac{T_1 \cdot R_1}{r_1}$$

[0055] Les efforts de traction et/ou de compression intercages T_i peuvent être déterminés à partir des relations précédemment définies.

[0056] Le système de commande utilisé est un système entièrement numérique où toutes les tractions intercages sont périodiquement calculées à la période d'échantillonnage du système.

[0057] Ainsi à l'instant $t=n.T$ où T est la période d'échantillonnage et où n est l'indice de l'échantillon, on peut écrire:

$$C_{mem,i}(n) = C_{mem,o,i} + \sum_{j=1}^n \Delta C_{L,o,i}(j)$$

où $C_{mem,o,i}$ représente le couple de référence mémorisé à l'instant $t=0$ équivalent au couple de laminage à traction nulle à l'engagement de la cage i .

$C_{mem,i}(n)$ est le couple mémorisé de la cage i à l'instant $n.T$.

$\Delta C_{L,o,i}(j)$ représente la variation de couple de laminage à traction nulle de la cage i à l'instant $t=j.T$ par rapport à l'instant précédent $(j-1).T$.

$\Delta C_i(n)$ qui est la variation du couple de laminage de la cage i par rapport au couple mémorisé à l'instant précédent s'écrit alors:

$$\Delta C_i(n) = \Delta C_{L,o,i}(n) + \Delta C_{T,i}(n) = C_i(n) - C_{mem,i}(n-1)$$

où $C_i(n)$ est le couple de laminage de la cage i à l'instant $n.T$.

[0058] Les couples $C_{mem,i}$ et les variations de couple ΔC_i sont calculés à chaque instant d'échantillonnage comme indiqué ci-dessus.

[0059] Le calcul des variations de couple $\Delta C_{L,o,i}$ et $\Delta C_{T,i}$ se fait alors conformément à l'algorithme décrit précédemment en utilisant la clé de répartition.

[0060] Il est fondamental de noter qu'une caractéristique de l'invention est de réactualiser en permanence le couple de référence mémorisé $C_{mem,i}$ qui représente en fait le couple de laminage à traction nulle de la cage i tel qu'il évolue en cours de laminage.

[0061] Les couples de traction intercages sont donc régulés et il n'y a par contre pas de régulation au niveau des couples résistants totaux des cages. Un défaut, telle une variation de dureté ou une variation dimensionnelle de produit, se traduisant par un échelon de couple résistant lorsque ce défaut est dans une cage conduira le système de com-

mande mettant en oeuvre le procédé selon l'invention à tendre à annuler les variations de contraintes de traction/compression intercages qui apparaîtront inmanquablement en raison des modifications de la section du produit en sortie de cage et du glissement aval au niveau de cette cage. Des corrections en cascade sont ainsi réalisées de cage à cage.

5 Revendications

1. Procédé de régulation des tractions/compressions dans un laminoir multicage travaillant des produits métalliques à chaud caractérisé en ce qu'à partir d'une situation initiale où à l'occasion du passage d'un produit par les différentes cages du train, il est mémorisé à titre de référence la valeur de couple mesurée pour chaque cage traversée par le produit au moment où ce produit va atteindre la cage suivante en aval, et alors que la cage pour laquelle la mesure est effectuée a été commutée de régulation de vitesse en régulation de couple et en ce que la dernière cage dans laquelle le produit est entré agit en tant que cage pilote de vitesse vis-à-vis de toute autre cage, située en amont, pour permettre à celle-ci de conserver un couple égal à son couple de référence par une adaptation de sa vitesse.

2. Procédé de régulation, selon la revendication 1, dans lequel à partir du moment où les mesures de couple de référence ont été mémorisées en tant que valeurs de référence de laminage, il est exploité une clé de répartition des contraintes de traction entre cages du train telle que:

$$\Delta C_{T,i} = \Delta C_i - \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i} S_0 \frac{R_i}{r_i}$$

où $\Delta C_{T,i}$ correspond, suivant son signe, à la variation de contrainte de traction ou compression pour la cage de rang i parmi les n cages du train,

où R_i et r_i sont le rayon de travail et le rapport de réduction pour la cage de rang i,

où S_0 correspond à la somme des variations du couple résistant mesuré (ΔC_i) ramenées au niveau de la mécanique ($\Delta C_{i,r_i}$) et divisées par le bras de levier

$$\left(\frac{\Delta C_i \cdot r_i}{R} \right),$$

ΔC_i étant la variation du couple résistant C_i par rapport au couple de référence mémorisé pour la cage de rang i,

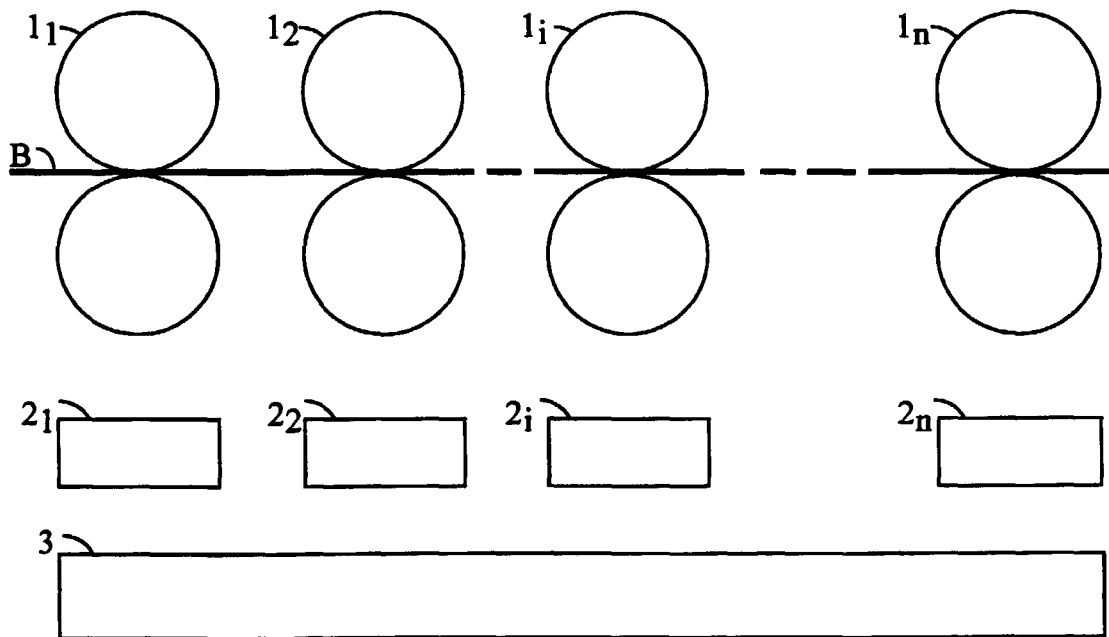
avec λ_i égal à zéro, soit si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est négatif, soit si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors qu'il s'agit de la première cage et que la variation de couple résistant mesuré ΔC_i , décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage, dépasse un seuil paramétrable, soit encore si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors que la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est supérieure à un second seuil paramétrable et que cette variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est inférieure à un troisième seuil paramétrable;

ou λ_i égal à ΔC_i , si le produit $S_0 \cdot \Delta C_i$ est positif, alors qu'il s'agit de la première cage et que la variation de couple résistant mesuré ΔC_i , décalée en fonction de la vitesse sous la seconde cage, est inférieure à un quatrième seuil paramétrable, ou soit encore qu'il s'agit d'une autre cage et que, soit la variation de couple résistant mesuré ΔC_{i-1} est inférieure à un cinquième seuil paramétrable, soit cette variation de couple ΔC_{i-1} décalée en fonction de la vitesse sous la cage i, avec $i > 1$, est supérieure à un sixième seuil paramétrable.

3. Système de commande pour laminoir multicage, travaillant des produits métalliques à chaud, dont les cages sont contrôlées par des unités de commande, à logique programmée, placées sous le contrôle d'au moins une unité de supervision commune, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens matériels et logiciels permettant:

- de mesurer la valeur de couple pour chaque cage traversée par un produit au moment où ce produit va atteindre la cage suivante en aval ;
- de commuter de régulation de vitesse en régulation de couple une cage traversée par ledit produit lorsque ce dernier va atteindre la cage suivante en aval ;
- d'activer en tant que cage pilote de vitesse vis-à-vis de toute autre cage, située en amont, la dernière cage dans lequel le produit est alors entré.

FIGURE UNIQUE





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 00 40 0038

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	DE 32 05 589 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 26 août 1982 (1982-08-26) * page 6 - page 19; figures 1-7 *	1,3	B21B37/52
A	DE 43 25 074 A (ELPRO AG) 5 mai 1994 (1994-05-05) * le document en entier *	1,3	
A	BAUR K: "EINSATZ VON RECHNERN IN DRAHT-UND FEINSTAHLSTRASSEN" STAHL UND EISEN, vol. 102, no. 18, 6 septembre 1982 (1982-09-06), pages 861-866, XP002099791 ISSN: 0340-4803 * page 864 - page 865; figure 10 *	1,3	
A	FR 2 354 154 A (JEUMONT SCHNEIDER) 6 janvier 1978 (1978-01-06) * page 4 - page 6; figure *	1,3	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			B21B
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		12 avril 2000	Rosenbaum, H
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : antérie-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 00 40 0038

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 membres 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.

12-04-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 3205589 A	26-08-1982	JP 1599612 C	31-01-1991
		JP 2012642 B	23-03-1990
		JP 57137015 A	24-08-1982
DE 4325074 A	05-05-1994	MD 1229 B	31-05-1999
		RU 2075358 C	20-03-1997
FR 2354154 A	06-01-1978	BE 855788 A	17-10-1977
		CH 615367 A	31-01-1980
		DE 2725207 A	22-12-1977
		LU 77515 A	19-09-1977
		SE 439123 B	03-06-1985
		SE 7706675 A	12-12-1977
		US 4126028 A	21-11-1978

EPO FORM P0480

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