



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1996/06/07

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1996/12/09

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2004/08/10

(30) Priorité/Priority: 1995/06/08 (95 06 747) FR

(51) Cl.Int.<sup>6</sup>/Int.Cl.<sup>6</sup> B21B 37/58, B21H 8/00

(72) Inventeurs/Inventors:

MIEZE, REGIS, FR;  
ROBERT, GERARD, FR;  
PIQUET, DANIEL, FR;  
SILVY LELIGOIS, CHRISTOPHE, FR;  
ABIKARAM, MICHEL, FR

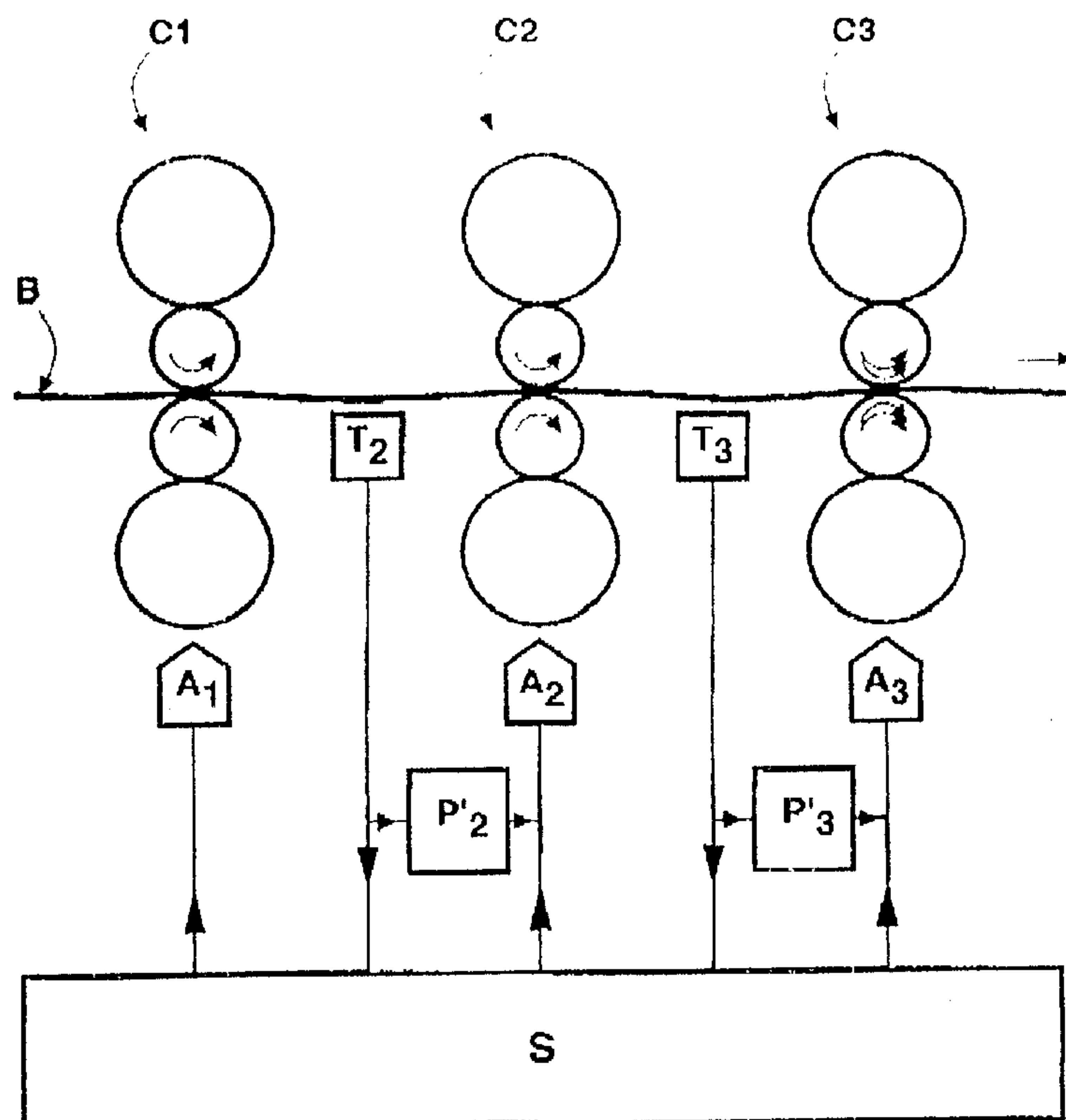
(73) Propriétaire/Owner:

VAI CLECIM, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCEDE ET INSTALLATION DE LAMINAGE A FROID AVEC COMPENSATION D'OVALISATION DES CYLINDRES DE LAMINAGE

(54) Title: COLD ROLLING METHOD AND APPARATUS FOR THE OVALIZATION COMPENSATION OF THE ROLLING CYLINDERS



(57) Abrégé/Abstract:

Dans un procédé de laminage à froid d'une bande métallique (B) entre les cylindres de cages de laminage (C1, C2, C3) disposées l'une à la suite de l'autre, on apporte en temps réel une modification à la consigne de serrage des cylindres d'au



**(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

moins une (C2, C3) desdites cages (C1, C2, C3) pour compenser les défauts de faux-rond des cylindres de ladite cage (C2, C3) et on évalue ladite modification en analysant en fréquence un signal de mesure de traction de la bande (B) immédiatement en amont de ladite cage (C2, C3) et en extrayant du signal de mesure de traction, les variations périodiques du signal dont les fréquences correspondent aux vitesses de rotation desdits cylindres, de manière à obtenir un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques. On améliore sensiblement le temps de réponse de la régulation de compensation et l'homogénéité en épaisseur de la bande (B) en sortie de laminage. Le dispositif de compensation (P'2, P'3) est relié aux moyens de serrage (A2, A3) de la cage (C2, C3) et à un capteur de traction (T2, T3) situé immédiatement en amont de la cage (C2, C3).



**ABREGE DU CONTENU TECHNIQUE DE L'INVENTION**

Dans un procédé de laminage à froid d'une bande métallique (B) entre les cylindres de cages de laminage (C1, C2, C3) disposées l'une à la suite de l'autre, on apporte en temps réel une modification à la consigne de serrage des cylindres d'au moins une (C2, C3) desdites cages (C1, C2, C3) pour compenser les défauts de faux-rond des cylindres de ladite cage (C2, C3) et on évalue ladite modification en analysant en fréquence un signal de mesure de traction de la bande (B) immédiatement en amont de ladite cage (C2, C3) et en extrayant du signal de mesure de traction, les variations périodiques du signal dont les fréquences correspondent aux vitesses de rotation desdits cylindres, de manière à obtenir un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques. On améliore sensiblement le temps de réponse de la régulation de compensation et l'homogénéité en épaisseur de la bande (B) en sortie de laminage. Le dispositif de compensation (P'2, P'3) est relié aux moyens de serrage (A2, A3) de la cage (C2, C3) et à un capteur de traction (T2, T3) situé immédiatement en amont de la cage (C2, C3).



L'invention concerne un procédé et une installation de laminage de tôles minces, notamment de tôles en acier.

Pour la préparation d'une bande de tôles par laminage, on accorde une grande importance à la régularité d'épaisseur, notamment le long de la bande, ou de la direction de laminage.

Cette régularité d'épaisseur est encore plus critique quand on prépare des tôles minces, notamment des tôles pour emballage et/ou pour des boîtes de boisson.

10 On lamine généralement les bandes dans des installations comportant une succession de cages de laminage, en les faisant défiler dans l'entrefer de chaque cage, délimité par les cylindres de laminage.

D'une manière classique, on procède au laminage en pilotant chaque cage de l'installation, notamment sur la base de consignes de traction entre les cages et/ou de serrage de la bande à laminer entre deux cylindres de travail d'une cage.

20 Ainsi, en se reportant à la figure 1, une installation de laminage comportant trois cages de laminage C1, C2, C3 peut être conduite par un dispositif de pilotage S, notamment à partir de la mesure de traction intercage de la bande B par des capteurs T2, T3 et/ou en agissant sur les moyens de serrage successifs de chaque cage A1, A2, A3.

Le caractère strictement circulaire des cylindres de laminage est une des conditions pour obtenir une épaisseur constante sur la longueur de la bande.

Néanmoins, les méthodes d'usinage des cylindres de laminage ne permettent pas d'atteindre une forme parfaitement circulaire et les cylindres présentent souvent une légère ovalisation.

30 Et même lorsque la rectification permet d'atteindre une forme circulaire, une légère ovalisation peut quand même apparaître ou s'accroître sur les cylindres en service, sous l'effet, par exemple, de contraintes thermiques.



Cette légère ovalisation des cylindres de laminage, qu'on appelle aussi "faux rond" ou "excentricité", se traduit par exemple par des variations de quelques dizaines de micromètres de l'entrefer entre deux cylindres de travail d'une cage de laminage, en cours de laminage.

Ces variations de l'épaisseur de l'entrefer sont périodiques, présentent une fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation des cylindres et provoquent des variations périodiques d'épaisseur le long de la bande de tôle en sortie de chaque cage de laminage.

10 Ces variations d'épaisseur de la bande sont appelés défauts de faux rond ou défauts d'excentricité.

Ces variations d'épaisseur sont typiquement de l'ordre de  $0,5 \mu\text{m}$  pour chaque cage d'une installation, ce qui représenterait une variation de 0,2 % sur une bande d'épaisseur 0,25 mm .

Une telle variation d'épaisseur de bande métallique n'est pas tolérable pour la plupart des utilisations, notamment dans le domaine de l'emballage et des boîtes de boisson.

On connaît des procédés pour compenser en cours de laminage cette ovalisation ou "faux rond" des cylindres et obtenir une épaisseur plus régulière le long de la bande.

20 Selon le premier procédé, dans une première étape préalable au laminage d'une bande, on fait tourner "à vide" les cages de laminage de l'installation en appliquant une consigne de serrage des cylindres de travail de chaque cage et on repère le défaut de "faux rond" en mesurant, en amplitude et en phase, les variations de force entre lesdits cylindres, puis, dans une deuxième étape au cours du laminage d'une bande, on applique à la consigne de serrage des cylindres de chaque cage un signal de compensation du faux rond de même amplitude que le défaut préalablement mesuré, mais en opposition de phase.

30 Un tel procédé de compensation du faux rond est un procédé de compensation en temps différé qui n'est pas efficace lorsque le défaut de



faux-rond n'est pas constant, notamment lorsqu'il varie en cours de laminage, par exemple sous l'effet de déformations des cylindres résultant de contraintes thermiques.

On connaît un second procédé de compensation de faux rond en temps réel, selon lequel, en cours de laminage, on mesure l'épaisseur de la bande à la sortie de chaque cage, on repère les variations périodiques de l'épaisseur qui correspondent aux fréquences de rotation des cylindres et qui présentent un déphasage constant avec elle, et on en déduit l'amplitude et la phase du signal à appliquer à la consigne de serrage pour compenser le faux rond.

A cet effet, en se reportant à la figure 2, un dispositif de compensation de faux rond est adjoint à l'installation précédemment décrite et comporte des capteurs d'épaisseur E1, E2 disposés en aval desdites cages, des capteurs de position angulaire des cylindres V1, V2 et des compensateurs P1, P2.

A partir des signaux fournis par les capteurs E1, V1 pour P1, et E2, V2 pour P2, les compensateurs P1, P2 évaluent le signal de compensation de consigne de serrage à appliquer aux moyens de serrage A1, A2 des cages C1, C2 pour éliminer les défauts de faux rond des cylindres.

Un tel procédé de compensation du faux rond en temps réel nécessite donc l'installation de nombreux capteurs de mesure au niveau de chaque cage.

Le capteur de mesure d'épaisseur est toujours décalé de quelques mètres, par exemple 2,5 m, après la sortie de l'entrefer d'une cage, ce qui provoque un retard dans le repérage des défauts de faux rond des cylindres de ladite cage par rapport à la création du défaut lui-même au niveau de l'entrefer de la cage.

Ainsi, le retard de la détection du défaut peut être de l'ordre de 0,5 s pour une distance cage-capteur de 2,5 m et une vitesse de défilement de la bande dans la cage de 300 m/min.



Par ailleurs, on a constaté que le signal de mesure d'épaisseur fourni par les capteurs E1, E2 présentait un bruit important et qu'il était souvent difficile de discriminer les variations périodiques d'épaisseur de la bande relatives aux défauts de faux rond des cylindres par rapport aux autres variations d'épaisseur ayant d'autres origines.

Pour évaluer le signal de compensation à appliquer aux moyens de serrage A1, A2 par les compensateurs P1, P2, on analyse le signal de mesure d'épaisseur en fréquence, notamment par transformée de Fourier, on extrait du spectre obtenu les signaux qui correspondent à la fréquence  
10 de rotation des cylindres des cages C1, C2 et on génère un signal de compensation à partir de ces signaux extraits.

Pour produire ainsi un signal de compensation fiable et précis, pour que les signaux extraits de la mesure d'épaisseur représentent bien des défauts de faux rond et non d'autres phénomènes, on est donc conduit à allonger la durée d'intégration de la transformée de Fourier, ce qui améliore la résolution en fréquence de l'analyse du signal de mesure, pour mieux extraire les signaux de faux rond du signal de mesure, et ce qui évite ou limite des détections de défaut aléatoires ou imprécises.

Mais l'allongement de la durée d'intégration augmente encore le  
20 retard de la détection du défaut de faux rond par rapport à l'instant de la création du défaut lui-même.

Cette durée d'intégration élevée est nécessaire pour obtenir une régulation stable du fonctionnement du dispositif de compensation de faux-rond.

Ainsi, entre la création d'un défaut de faux rond sur une cage et la compensation complète dudit défaut, on aboutit à un temps de réponse global de la régulation du dispositif de compensation beaucoup trop long, pendant lequel les défauts d'épaisseur d'une bande en défilement ne sont pas corrigés correctement.



Ainsi, à titre d'exemple, les temps de réponse des composantes du dispositif de compensation peuvent être :

- temps de réponse typique d'un capteur de mesure d'épaisseur : 50 ms.
- retard dû à la distance cage-capteur : 500 ms.
- temps de réponse des moyens de serrage : 50 à 70 ms.

Avec un tel dispositif, la boucle de régulation de compensation de faux-rond présentera un temps de réponse de l'ordre de plusieurs dizaines de secondes.

10

Si la vitesse de défilement est élevée, et comme la bande passe évidemment à travers plusieurs cages de laminage, en sortie de laminage, les portions de bande le long desquelles les défauts de faux rond persistent représentent une part importante de la bande (jusqu'à la moitié), ce qui ne permet plus d'assurer la garantie commerciale suffisante, par exemple la garantie d'une variation d'épaisseur inférieure à 2,5% ou 3%

Ainsi, le procédé de compensation du faux rond en temps réel ne présente pas encore les performances requises pour assurer une garantie d'épaisseur suffisamment homogène sur toute une bande laminée, notamment dans le cas de laminage de tôles minces.

20

Par ailleurs, ce procédé de compensation nécessite une installation coûteuse, liée notamment au nombre de capteurs à implanter.

L'invention a pour but de fournir un procédé de laminage qui permette de laminier une bande métallique avec une très grande régularité d'épaisseur tout le long de la bande.

L'invention a également pour but un dispositif fiable et économique pour la mise en oeuvre de ce procédé.

30

La présente invention concerne un procédé de laminage à froid d'une bande entre des cylindres de cages de laminage disposées l'une à la suite de l'autre, dans lequel on corrige des défauts de faux-rond de l'une au



5a

moins des cages par des étapes de procédé suivantes:

- on mesure en continu une traction de la bande immédiatement en amont de la cage pour obtenir un signal de mesure de traction;
- on analyse en fréquence le signal de traction;
- on extrait du signal de traction au moins des variations périodiques dont une fréquence correspond à une vitesse instantanée de rotation des cylindres de la cage;
- on élabore un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques extraites; et
- on modifie une consigne de serrage de la cage, en temps réel, par le signal de compensation.

La présente invention concerne aussi une installation de laminage comportant une succession de cages de laminage, des capteurs de mesure de traction intercage, chaque cage ayant un moyen de serrage des cylindres de la cage et l'une au moins des cages ayant un dispositif de compensation de faux-rond comportant:

- un capteur de mesure de la traction de la bande immédiatement en amont de la cage; et
- un dispositif de compensation de faux-rond relié au capteur de mesure de traction et au moyen de serrage de la cage comprenant des moyens d'analyse en fréquence du signal de traction, de manière à extraire du signal au moins des variations périodiques dont une fréquence correspond à une vitesse instantanée de rotation des cylindres de la cage et à élaborer un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques extraites transmis en temps réel au moyen de serrage de la cage pour modifier une consigne de serrage.



compenser les défauts de faux-rond des cylindres de ladite cage et dans lequel on évalue ladite modification en analysant en fréquence un signal de mesure d'un paramètre de laminage propre à ladite cage et en extrayant du signal de mesure, les variations périodiques du signal dont les fréquences correspondent aux vitesses de rotation desdits cylindres, de manière à obtenir un signal de compensation proportionnel auxdites variations périodiques, caractérisé en ce que ladite mesure est une mesure de traction de la bande immédiatement en amont de ladite cage.

10 L'invention a encore pour objet une installation de laminage comportant une succession de cages de laminage, des capteurs de mesure de traction intercage, des moyens de serrage pour chaque cage, un dispositif de pilotage, notamment pour réguler lesdits moyens de serrage et au moins un moyen de compensation de défauts de faux-rond des cylindres de laminage d'une cage de la succession de cages relié aux moyens de serrage de ladite cage pour leur délivrer un signal de compensation de défaut de faux-rond, caractérisée en ce que le dispositif de compensation est également relié à un capteur de mesure de traction intercage situé  
20 immédiatement en amont de ladite cage (C2, C3) pour recevoir le signal de mesure du capteur de mesure de traction (T2, T3) et évaluer ledit signal de compensation.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple, et en référence aux figures annexées sur lesquelles :

– la figure 1 est un schéma partiel d'une installation classique de laminage à froid avec son dispositif de pilotage.

– la figure 2 représente la même installation de laminage qu'à la figure 1 dotée d'un dispositif de compensation de faux rond des cylindres selon l'art antérieur.



– la figure 3 représente la même installation de laminage qu'à la figure 1 dotée d'un dispositif de compensation de faux rond des cylindres selon l'invention.

En se reportant à la figure 3, l'installation de laminage comporte trois cages de laminage C1, C2, C3, un dispositif de pilotage S, des capteurs de mesure de traction intercage T2, T3, des moyens de serrage A1, A2, A3 des cages C1, C2, C3 et des dispositifs de compensation P'2, P'3.

10 La mesure de la traction inter-cage correspond à la tension de la bande entre chaque cage et les capteurs T2, T3 prévus à cet effet sont par exemple des tensiomètres à déflecteurs.

Les moyens de serrage A1, A2, A3 sont principalement pilotés par une consigne délivrée par le dispositif de pilotage S.

Les dispositifs de compensation P'2, P'3 ont pour fonction, comme précédemment pour les compensateurs P2, P3, d'évaluer le signal de compensation destiné à corriger en temps réel la consigne de serrage des moyens de serrage A2, A3 des cages C2, C3 en vue d'éliminer le défaut de faux rond des cylindres desdites cages.

20 Pour évaluer le signal de compensation et selon l'invention, les dispositifs de compensation P2 et P3 sont reliés aux capteurs de traction T2 et T3.

D'une manière classique, les cylindres de laminage des cages C2, C3 sont rectifiés mais présentent des défauts d'ovalisation ou de faux rond, qui provoqueraient, en cours de laminage sans compensation, des variations d'entrefer entre les cylindres de travail.

30 D'une manière connue en elle-même, on lamine une bande B en régulant le fonctionnement des cages C1, C2, C3 de l'installation à l'aide du dispositif de pilotage S, notamment à partir de la mesure de traction intercage de la bande B par les capteurs T2, T3 et en agissant sur les moyens de serrage successifs de chaque cage A1, A2, A3.



En outre, en vue de laminier la bande métallique B en maintenant les variations d'épaisseur le long de la bande dans une fourchette largement inférieure aux défauts d'ovalisation des cylindres des cages C2 et C3, on applique à la consigne de serrage des moyens de serrage A2, A3 un signal de compensation du faux rond desdits cylindres.

Selon l'invention, les compensateurs P'2, P'3 délivrent ledit signal de compensation aux moyens de serrage A2, A3 en évaluant ledit signal à partir du signal de mesure délivré par les capteurs T2, T3 en amont des cages C2, C3.

10 L'invention est donc applicable à partir de la deuxième cage de l'installation de laminage et jusqu'à la dernière sans installer de capteurs supplémentaires, puisque des capteurs de mesure de traction T2, T3 sont déjà installés entre chaque cage pour permettre au dispositif S de piloter d'une manière classique l'installation de laminage.

Ainsi par exemple, le dispositif de compensation P'2 est adapté d'une manière connue en elle-même pour extraire du signal du capteur T2 les variations périodiques de la traction de la bande B en amont de la cage C2 qui ont une fréquence égale à la vitesse de rotation des cylindres de la cage C2 et pour générer un signal de compensation proportionnel aux dites  
20 variations extraites.

Selon une variante de l'invention, le dispositif de compensation P'2 prend également en compte les harmoniques des défauts de faux rond, c'est à dire les variations périodiques de la traction de la bande B qui ont une fréquence multiple de la vitesse de rotation des cylindres de la cage C2.

Pour extraire ces variations périodiques, on procède généralement par transformée de Fourier.

Selon l'invention, on a constaté qu'on pouvait intégrer le signal de mesure de traction sur une durée beaucoup plus courte que dans les procédés de l'art antérieur tout en détectant d'une manière fiable et précise  
30 les défauts de faux rond des cylindres de la cage C2.



Alors même par exemple que les deux cylindres de travail de la cage C2 peuvent présenter des vitesses de rotation légèrement différentes, du fait notamment de légères différences de diamètre, il n'est pas nécessaire de choisir un temps d'intégration suffisamment long pour permettre de discriminer le défaut de faux rond de l'un des cylindres par rapport à l'autre et il s'avère suffisant d'évaluer le signal de compensation à partir de l'amplitude moyenne du défaut mesuré.

10 D'une manière surprenante, on a constaté que le signal de détection des défauts de faux rond présente beaucoup moins de bruits lorsqu'il provient de la mesure de traction d'un capteur T2 en amont de la cage C2 que lorsqu'il provient notamment de la mesure d'épaisseur d'un capteur E2 en aval de la cage C2, comme dans le procédé de l'art antérieur représenté à la figure 2.

Ainsi, pour repérer les défauts de faux rond des cylindres d'une cage en analysant les fréquences du signal de mesure délivré par un capteur de traction en amont de ladite cage, une résolution très fine en fréquence n'est plus nécessaire pour une détection fiable et précise dudit défaut de faux rond, ce qui permet de diminuer sensiblement les temps d'intégration des transformées de Fourier.

20 Ainsi, selon l'invention, puisque le capteur de défaut de faux rond est un capteur de traction, il n'y a aucun délai entre l'apparition d'un défaut et sa détection, contrairement au procédé de l'art antérieur.

Toujours selon l'invention, les dispositifs de compensation sont programmés pour analyser en fréquence les signaux de mesure avec des temps d'intégration beaucoup plus courts que dans l'art antérieur.

Globalement donc, le temps de réponse du dispositif de compensation des faux ronds selon l'invention est considérablement raccourci par rapport aux dispositifs de l'art antérieur.

Ainsi, pour des cylindres tournant à 60 tours par minute, soit



1 Hz, un capteur de mesure de traction présentant un temps de réponse de 16 ms, des moyens de serrage présentant un temps de réponse à l'application d'une consigne de 70 ms, le temps de réponse global de la régulation de compensation du faux rond selon le procédé de l'invention n'est que de 2,5 tours de cylindre environ, soit 2,5 secondes environ.

Le temps de réponse des moyens de serrage et la vitesse maximum de serrage de ces moyens peuvent être des facteurs limitants et critiques pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention ; de préférence, le temps de réponse des moyens de serrage doit rester inférieur à la durée d'une rotation des cylindres.

Comme la vitesse de bande, et donc de rotation des cylindres croît de l'amont vers l'aval d'une installation de laminage, ces conditions peuvent n'être remplies que pour les premières cages de l'installation et il n'est pas toujours possible d'équiper complètement les installations de laminage avec le dispositif de compensation selon l'invention.

Le dispositif de compensation et son fonctionnement qui sont décrits pour la cage 2 sont également applicables à la cage 3, ou à d'autres cages éventuelles en aval.

Selon l'invention, et lorsqu'on équipe toutes les cages de laminage d'une installation avec le dispositif selon l'invention, on obtient en sortie de laminage des bandes métalliques présentant des variations longitudinales d'épaisseur inférieures à 5  $\mu\text{m}$ , c'est à dire inférieures à 0,7 % pour une épaisseur moyenne de 0,26 mm.



**REVENDICATIONS**

1. Procédé de laminage à froid d'une bande (B) entre des cylindres de cages de laminage (C1, C2, C3) disposées l'une à la suite de l'autre, dans lequel on corrige des défauts de faux-rond de l'une au moins des cages par des étapes de procédé suivantes:

- 10 - on mesure en continu une traction de la bande (B) immédiatement en amont de la cage pour obtenir un signal de mesure de traction;
- on analyse en fréquence le signal de traction;
- on extrait du signal de traction au moins des variations périodiques dont une fréquence correspond à une vitesse instantanée de rotation des cylindres de la cage;
- on élabore un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques extraites; et
- on modifie une consigne de serrage de la cage, en temps réel, par le signal de compensation.

20 2. Installation de laminage comportant une succession de cages de laminage (C1, C2, C3), des capteurs de mesure de traction intercage (T2; T3), chaque cage ayant un moyen de serrage (A1, A2, A3) des cylindres de la cage et l'une au moins des cages ayant un dispositif de compensation de faux-rond comportant:

- un capteur de mesure de la traction de la bande immédiatement en amont de la cage; et
- un dispositif de compensation de faux-rond (P'2, P'3) relié au capteur de mesure de traction et au moyen de serrage de la cage comprenant des moyens d'analyse  
30 en fréquence du signal de traction, de manière à extraire



du signal au moins des variations périodiques dont une fréquence correspond à une vitesse instantanée de rotation des cylindres de la cage et à élaborer un signal de compensation proportionnel aux variations périodiques extraites transmis en temps réel au moyen de serrage de la cage pour modifier une consigne de serrage.

3. Installation selon la revendication 2, caractérisée en ce que le capteur de mesure de traction (T2, T3) est un tensiomètre à défecteur.



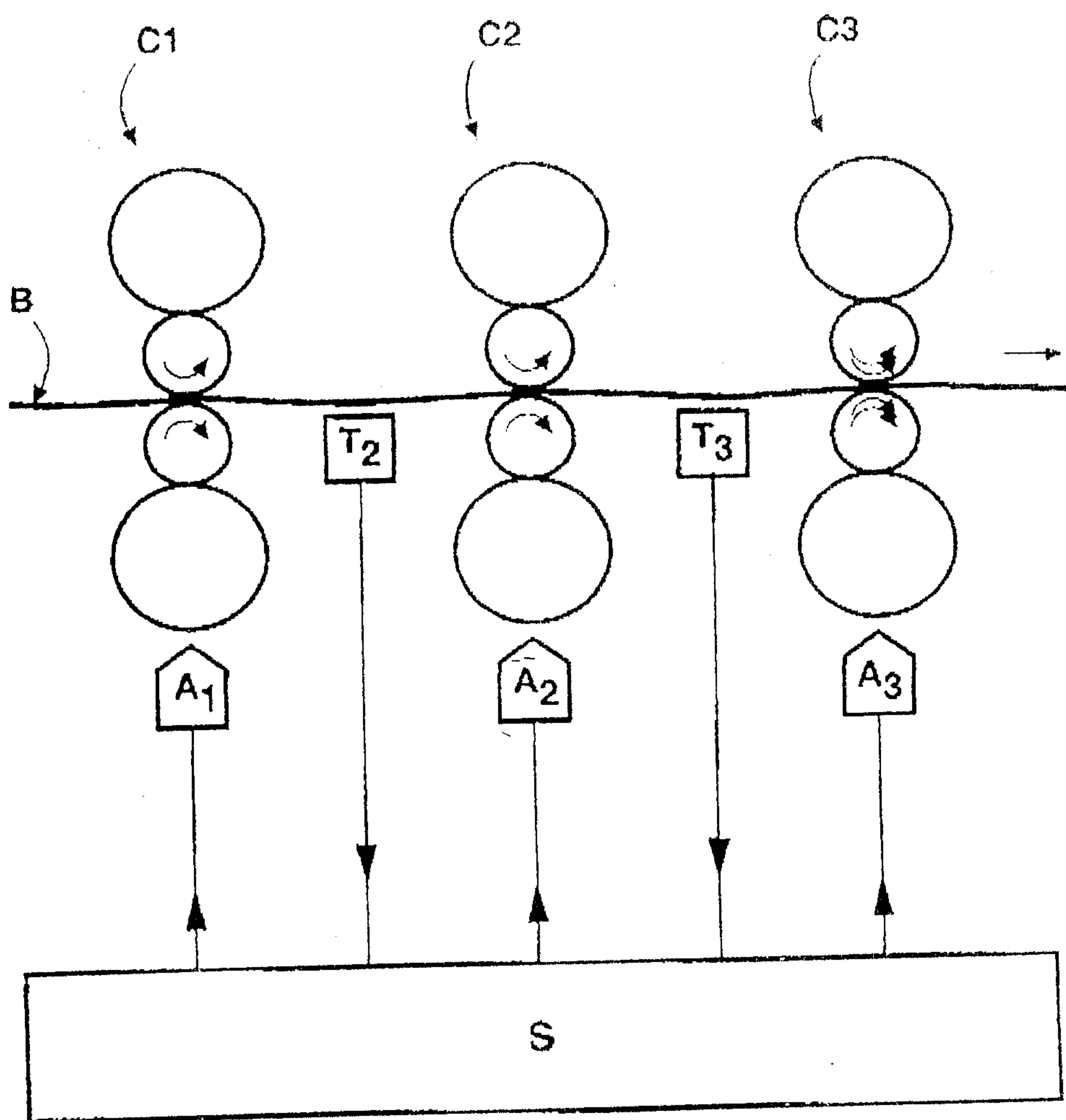


Fig. 1  
(ART ANTERIEUR)



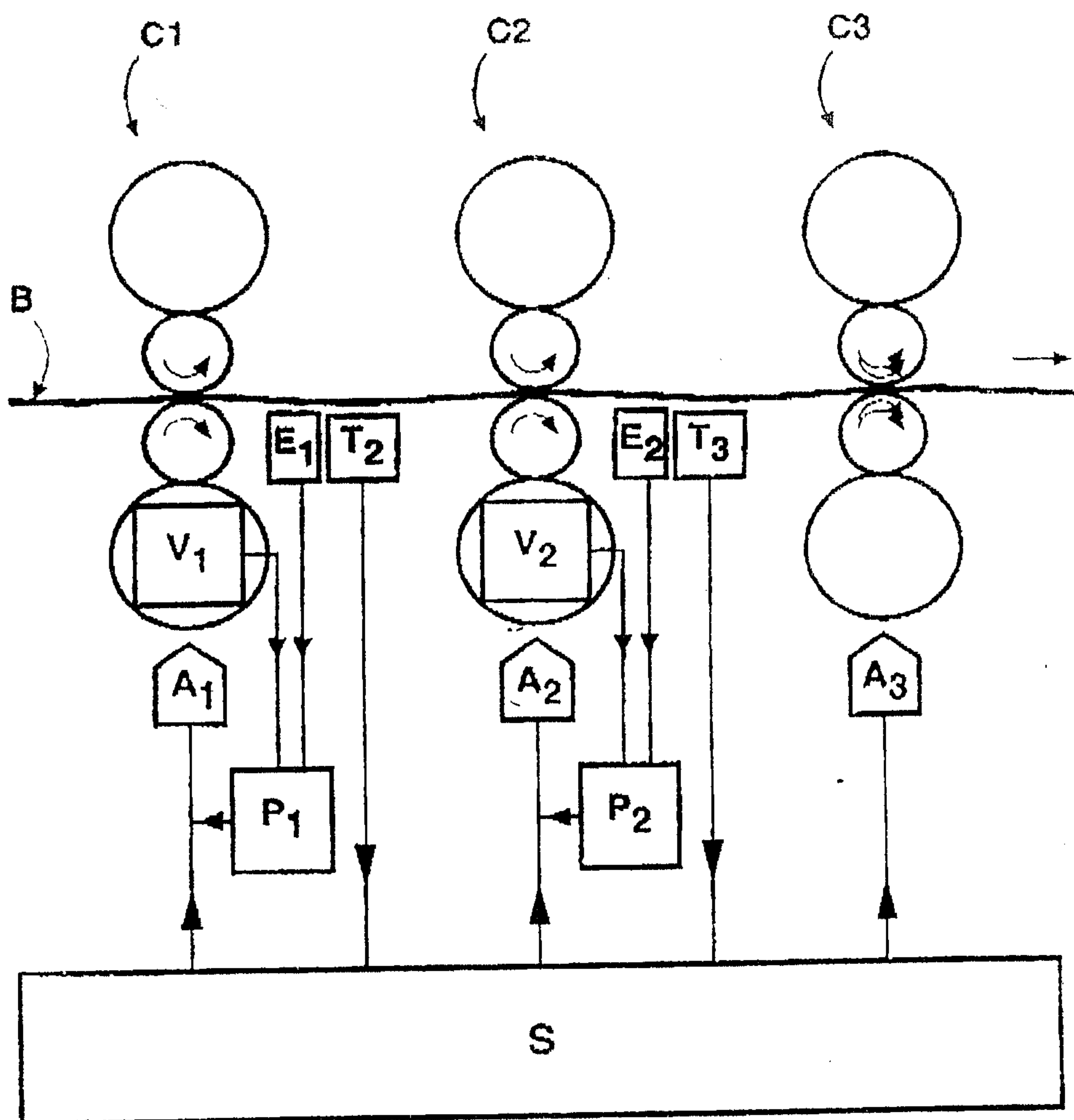


Fig. 2  
(ART ANTERIEUR)



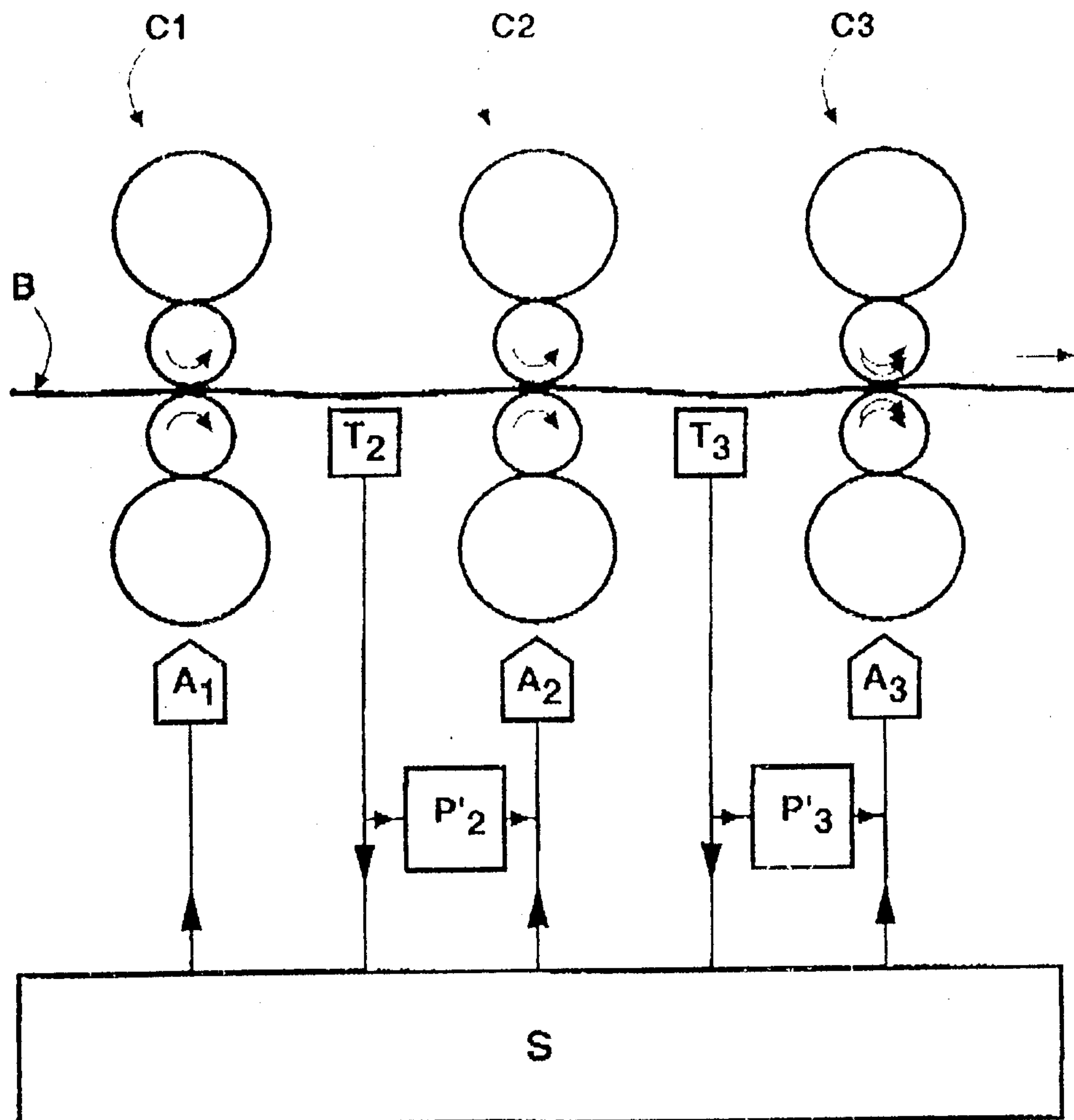


Fig. 3



