

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 578 643**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **85 03380**
⑤1 Int Cl* : G 01 B 15/04.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 7 mars 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 37 du 12 septembre 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SI-
DERURGIE FRANÇAISE IRSID.* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Gérard Tourscher et Maurice Wanin.

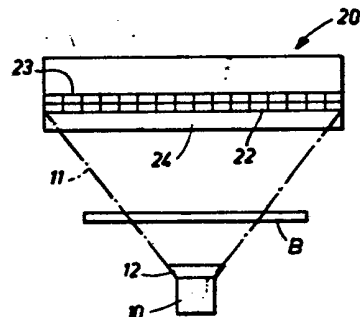
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

⑤4 Ensemble de mesure du profil transversal d'épaisseur d'un produit.

⑤7 Ensemble de mesure du profil transversal d'épaisseur d'un
produit.

Une source de rayonnement 10 fixe est située d'un côté du produit et est associée à un collimateur 12 agencé de manière à produire un faisceau divergent en direction transversale par rapport au produit, pour intercepter celui-ci sur la partie de profil à mesurer, et un dispositif de détection 20 s'étend transversalement par rapport au produit, de l'autre côté de celui-ci et comporte au moins une rangée de détecteurs élémentaires juxtaposés qui produisent chacun un signal fonction de la quantité de rayonnement reçu, un circuit de traitement recevant les signaux des détecteurs pour élaborer une information représentative du profil recherché. Le domaine d'application est plus particulièrement la mesure d'épaisseur de produits plats en défilement tels que des bandes laminées à chaud ou à froid.



FR 2 578 643 - A1

D

**Ensemble de mesure du profil transversal d'épaisseur
d'un produit**

La présente invention concerne la mesure du profil transversal d'épaisseur d'un produit.

05 Le domaine d'application de l'invention est plus particulièrement, mais non exclusivement, celui de la mesure en continu du profil d'épaisseur de produits plats en défilement, tels que des produits métallurgiques laminés en bandes ou en plaques.

10 Dans le cas de bandes laminées à chaud, il est particulièrement important de disposer d'informations relatives à la forme générale du profil d'épaisseur, c'est-à-dire de savoir si le profil a une forme en bosse, en creux ou en coin. Il est également important de connaître la forme particulière du profil
15 en rives, ceci afin de déterminer la chute de rives. De plus, la détection d'accidents du profil, tels que les lignes brillantes dues à des surépaisseurs locales présente un intérêt certain.

Dans le passé, les mesures de profil d'épaisseur étaient réalisées sur des échantillons du produit, en dehors de la ligne
20 de laminage, au moyen de profilomètres manuels à contact.

Compte-tenu de l'intérêt évident de disposer d'informations rapides en vue de contrôles et de réglages, des appareils ont été développés pour permettre une mesure de profil d'épaisseur sans contact sur une bande laminée à chaud en
25 défilement.

Un appareil connu de ce type comporte une source de rayons X et un détecteur correspondant placés en regard l'un de l'autre sur les deux branches d'un support en forme de C déplacé transversalement par rapport à la bande défilant entre les
30 branches du support. Le signal de cette jauge mobile est corrigé au moyen de celui fourni par une jauge fixe comprenant une source et un détecteur fixes de rayons X placés sensiblement à mi-largeur de la bande.

Cet appareil constitue bien entendu un progrès important
35 par rapport aux techniques pré-existantes, mais il est d'un coût

très élevé et ne répond encore qu'imparfaitement aux besoins. Ainsi, un compromis entre sensibilité et temps de réponse conduit à une résolution en largeur de 6 mm avec une vitesse de déplacement transversal inférieure à 0,3 m/s. Or, les bandes laminées à chaud font typiquement de 700 à 2100 mm de large et sortent du train à bandes à une vitesse par exemple de 15 m/s. Aussi, l'appareil précité n'autorise que quelques mesures de profil le long d'une bande. De plus, l'épaisseur en rives ne peut être mesurée à moins de 25 mm des bords et la détection des bandes brillantes formées par des surépaisseurs de moins de 10 μm reste problématique. Enfin, et ce n'est pas le moindre problème, le déplacement alternatif de l'appareil par rapport à la bande n'est pas simple à réaliser.

Il a été proposé de perfectionner ces appareils connus en remplaçant le détecteur mobile par un scintillateur fixe s'étendant sur toute la largeur de la bande. Toutefois, il reste nécessaire de mouvoir la source de rayons X et le niveau de résolution obtenu reste encore insuffisant.

Le besoin de mesure du profil transversal d'épaisseur ne se fait pas uniquement sentir pour les bandes laminées à chaud. Ainsi, il est utile d'effectuer cette mesure sur des bandes laminées à froid bien qu'un contrôle du profil soit réalisé en amont, sur le train à chaud, où une action correctrice est possible. Par exemple, dans le cas de lignes à décapage, il peut être préféré de contrôler le produit à l'entrée, dans des conditions plus favorables à la mesure que sur un train à chaud. La mesure du profil peut aussi être nécessaire dans des cas particuliers tels que : existence de tolérances serrées sur le profil de tôles vendues décapées, besoin de connaître le profil d'entrée pour le réglage du train ou mesure en sortie d'un train-tandem en complément d'une mesure de planéité. Il est également souhaitable de pouvoir détecter les lignes brillantes et ce avec plus de finesse qu'à chaud puisqu'elles ont une épaisseur plus limitée, par exemple jusqu'à 3 μm et une largeur plus faible, par exemple jusqu'à 5 mm. Enfin, d'une façon générale, un contrôle de

profil du produit fini peut constituer un argument commercial efficace.

Pour la mesure du profil transversal d'épaisseur de bandes laminées à froid, on utilise généralement un profilomètre à contact, la bande étant à l'arrêt. Il existe aussi des appareils utilisant une jauge à rayons X avec une source et un détecteur déplacés d'une rive à l'autre de la bande, de part et d'autre de celle-ci. Avec ces appareils connus, la mesure est effectuée sur la bande à l'arrêt, par exemple devant une fosse à boucle. Ainsi, ces techniques connues présentent-elles l'inconvénient majeur de ne pas autoriser une mesure en continu sur les bandes en défilement.

La mesure du profil transversal en épaisseur est encore utile en tôlerie forte, c'est-à-dire pour des tôles pouvant atteindre 100 mm d'épaisseur et 4500 mm de largeur. A cet effet, il est actuellement utilisé des jauges à rayonnement, souvent à rayons gamma, qui sont doublées et qui réalisent simultanément deux mesures à des distances prédéterminées du bord. Le profil est estimé par une approximation parabolique, ce qui ne permet pas une précision élevée.

La présente invention a pour objet de fournir un ensemble de mesure qui offre, par rapport aux systèmes existants évoqués plus haut, des avantages essentiels parmi lesquels, notamment : mesure effectuée en continu sur des bandes ou tôles en défilement avec une précision élevée, jauge de mesure entièrement statique, coûts de fabrication et d'exploitation sensiblement abaissés, étant entendu que cet ensemble de mesure est susceptible d'être utilisé pour la mesure du profil transversal d'épaisseurs de produits autres que des bandes laminées à chaud ou à froid ou des tôles fortes.

Cet objet est atteint grâce à un ensemble de mesure comportant une source de rayonnement située d'un côté du produit et un dispositif de détection fixe s'étendant transversalement par rapport au produit, de l'autre côté de celui-ci, ensemble dans lequel, conformément à l'invention :

- la source de rayonnement est fixe et est associée à un collimateur agencé de manière à produire un faisceau divergent en direction transversale par rapport au produit, pour intercepter celui-ci sur la partie de profil à mesurer, et

05 - le dispositif de détection comporte au moins une rangée de détecteurs élémentaires juxtaposés qui produisent chacun un signal fonction de la quantité de rayonnement reçu, et un circuit de traitement recevant les signaux des détecteurs pour élaborer une information représentative du profil recherché.

10 Par rapport aux systèmes existants dans lesquels au moins la source doit être déplacée transversalement par rapport au produit, l'ensemble de mesure conforme à l'invention est entièrement statique et a une structure beaucoup plus simple et des coûts de fabrication et d'installation bien inférieurs. Aussi, 15 alors que les appareils connus à jauges X mobiles ne sont utilisés, en raison de leur coût, que dans les cas où le besoin se fait le plus sentir, comme pour la mesure en continu du profil transversal de bandes laminées à chaud, l'utilisation de 20 l'ensemble de mesure conforme à l'invention peut être envisagée raisonnablement dans un domaine plus étendu, englobant notamment la mesure en continu du profil transversal pour des bandes laminées à chaud, des bandes laminées à froid et des tôles fortes.

En raison de la divergence du faisceau qui illumine le produit, l'inclinaison par rapport à la normale de la direction 25 suivant laquelle le rayonnement traverse le produit varie le long du profil transversal du produit. Aussi, selon une particularité de l'ensemble de mesure conforme à l'invention, le dispositif de détection comprend des moyens pour compenser cette variation d'inclinaison en agissant sur les signaux produits par les 30 détecteurs élémentaires selon les positions de ceux-ci le long du profil transversal du produit.

Selon une autre particularité de l'ensemble de mesure conforme à l'invention, le dispositif de détection comprend des 35 moyens pour intégrer les signaux des différents détecteurs sur une période de temps prédéterminée. Cette intégration est souhaitable

dans la mesure où la source a une puissance limitée par rapport à la sensibilité des détecteurs.

Le temps d'intégration ne doit pas être choisi trop long pour ne pas pénaliser la précision de la mesure. D'autres facteurs ont également une influence sur la précision, en particulier les dimensions des détecteurs et les positions relatives de la source, du produit et de la rangée de détecteurs. Un choix adéquat de ces différents paramètres permet d'atteindre un niveau de précision suffisant pour répondre aux exigences qui existent dans le cas de l'application envisagée plus haut à la mesure du profil transversal d'épaisseur de produits métallurgiques plats en défilement.

On notera encore que, par sa conception modulaire, la rangée de détecteurs élémentaires peut être adaptée à toute largeur de produit.

D'autres particularités et avantages de l'ensemble de mesure conforme à l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après, à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue très schématique d'un mode de réalisation d'un ensemble de mesure selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue de côté de l'ensemble de mesure de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue plus détaillée du dispositif de détection de l'ensemble de mesure des figures 1 et 2 ; et
- la figure 4 est une vue de dessus d'un autre mode de réalisation d'un ensemble de mesure selon l'invention.

Les figures 1 à 3 illustrent schématiquement un ensemble selon l'invention pour la mesure du profil transversal d'épaisseur d'un produit en mouvement tel qu'une bande B sortant d'un train de laminoir à chaud.

Une source 10 de rayons X est située d'un côté de la bande B, par exemple du côté inférieur, sensiblement au niveau du milieu de la bande. La source 10 est fixe et produit un faisceau 11 de rayons X qui est conformé au moyen d'un collimateur 12. Comme

illustré sur les figures 1 et 2 en traits mixtes, le faisceau 11 a une forme en éventail en divergeant en direction transversale par rapport à la bande B. Dans la direction longitudinale de la bande B, le faisceau est de préférence resserré afin de diverger aussi peu que possible.

De l'autre côté de la bande B, c'est-à-dire ici du côté supérieur, est disposé un dispositif de détection 20. Celui-ci comprend un capteur formé d'une rangée de détecteurs élémentaires juxtaposés identiques. Cette rangée est fixe, s'étend en direction transversale par rapport à la bande et est disposé de manière à recevoir le rayonnement produit par la source 10 et ayant traversé la bande B.

Comme le montre plus particulièrement la figure 3, les détecteurs 21 sont formés chacun par une photodiode sur laquelle est déposée une couche formant scintillateur et sont regroupés dans des modules 22 comprenant chacun N détecteurs élémentaires juxtaposés, les modules 22 étant assemblés sans discontinuité pour former une rangée de longueur voulue.

Les différents modules 22 sont assemblés dans un boîtier 23 muni d'un collimateur 24 sur sa face d'attaque (figures 1 et 2).

Dans chaque module 22, les détecteurs 21 sont montés sur une carte de circuit imprimé 25 et leurs sorties sont multiplexées au moyen d'un ou plusieurs multiplexeurs 26.

Un circuit de traitement 27 est connecté aux différents modules 22. Le circuit 27 fournit à chaque module les tensions de référence de polarisation des photodiodes, ainsi que les tensions de fonctionnement et les signaux de commande des multiplexeurs 26. Le circuit 27 reçoit de chaque module les signaux de sortie des multiplexeurs 26.

Les signaux de sortie des détecteurs 21 sont lus successivement, dans l'ordre suivant lequel sont rangés les détecteurs. Ces signaux de sortie sont corrigés des courants d'obscurité des détecteurs et sont normalisés pour compenser la non-conformité du capteur et l'"effet de biais".

Les courants d'obscurité des détecteurs sont les signaux apparaissant en sortie des détecteurs 21 lorsque la source 10 n'émet pas. La non conformité du capteur, c'est-à-dire le fait que les détecteurs ont des sensibilités différentes, est due à l'impossibilité de réaliser ces composants avec des caractéristiques rigoureusement identiques ; la correction de non conformité revient donc à aligner les sensibilités des détecteurs pour compenser des défauts du capteur. L'"effet de biais" provient de ce que la direction suivant laquelle est traversée par le rayonnement provenant de la source varie d'une extrémité à l'autre de la partie de profil analysée ; avec la source disposée au niveau du milieu de la bande, plus l'on s'éloigne de ce milieu et plus la valeur de la distance parcourue par les rayons X à travers la bande diffère de la valeur de l'épaisseur recherchée.

La correction des courants d'obscurité est réalisée en retranchant de chaque signal produit par un détecteur une composante de correction de zéro, le cas échéant propre à ce détecteur. La compensation de la non conformité du capteur et de l'effet de biais est réalisée en affectant chaque signal produit par un détecteur d'un coefficient de compensation propre à ce détecteur. Les coefficients de compensation et les composantes de correction de zéro, lorsque ces dernières diffèrent selon les détecteurs, sont lus dans une mémoire de référence en synchronisme avec la lecture des signaux des détecteurs élémentaires successifs. Les opérations de correction et compensation des signaux des détecteurs sont effectuées avant ou après numérisation de ces signaux.

Dans l'exemple illustré, les signaux des détecteurs sont d'abord numérisés au moyen d'un convertisseur analogique-numérique 27a puis corrigés dans un circuit de correction 27c recevant les composantes de correction de zéro et les coefficients de compensation lus dans la mémoire de référence 27r. Les signaux numérisés et corrigés correspondant à chaque détecteur sont cumulés dans une mémoire de ligne 27l pendant la durée d'une période d'intégration prédéterminée. A la fin de chacune de ces

périodes, le contenu de la mémoire de ligne 27l est transféré dans une mémoire d'image 27i et l'enregistrement d'une nouvelle ligne peut être effectué. La mémoire d'image 27i est ensuite lue point par point, par exemple pour convertir le contenu de cette mémoire sous forme d'un signal vidéo permettant d'afficher le profil sur un moniteur de contrôle 28. En variante, ou simultanément, le contenu de la mémoire 27i peut être converti sous forme analogique pour effectuer le tracé du profil sur un enregistreur graphique (non représenté). Il est également possible de stocker dans une mémoire de masse les images correspondant aux contenus successifs de la mémoire d'image 27i, ou de transférer ces informations à un ensemble de traitement pour les exploiter en temps réel. Un circuit logique de commande 27n fournit les signaux de commande d'échantillonnage au convertisseur 27a, les signaux de commande de lecture et/ou écriture dans les mémoires 27r, 27l et 27i et les signaux de commande du circuit de correction 27c et les signaux d'alimentation et de commande pour les cartes 25. Les valeurs des composantes de correction de zéro et des coefficients de compensation sont déterminées expérimentalement ; pour les coefficients de compensation, on utilise une bande étalon fixe ou mobile.

Pour réaliser en pratique le dispositif de détection décrit ci-dessus, on pourra utiliser le dispositif commercialisé sous la référence "THX 1454" par la Sté française THOMSON-C.S.F.

Comme le montre la figure 1, les positions relatives de la source 10, de la rangée de détecteurs 21 et de la bande B déterminent la partie du profil transversal de celle-ci dont l'épaisseur est mesurée.

Pour une distance donnée entre la bande et les détecteurs, si l'on rapproche la source de la bande la précision de la mesure est améliorée, mais l'on voit une plus petite partie de la largeur de la bande.

Pour une distance donnée entre la source et la bande, si l'on éloigne les détecteurs de la bande, la définition de la mesure est augmentée (à chaque détecteur élémentaire correspond

une plus petite partie de la largeur de la bande), mais l'énergie captée diminue en fonction inverse du carré de la distance, entraînant une détérioration du rapport signal sur bruit.

05 A titre indicatif, pour l'application aux bandes laminées à chaud, un bon compromis consiste à avoir la bande B au tiers de la distance entre la source et la rangée de détecteurs, cette distance étant par exemple d'environ 0,5 à 1,5 m.

L'intégration des signaux des détecteurs est souhaitable compte-tenu de la limite de puissance de la source par rapport à
10 la sensibilité de chaque détecteur. Ce temps d'intégration doit toutefois rester limité pour ne pas affecter la précision de la mesure, cette précision étant déjà fonction d'autres paramètres tels que la dynamique en réception (rapport entre le signal maximum avant saturation et le signal minimum détectable), le
15 bruit propre de la source (fluctuations dans le temps du rayonnement émis), la dimension des détecteurs élémentaires et l'efficacité de la conversion des rayons X en photons lumineux.

A titre indicatif, le temps d'intégration peut être choisi égal à environ 1 s pour obtenir une précision de 0,2 % avec le
20 dispositif précité "THS 1454" de la Sté THOMSON-C.S.F. Aux vitesses usuelles des bandes laminées à chaud, un temps d'intégration de 1 s correspond à environ 20 m de bande. Selon une variante de réalisation de l'ensemble de mesure conforme à l'invention, l'on peut se passer de la nécessité d'intégrer les
25 signaux des détecteurs en utilisant plusieurs rangées 30 de détecteurs comme illustré sur la figure 4.

Chaque rangée s'étend transversalement par rapport à la bande B et les rangées sont espacées les unes des autres dans la direction longitudinale de la bande avec les détecteurs occupant
30 les mêmes positions dans les différentes rangées alignées dans cette direction longitudinale.

Une source particulière (non représentée) est associée à chaque rangée de détecteurs.

Les signaux produits par les détecteurs alignés en
35 direction longitudinale sont sommés.

Il a été envisagé ci-avant l'application de l'ensemble de mesure selon l'invention à la mesure du profil transversal de produits plats. Toutefois, il apparaîtra immédiatement à l'homme de l'art que l'invention est également applicable dans le cas de produits présentant un profil transversal courbe.

05

REVENDEICATIONS

1. Ensemble de mesure du profil transversal d'épaisseur d'un produit, comportant une source (10) de rayonnement située d'un côté du produit (B) et un dispositif de détection fixe (20) s'étendant transversalement par rapport au produit, de l'autre côté de celui-ci, caractérisé en ce que :
- la source de rayonnement (10) est fixe et est associée à un collimateur (12) agencé de manière à produire un faisceau divergent en direction transversale par rapport au produit, pour intercepter celui-ci sur la partie de profil à mesurer, et
 - le dispositif de détection (20) comporte au moins une rangée de détecteurs élémentaires (21) juxtaposés qui produisent chacun un signal fonction de la quantité de rayonnement reçu, et un circuit de traitement (27) recevant les signaux des détecteurs pour élaborer une information représentative du profil recherché.
2. Ensemble de mesure selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif de détection comprend des moyens de compensation de la variation de l'inclinaison par rapport à la normale de la direction suivant laquelle le rayonnement traverse le produit.
3. Ensemble de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le dispositif de détection comprend des moyens d'intégration des signaux des détecteurs sur une période de temps prédéterminée.
4. Ensemble de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le dispositif de détection comprend plusieurs rangées de détecteurs disposées transversalement par rapport au produit et espacées les unes des autres dans la direction longitudinale du produit.

1/2

Fig. 1

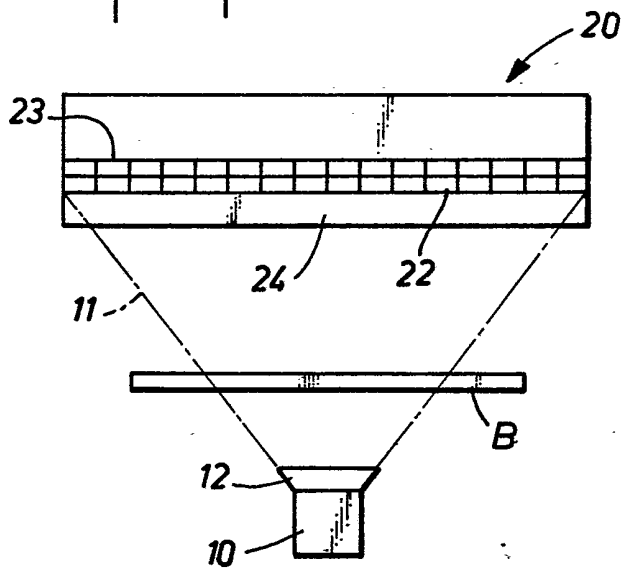


Fig. 2

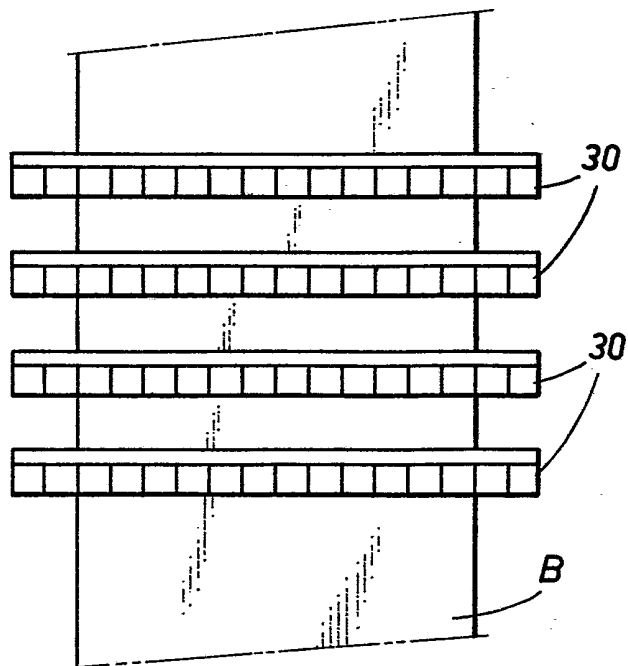
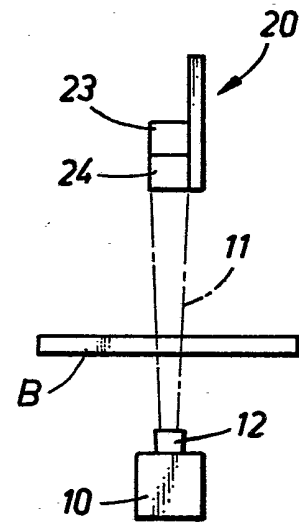


Fig. 4

