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

(11) **EP 1 647 604 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
20.05.2015 Bulletin 2015/21

(51) Int Cl.:
C21D 9/56 *(2006.01)* ***C21D 11/00*** *(2006.01)*
F27B 9/40 *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **05292110.3**

(22) Date de dépôt: **11.10.2005**

(54) **Procedé et dispositif d'amélioration qualitative et quantitative de la production dans un four vertical de traitement de bandes d'acier ou d'aluminium**

Verfahren und Vorrichtung zur Steigerung der Qualität von Stahl-oder Aluminiumbändern bei der Wärmebehandlung in einem Durchlaufofen

Process and device for improving the quality of steel or aluminium sheet during heat treatment in a continuous furnace

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

(30) Priorité: **14.10.2004 FR 0410848**

(43) Date de publication de la demande:
19.04.2006 Bulletin 2006/16

(73) Titulaire: **Cockerill Maintenance & Ingénierie S.A.**
4100 Seraing (BE)

(72) Inventeurs:
- **Dubois, Patrick Bernard Michel**
  77390 Andrezel (FR)
- **Boyer, Michel Camille Marcel**
  77590 Chartrettes (FR)

(74) Mandataire: **Jaunez, Xavier et al**
Cabinet Boettcher
16, rue Médéric
75017 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 265 700 **WO-A-98/30852**
JP-A- 10 324 925

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 07, 31 juillet 1996 (1996-07-31) & JP 08 060255 A (NIPPON STEEL CORP), 5 mars 1996 (1996-03-05)**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 647 604 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] La présente invention concerne d'une façon générale un procédé d'amélioration de la production d'une ligne verticale de traitement thermique de l'acier ou de l'aluminium et/ou d'amélioration de la qualité des produits à traiter.

[0002] Plus précisément, le procédé objet de l'invention concerne les lignes verticales (ou comportant une chambre verticale) de traitement de bandes d'acier ou d'aluminium utilisant au moins une chambre verticale de chauffage ou une chambre verticale de refroidissement, telles que les lignes de traitement thermique, en particulier les lignes de recuit continu, ou telles que les lignes de revêtements, en particulier les lignes de revêtements métalliques ou non métalliques.

[0003] Ce procédé vise à permettre de maximiser la productivité de la ligne et la qualité du produit final par une détermination des consignes de vitesse, de transfert thermique et de traction du produit traité, optimales en régime établi et en régime transitoire en évitant les plis sur la bande.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

[0004] On va présenter, en référence aux figures 1 à 4, une description générale des lignes de traitement des bandes d'acier ou d'aluminium.

[0005] Une chambre verticale de chauffage d'une ligne de traitement de bandes réalisée suivant l'état de l'art est construite suivant le principe représenté sur la figure 1, sur laquelle on distingue une chambre de chauffage 1, des rouleaux 2 de transport ou de renvoi équipant ladite chambre, une bande métallique 3 passant sur lesdits rouleaux, et des éléments de chauffage 4. La bande 3 est chauffée dans la chambre 1 principalement par les éléments de chauffage 4, qui sont le plus souvent constitués de tubes radiants électriques ou à combustion de gaz.

[0006] Lors de son passage dans la chambre 1, la bande 3 est chauffée sur ses deux faces par les éléments de chauffage 4 situés de part et d'autre de la ligne de passe, et ladite bande change de ligne de passe à chaque rouleau de renvoi. La courbe de chauffage de la bande 3 dans la chambre 1 est maîtrisée par l'indexation des différents éléments de chauffage 4 ou groupes d'éléments de chauffage fonctionnant de façon identique.

[0007] Une chambre verticale de refroidissement d'une ligne de traitement de bandes réalisée suivant l'état de l'art est construite suivant le principe représenté sur la figure 2, sur laquelle on distingue une chambre de refroidissement 1', des rouleaux 2' de transport ou de renvoi équipant ladite chambre, une bande métallique 3' passant sur lesdits rouleaux, et des éléments de refroidissement 4'. La bande 3' est refroidie dans la chambre 1' principalement par les éléments de refroidissement 4', qui sont le plus souvent constitués d'ensembles de soufflage de gaz à une température inférieure à la température de la bande.

[0008] Lors de son passage dans la chambre 1', la bande 3' est refroidie sur ses deux faces par les éléments de refroidissement 4' situés de part et d'autre de la ligne de passe, et ladite bande change de ligne de passe à chaque rouleau de renvoi. La courbe de refroidissement de la bande 3' dans la chambre l'est maîtrisée par l'indexation des différents éléments de refroidissement 4' ou groupes d'éléments de refroidissement fonctionnant de façon identique.

PRODUCTIVITE DE LA LIGNE ET QUALITE DU PRODUIT FINAL

[0009] La productivité de la ligne est déterminée par la capacité de chaque chambre 1 ou 1' à assurer un transfert thermique de chauffage ou de refroidissement afin d'atteindre des températures de bande à la sortie des chambres qui respectent des tolérances de température données.

[0010] Les tolérances de température de bande sont en fait constituées de deux types de tolérances :

- des tolérances métallurgiques : il faut éviter de surchauffer ou de sous chauffer la bande, afin de respecter un cycle thermique qui détermine les caractéristiques mécaniques finales de la bande,
- des tolérances process qui sont déterminées en fonction des conditions opératoires compte tenu de la configuration de la chambre, de la production, et du produit à traiter. En pratique ces tolérances process sont le plus souvent déterminées par la contrainte de ne pas former des plis sur la bande (communément appelés par les anglo-saxons « heat buckles » dans les chambres de chauffage et « cool buckles » dans les chambres de refroidissement).

[0011] La qualité du produit final est donc fortement dépendante du respect des tolérances métallurgiques, mais aussi de la non-formation de plis sur la bande (c'est-à-dire du respect des tolérances process). En effet, les plis peuvent entraîner des déformations permanentes non compatibles avec l'usage final, ou des griffures lorsque les plis touchent des éléments fixes situés en ligne, ou même des ruptures de bande.

[0012] Les tolérances métallurgiques sont quant à elles déterminées de façon fiable par l'exploitant, généralement par des tests mécaniques effectués sur des échantillons de bande prélevés à la sortie de la ligne.

FORMATION DE PLIS

[0013] En chauffage (figure 1), il existe dans l'enceinte de la chambre de chauffage 1, une différence de température entre la bande 3, qui est froide, et les rouleaux 2, qui sont chauds, car placés dans un environnement chaud. Lorsque la bande 3 passe sur les rouleaux 2, elle refroidit ceux-ci par contact, dans une zone qui corres-

pond à sa largeur. Cet effet est bien sûr plus marqué pour les premiers rouleaux.

[0014] La répartition de température selon l'axe longitudinal du rouleau prend alors la forme d'une cuvette, comme illustré sur la figure 3. Cette répartition de température non homogène suivant l'axe longitudinal du rouleau entraîne une dilatation différentielle ou profil thermique, qui suit le même profil que le profil de température. Le profil thermique est dit en diabolo.

[0015] En refroidissement (figure 2), il existe dans l'enceinte de la chambre de refroidissement 1', une différence de température entre la bande 3', qui est chaude, et les rouleaux 2', qui sont froids, car placés dans un environnement froid. Lorsque la bande 3' passe sur les rouleaux 2', elle réchauffe ceux-ci par contact, dans une zone qui correspond à sa largeur. Cet effet est bien sûr plus marqué pour les premiers rouleaux.

[0016] La répartition de température selon l'axe longitudinal du rouleau prend alors la forme d'un bombé, comme illustré sur la figure 4. Cette répartition de température non homogène suivant l'axe longitudinal du rouleau entraîne une dilatation différentielle ou profil thermique, qui suit le même profil que le profil de température. Le profil thermique est dit en bombé.

[0017] Le profil à chaud des rouleaux en contact avec la bande est la superposition d'un profil d'usinage (c'est-à-dire profil à froid) et d'un profil thermique (en diabolo dans les chambres de chauffage, et en bombé dans les chambres de refroidissement).

[0018] Afin d'éviter des problèmes de guidage, il faut absolument éviter un profil à chaud en « diabolo » du rouleau (c'est-à-dire avec un diamètre dans la zone médiane de la bande qui est inférieur au diamètre vers les bords de la bande) mais préférer un profil à chaud plat ou avec un léger bombé (c'est-à-dire avec un diamètre dans la zone médiane de la bande qui est supérieur au diamètre vers les bords de la bande). En effet un profil en « diabolo » n'est pas auto-centreur, et lorsque la bande se déporte vers l'un des bords du rouleau, elle n'est pas rappelée vers le centre, contrairement au profil en « bombé » qui est auto-centreur. Ce phénomène a d'ailleurs été largement observé lors de l'entraînement de machines tournantes par courroies plates.

[0019] Pour éviter ce phénomène, les rouleaux équipant les chambres de chauffage sont le plus généralement usinés avec un bombé initial, qui est suffisant pour conserver un profil à chaud avec un très léger bombé après le profil thermique dû au contact de la bande et du rouleau, alors que les rouleaux équipant les chambres de refroidissement sont le plus généralement usinés avec un profil plat, le très léger bombé final du profil à chaud est le profil thermique dû au contact de la bande et du rouleau.

[0020] Le passage d'une bande sur un rouleau non cylindrique entraîne des contraintes mécaniques différentielles suivant la largeur. Lorsque ces contraintes mécaniques, superposées aux autres contraintes mécaniques (traction de bande, poids propre...) excèdent la limite élastique (ou la limite de flambage qui peut être inférieure à la limite élastique) de la bande à la température donnée, il y a formation de plis.

[0021] Ce phénomène existe en régime stable, et bien plus encore en régime transitoire. En effet, lorsque l'on procède à un changement de format de la bande (épaisseur et/ou largeur) et/ou à un changement de qualité (cycle thermique) de bande, ladite bande passe alors sur des rouleaux qui ont le profil à chaud de la bande précédente, ou de la même bande dans des conditions non stabilisées.

[0022] Par exemple, dans une chambre de chauffage, le risque de formation de plis (communément appelés "heat buckle") est d'autant plus grand que le profil du rouleau sous la bande s'éloigne d'un profil cylindrique et que la bande est chaude (ladite bande a en effet alors une limite élastique et une limite au flambage plus faibles). Si l'on passe d'une bande étroite à une bande large, le bombé thermique à chaud initial sera trop prononcé, et ce bombé du rouleau trop prononcé induira donc un risque de plis important. De même, le passage d'une bande épaisse à une bande fine dans une chambre de chauffage présente des risques plus importants qu'en régime stabilisé.

EVOLUTION DE LA PRODUCTION

[0023] Les problèmes de qualité ou de perte de productivité dus aux plis ne sont pas nouveaux, mais présentent une criticité de plus en plus importante pour les raisons exposées ci-après.

[0024] Les sidérurgistes ont de plus en plus de formats (épaisseur, largeur) ou de qualités de bande (cycle thermique) à traiter. Le nombre de transitions augmente (il n'est pas rare de changer d'épaisseur, de largeur de bande et/ou de qualité de bande toute les deux à cinq bobines traitées).

[0025] Les formats des bandes évoluent vers des largeurs qui sont de plus en plus grandes. Les tôles de 2000 mm de large sont maintenant courantes, alors qu'elles dépassaient rarement 1600 mm il y a quelques années. Par ailleurs, l'amélioration des propriétés mécaniques finales des aciers permet d'en diminuer l'épaisseur, conduisant à une baisse du poids. Globalement le rapport largeur / épaisseur augmente donc sensiblement, d'où une plus grande sensibilité aux plis.

[0026] L'apparition des nuances modernes à bas carbone, en particulier la généralisation des aciers sans interstitiels, exige pour ces aciers emboutissables un recuit à plus haute température, c'est-à-dire une bande à très faible limite élastique et à très faible limite au flambage. La baisse de résistance mécanique à haute température qui en résulte accentue donc encore, le risque de plis.

[0027] L'apparition de chambres de refroidissement rapide directement à partir de la température de recuit accentue les profils thermiques des rouleaux générés par la bande (environnement très froid, et bande chaude).

[0028] L'augmentation de productivité impose une augmentation de la vitesse, impliquant alors une nécessité de guidage plus pointue afin d'éviter les déports latéraux.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0029] Diverses solutions ont été mises en oeuvre dans le passé, pour améliorer la productivité des lignes et la qualité des produits à traiter, comme rappelé ci-après à titre d'exemple.

[0030] Des variations de la traction de bande ont été essayées, en baissant de façon empirique ou pseudo-empirique la traction pour certains formats ou qualités de bande. Cette méthode conduit souvent à associer à cette baisse de traction une baisse de vitesse afin de pallier le risque de déport de bande qui augmente quand la traction diminue, ce qui implique une perte de productivité. Enfin, compte tenu du manque de modélisation, cette méthode n'est pas totalement fiable, et les risques de déport et/ou de plis subsistent, ce qui entraîne des pertes de qualité et/ou de productivité.

[0031] Des capteurs de formation de plis dans les chambres ont été quelquefois utilisés pour piloter la vitesse de bande (réduction de vitesse). Cette technique présente cependant l'inconvénient de n'avoir aucune action prédictive, et implique une perte de production.

[0032] On a également recherché un ordonnancement de la production limitant les transitions et donc les risques de plis, et par conséquent les pertes de qualité et/ou de productivité. Ce procédé est toutefois très contraignant, car il implique une planification des produits à traiter, ce qui impose un stock en amont de la ligne, et allonge de ce fait les délais de réactivité à une demande de format et/ou de cycle spécifique d'un client.

[0033] On a aussi utilisé des bobines dites de transition (c'est-à-dire non commercialisées ou déclassées) lors de transitions de format et/ou de qualité de bande à risque de plis, ce qui évite les plis sur les bandes commercialisées ou non déclassées, avec les conséquences sur les pertes de production (casse de bande par exemple) et/ou de qualité, mais ceci implique une perte de productivité de la ligne.

[0034] Une modification du rouleau lui-même a été proposée (voir par exemple le document JP-A- 04-06733), mais cette technique est très coûteuse et délicate à mettre en oeuvre à grande vitesse.

[0035] On a également testé une interposition d'écrans thermiques (fixes ou mobiles) entre les bords du rouleau et les tubes radiants de la chambre de chauffage (voir par exemple le document JP-A-06-228659), éventuellement complétée par un rideau de gaz d'atmosphère (voir le document JP-A-02-282431) ou des éléments chauffants (voir le document JP-A-63-038532). Cette technique permet certes d'agir sur la thermique du rouleau, mais nécessite la mise en oeuvre d'équipements complexes et relativement coûteux en investissement et en maintenance. En effet, les écrans seuls ne suffisent pas, et restent en tout état de cause des actionneurs passifs.

[0036] On a aussi utilisé des procédés d'écrans dynamiques, c'est-à-dire la réduction des plis formés dans la zone de chauffage des lignes de traitement en continu des bandes par action sur le bombé thermique des rouleaux de transport, cette modification de l'état thermique des rouleaux étant réalisée directement par la modulation du chauffage des tubes radiants situés au voisinage de ces rouleaux. On pourra par exemple se référer au document EP-A-1 229 138. Ce procédé agit sur le bombé thermique uniquement en fonction de critères empiriques déterminés par les tolérances de température globales (c'est-à-dire sans dissociation des tolérances métallurgiques et des tolérances process), et ne pilote pas la traction de bande, et de ce fait n'optimise pas la productivité de la ligne. En outre, sur la plupart des chambres de chauffage existantes, les tubes radiants sont regroupés pour la régulation de chauffe en zones de contrôle verticales, de sorte qu'un contrôle des seuls tubes radiants situés au voisinage des rouleaux impose des modifications lourdes et donc non économiques.

[0037] On a aussi proposé des modèles de calcul des transitions visant à limiter la différence de température entre les deux formats de bande lors d'une transition, afin que la température du produit le plus chaud soit compatible avec des consignes de tolérances de températures prédéfinies. Ces modèles présentent cependant deux inconvénients majeurs :

- ils ne calculent pas en temps réel les échanges thermiques entre la bande et chaque rouleau, et donc n'intègrent pas l'effet de la conduction lié à la vitesse de la ligne, et
- ils ne dissocient pas les tolérances de température process et les tolérances de températures métallurgiques.

[0038] La production n'est donc pas optimisée, en particulier car les tolérances de températures ne sont pas maximales dans certains cas. Enfin les stratégies antiplis sont le plus souvent globales et appliquées à toutes les transitions, ce qui limite la productivité de la ligne.

[0039] D'ailleurs, toute combinaison des solutions ci-dessus ne présente aucun attrait majeur.

[0040] Pour compléter l'état de la technique, il convient également de citer quelques autres documents qui illustrent différentes approches proposées pour réduire les plis et/ou obtenir un guidage stable de la bande sur les rouleaux.

[0041] Le document WO 98/30852 décrit un procédé visant à optimiser le guidage d'une bande de métal passant sur plusieurs rouleaux dans une ligne de traitement thermique continue. Le procédé met en oeuvre une régulation par un système de contrôle qui prend en compte les mesures de variables relatives à la bande et de variable relatives au système de réchauffement. Le système de contrôle utilise ces variables, des données entrées manuellement et un profil de températures de bande dit

«de conception » pour déterminer les modifications à apporter aux paramètres du système de réchauffement, en vue d'atteindre ce profil de température.

[0042] Le document EP-A1- 0 265 700 décrit un dispositif de contrôle de la tension d'une bande en défilement dans une ligne verticale de traitement thermique, comprenant des moyens d'estimation de la température sur diverses sections du rouleau, en fonction de la température mesurée dans le four et de la vitesse de déroulement de la bande. La description précise que le dispositif comprend un circuit destiné à déterminer une tension cible de la bande en tenant compte du bombé effectif estimé du rouleau.

[0043] Le document JP-A-08 013 042 décrit ainsi un procédé de réduction de plis pour une bande d'acier circulant dans une chambre de chauffage, selon lequel on pilote les éléments chauffants pour ajuster la température de la chambre de chauffage et la température de la bande, en se basant sur l'expérience des fonctionnements précédents. Il est à noter qu'aucun calcul en temps réel du profil à chaud des rouleaux et de la température de bande n'est prévu. La vitesse de ligne est seulement déterminée empiriquement à partir de gammes de températures acceptables, de sorte qu'aucune référence à un modèle physique intégré d'échange thermique n'est prévue.

[0044] Le document JP-A-07 278 682 décrit un procédé analogue au précédent, dans lequel on pilote une atmosphère gazeuse pour éviter la formation de plis en modifiant les consignes d'une préchauffe à feu direct, avec la détermination d'une gamme de températures admissibles pour la bande. On ne se préoccupe donc aucunement dans ce procédé des profils des rouleaux.

[0045] Le document JP-A-02 030 721 décrit un procédé visant à obtenir un guidage stable de la bande sur les rouleaux (la question des plis n'est donc pas directement concernée), en se fondant sur les écarts de température entre les bords et le centre des rouleaux, lesquels écarts sont maintenus en dessous d'un seuil prédéterminé en modifiant la vitesse de ligne. On cherche donc à prédire par le calcul la distribution des températures dans les rouleaux en fonction des mesures d'épaisseur, de largeur, de température, et de vitesse de la bande. Il n'est cependant aucunement suggéré de calculer en temps réel le profil à chaud des rouleaux, et aucune référence à un modèle physique intégré d'échange thermique n'est prévue.

[0046] Le document JP-A-62 089 821 décrit un procédé visant à éviter à la fois le glissement latéral de la bande et la formation de plis, consistant à estimer le bombé des rouleaux et à modifier la vitesse de ligne pour que ce bombé reste dans une plage prédéterminée. Il s'agit donc d'une approche purement empirique avec une référence à des abaques, consistant à sélectionner de façon empirique des profils de chauffe de bande dans la chambre de chauffage, puis à effectuer des interpolations. Il convient d'observer que l'estimation du bombé des rouleaux dont il est question n'a rien à voir avec un calcul de profil en temps réel.

[0047] Le document JP-A-60 021 335 décrit un détecteur de plis par un capteur qui transmet un message d'alerte en cas de pli détecté, lequel message déclenche un recalage des paramètres de température, de vitesse de ligne, et de tension de bande.

[0048] Le document JP-A-08 060 255 décrit un procédé de détection et de prédiction de la formation de plis au moyen de calculs répétitifs de la température de bande, de la température des rouleaux, et du profil des rouleaux. Il convient de noter qu'aucune référence à un modèle physique intégré d'échange thermique n'est prévue.

[0049] Le document JP-A-04 056 733 décrit enfin une structure de rouleau avec un manchon intérieur chauffant pour avoir une répartition plus uniforme de la température.

OBJET DE L'INVENTION

[0050] L'invention vise à optimiser la vitesse de ligne et/ou la traction de bande et/ou les tolérances de température process de façon économique afin de maximiser la production de la ligne et la qualité du produit final.

DEFINITION GENERALE DE L'INVENTION

[0051] Le problème technique précité est résolu conformément à l'invention grâce à un procédé d'amélioration de la production d'une ligne verticale de traitement thermique de l'acier ou de l'aluminium et/ou d'amélioration de la qualité des produits à traiter par réduction des plis formés dans une chambre de chauffage ou de refroidissement pour une bande métallique passant sur des rouleaux de transport et/ou de renvoi équipant ladite chambre, avec une détermination des tolérances de températures de bande acceptables pour non-formation de plis sur les rouleaux, en régime stable ou transitoire, ledit procédé étant caractérisé par un calcul en temps réel du profil à chaud du ou des rouleaux les plus critiques pour la formation de plis, et un calcul en temps réel de la température de bande maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés pour ledit ou lesdits rouleaux les plus critiques, lesdits calculs étant effectués par référence à au moins un modèle physique intégré d'échange thermique incluant à tout le moins les échanges conductifs entre la bande et les rouleaux de la chambre de chauffage ou de refroidissement, conformément à la revendication 1.

[0052] De préférence, le procédé comporte l'optimisation du ou des profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux les plus critiques en agissant sur les éléments de chauffage ou de refroidissement de bande équipant la chambre de chauffage ou de refroidissement.

[0053] Avantageusement encore, le procédé comporte le calcul et l'application en temps réel de la vitesse de bande maximum admissible et/ou de la traction de bande maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux les plus critiques.

[0054] L'invention concerne également un dispositif destiné à mettre en oeuvre un procédé d'amélioration présentant l'une au moins des caractéristiques précitées, ledit dispositif étant remarquable en ce qu'il comporte un calculateur de process utilisant au moins un modèle physique intégré d'échange thermique incluant à tout le moins les échanges conductifs entre la bande et les rouleaux de la chambre de chauffage ou de refroidissement, ledit calculateur étant agencé pour déterminer les tolérances de températures de bande acceptables pour non-formation de plis sur les rouleaux, et pour calculer en temps réel le profil à chaud du ou des rouleaux les plus critiques pour la formation de plis et la température maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés pour ledit ou lesdits rouleaux les plus critiques, en se référant audit au moins un modèle physique intégré d'échange thermique.

[0055] De préférence, le calculateur de process est également agencé pour calculer en temps réel la vitesse et/ou la traction de bande admissibles pour le ou les profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux les plus critiques.

[0056] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation particulier, en référence aux figures 5 et 6, dans lesquelles on a conservé pour les organes homologues les mêmes références que celles utilisée aux figures 1 à 4.

DESCRIPTION DETAILLEE DES MOYENS DE MISE EN OEUVRE DE L'INVENTION

[0057] Conformément à l'invention, et contrairement aux solutions de l'état de l'art, seules les contraintes de tolérances de température métallurgiques sont indiquées comme consigne par l'exploitant pour une bande donnée, et un modèle mathématique optimise la vitesse de ligne, les tolérances de température process et/ou la traction de bande pour éviter les plis et assurer une productivité maximum en fonction du calcul en temps réel des profils de rouleaux en régime stable et transitoire. Le modèle mathématique intègre en temps réel l'effet de la conduction entre la bande et les rouleaux.

[0058] Un exemple de mise en oeuvre de l'invention dans une chambre de chauffage (figure 5) est constitué par un calculateur de process 100 qui modélise principalement les échanges thermiques entre la bande 3 et les éléments de chauffage 4, les échanges thermiques entre la bande 3 et les rouleaux 2, et les échanges thermiques entre la chambre 1 et la bande 3, afin de calculer le profil thermique en temps réel de chaque rouleau ou de chaque rouleau critique pour la formation de plis. Le calculateur 100 est ainsi capable de prendre et/ou d'indiquer les actions nécessaires pour éviter la formation de plis.

[0059] Un exemple de mise en oeuvre de l'invention dans une chambre de refroidissement (figure 6) est constitué par un calculateur de process 100 qui modélise principalement les échanges thermiques entre la bande 3' et les éléments de refroidissement 4', les échanges thermiques entre la bande 3' et les rouleaux 2', et les échanges thermiques entre la chambre 1' et la bande 3', afin de calculer le profil thermique en temps réel de chaque rouleau ou de chaque rouleau critique pour la formation de plis. Le calculateur 100 est ainsi capable de prendre et/ou d'indiquer les actions nécessaires pour éviter la formation de plis.

[0060] La mise en oeuvre dans une ou plusieurs chambres de chauffage 1 peut naturellement être combinée à la mise en oeuvre dans une ou plusieurs chambres de refroidissement 1'.

[0061] Le modèle physique intégré d'échange thermique utilisé par le calculateur de process 100 concerne à tout le moins les échanges conductifs entre la bande 3 ou 3' et les rouleaux 2 ou 2' de la chambre de chauffage ou de refroidissement. Il peut cependant également concerner d'autres échanges thermiques, en particulier les échanges par rayonnement (entre la bande et les éléments de chauffage ou de refroidissement, ou entre la bande et la chambre de chauffage ou de refroidissement), ou les échanges par convection (entre la bande et l'atmosphère gazeuse régnant dans la chambre de chauffage ou de refroidissement).

[0062] Lorsque l'on a déterminé celui ou ceux des rouleaux 2 ou 2' qui sont les plus critiques pour la formation de plis, le modèle physique intégré sert de référence de base pour les échanges thermiques entre la bande 3 ou 3' et les rouleaux 2 ou 2', en particulier les rouleaux qui sont en amont du ou des rouleaux les plus critiques, car ces derniers ont bien entendu une influence prépondérante.

[0063] Dans l'un ou l'autre des deux cas ci-dessus, le calculateur de process 100 détermine la tolérance de température process (température de bande maximale) pour non formation de plis compte tenu du profil de chaque rouleau calculé et :

i. maximise la vitesse de bande en régime stable (c'est-à-dire pour une même bande et un même cycle thermique) pour respecter cette tolérance de température process (ainsi que les tolérances de température métallurgiques) ;

ii. maximise la ou les vitesses des bande en régime transitoire (c'est-à-dire lors d'un changement de cycle thermique et/ou d'un changement de format) pour respecter cette tolérance de température process (ainsi que les tolérances de température métallurgiques) ;

iii. agit au besoin sur la traction de bande pour respecter les impératifs de guidage et de non formation de plis compte tenu des profils de rouleaux calculés ; et

iv. agit au besoin sur les organes de chauffage ou de refroidissement de bande pour optimiser le profil de rouleau afin d'augmenter la tolérance de température process.

[0064] L'invention procure des avantages très importants, qui sont rappelés ci-après :

- gain de productivité de la ligne, par application instantanée de la vitesse maximum compatible avec la non formation de plis ;
- gain de qualité et de productivité par garantie de non formation de plis (avec les conséquences associées de production de second choix, de ralentissement de ligne, ou de casse de bande) ;
- gain de flexibilité par une possibilité de passage de transition de format et ou de qualité de bande non réalisable avec les solutions traditionnelles.

Revendications

1. Procédé d'amélioration de la production d'une ligne verticale de traitement thermique de l'acier-ou de l'aluminium et/ou d'amélioration de la qualité des produits à traiter par réduction des plis formés dans une chambre (1 ; 1') de chauffage ou- de refroidissement pour une bande métallique (3 ; 3') passant sur des rouleaux de transport et/ou de renvoi équipant ladite chambre; avec une détermination des tolérances de températures de bande acceptables pour non-formation de plis sur les rouleaux, en régime stable ou transitoire, **caractérisé par** un calcul en temps réel du profil à chaud du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques pour la formation de plis, et un calcul en temps réel de la température de bande maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés pour ledit ou lesdits rouleaux les plus critiques, lesdits calculs étant effectués par référence à au moins un modèle physique intégré d'échange thermique incluant à tout le moins les échanges conductifs entre la bande (3 ; 3') et les rouleaux (2 ; 2') de la chambre (1 ; 1') de chauffage ou de refroidissement.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé par** l'optimisation du ou des profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques en agissant sur les éléments (4 ; 4') de chauffage ou de refroidissement de bande équipant la chambre (1 ; 1') de chauffage ou de refroidissement.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé par** le calcul et l'application en temps réel de la vitesse de bande maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques.

4. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé par** le calcul et l'application en temps réel de la traction de bande maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques.

5. Dispositif destiné à mettre en oeuvre un procédé d'amélioration selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**il comporte un calculateur de process (100) utilisant au moins un modèle physique intégré d'échange thermique incluant à tout le moins les échanges conductifs entre la bande (3 ; 3') et les rouleaux (2 ; 2') de la chambre (1 ; 1') de chauffage ou de refroidissement, ledit calculateur étant agencé pour déterminer les tolérances de températures de bande acceptables pour non-formation de plis sur les rouleaux, et pour calculer en temps réel le profil à chaud du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques pour la formation de plis et la température maximum admissible pour le ou les profils à chaud calculés pour ledit ou lesdits rouleaux les plus critiques, en se référant audit au moins un modèle physique intégré d'échange thermique.

6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le calculateur de process (100) est également agencé pour calculer en temps réel la vitesse et/ou la traction de bande admissibles pour le ou les profils à chaud calculés en temps réel du ou des rouleaux (2 ; 2') les plus critiques.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steigerung der Produktion einer vertikalen Wärmebehandlungslinie zur Wärmebehandlung von Stahl oder Aluminium und/oder zur Steigerung der Qualität der zu behandelnden Produkte durch Reduzierung von Falten, die in einer Heiz- oder Kühlkammer (1; 1') für ein Metallband (3; 3') gebildet werden, das auf Transport- und/oder Umlenkrollen läuft, mit denen diese Kammer ausgestattet ist, mit einer Bestimmung der akzeptablen Bandtemperaturtoleranzen für eine Nichtbildung von Falten auf den Rollen im Ruhe- oder Übergangszustand, **gekennzeichnet durch** eine Echtzeitberechnung des Warmprofils der Rolle bzw. Rollen (2; 2'), die für die Bildung von Falten am kritischsten sind, und eine Echtzeitberechnung der maximal zulässigen Bandtemperatur für das berechnete Warmprofil bzw. die berechneten Warmprofile für die kritischste Rolle bzw. die kritischsten Rollen, wobei diese Berechnungen **durch** Bezugnahme auf mindestens ein physikalisches Modell mit integriertem Wärmeaustausch erfolgen, das zumindest die leitenden Austausche zwischen dem Band (3; 3') und den Rollen (2; 2') der Heiz- oder Kühlkammer (1; 1') einschließt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** die Optimierung des echtzeitberechneten Warmprofils bzw. der echtzeitberechneten Warmprofile der kritischsten Rolle bzw. der kritischsten Rollen (2; 2') **durch** Einwirken auf die Bandheiz- oder -kühlelemente (4; 4'), mit denen die Heiz- oder

Kühlkammer (1; 1') ausgestattet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** die Berechnung und die Anwendung in Echtzeit der maximal zulässigen Bandgeschwindigkeit für das echtzeitberechnete Warmprofil bzw. die echtzeitberechneten Warmprofile der kritischsten Rolle bzw. der kritischsten Rollen (2; 2').

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** die Berechnung und die Anwendung in Echtzeit des maximal zulässigen Bandzuges für das echtzeitberechnete Warmprofil bzw. die echtzeitberechneten Warmprofile der kritischsten Rolle bzw. der kritischsten Rollen (2; 2').

5. Vorrichtung, die dazu bestimmt ist, ein Verfahren zur Steigerung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 durchzuführen, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen Prozessrechner (100) umfasst, der mindestens ein physikalisches Modell mit integriertem Wärmeaustausch umfasst, das zumindest die leitenden Austausche zwischen dem Band (3; 3') und den Rollen (2; 2') der Heiz- oder Kühlkammer (1; 1') einschließt, wobei der Rechner derart ausgebildet ist, dass er die für die Nichtbildung von Falten auf den Rollen zulässigen Bandtemperaturtoleranzen bestimmt und dass er das Warmprofil der kritischsten Rolle bzw. der kritischsten Rollen (2, 2') für die Bildung von Falten und die maximal zulässige Temperatur für das berechnete Warmprofil bzw. die berechneten Warmprofile für die kritischste Rolle bzw. die kritischsten Rollen unter Bezugnahme auf das mindestens eine physikalische Modell mit integriertem Wärmeaustausch in Echtzeit berechnet.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prozessrechner (100) ferner ausgebildet ist, um die zulässige Geschwindigkeit und/oder den zulässigen Bandzug für das echtzeitberechnete Warmprofil bzw. die echtzeitberechneten Warmprofile der kritischsten Rolle bzw. der kritischsten Rollen (2; 2') in Echtzeit zu berechnen.

Claims

1. An improvement method for improving the production from a line for vertical heat treatment of steel or aluminum, and/or for improving the quality of substances to be treated by reducing buckles formed in a heating or cooling chamber (1; 1') for a metal strip (3; 3') passing over transport and/or deflector rollers forming part of said chamber, with temperature tolerances for the strip that are acceptable for non-formation of buckles on the rollers under stable or transient conditions being determined, the method being **characterized in that** calculation is performed in real time of the hot profile(s) of the roller(s) (2; 2') that is/are the most critical for forming buckles, and calculation is performed in real time of the maximum acceptable strip temperature for the hot profile(s) calculated for said most critical roller(s), said calculations being performed by reference to at least one integrated physical model of heat exchanges including at least conductive exchanges between the strip (3; 3') and the rollers (2; 2') of the heating or cooling chamber (1; 1').

2. A method according to claim 1, **characterized by** optimizing the hot profile(s) calculated in real time for the most critical roller(s) (2; 2') by acting on the strip heater or cooler elements (4; 4') of the heating or cooling chamber (1; 1').

3. A method according to claim 1 or claim 2, **characterized by** calculating and applying in real time the maximum acceptable strip speed for the hot profile(s) calculated in real time of the most critical roller(s) (2; 2').

4. A method according to claim 1 or claim 2, **characterized by** calculating and applying in real time the maximum strip traction that is acceptable for the hot profile(s) calculated in real time for the most critical roller(s) (2; 2').

5. A device for performing an improvement method according to any one of claims 1 to 4, the device being **characterized in that** it includes a process computer (100) using at least one integrated physical model of heat exchanges including at least conductive exchanges between the strip (3; 3') and the rollers (2; 2') of the heating or cooling chamber (1; 1'), said computer being arranged to determine the strip temperature tolerances that are acceptable for non-formation of buckles on the rollers, and for calculating in real time the hot profile(s) of the roller(s) (2; 2') that are/is the most critical for forming buckles, and the maximum temperature acceptable for the hot profile(s) calculated for said most critical roller(s), with reference to said at least one integrated physical model of heat exchange.

6. A device according to claim 5, **characterized in that** the process computer (100) is also arranged to calculate in real time the strip speed and/or traction acceptable for the hot profile(s) calculated in real time for the most critical roller(s) (2; 2').

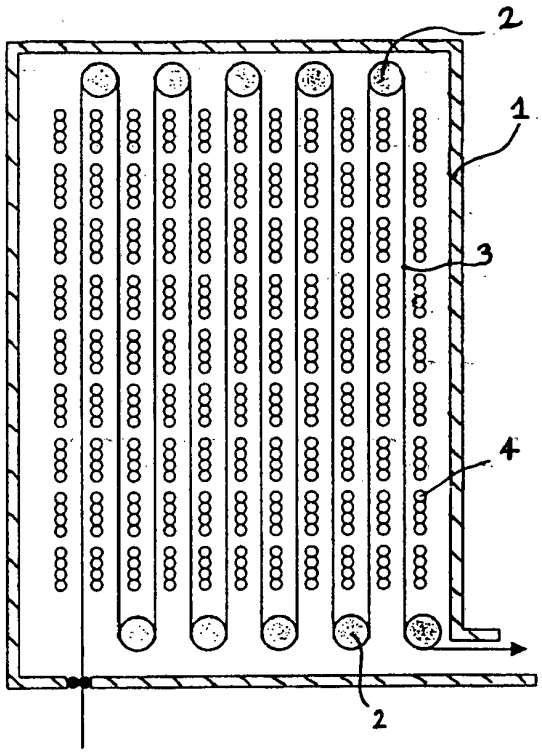


Fig. 1

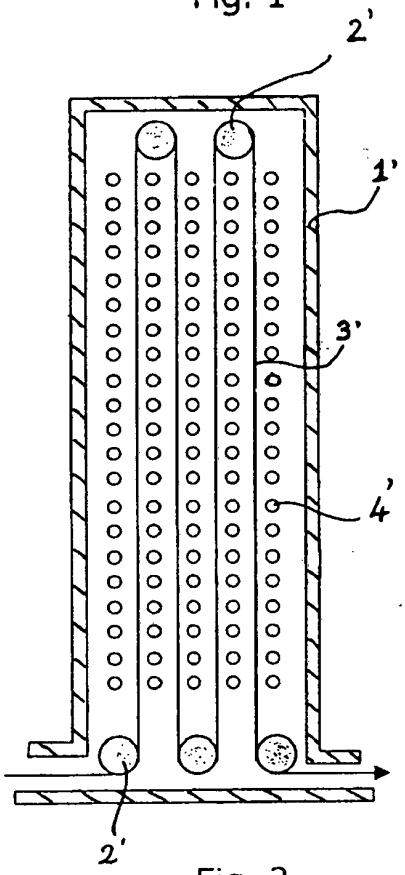


Fig. 2

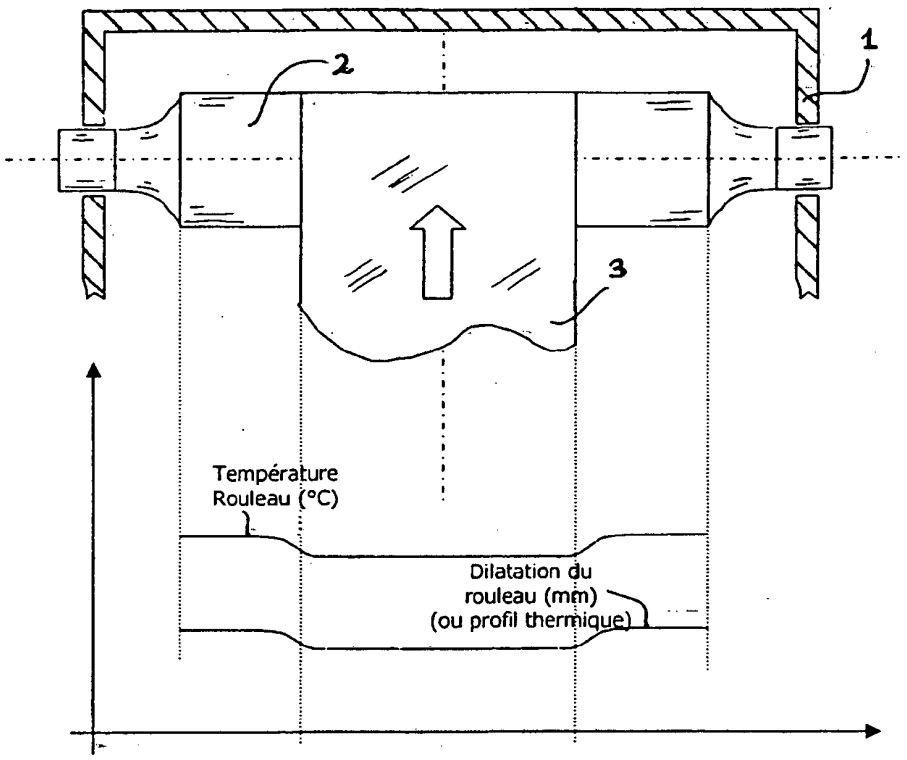

1
2
3
Température
Rouleau (°C)
Dilatation du
rouleau (mm)
(ou profil thermique)

Fig.3

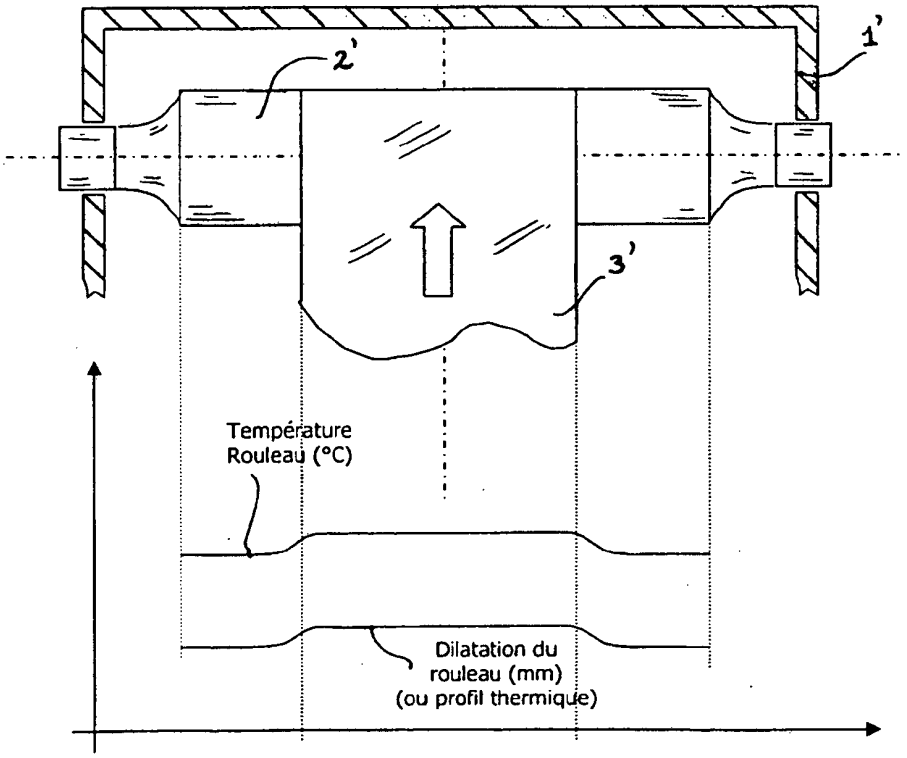

1'
2'
3'
Température
Rouleau (°C)
Dilatation du
rouleau (mm)
(ou profil thermique)

Fig.4

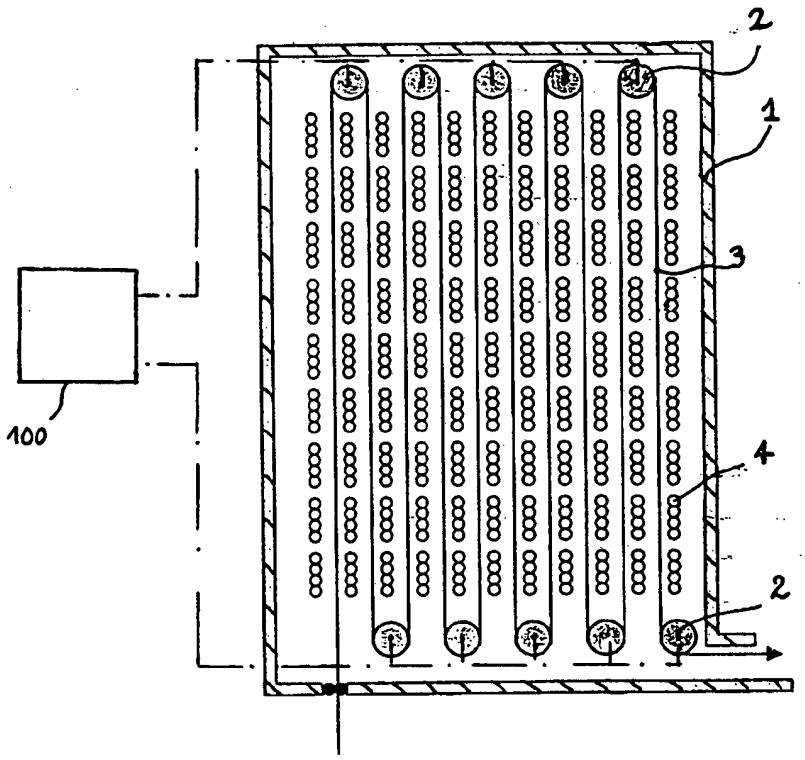


Fig. 5

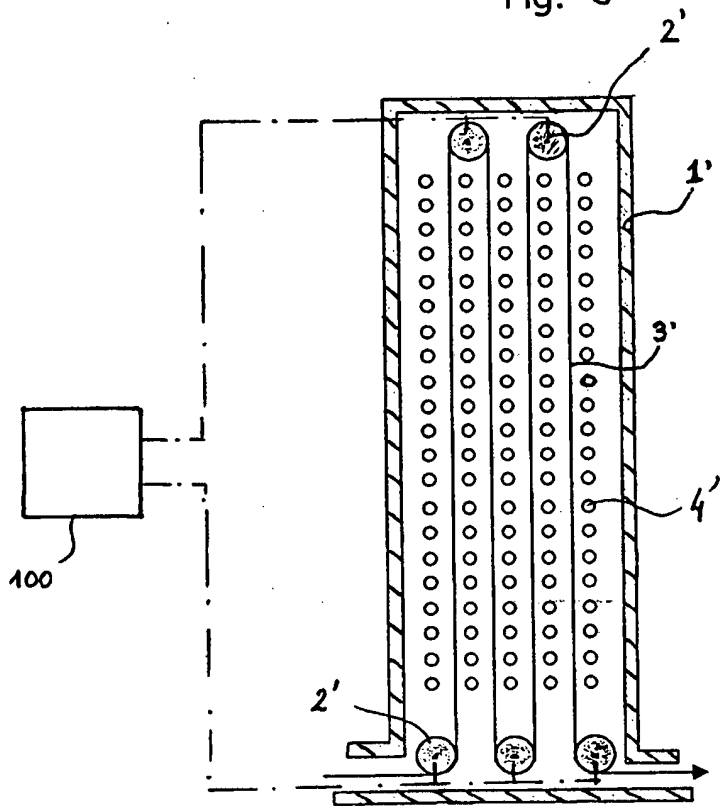


Fig. 6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- JP 4006733 A **[0034]**
- JP 6228659 A **[0035]**
- JP 2282431 A **[0035]**
- JP 63038532 A **[0035]**
- EP 1229138 A **[0036]**
- WO 9830852 A **[0041]**
- EP 0265700 A1 **[0042]**
- JP 08013042 A **[0043]**
- JP 07278682 A **[0044]**
- JP 02030721 A **[0045]**
- JP 62089821 A **[0046]**
- JP 60021335 A **[0047]**
- JP 08060255 A **[0048]**
- JP 04056733 A **[0049]**