

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 149 701

21 N° d'enregistrement national : 23 05655

51 Int Cl<sup>8</sup> : G 05 B 13/04 (2023.01), C 21 D 11/00

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 06.06.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.12.24 Bulletin 24/50.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : FIVES KEODS Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : BARBIER David, MÉNIGAULT Etienne, NAUZIN Jean-Paul et OLLAGNIER Arnaud.

73 Titulaire(s) : FIVES KEODS Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : IP TRUST.

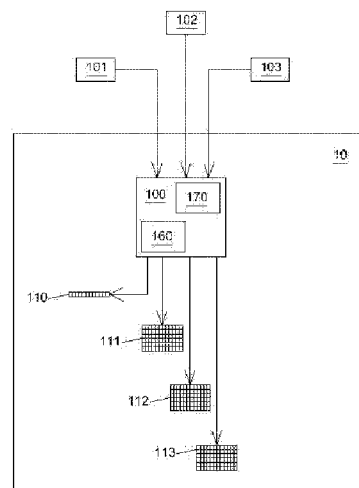
54 PROCÉDE DE PILOTAGE D'UNE LIGNE CONTINUE.

57 TITRE : PROCÉDE DE PILOTAGE D'UNE LIGNE CONTINUE

Procédé de fonctionnement d'une ligne (1) continue de traitement de bandes (2) métalliques, ledit traitement étant destiné à faire passer des bandes d'un état initial en entrée (3) de ligne à un état final en sortie (5) de ligne, chaque état étant défini par un ensemble de propriétés de la bande, le procédé comportant une détermination par une unité de calcul (100) d'un cycle thermique optimal à faire subir à une bande pour atteindre son état final selon son état initial, l'unité de calcul mettant en œuvre un modèle métallurgique (160) et un modèle d'optimisation (170) de paramètres de fonctionnement de la ligne, le cycle thermique optimal définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détermination de tables (111, 112, 113) de cycles thermiques alternatifs pour chaque bande en fonction d'un paramètre clé de fonctionnement de la ligne, l'étape de détermination étant réalisée avant l'entrée de la bande dans la ligne, chaque cycle thermique alternatif définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, et en ce que le fonctionnement de la ligne est permuté d'un cycle thermique optimal à un cycle thermique alternatif, ou entre deux cycles thermiques alternatifs, lorsqu'un événement dans le

fonctionnement de la ligne rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande.

Figure pour l'abrégé : Figure 2



FR 3 149 701 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : PROCÉDE DE PILOTAGE D'UNE LIGNE CONTINUE**

#### **Désignation du domaine technique concerné**

- [0001] L'invention est relative aux lignes de traitement en continu de bandes métalliques, qu'elles soient en acier au carbone, en acier inoxydable, en acier au silicium ou en tout autre matériau. Elle s'applique à tous types de ligne, notamment les lignes de recuit, les lignes de galvanisation, les lignes de passivation et/ou de peinture, les lignes de décapage, les lignes de décarburation et les lignes mixtes, par exemple comprenant un recuit, une galvanisation, un pré-laquage et/ou un revêtement de film plastique.
- [0002] L'invention est plus spécifiquement relative aux procédés et systèmes de contrôle et de pilotage des lignes de traitement en continu de bandes métalliques.

#### **Problèmes techniques auxquels répond l'invention**

- [0003] Les lignes de traitement en continu de bandes métalliques sont des installations de grandes dimensions pouvant comprendre plusieurs chambres successives de chauffage et de refroidissement. La bande circule à grande vitesse dans la ligne, par exemple à 180 m/min pour une ligne de galvanisation et à 400 m/min pour une ligne de recuit.
- [0004] Les paramètres de fonctionnement de la ligne sont ajustés selon la nature de la bande, notamment sa composition chimique et son format, ainsi que son état initial en entrée de la ligne et l'état final souhaité en sortie de la ligne. Il est de plus nécessaire de gérer des phases de transition, par exemple entre deux bandes de composition, largeur ou épaisseur différentes, nécessitant des changements de paramètres de fonctionnement de la ligne.
- [0005] Un système informatique assure le contrôle et le pilotage de la ligne en lien avec les capteurs et servo-mécanismes. Il peut comprendre notamment des modèles métallurgiques, thermiques, physiques, statistiques et d'optimisation des paramètres de fonctionnement de la ligne.
- [0006] Ces modèles sont complexes. Le système informatique doit disposer de ressources importantes en calcul afin de déterminer les points de consigne à appliquer pour chaque bande, en régime de production stabilisé et lors des transitions liées aux changements de bandes.
- [0007] Les systèmes de contrôle et de pilotage des lignes selon l'état de la technique trouvent leurs limites lorsqu'un changement inattendu nécessite de déterminer rapidement de nouvelles consignes de fonctionnement de la ligne. Cela est par exemple le cas lorsqu'un opérateur force le changement d'une consigne ou en cas de défaillance d'un équipement, lorsque celle-ci nécessite de changer la vitesse de la ligne ou le cycle

thermique appliqué à la bande.

[0008] Dans ces circonstances, les systèmes de contrôle et de pilotage avec modèles métallurgiques, thermiques et d'optimisation des paramètres de fonctionnement de la ligne nécessitent d'effectuer de nouveaux calculs à partir de ces modèles pour définir les nouvelles consignes à appliquer.

[0009] Le temps nécessaire pour calculer ces nouvelles consignes est important. Pendant celui-ci, la bande en cours de défilement dans la ligne n'est pas traitée avec des paramètres optimaux ce qui a pour effet d'en dégrader la qualité, avec potentiellement des pertes de production.

### **Arrière-plan technique**

[0010] Le brevet EP3652593 décrit un procédé de pilotage d'une ligne de recuit continue de bandes d'acier. Il consiste en l'utilisation d'un modèle de propriétés de matériaux qui prédit un ensemble de paramètres de processus préliminaires par rapport à l'état actuel de la ligne de recuit permettant la production de la bobine d'acier conformément à des propriétés cibles attendues en sortie de ligne de recuit continue. Ces paramètres de processus préliminaires sont soumis à un modèle de processus dynamique qui (i) à travers un processus itératif avec le modèle de propriétés de matériaux permet l'obtention de paramètres visant la convergence entre les propriétés prédites et les propriétés cibles et (ii) détermine si ces derniers sont en mesure d'être réalisés par la ligne de recuit continue avant de les appliquer pour la production de ladite bobine.

[0011] Au cours de la production, si un évènement venait à apparaître (par exemple, un changement manuel de vitesse demandé par l'opérateur de la ligne, une diminution de la capacité de chauffage...), une partie des paramètres réalisés ne seraient plus en adéquation avec l'ensemble de paramètres préalablement calculés, conduisant à une non-conformité des propriétés de la bobine. Ainsi le modèle de propriétés de matériaux viendrait à déterminer un ensemble de nouveaux paramètres de processus permettant l'obtention des propriétés cibles au regard des paramètres modifiés par l'évènement, ceci à travers un nouveau processus itératif initié par le modèle de processus dynamique.

[0012] Cette solution n'est pas pleinement satisfaisante du fait du temps de calcul et de rebouclage nécessaire en cours de production de la bobine d'acier en question, ces processus n'étant pas instantanés. En conséquence, une partie de la bobine produite pendant l'intervalle de temps de calcul et de rebouclage peut ne pas être conforme aux propriétés cibles et pourra être déclassée.

[0013] L'invention permet de remédier à ces problèmes en permettant de basculer très rapidement sur un mode de fonctionnement adapté à un changement inattendu survenu sur la ligne.

## Résumé de l'invention

- [0014] Selon un premier aspect de l'invention, il est proposé un procédé de fonctionnement d'une ligne continue de traitement de bandes métalliques, ledit traitement étant destiné à faire passer des bandes d'un état initial en entrée de ligne à un état final en sortie de ligne, chaque état étant défini par un ensemble de propriétés de la bande, le procédé comprenant l'utilisation d'une unité de calcul mettant en œuvre un modèle métallurgique et un modèle d'optimisation de paramètres de fonctionnement de la ligne pour définir un cycle thermique optimal à faire subir à une bande pour atteindre son état final, le cycle thermique optimal définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de détermination de tables de cycles thermiques alternatifs pour chaque bande en fonction d'un paramètre clé de fonctionnement de la ligne, l'étape de détermination étant réalisée avant l'entrée de la bande dans la ligne, chaque cycle thermique alternatif définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, et en ce que le fonctionnement de la ligne est permuté d'un cycle thermique optimal à un cycle thermique alternatif, ou entre deux cycles thermiques alternatifs, lorsqu'un évènement dans le fonctionnement de la ligne rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande.
- [0015] Les propriétés permettant de définir l'état de la bande sont notamment des propriétés mécaniques, métallurgiques, magnétiques, géométriques et d'état de surface de la bande.
- [0016] Le paramètre clé de fonctionnement de la ligne est par exemple la vitesse de la bande ou la température de recuit.
- [0017] Par unité de calcul, nous désignons un produit programme d'ordinateur apte à déterminer un cycle thermique à appliquer à la bande et les consignes à affecter à différents équipements de la ligne pour obtenir ce cycle thermique.
- [0018] L'unité de calcul est également apte à déterminer d'autres paramètres de fonctionnement d'équipements de la ligne, par exemple pour obtenir une épaisseur de revêtement souhaitée sur une ligne de galvanisation, ou un taux de décarburation sur une ligne de recuit et d'oxydation d'un acier au silicium.
- [0019] Par programme d'ordinateur, on désigne tout type de programme informatique ou de logiciel de calcul, qu'il soit mis en œuvre sur un ordinateur de bureau ou un ordinateur embarqué dans une armoire électrique, un automate, un calculateur électronique ou tout autre système de contrôle et de commande d'une installation industrielle. On entend par mémoire tous types de « support de stockage/média lisible par machine ». On entend par « support de stockage/média lisible par machine » ou « support de stockage/média lisible par ordinateur », sans toutefois s'y limiter, les dispositifs de stockage portables ou non portables, les dispositifs de stockage optique et divers autres

supports capables de stocker, de contenir ou de supporter des instructions et / ou données, et tout support qui participe à la fourniture d'instructions à un processeur pour leur exécution. Un support lisible par machine peut inclure un support non transitoire dans lequel des données peuvent être stockées et qui n'inclut pas les ondes porteuses et / ou les signaux électroniques transitoires se propageant sans fil ou par des connexions filaires. Les supports non volatiles comprennent, par exemple, les disques optiques, magnétiques ou les mémoires mortes. Les supports volatiles incluent la mémoire dynamique, y compris la mémoire cache. Les supports de transmission comprennent les câbles coaxiaux, les fils de cuivre et les fibres optiques. Les formes courantes de supports lisibles par ordinateur incluent, par exemple, sans toutefois s'y limiter, une disquette, un disque flexible, un disque dur, une bande magnétique, tout autre support magnétique, un CD-ROM, un DVD, tout autre support optique, des cartes perforées, un autre support physique avec des motifs de trous, une RAM, une PROM et une EPROM, une FLASH-EPROM, toute autre puce de mémoire ou cartouche, une onde porteuse, ou tout autre support à partir duquel un ordinateur peut lire. Diverses formes de supports lisibles par ordinateur peuvent être impliquées dans le support d'une ou plusieurs séquences d'une ou plusieurs instructions vers un processeur pour leur exécution.

- [0020] Un produit programme d'ordinateur peut inclure un code et / ou des instructions exécutables par une machine pouvant représenter une procédure, une fonction, un sous-programme, un programme, une routine, un sous-programme, un module, un logiciel, une classe ou toute combinaison de instructions, structures de données ou instructions de programme. Un segment de code peut être couplé à un autre segment de code ou à un circuit matériel en transmettant et / ou en recevant des informations, des données, des arguments, des paramètres ou des contenus de mémoire. Des informations, arguments, paramètres, données, etc., peuvent être transmis, transmis ou transmis par tout moyen approprié, notamment le partage de mémoire, la transmission de messages, la transmission de jetons, la transmission réseau, etc.
- [0021] L'état initial de la bande à l'entrée de la ligne est pris en compte pour la détermination par l'unité de calcul du cycle thermique à lui appliquer pour atteindre l'état cible visé en sortie de la ligne.
- [0022] Pour établir cet état initial, on peut considérer notamment la composition chimique de la bande, les transformations thermomécaniques et métallurgiques subies par la bande lors des étapes d'élaboration effectuées en amont de la ligne comme la coulée continue, le laminage à chaud, le décapage, le laminage à froid, ses propriétés mécaniques telles que la résistance à la traction ou la limite élastique, son état de surface, etc.
- [0023] La ligne pouvant comprendre des équipements de chauffage par induction, qu'ils

soient à flux longitudinal et/ou à flux transversal, on peut également considérer, par exemple, la résistivité électrique ou plus généralement les propriétés magnétiques de la bande à l'entrée de la ligne.

- [0024] L'état final de la bande attendu en sortie de la ligne pourra également être caractérisé par ces mêmes critères et/ou d'autres critères, par exemple l'épaisseur de revêtement pour les lignes de galvanisation ou la quantité d'oxydes présents à la surface de la bande.
- [0025] A partir de ces données d'entrée et de sortie, l'unité de calcul détermine un cycle thermique optimal permettant d'obtenir une bande ayant toutes les caractéristiques souhaitées en sortie de ligne.
- [0026] Si les équipements présents sur la ligne ne permettent pas de réaliser un cycle thermique permettant d'obtenir une bande ayant toutes les caractéristiques souhaitées en sortie de ligne, le cycle thermique optimal sera celui permettant de s'en approcher au plus près.
- [0027] Le cycle thermique optimal peut ne pas pouvoir être réalisé pour plusieurs raisons, par exemple après un changement inattendu qui résulte de la défaillance d'un équipement ou d'un changement d'une consigne par un opérateur.
- [0028] Si certaines caractéristiques souhaitées peuvent être atteintes et d'autres non, une grille de pondération de ces caractéristiques pourra être établie de sorte que l'unité de calcul détermine un cycle optimal prenant en compte cette grille de pondération, les caractéristiques à atteindre en priorité étant celles dont le poids relatif est le plus important. Le cycle optimal pourra également être établi avec une fonction mathématique complexe reliant tout ou partie des paramètres à optimiser.
- [0029] Pour le cycle thermique optimal calculé par l'unité de calcul, celle-ci détermine un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, tels que la vitesse de défilement de la bande, les températures de consigne et les puissances de chauffe de zones de chauffage, le réglage de variateurs de fréquence sur des moteurs électrique, notamment ceux des ventilateurs disposés dans des sections de refroidissement, etc.
- [0030] Selon l'invention, l'unité de calcul calcule également un ensemble de cycles thermiques alternatifs destinés à venir en remplacement du cycle thermique optimal lorsque celui-ci ne peut pas être réalisé. Il détermine également l'ensemble des paramètres de fonctionnement de la ligne pour chacun de ces cycles.
- [0031] L'invention permet ainsi de disposer de cycles thermiques alternatifs prêts à constituer des solutions de repli lorsqu'un événement dans le fonctionnement de la ligne rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande.
- [0032] On évite ainsi que l'unité de calcul ait besoin de calculer un nouveau cycle thermique optimal, en faisant appel à ses modèles métallurgiques, thermiques et d'optimisation des paramètres de fonctionnement de la ligne, alors que la bande défile dans le four

dans des conditions non appropriées.

- [0033] La détermination des cycles thermiques alternatifs est réalisée avant l'entrée de la bande dans la ligne de sorte de ceux-ci soient disponibles lorsque survient le changement inattendu.
- [0034] Ainsi, lorsqu'un événement dans le fonctionnement de la ligne rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande, le fonctionnement de la ligne est rapidement permuté d'un cycle thermique optimal à un cycle thermique alternatif, ou entre deux cycles thermiques alternatifs si la ligne fonctionnait déjà sur un cycle thermique alternatif.
- [0035] Les cycles thermiques alternatifs sont calculés en fonction d'un paramètre clé de fonctionnement de la ligne, tel que la vitesse de la bande ou la température de recuit, ou encore d'autres paramètres que les opérateurs peuvent venir forcer lors de l'exploitation de la ligne.
- [0036] Selon l'invention, l'ensemble des paramètres de fonctionnement de la ligne, pour chacun de ces cycles thermiques alternatifs, est mis en forme en une ou plusieurs tables de données.
- [0037] Par exemple, pour une table, chaque ligne correspond à un cycle alternatif et à chaque colonne correspond un paramètre de fonctionnement de la ligne. Par exemple, sur la première colonne se trouve le paramètre clé à partir duquel ont été calculés les cycles thermiques alternatifs de la table de données, tels que la vitesse de la bande ou la température de recuit.
- [0038] Plusieurs tables peuvent être calculées, et rendues disponibles, chacune à partir d'un paramètre clé différent. Ainsi, selon la nature de l'évènement inattendu qui rend nécessaire le changement de cycle thermique, le système choisit la table dont l'élément clé est le plus pertinent.
- [0039] Par exemple, l'évènement clé d'une première table peut être la vitesse de la ligne, celle-ci apparaissant sur la première colonne de ladite table. Lorsque l'évènement inattendu est un changement de la consigne de la vitesse de ligne par un opérateur, le système prend directement dans cette table l'ensemble des paramètres se trouvant dans la table à la ligne où se trouve la nouvelle consigne de vitesse, ou celle dont la vitesse est la plus proche de la nouvelle consigne.
- [0040] Avantagusement selon l'invention, le choix du cycle alternatif est effectué selon la nature de l'évènement dans le fonctionnement de la ligne et l'importance de la déviation qu'il entraîne sur un paramètre clé de fonctionnement de la ligne.
- [0041] L'évènement dans le fonctionnement de la ligne qui rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande est subi ou choisi.
- [0042] Il est subi par exemple lorsqu'il fait suite à une défaillance d'un équipement de la ligne. Il est choisi par exemple lors d'un changement de bande. L'invention permet

ainsi de répondre à tous les cas de figure.

- [0043] Avantageusement selon l'invention, la gestion des régimes transitoires lors de changements de formats ou de qualité de bande peut être réalisée en utilisant des cycles thermiques alternatifs préalablement calculés et disponibles dans des tables.
- [0044] Pour passer d'une bande A à une bande B, le système de contrôle de la ligne peut ainsi utiliser une succession de cycles alternatifs préalablement calculés.
- [0045] Le passage d'un fonctionnement de la ligne d'un cycle thermique à un autre peut être effectué sans nécessiter de recalcul de l'unité de calcul.
- [0046] Les cycles thermiques alternatifs peuvent être définis de sorte que l'état final de la bande soit tel qu'attendu avec le cycle optimal ou au plus près de celui-ci.
- [0047] Avantageusement selon l'invention, le cycle thermique optimal et les cycles thermiques alternatifs sont déterminés pour optimiser un indice de qualité. Celui-ci est défini par un ou plusieurs critères tels que la productivité de la ligne, la consommation énergétique de la ligne, le niveau des émissions polluantes de la ligne, ou la consommation en eau de la ligne.
- [0048] Il est proposé une ligne continue de traitement de bandes métalliques comprenant un système de contrôle et de commande apte à mettre en œuvre un procédé selon l'invention.
- [0049] Il est proposé un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui lorsqu'elles sont chargées dans une mémoire d'un ordinateur de bureau ou un ordinateur embarqué dans une armoire électrique, un automate, un calculateur électronique ou tout autre système de contrôle et de commande d'une installation industrielle, conduisent un système de contrôle et de commande d'une ligne selon l'invention à exécuter les étapes d'un procédé selon l'invention.

### **Brève description des figures**

- [0050] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
- [0051] [Fig.1] est une vue schématique et partiellement représentée d'une ligne continue de traitement de bandes métalliques,
- [0052] [Fig.2] est une vue schématique et partiellement représentée d'une première partie d'un système de contrôle et de commande d'une ligne selon un exemple de réalisation de l'invention, et,
- [0053] [Fig.3] est une vue schématique et partiellement représentée d'une seconde partie du système de contrôle et de commande de la [Fig.2].
- [0054] Comme représenté en [Fig.1], une ligne 1 continue de traitement de bandes 2 métalliques comprend une section 3 d'entrée, une section 4 de traitement, une section 5 de

sortie et un système 10 de contrôle et de commande. Dans la section 4 de traitement, la bande peut passer par des chambres de chauffage, de maintien, de refroidissement et de revêtement destinées à modifier ses propriétés mécaniques et son état de surface.

[0055] Comme représenté en [Fig.2], un système 10 de contrôle et de commande d'une ligne continue selon un exemple de réalisation de l'invention comprend une unité de calcul 100 destinée à calculer des cycles thermiques adaptés aux bandes à traiter dans la ligne.

[0056] Pour une bande, en données d'entrée, l'unité de calcul utilise des informations 101 relatives à l'état de la bande en entrée de ligne, des informations 102 relatives à l'état de la bande visé en sortie de ligne et des informations 103 relatives aux caractéristiques de la ligne. L'unité de calcul met notamment en œuvre un modèle métallurgique 160 et un modèle d'optimisation 170.

[0057] Les informations 101 relatives à l'état de la bande en entrée de ligne sont par exemple sa composition chimique, ses propriétés mécaniques ou magnétiques, sa structure métallurgique, ses caractéristiques géométriques, sa résistivité électrique et son état de surface. Elles résultent des étapes d'élaboration et de traitement de la bande en amont de la ligne continue.

[0058] Les informations 102 relatives à l'état de la bande visé en sortie de ligne sont par exemple ses propriétés mécaniques optimales et tolérées, sa structure métallurgique, son état de surface, ou l'épaisseur de revêtement. Elles sont liées aux opérations réalisées lors du passage de la bande dans la ligne.

[0059] Les informations 103 relatives aux caractéristiques de la ligne sont par exemple la capacité de chauffage et la température maximale des chambres de chauffage, la puissance de refroidissement des sections de refroidissement, la nature de l'atmosphère dans les différentes chambres de la ligne, la pression maximale disponible à la machine d'essorage de la section de revêtement, ou la vitesse maximale de la ligne.

[0060] Les données 103 peuvent correspondre aux caractéristiques nominales de la ligne ou elles peuvent être fonction de l'état réel de la ligne, notamment si certains équipements fonctionnent en marche dégradée. Par exemple, si un brûleur est en panne sur une section de chauffage, la capacité maximale de chauffage de ladite chambre considérée par l'unité de calcul sera inférieure à sa capacité nominale de la puissance dudit brûleur en panne.

[0061] En données de sortie, l'unité de calcul délivre un cycle thermique optimal, et les paramètres 110 de fonctionnement de la ligne associés à celui-ci, permettant d'obtenir les caractéristiques souhaitées de la bande en sortie de ligne, ou les caractéristiques les plus proches de celles-ci s'il n'est pas possible d'obtenir les caractéristiques souhaitées.

[0062] Il délivre également un ensemble de tables 111, 112, 113, chaque table comprenant

une série de cycles thermiques alternatifs selon l'évolution d'un paramètre clé, et les paramètres de fonctionnement de la ligne associés à ceux-ci.

- [0063] Dans cet exemple de réalisation de l'invention, la table 111 comprend une série de cycles thermiques alternatifs fonction de la vitesse de la ligne, la table 112 comprend une série de cycles thermiques alternatifs fonction de la température maximale de recuit et la table 113 comprend une série de cycles thermiques alternatifs fonction de la teneur en hydrogène dans une chambre de refroidissement rapide sous un mélange gazeux N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>.
- [0064] Pour chaque bande dont le traitement est prévu, le système 10 de contrôle et de commande de la ligne stocke le cycle thermique optimal et les cycles thermiques alternatifs, ainsi que les paramètres de fonctionnement de la ligne associés à ceux-ci, dans une base de données, une mémoire vive ou toute autre solution informatique permettant de stocker ces cycles.
- [0065] Le système 10 de contrôle et de commande de la ligne comprend un programme de planification de la production permettant de définir l'ordre de passage des bandes dans la ligne, selon les caractéristiques des bandes et les cycles thermiques optimaux associés à celles-ci, de sorte à limiter les changements de consignes de la ligne entre deux changements de bande.
- [0066] Le calcul des cycles thermiques, optimaux et alternatifs, ainsi que le choix de l'ordre de passage des bandes, sont réalisés en amont, avant l'entrée des bandes sur la ligne.
- [0067] En variante, tout ou partie du calcul des cycles thermiques, la détermination des paramètres de fonctionnement de la ligne associés à ceux-ci, la création des tables de données et la planification de l'ordre de passage des bandes, est réalisé sur un système informatique autre que le système 10 de contrôle et de commande de la ligne. Les résultats obtenus sont transmis au système 10 de contrôle et de commande de la ligne pour assurer le traitement des bandes.
- [0068] On peut voir représenté en [Fig.2] une seconde partie du système 10 de contrôle et de commande de la ligne de la [Fig.1].
- [0069] Celui-ci comprend également un programme 200 d'ordinateur, communément appelé « niveau 2 ». Le niveau 2 désigne la couche logicielle qui se situe juste au-dessus du niveau 1. Ce dernier est associé au contrôle en temps réel des équipements tels que les capteurs, les actionneurs et les automates programmables.
- [0070] Le niveau 2 est responsable de la coordination et de la supervision des processus de production de la ligne continue. Il peut inclure des logiciels de surveillance de la production, des systèmes de gestion de la qualité, des programmes de planification de la production et des logiciels de gestion des stocks.
- [0071] Il est situé entre le niveau 1 et le niveau 3 qui gère la planification de la production, les ressources humaines et les aspects financiers de l'usine.

- [0072] Pour chaque bande, avant le traitement de celle-ci, le niveau 2 reçoit en données d'entrée le cycle thermique optimal, et les paramètres 110 de fonctionnement de la ligne associés à celui-ci, ainsi que les tables 111, 112, 113 comprenant les séries de cycles thermiques alternatifs et les paramètres de fonctionnement de la ligne associés à ceux-ci. Il reçoit également un ensemble 105 d'autres informations telles que les paramètres du bain de galvanisation, du système d'essorage, de la ligne de peinture, du « skin-pass mill ».
- [0073] Le niveau 2 vérifie si le cycle thermique optimal peut être réalisé et, le cas échéant, le moment venu, transmet les consignes correspondant aux paramètres de fonctionnement de la ligne aux différents actionneurs 150 présents sur celle-ci.
- [0074] Si le niveau 2 détermine que le cycle thermique optimal ne peut être réalisé car un paramètre clé de fonctionnement de la ligne ne peut pas être obtenu, c'est-à-dire que celui-ci ne sera pas dans les tolérances définies par les informations 102 relatives à l'état de la bande visé en sortie de ligne, le niveau 2 choisi dans la table correspondant à ce paramètre clé le premier cycle alternatif. Si celui-ci ne peut pas non plus être réalisé, le niveau 2 choisi le suivant. L'opération est renouvelée jusqu'à ce qu'un cycle alternatif puisse être réalisé. Le niveau 2 transmet alors les consignes correspondant aux paramètres de fonctionnement de la ligne pour ce cycle alternatif aux différents actionneurs 150.
- [0075] Deux bandes successives peuvent nécessiter des changements importants de consignes. Une phase de transition permet de faire varier un ou plusieurs paramètres de la valeur correspondant à la première bobine à celle nécessaire pour la seconde. Le niveau 2 assure le pilotage de cette transition.
- [0076] Par exemple, le recuit d'une première bobine est réalisé à une température inférieure à celle de la seconde bobine. Pendant la phase de transition, le niveau 2 va définir ou recevoir une première consigne 131 correspondant à une première température de recuit intermédiaire, puis une seconde consigne 132 intermédiaire plus élevée avant d'appliquer la consigne correspondant à la température de recuit de la seconde bobine.
- [0077] Avantageusement selon l'invention, le niveau 2 utilise des cycles thermiques alternatifs pour chacune des températures de recuit intermédiaires pour assurer la transition entre ces deux bandes.
- [0078] Le niveau 2 peut recevoir une commande 103 d'un opérateur pour changer une consigne, par exemple la vitesse de défilement de la bande.
- [0079] Dans ce cas, le niveau 2 va rechercher la ligne correspondant à la nouvelle consigne de vitesse dans la table 111 dont le paramètre clé est la vitesse, ou la ligne correspondant à la vitesse de la table la plus proche de la nouvelle consigne, et appliquer le cycle thermique alternatif correspondant.
- [0080] Autre exemple, si le niveau 2 reçoit une commande 104 d'un opérateur changeant la

consigne de température maximale de recuit, il va rechercher le cycle alternatif correspondant dans la table 112 dont le paramètre clé est la température maximale de recuit.

[0081] Le niveau 2 peut recevoir des informations 121,122,123 quand un événement inattendu survient. Par exemple, lorsqu'une rangée de brûleurs d'une chambre de chauffage vient de tomber en panne.

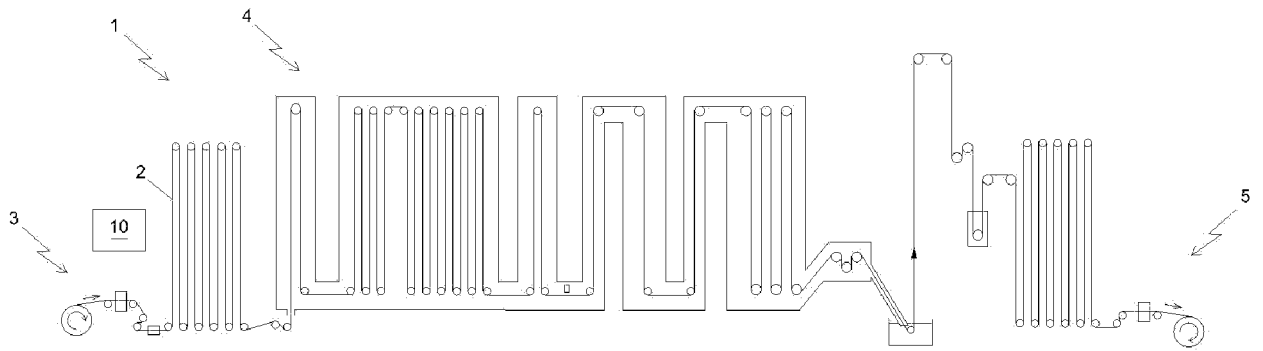
[0082] Le niveau 2 détermine une nouvelle température maximale de recuit pouvant être atteinte sans cette rangée de brûleurs et il va chercher le cycle alternatif correspondant dans la table 112 dont le paramètre clé est la température maximale de recuit.

## Revendications

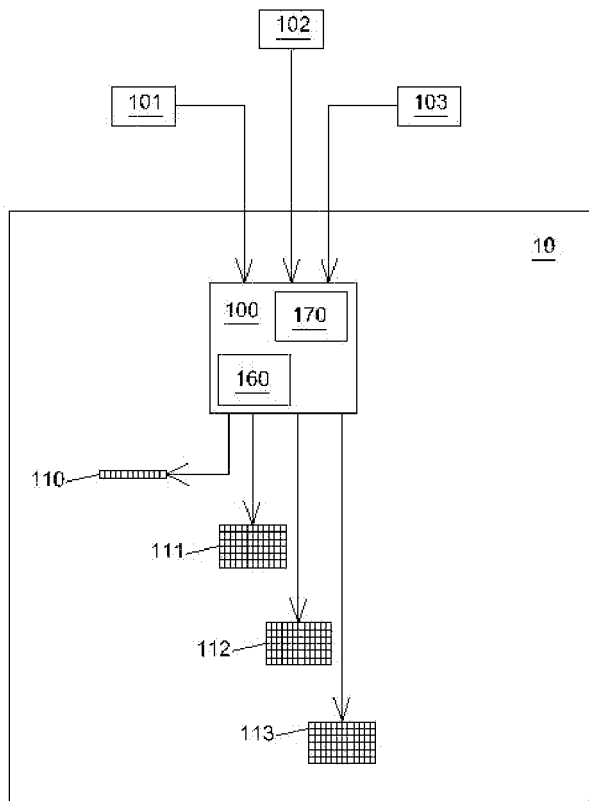
- [Revendication 1] Procédé de fonctionnement d'une ligne (1) continue de traitement de bandes (2) métalliques, ledit traitement étant destiné à faire passer des bandes d'un état initial en entrée (3) de ligne à un état final en sortie (5) de ligne, chaque état étant défini par un ensemble de propriétés de la bande, le procédé comportant une détermination par une unité de calcul (100) d'un cycle thermique optimal à faire subir à une bande pour atteindre son état final selon son état initial, l'unité de calcul mettant en œuvre un modèle métallurgique (160) et un modèle d'optimisation (170) de paramètres de fonctionnement de la ligne, le cycle thermique optimal définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, **caractérisé en ce qu'il** comprend une étape de détermination de tables (111, 112, 113) de cycles thermiques alternatifs pour chaque bande en fonction d'un paramètre clé de fonctionnement de la ligne, l'étape de détermination étant réalisée avant l'entrée de la bande dans la ligne, chaque cycle thermique alternatif définissant un ensemble de paramètres de fonctionnement de la ligne, et en ce que le fonctionnement de la ligne est permuté d'un cycle thermique optimal à un cycle thermique alternatif, ou entre deux cycles thermiques alternatifs, lorsqu'un évènement dans le fonctionnement de la ligne rend nécessaire un changement du cycle thermique appliqué à la bande.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le choix du cycle alternatif est effectué selon la nature de l'évènement dans le fonctionnement de la ligne et l'importance de la déviation qu'il entraîne sur le paramètre clé de fonctionnement de la ligne.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'évènement dans le fonctionnement de la ligne est subi ou choisi.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les cycles thermiques alternatifs sont définis de sorte que l'état final de la bande soit tel qu'attendu avec le cycle optimal.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le cycle thermique optimal et les cycles thermiques alternatifs sont définis pour optimiser un indice de qualité.
- [Revendication 6] Ligne (1) continue de traitement de bandes métalliques comprenant un système (10) de contrôle et de commande apte à mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes.
- [Revendication 7] Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui

lorsqu'elles sont chargées dans une mémoire d'un ordinateur de bureau ou un ordinateur embarqué dans une armoire électrique, un automate, un calculateur électronique ou tout autre système de contrôle et de commande d'une installation industrielle, conduisent un système (10) de contrôle et de commande d'une ligne (1) selon la revendication 6 à exécuter les étapes d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 5.

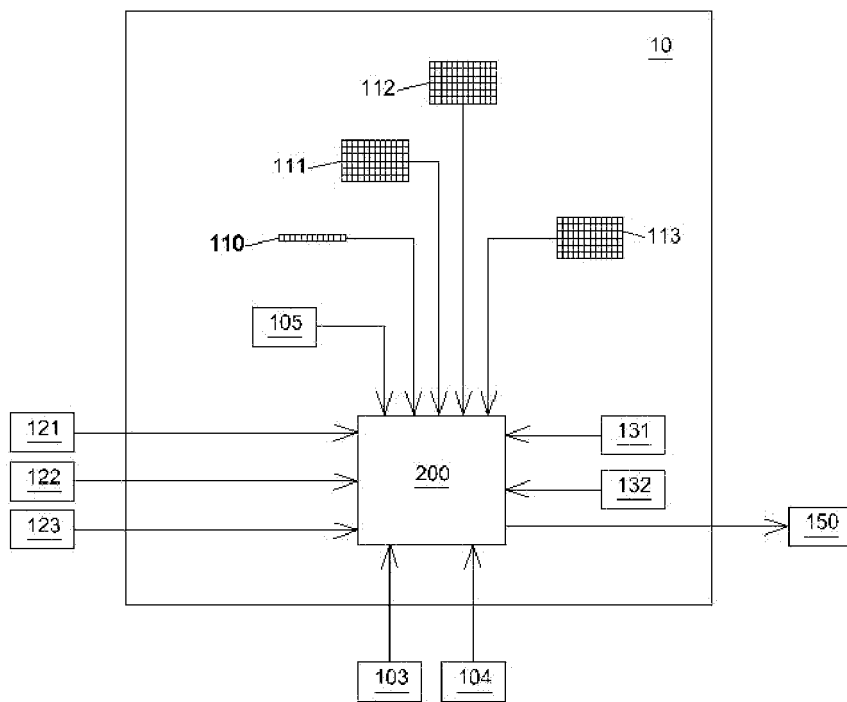
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 923493**  
**FR 2305655**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 3 652 593 B1 (TATA STEEL NEDERLAND TECH BV [NL]) 27 juillet 2022 (2022-07-27) * abrégé * * revendications 1-14 * -----	1-7	C21D 11/00 G05B 13/04
X	EP 3 559 285 B1 (ARCELORMITTAL [LU]) 22 septembre 2021 (2021-09-22) * abrégé * * revendications 1-37 * * alinéa [0074] * -----	1-7	
X	EP 1 647 604 A2 (KAPPA THERMLINE [FR]) 19 avril 2006 (2006-04-19) * abrégé * * revendications 1-4 * * revendications 5-6 * -----	1-7	
A	US 2016/102916 A1 (HARTUNG HANS-GEORG [DE] ET AL) 14 avril 2016 (2016-04-14) * abrégé * -----	1-7	
A	EP 3 314 028 B1 (NOVELIS INC [US]) 29 janvier 2020 (2020-01-29) * abrégé * -----	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C21D F27D F27B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 avril 2024		Vermeulen, Yves	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305655 FA 923493**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-04-2024**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>EP 3652593</b>	<b>B1</b>	<b>27-07-2022</b>	<b>CN 110892341 A</b>	<b>17-03-2020</b>
			<b>EP 3652593 A1</b>	<b>20-05-2020</b>
			<b>ES 2926146 T3</b>	<b>24-10-2022</b>
			<b>JP 2020526667 A</b>	<b>31-08-2020</b>
			<b>KR 20200027498 A</b>	<b>12-03-2020</b>
			<b>US 2020165696 A1</b>	<b>28-05-2020</b>
			<b>WO 2019012002 A1</b>	<b>17-01-2019</b>
-----				
<b>EP 3559285</b>	<b>B1</b>	<b>22-09-2021</b>	<b>AU 2017381869 A1</b>	<b>20-06-2019</b>
			<b>BR 112019011271 A2</b>	<b>08-10-2019</b>
			<b>CA 3047914 A1</b>	<b>28-06-2018</b>
			<b>CN 110088310 A</b>	<b>02-08-2019</b>
			<b>EP 3559285 A1</b>	<b>30-10-2019</b>
			<b>ES 2894929 T3</b>	<b>16-02-2022</b>
			<b>JP 7441206 B2</b>	<b>29-02-2024</b>
			<b>JP 2020509241 A</b>	<b>26-03-2020</b>
			<b>JP 2022037167 A</b>	<b>08-03-2022</b>
			<b>KR 20190087496 A</b>	<b>24-07-2019</b>
			<b>MA 47083 A</b>	<b>26-05-2021</b>
			<b>PL 3559285 T3</b>	<b>10-01-2022</b>
			<b>RU 2731116 C1</b>	<b>28-08-2020</b>
			<b>UA 124983 C2</b>	<b>22-12-2021</b>
			<b>US 2019352738 A1</b>	<b>21-11-2019</b>
			<b>WO 2018116192 A1</b>	<b>28-06-2018</b>
<b>ZA 201903434 B</b>	<b>29-01-2020</b>			
-----				
<b>EP 1647604</b>	<b>A2</b>	<b>19-04-2006</b>	<b>EP 1647604 A2</b>	<b>19-04-2006</b>
			<b>ES 2544945 T3</b>	<b>07-09-2015</b>
			<b>FR 2876709 A1</b>	<b>21-04-2006</b>
-----				
<b>US 2016102916</b>	<b>A1</b>	<b>14-04-2016</b>	<b>CN 105473971 A</b>	<b>06-04-2016</b>
			<b>DE 102013225579 A1</b>	<b>27-11-2014</b>
			<b>EP 2999935 A2</b>	<b>30-03-2016</b>
			<b>JP 6562905 B2</b>	<b>21-08-2019</b>
			<b>JP 2016524041 A</b>	<b>12-08-2016</b>
			<b>KR 20160003819 A</b>	<b>11-01-2016</b>
			<b>RU 2015154717 A</b>	<b>28-06-2017</b>
			<b>US 2016102916 A1</b>	<b>14-04-2016</b>
<b>WO 2014187886 A2</b>	<b>27-11-2014</b>			
-----				
<b>EP 3314028</b>	<b>B1</b>	<b>29-01-2020</b>	<b>BR 112017027680 A2</b>	<b>28-08-2018</b>
			<b>CA 2989624 A1</b>	<b>29-12-2016</b>
			<b>CN 107801403 A</b>	<b>13-03-2018</b>
			<b>EP 3314028 A1</b>	<b>02-05-2018</b>
			<b>JP 6850737 B2</b>	<b>31-03-2021</b>
			<b>JP 2018524467 A</b>	<b>30-08-2018</b>

EPO FORM P0465

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

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305655 FA 923493**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-04-2024**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		<b>JP 2019189945 A</b>	<b>31-10-2019</b>
		<b>KR 20180020264 A</b>	<b>27-02-2018</b>
		<b>US 2016377345 A1</b>	<b>29-12-2016</b>
		<b>US 2020232706 A1</b>	<b>23-07-2020</b>
		<b>WO 2016210084 A1</b>	<b>29-12-2016</b>
-----			