



## Description

**[0001]** La présente invention concerne le refroidissement d'une bande métallique circulant dans une section de refroidissement d'une ligne de traitement thermique en continu, telle qu'une ligne de recuit ou de revêtement métallique ou organique.

### ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

**[0002]** Sur les lignes de traitement thermique en continu du type précité, le refroidissement des bandes métalliques est réalisé dans une section de refroidissement par soufflage d'un gaz, en général un mélange d'azote et d'hydrogène, à travers un ou plusieurs caissons de refroidissement, équipés de perçages ou de tubes de soufflage associés.

**[0003]** Le souci constant des concepteurs des sections de refroidissement est à la fois de refroidir de façon aussi homogène que possible la bande circulant dans ladite section, et d'éviter d'induire des instabilités et/ou vibrations au niveau de la bande en circulation.

**[0004]** Le document EP-A-1 655 383 illustre un tel dispositif de refroidissement, dans lequel une bande circule entre deux caissons de refroidissement équipés de tubes de soufflage inclinés, selon une inclinaison qui est dirigée à la fois vers l'amont et/ou l'aval de la bande en circulation, et vers les bords de celle-ci. Lors de son passage dans la section de refroidissement, la bande est ainsi refroidie sur ses deux faces grâce au soufflage du mélange gazeux concerné à une température inférieure à celle de la bande. La pression nécessaire au soufflage est assurée par un ou deux ventilateurs associés. Le mélange gazeux chauffé par l'échange thermique avec la bande est refroidi dans un échangeur, en général un échangeur à eau, pour être par la suite transféré jusqu'au système de refroidissement via le ou les ventilateurs, en étant recirculé vers les caissons de refroidissement.

**[0005]** On sait que le transfert thermique est dépendant de la distance de soufflage entre la bande et les orifices de sortie du mélange gazeux, et aussi de la géométrie du soufflage et de la vitesse de soufflage. Il est bien connu que le transfert thermique est d'autant plus efficace que la distance de soufflage est petite et/ou que la vitesse de soufflage est élevée. Cependant, on se heurte à une limite pratique dans l'augmentation de la vitesse de soufflage et dans la diminution de la distance entre la bande et le système de soufflage, car, à partir d'un certain seuil, on relève l'apparition de vibrations et/ou d'oscillations de la bande qui peuvent provoquer un contact entre la bande et le système de soufflage, et créer des marques incompatibles avec la qualité de surface recherchée, voire détériorer plus gravement la bande.

**[0006]** En variante du soufflage de mélange gazeux, on a également utilisé l'eau comme fluide de refroidissement, comme cela est illustré dans le document EP-A-0 343 103 dans lequel le refroidissement rapide de la bande

de s'effectue au moyen de gicleurs à brouillard eau/air, ou en variante dans le document FR-A-2 796 965 dans lequel on utilise des gicleurs à eau/azote. On retrouve le même enseignement dans les documents US-A-6 054 095, US-A-5 902 543, US-A-4 934 445 et JP-A-02 170925.

**[0007]** L'utilisation de l'eau comme fluide de refroidissement est intéressante dans la mesure où le transfert de chaleur requiert des vitesses de sortie moindres pour le fluide de refroidissement, puisqu'il est basé sur un échange de chaleur par évaporation de l'eau dans l'air ou l'azote, mais cette utilisation présente deux inconvénients importants. Le premier inconvénient est que le transfert de chaleur est limité par la température de saturation de l'eau dans les gaz incondensables air ou azote, et le second est que l'acier à haute température subit inévitablement une oxydation lorsqu'il est refroidi par un brouillard eau/air ou eau/azote, ce qui nécessite par la suite un traitement spécial de décapage qui peut s'avérer coûteux, et parfois même impossible à exécuter dans certaines lignes comme celles de galvanisation.

**[0008]** L'arrière-plan technologique est également illustré par les documents US-A-4 399 658, US-A-3 728 869 et DE-A-44 29203.

**[0009]** Il existe donc un besoin d'un procédé de refroidissement plus performant, capable d'augmenter significativement la vitesse de refroidissement d'une bande métallique en défilement, sans pour autant mettre la bande en vibration et/ou en oscillation, ni provoquer une oxydation de ladite bande.

### OBJET DE L'INVENTION

**[0010]** L'invention a pour but de concevoir un procédé et une installation de refroidissement permettant de refroidir une bande métallique en défilement, avec une vitesse de refroidissement élevée, sans générer de vibrations et/ou d'oscillations, tout en évitant la nécessité d'un décapage ou d'un traitement de surface spécial à la suite du refroidissement qui serait la conséquence d'une oxydation plus ou moins importante de la surface de la bande.

### DEFINITION GENERALE DE L'INVENTION

**[0011]** Le problème technique précité est résolu conformément à l'invention grâce à un procédé de refroidissement d'une bande métallique circulant dans une section de refroidissement d'une ligne de traitement thermique en continu, consistant à projeter dans la section de refroidissement, sur la surface de la bande à refroidir, un médium frigorigène capable de refroidir la bande sans oxyder ladite bande, ledit procédé étant remarquable en ce que le médium frigorigène est majoritairement composé d'un corps à changement de phase dont le passage en phase gazeuse s'effectue à une température qui est à la fois inférieure à la température de la bande à refroidir et proche de la température du milieu extérieur ambiant,

de sorte que l'échange d'énergie est réalisé dans le cadre d'un processus endothermique avec un changement de phase dudit corps à changement de phase et qu'ensuite ledit médium frigorigène peut être recondensé à une pression proche de la pression atmosphérique.

**[0012]** Grâce à l'utilisation d'un processus endothermique avec un changement de phase, on parvient à réaliser un important transfert d'énergie qui ne dépend que faiblement de la vitesse de soufflage, ce qui permet d'éviter les risques précités de mise en vibrations et/ou d'oscillations de la bande métallique refroidie. En fait, le transfert d'énergie dépend naturellement du type de médias frigorigènes utilisés, mais surtout de la quantité soufflée, et donc évaporée ou sublimée par suite du changement de phase qui s'opère au voisinage de la surface de la bande. De plus, on supprime les inconvénients précités des techniques antérieures utilisant l'eau comme fluide de refroidissement.

**[0013]** Conformément à un mode d'exécution particulier du procédé de l'invention, le médium frigorigène est sous forme solide, en particulier sous forme de paillettes, présentant un point triple qui est supérieur à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une sublimation dudit médium frigorigène au niveau de la surface de la bande à refroidir.

**[0014]** Conformément à un autre mode d'exécution du procédé de l'invention, le médium frigorigène est un fluide, en particulier sous forme de fines gouttelettes, présentant une température normale d'ébullition qui est supérieure à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une évaporation dudit médium frigorigène au niveau de la surface de la bande à refroidir.

**[0015]** Dans la pratique, l'utilisation d'un fluide frigorigène apparaît préférable non seulement en termes de performance, mais aussi pour la plus grande facilité de réalisation et de pilotage de l'installation associée.

**[0016]** Avantageusement, le solide frigorigène sublimé ou le fluide frigorigène évaporé est récupéré en aval de la section de refroidissement pour être recirculé, en ayant subi un processus de condensation et de séparation à l'issue duquel une fraction d'incondensables est isolée, ladite fraction étant contrôlée pour ajuster la température de condensation du solide ou du fluide frigorigène en vue de minimiser la consommation d'énergie.

**[0017]** En cas d'utilisation d'un fluide frigorigène, il est préféré que ledit fluide comporte au moins 80 % volume par volume de fluide à changement de phase.

**[0018]** Avantageusement alors, le fluide à changement de phase est du pentane. Ce pourra être du pentane à l'état pur, ou en variante un mélange pentane/hexane à 80/20 de pourcentage molaire.

**[0019]** De préférence encore, l'atmosphère régnant dans la section de refroidissement est isolée du milieu extérieur ambiant, en particulier au niveau de l'entrée et de la sortie de la bande à refroidir, de façon à permettre un contrôle permanent du médium frigorigène lors du processus endothermique. Ceci est important non seu-

lement pour des questions d'ordre économique, mais aussi pour des questions de sécurité dans la mesure où certains fluides susceptibles d'être utilisés peuvent être inflammables à haute température et donc ne doivent pas être mélangés à l'oxygène de l'air.

**[0020]** Avantageusement enfin, le débit masse de médium frigorigène projeté sur la surface de la bande est contrôlé pour rester inférieur à une limite prédéterminée faisant en sorte que la totalité du médium frigorigène soit concerné par le changement de phase.

**[0021]** L'invention concerne également une installation destinée à la mise en oeuvre d'un procédé présentant l'une au moins des caractéristiques précitées.

**[0022]** Conformément à l'invention, l'installation comporte :

- une section de refroidissement comportant un caisson de refroidissement traversé de façon étanche par la bande à refroidir, ledit caisson étant équipé intérieurement de buses agencées pour projeter sur les deux faces de ladite bande un média frigorigène majoritairement composé d'un corps à changement de phase dont le passage en phase gazeuse s'effectue à une température qui est à la fois inférieure à la température de la bande à refroidir et proche de la température du milieu extérieur ambiant ;
- un condenseur connecté en aval du caisson de refroidissement par l'intermédiaire d'un surpresseur, permettant de recondenser le médium frigorigène à une pression proche de la pression atmosphérique ;
- un ballon formant réservoir/séparateur connecté en aval du condenseur ; et
- une pompe de recirculation connectée en aval du ballon réservoir/séparateur par l'intermédiaire d'une vanne de sécurité, et connectée en amont du caisson de refroidissement.

**[0023]** On pourra prévoir que les buses du caisson de refroidissement sont agencées avec une segmentation, de façon à pouvoir suivre une pente de refroidissement prédéterminée en fonction de la vitesse de défilement de la bande.

**[0024]** On pourra également prévoir que le caisson de refroidissement comporte une section amont exempte de buses et une section aval équipée de buses, par référence au sens de circulation de la bande, ladite section amont étant équipée d'un capteur de mesure de la température de la bande entrant dans ledit caisson.

**[0025]** Conformément à une autre caractéristique avantageuse, le caisson de refroidissement est équipé, au niveau de l'entrée et de la sortie de la bande, de sas de traversée étanches.

**[0026]** Il est par ailleurs intéressant de prévoir que l'installation comporte des capteurs de mesure de la température de la bande en amont de l'entrée et en aval de la sortie du caisson de refroidissement, lesdits capteurs servant à réguler le débit de la pompe de recirculation en fonction de la vitesse de défilement de ladite bande,

laquelle vitesse de défilement est mesurée par un capteur associé extérieur audit caisson de refroidissement.

**[0027]** Avantageusement encore, le ballon réservoir/séparateur est équipé intérieurement d'un serpentín frigorifique fonctionnant à une température qui est inférieure à la température de condensation du médium frigorifique utilisé, afin de compléter dans ledit ballon les processus de condensation et de séparation de la phase liquide du médium frigorifique et des gaz incondensables. En particulier, le ballon réservoir/séparateur est équipé d'une purge permettant d'extraire les gaz incondensables.

**[0028]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre, concernant un mode de réalisation particulier, en référence au dessin annexé qui illustre une installation de mise en oeuvre du procédé.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0029]** Il sera fait référence à la figure unique du dessin annexé, qui illustre schématiquement une installation de mise en oeuvre du procédé de l'invention.

#### DESCRIPTION DETAILLEE DU MODE DE REALISATION PREFERE DE

#### L'INVENTION

**[0030]** La figure unique illustre schématiquement une installation notée 100 de mise en oeuvre du procédé de refroidissement conforme à l'invention. Une bande métallique notée 1 circule dans une section de refroidissement notée 4 d'une ligne de traitement thermique en continu, qui pourrait être une ligne de recuit ou de revêtement métallique ou organique.

**[0031]** Conformément à l'arrière-plan technologique, la ligne de passage de la bande 1 est fixée par un rouleau de renvoi inférieur 2 et un rouleau de renvoi supérieur 3, de part et d'autre de la section de refroidissement 4, le sens de circulation de la bande 1 étant schématisé par des flèches 50.

**[0032]** La section de refroidissement 4 comporte un caisson de refroidissement 5 qui est traversé par la bande à refroidir 1. Le caisson de refroidissement 5 est fermé, et la traversée de la bande s'effectue de façon étanche au niveau de sas d'entrée et de sortie 8, 9 qui sont représentés ici schématiquement. Il pourra s'agir de systèmes à volets coopérant ou non avec des rouleaux d'appui, ainsi que cela est bien connu dans le domaine des lignes de traitement en continu. Grâce aux sas d'entrée et de sortie 8, 9, on est assuré que l'atmosphère régnant dans la section de refroidissement 4 est isolée du milieu extérieur ambiant, en particulier au niveau de l'entrée et de la sortie de la bande à refroidir, de façon à permettre un contrôle permanent du médium frigorifique lors du refroidissement de ladite bande.

**[0033]** Le caisson de refroidissement 5 est équipé in-

térieurement de rampes de projection 6 agencées de part et d'autre du plan de passage de la bande, chaque rampe étant elle-même pourvue d'une pluralité de buses de pulvérisation 7 permettant de projeter dans la section de refroidissement 4, sur la surface de la bande 1 à refroidir, un médium frigorifique particulier capable de refroidir la bande sans oxyder ladite bande (à la différence de l'eau souvent utilisée dans les techniques antérieures).

**[0034]** Il est en effet prévu, conformément à une caractéristique essentielle de l'invention, de projeter sur la bande un médium frigorifique majoritairement composé d'un corps à changement de phase dont le passage en phase gazeuse s'effectue à une température qui est à la fois inférieure à la température de la bande à refroidir et proche du milieu extérieur ambiant, de sorte que l'échange d'énergie est réalisé dans le cadre d'un processus endothermique avec un changement de phase dudit corps à changement de phase, et qu'ensuite ledit médium frigorifique peut être recondensé à une pression proche de la pression atmosphérique.

**[0035]** Le fait que le refroidissement soit provoqué par le changement de phase d'au moins un composant du médium frigorifique fait que l'on ne dépend que faiblement de la vitesse de soufflage, ce qui est avantageux pour la stabilité de défilement de la bande car on réduit le risque de voir apparaître des vibrations et/ou des oscillations de ladite bande. De plus, on supprime les inconvénients des techniques antérieures utilisant l'eau comme fluide de refroidissement (oxydation de la bande et nécessité de prévoir un traitement ultérieur de décapage).

**[0036]** Dans un premier mode d'exécution, le médium frigorifique est sous forme solide, en particulier sous forme de paillettes, présentant un point triple qui est supérieur à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une sublimation dudit médium frigorifique au niveau de la surface de la bande à refroidir. On pourra par exemple utiliser du CO<sub>2</sub>.

**[0037]** Cependant, si l'on prend justement l'exemple du CO<sub>2</sub> qui se sublime à la pression atmosphérique à -78°C, dans le cas où l'atmosphère est entièrement constituée de CO<sub>2</sub> dans la section de refroidissement, ou à des températures inférieures dans le cas où le CO<sub>2</sub> est à une pression partielle inférieure à la pression atmosphérique, on aura en général besoin d'un taux de compression élevé pour organiser la recirculation du médium frigorifique, ce qui peut s'avérer peu avantageux au niveau de la consommation énergétique.

**[0038]** C'est pour cela que l'on préférera souvent un autre mode d'exécution du procédé, dans lequel le médium frigorifique est un fluide, en particulier sous forme de fines gouttelettes, présentant une température normale d'ébullition qui est supérieure à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une évaporation dudit médium frigorifique au niveau de la surface de la bande à refroidir.

**[0039]** D'une façon générale, il sera intéressant de prévoir que le solide frigorifique sublimé ou le fluide frigorifi-

gène évaporé est récupéré en aval de la section de refroidissement 4 pour être recirculé, en ayant subi un processus de condensation et de séparation à l'issue duquel une fraction d'incondensables est isolée, ladite fraction étant contrôlée pour ajuster la température de condensation du solide ou du fluide frigorigène en vue de minimiser la consommation d'énergie.

**[0040]** Conformément à une caractéristique avantageuse, on utilise un fluide frigorigène qui comporte au moins 80 % volume par volume de fluide à changement de phase.

**[0041]** Parmi les différents hydrocarbures envisageables, l'utilisation du pentane comme fluide ou composant de fluide à changement de phase, apparaît à ce titre particulièrement intéressante.

**[0042]** On pourra utiliser du pentane à l'état pur, en particulier du pentane liquide qui s'évapore à 35°C sous sa propre tension de vapeur, donc à pression ambiante.

**[0043]** Il pourra en variante s'agir d'un mélange comportant majoritairement du pentane, avec de préférence au moins 80% volume par volume de pentane.

**[0044]** On pourrait envisager des mélanges tels que des mélanges de pentane et d'azote, mais, avec de tels mélanges, la consommation en énergie du système global resterait quelque peu pénalisante du fait de l'évaporation du pentane dans un gaz incondensable qui limite la chaleur latente de vaporisation en fonction de la pression partielle du pentane dans l'azote.

**[0045]** Au contraire, un mélange pentane/hexane à 80/20 de pourcentage molaire apparaît beaucoup plus intéressant. Un tel mélange commence à s'évaporer à partir de 39,5°C, pour être complètement à l'état gazeux à 43°C.

**[0046]** On aura compris que le pentane présente un intérêt tout particulier du fait de sa température normale d'ébullition de l'ordre de 35°C, car il suffit d'organiser l'échange thermique dans un échangeur bien dimensionné avec un fluide extérieur (air ou eau) pour le condenser.

**[0047]** En variante, on pourra aussi envisager d'utiliser de l'heptane ou un mélange pentane/heptane.

**[0048]** Plus généralement, le débit masse de médium frigorigène projeté sur la surface de la bande sera de préférence contrôlé pour rester inférieur à une limite prédéterminée faisant en sorte que la totalité du médium frigorigène soit concernée par le changement de phase.

**[0049]** Afin d'obtenir une répartition homogène du fluide frigorigène à évaporer au niveau de la surface de la bande, et de s'assurer que tout le fluide frigorigène s'est évaporé, on utilisera en particulier des buses de pulvérisation telles que les buses 7, agencées pour pulvériser le fluide en fines gouttelettes sur la totalité de la surface de la bande en vue d'un transfert thermique homogène, avec un débit massique peu important et une régulation particulièrement simple de la quantité de chaleur à absorber. Il sera alors intéressant de prévoir alors que la quantité de chaleur à échanger soit contrôlée par le débit masse de fluide pulvérisé.

**[0050]** Ce qui précède vaut évidemment pour le cas

d'un médium frigorigène sous forme solide, pour lequel il convient de s'assurer que la totalité du médium frigorigène s'est sublimée par suite de sa pulvérisation par exemple en paillettes sur la totalité de la surface de la bande.

**[0051]** Dans la pratique, dans le cas d'un fluide frigorigène, on utilisera de préférence des buses de pulvérisation à cônes plats. Les gouttelettes impactant les deux faces de la bande subissent alors instantanément un changement de phase qui induit une importante absorption d'énergie.

**[0052]** Le débit masse injecté de fluide frigorigène qui s'évapore dépend bien entendu du nombre de buses de pulvérisation utilisées et du débit massique de chacune de celles-ci. La distribution géométrique des buses de pulvérisation dépend de leur angle d'action, lequel est choisi pour que les gouttelettes impactent la totalité de la surface de refroidissement. On pourra à ce titre se référer au document EP-A-1 655 383 qui contient un enseignement précieux sur l'inclinaison des tubes de projection, étant entendu que ce document antérieur ne concerne que le refroidissement par soufflage d'un mélange gazeux traditionnel tel qu'un mélange d'azote et d'hydrogène. On pourra également prévoir que les buses de pulvérisation soient agencées avec une segmentation, de façon à pouvoir suivre une pente de refroidissement prédéterminée en fonction de la vitesse de défilement de la bande.

**[0053]** Si l'on revient maintenant à la figure unique du dessin annexé, on constate que l'installation 100 comporte également un condenseur 13 connecté en aval du caisson de refroidissement 5 par l'intermédiaire d'un surpresseur 10, via des canalisations respectives 11 et 12, ce qui permet de recondenser le médium frigorigène à une pression proche de la pression atmosphérique. La canalisation 12 contenant essentiellement une phase vapeur se prolonge par un tronçon 12' dans le condenseur 13, lequel est réalisé ici sous la forme d'un échangeur classique utilisant un circuit d'échange 14 traversé par de l'eau ou de l'air. La canalisation de sortie 15 du condenseur 13 aboutit à un ballon 16 qui forme réservoir et séparateur. Il y a en effet une phase liquide et des incondensables qui arrivent ensemble dans ce ballon 16, ces deux phases se séparant en une réserve liquide RL surmontée d'une fraction d'incondensables gazeux IG.

**[0054]** En sortie du ballon formant réservoir/séparateur 16, on trouve une canalisation 19 menant à une vanne de sécurité 20, puis une canalisation 21 arrivant à une pompe de recirculation 22 qui est connectée en amont du caisson de refroidissement 5 par une canalisation 23.

**[0055]** Ainsi, après évaporation du fluide à changement de phase pulvérisé dans la section de refroidissement, celui-ci est condensé dans le condenseur externe 13, et on contrôle, en aval dudit condenseur, les incondensables présents dans le fluide frigorigène, qui sont typiquement de l'azote et éventuellement des traces d'hydrogène.

**[0056]** Il est à noter que le caisson de refroidissement

5 illustré ici comporte une section amont 5.1 exempte de buses 7, et une section aval 5.2 qui est équipée de buses 7, par référence au sens de circulation 50 de la bande 1. La section amont 5.1 est équipée d'un capteur 34 qui sert à mesurer la température de la bande 1 entrant dans ledit caisson. Du fait de l'absence de buses, on peut ainsi s'assurer, par une mesure optique de la température de la bande, que la totalité du médium frigorigène s'est bien transformée en gaz. Toute gouttelette n'ayant pas subi la transformation de phase s'écoulera dans cette section et sera évaporée, ou sublimée lorsqu'il s'agit de paillettes.

**[0057]** L'installation comporte également des capteurs 32, 33 de mesure de la température de la bande 1, respectivement en amont de l'entrée et en aval de la sortie du caisson de refroidissement 5. Ces capteurs 32, 33 servent à réguler le débit de la pompe de recirculation 22 en fonction de la vitesse de défilement de ladite bande, laquelle vitesse de défilement est mesurée par un capteur associé 31 extérieur au caisson de refroidissement 5.

**[0058]** On a illustré schématiquement une unité centrale de pilotage 30 qui reçoit des informations données par le capteur de vitesse 31 et les capteurs de température 32, 33, 34, ces informations étant transmises par un réseau filaire illustré en trait mixte. Cette unité de pilotage 30 permet d'envoyer des instructions de fonctionnement très précises à l'organe de commande 35 de la pompe de recirculation 22.

**[0059]** On constate également sur la figure que le ballon réservoir/séparateur 16 est équipé intérieurement d'un serpentin frigorifique 17, utilisant son propre fluide frigorigène, lequel fonctionne naturellement à une température qui est inférieure à la température de condensation du médium frigorigène à changement de phase utilisé pour le refroidissement de la bande. Ce serpentin frigorifique 17 permet de compléter dans le ballon 16 les processus de condensation et de séparation de la phase liquide du médium frigorigène et des gaz incondensables. Le contrôle des incondensables dans le fluide frigorigène est important, car il permet d'ajuster la température de condensation : en effet, moins la teneur en incondensables est élevée, moins la température de condensation du fluide à changement de phase est élevée.

**[0060]** On pourra en outre prévoir une purge 18 en partie haute du ballon 16 afin d'extraire les gaz incondensables. Ceci permet d'éviter que les incondensables s'accumulent au fur et à mesure du fonctionnement de l'installation, ce qui affecterait à la longue le rendement de celle-ci. Le serpentin frigorifique 17 fonctionnera typiquement à une température de 15K pour garantir une condensation plus poussée du fluide frigorigène à changement de phase et obtenir la séparation désirée. On est alors assuré que les incondensables accumulés au niveau de la section de refroidissement sont bien séparés du fluide frigorigène de travail, et que tout le fluide à pomper jusqu'aux buses de pulvérisation 7 est bien à l'état liquide.

**[0061]** La vanne de sécurité 20 permet quant à elle l'arrêt de circulation du médium frigorigène en cas d'urgence, comme l'infiltration massive d'air, ou un dysfonctionnement d'un des éléments du circuit, un arrêt de défilement de la bande, etc... Le fluide frigorigène liquide est pompé par la pompe de recirculation 22 pour être envoyé directement aux buses de pulvérisation 7 afin de reprendre le cycle.

**[0062]** Ainsi que cela a été dit plus haut, le débit de la pompe de recirculation 22 est régulé par un automate (l'unité 30) qui utilise comme données d'entrée les températures de la bande en entrée et en sortie de l'enceinte de refroidissement, ainsi que la vitesse de circulation de la bande. Ces données permettent de contrôler efficacement le système, car la quantité de chaleur devant être extraite de la bande est naturellement fonction de la vitesse de défilement de celle-ci et de la consigne de la température de sortie de la bande, et aussi des écarts de température entre l'entrée et la sortie de l'enceinte de refroidissement. Cette quantité de chaleur conditionne ainsi le débit de la pompe, et donc la quantité de fluide frigorigène pulvérisé sur la bande.

**[0063]** Les sas d'étanchéité 8, 9 équipant le caisson de refroidissement 5 sont particulièrement importants lorsque l'on utilise du pentane, comme cela a été préconisé plus haut, non seulement pour des questions d'économie (cela serait vrai avec tout type de fluide de refroidissement), mais surtout pour des raisons de sécurité. En effet, le pentane, comme d'autres fluides analogues envisageables, sont inflammables à haute température (309°C pour le pentane), et ne doivent donc pas être mélangés à l'oxygène de l'air. La composition en pentane dans le caisson sera donc mesurée en permanence et contrôlée pour être toujours largement au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité dans l'air. A ce titre, il sera intéressant de maintenir le caisson de refroidissement en légère surpression. On pourra d'ailleurs prévoir une sonde supplémentaire pour surveiller le pourcentage d'oxygène dans l'atmosphère du caisson de refroidissement.

**[0064]** Par ailleurs, pour optimiser la consommation d'énergie du surpresseur 10, le travail de ce dernier est régulé par la température du fluide frigorigène dans l'échangeur que constitue le condenseur 13. A pression supérieure à la pression atmosphérique, la température de saturation des gaz augmente. Pour le pentane par exemple, à une pression de 1,15 bar, la température de saturation augmente jusqu'à 40°C. Suivant la température du fluide frigorigène dans l'échangeur, le fluide de refroidissement va être comprimé de façon à ce que l'écart de températures entre le pentane et l'eau ou l'air de refroidissement, à la sortie de l'échangeur, soit adéquat et que le fluide frigorigène à changement de phase puisse être complètement condensé en sortie. La température de l'eau ou de l'air de refroidissement doit être typiquement contrôlée de 3 à 5 K en dessous de la température normale d'ébullition du fluide frigorigène qui, dans le cas du pentane, est à 35°C, ce qui entraîne que

le pentane, après évaporation, peut être transféré au condenseur 13 par un simple surpresseur 10, avec une consommation énergétique du système minimale comparativement à un compresseur.

[0065] On est ainsi parvenu à mettre en oeuvre un refroidissement particulièrement efficace, avec un transfert d'énergie rapide ne dépendant que faiblement des vitesses de soufflage, tout en évitant des risques d'oxydation induisant la nécessité d'un décapage ultérieur.

[0066] La mise en oeuvre d'un tel processus endothermique avec un changement de phase dans le cadre du refroidissement d'une bande métallique en circulation présente ainsi un progrès notable par rapport aux techniques traditionnelles de refroidissement utilisant un mélange gazeux tel qu'un mélange d'azote et d'hydrogène, ou surtout qu'un brouillard eau/air ou eau/azote, cas dans lequel on ne peut éviter une oxydation de la bande, et de ce fait la nécessité de prévoir un traitement ultérieur de décapage.

[0067] En outre, grâce au choix judicieux du corps à changement de phase, surtout s'il s'agit d'un fluide frigorigène dont la température normale d'ébullition est légèrement supérieure à la température du milieu ambiant, on parvient à optimiser la consommation en énergie du système global.

[0068] L'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit, mais englobe au contraire toute variante reprenant, avec des moyens équivalents, les caractéristiques essentielles énoncées plus haut.

## Revendications

1. Procédé de refroidissement d'une bande métallique circulant dans une section de refroidissement d'une ligne de traitement thermique en continu, consistant à projeter dans la section de refroidissement (4), sur la surface de la bande (1) à refroidir, un médium frigorigène capable de refroidir la bande (1) sans oxyder ladite bande, **caractérisé en ce que** le médium frigorigène est majoritairement composé d'un corps à changement de phase dont le passage en phase gazeuse s'effectue à une température qui est à la fois inférieure à la température de la bande à refroidir (1) et proche de la température du milieu extérieur ambiant, de sorte que l'échange d'énergie est réalisé dans le cadre d'un processus endothermique avec un changement de phase dudit corps à changement de phase et qu'ensuite ledit médium frigorigène peut être recondensé à une pression proche de la pression atmosphérique.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le médium frigorigène est sous forme solide, en particulier sous forme de paillettes, présentant un point triple qui est supérieur à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une sublimation dudit médium frigorigène au niveau de la surface de la bande à refroidir (1).
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le médium frigorigène est un fluide, en particulier sous forme de fines gouttelettes, présentant une température normale d'ébullition qui est supérieure à la température du milieu extérieur ambiant, le processus endothermique s'effectuant avec une évaporation dudit médium frigorigène au niveau de la surface de la bande à refroidir (1).
4. Procédé selon la revendication 2 ou la revendication 3, **caractérisé en ce que** le solide frigorigène sublimé ou le fluide frigorigène évaporé est récupéré en aval de la section de refroidissement (4) pour être recirculé, en ayant subi un processus de condensation et de séparation à l'issue duquel une fraction d'incondensables est isolée, ladite fraction étant contrôlée pour ajuster la température de condensation du solide ou du fluide frigorigène en vue de minimiser la consommation d'énergie.
5. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le fluide frigorigène comporte au moins 80 % volume par volume de fluide à changement de phase.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le fluide à changement de phase est du pentane.
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le fluide frigorigène est du pentane à l'état pur.
8. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le fluide frigorigène est un mélange pentane/hexane à 80/20 de pourcentage molaire.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'atmosphère régnant dans la section de refroidissement (4) est isolée du milieu extérieur ambiant, en particulier au niveau de l'entrée et de la sortie de la bande (1) à refroidir, de façon à permettre un contrôle permanent du médium frigorigène lors du processus endothermique.
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le débit masse de médium frigorigène projeté sur la surface de la bande (1) est contrôlé pour rester inférieur à une limite prédéterminée faisant en sorte que la totalité du médium frigorigène soit concernée par le changement de phase.
11. Installation (100) destinée à la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisée en ce qu'elle** comporte :

- une section de refroidissement (4) comportant un caisson de refroidissement (5) traversé de façon étanche par la bande à refroidir (1), ledit caisson étant équipé intérieurement de buses (7) agencées pour projeter sur les deux faces de ladite bande un médium frigorigène majoritairement composé d'un corps à changement de phase dont le passage en phase gazeuse s'effectue à une température qui est à la fois inférieure à la température de la bande (1) à refroidir et proche de la température du milieu extérieur ambiant ;
- un condenseur (13) connecté en aval du caisson de refroidissement (5) par l'intermédiaire d'un surpresseur (10), permettant de recondenser le médium frigorigène à une pression proche de la pression atmosphérique ;
- un ballon formant réservoir/séparateur (16) connecté en aval du condenseur (13) ; et
- une pompe de recirculation (22) connectée en aval du ballon réservoir/séparateur (16) par l'intermédiaire d'une vanne de sécurité (20), et connectée en amont du caisson de refroidissement (5).
12. Installation selon la revendication 11, **caractérisée en ce que** les buses (7) du caisson de refroidissement (5) sont agencées avec une segmentation, de façon à pouvoir suivre une pente de refroidissement prédéterminée en fonction de la vitesse de défilement de la bande.
13. Installation selon la revendication 11 ou la revendication 12, **caractérisée en ce que** le caisson de refroidissement (5) comporte une section amont (5.1) exempte de buses (7) et une section aval (5.2) équipée de buses (7), par référence au sens de circulation (50) de la bande (1), ladite section amont (5.1) étant équipée d'un capteur (34) de mesure de la température de la bande (1) entrant dans ledit caisson.
14. Installation selon l'une des revendications 11 à 13, **caractérisée en ce que** le caisson de refroidissement (5) est équipé, au niveau de l'entrée et de la sortie de la bande (1), de sas de traversée étanches (8, 9).
15. Installation selon l'une des revendications 11 à 14 **caractérisée en ce qu'elle** comporte des capteurs (32, 33) de mesure de la température de la bande (1) en amont de l'entrée et en aval de la sortie du caisson de refroidissement (5), lesdits capteurs servant à réguler le débit de la pompe de recirculation (22) en fonction de la vitesse de défilement de ladite bande, laquelle vitesse de défilement est mesurée par un capteur associé (31) extérieur audit caisson de refroidissement.
16. Installation selon la revendication 11, **caractérisée en ce que** le ballon réservoir/séparateur (16) est équipé intérieurement d'un serpentín frigorifique (17) fonctionnant à une température qui est inférieure à la température de condensation du médium frigorigène utilisé, afin de compléter dans ledit ballon les processus de condensation et de séparation de la phase liquide du médium frigorigène et des gaz incondensables.
17. Installation selon la revendication 16, **caractérisée en ce que** le ballon réservoir/séparateur (16) est équipé d'une purge (18) permettant d'extraire les gaz incondensables.

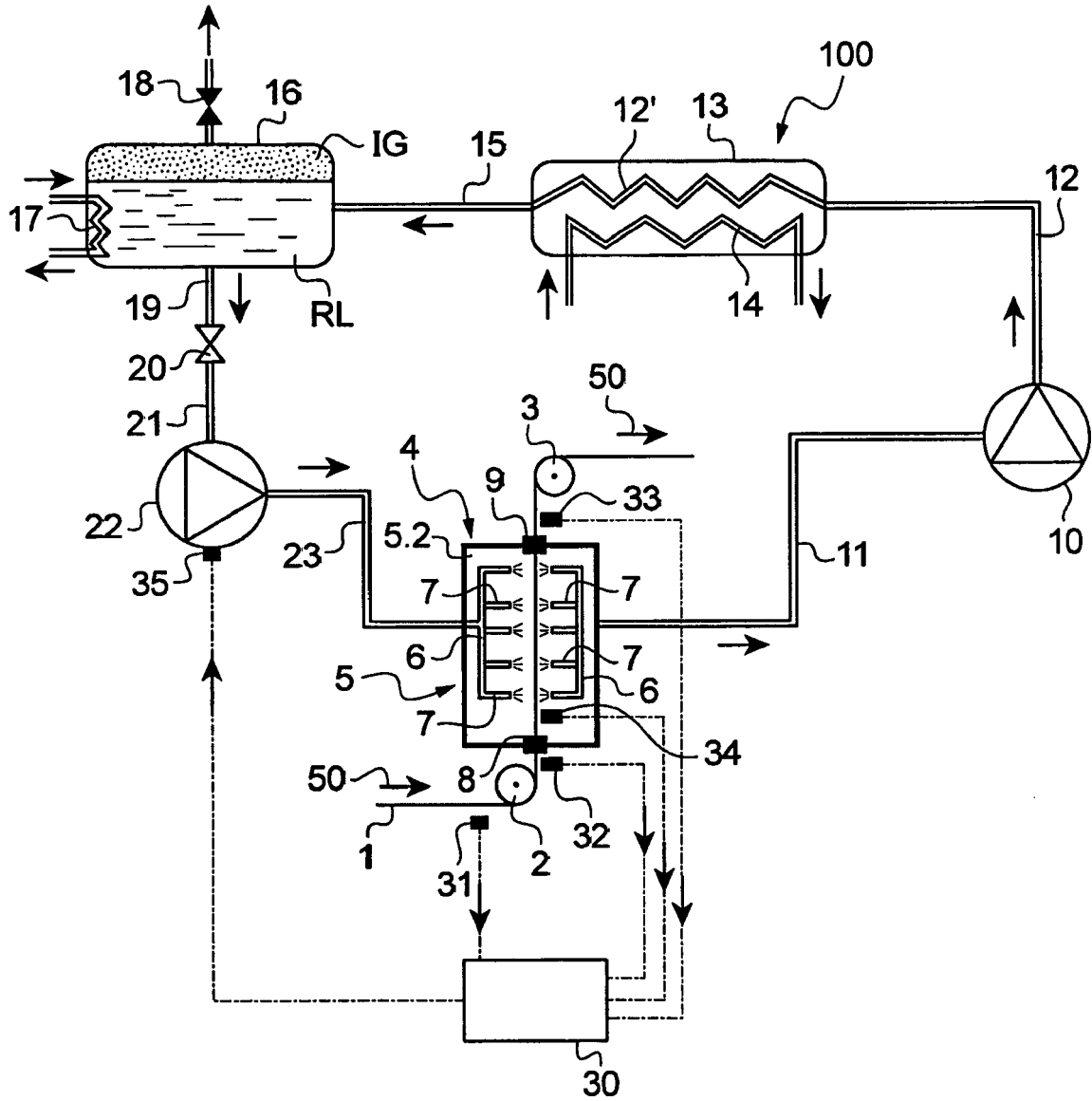


Figure unique



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 10 29 0086

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 6 054 095 A (MINATO KEN [JP] ET AL) 25 avril 2000 (2000-04-25)	1,3-5, 10,11	INV. C21D9/573
Y	* colonne 1, ligne 60 *	2,4,11, 17	F25D3/10
A	* abrégé; exemple 1 *	6-8	F27B9/12 F27D9/00
X	US 5 902 543 A (PLATA MIROSLAW [CH] ET AL) 11 mai 1999 (1999-05-11)	1,3,5,10	
	* abrégé; revendications 1,16 *		
	* colonne 2, ligne 19-20 *		
	* colonne 1, ligne 46-48 *		
X	JP 02 170925 A (SUMITOMO METAL IND) 2 juillet 1990 (1990-07-02)	1,3-5,9	
	* abrégé *		
X,D	FR 2 796 965 A3 (UGINE SA [FR]) 2 février 2001 (2001-02-02)	1	
Y	* revendications 1-4 *	4,11-17	
	* page 3, ligne 14 - page 4, ligne 2; figure 1 *		
X	US 4 934 445 A (PLATA MIROSLAW [CH] ET AL) 19 juin 1990 (1990-06-19)	1,3	C21D F25D F27B F27D
	* colonne 2, ligne 1-9 *		
Y	US 4 399 658 A (NIELSEN DEAN M [US]) 23 août 1983 (1983-08-23)	2	
	* abrégé; figure 1 *		
Y	US 3 728 869 A (SCHMIDT H) 24 avril 1973 (1973-04-24)	4,11-17	
	* abrégé; figure 1 *		
Y	DE 44 29 203 A1 (KRENN WALTER [DE]) 22 février 1996 (1996-02-22)	11-17	
	* abrégé; figures 1-2 *		
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		10 mai 2010	Ugarte, Eva
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 10 29 0086

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

10-05-2010

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6054095	A	25-04-2000	BR 9702207 A	20-07-1999
			CN 1194669 A	30-09-1998
			WO 9744498 A1	27-11-1997
			JP 3531939 B2	31-05-2004
			KR 100260016 B1	15-06-2000
-----				
US 5902543	A	11-05-1999	AT 213785 T	15-03-2002
			AU 722395 B2	03-08-2000
			AU 4098697 A	07-05-1998
			CA 2218781 A1	01-05-1998
			DE 59608802 D1	04-04-2002
			EP 0839918 A1	06-05-1998
			JP 3984339 B2	03-10-2007
			JP 10156427 A	16-06-1998
			NO 975000 A	04-05-1998
			ZA 9709364 A	12-05-1998
-----				
JP 2170925	A	02-07-1990	JP 1873635 C	26-09-1994
			JP 5087570 B	17-12-1993
-----				
FR 2796965	A3	02-02-2001	AUCUN	
-----				
US 4934445	A	19-06-1990	AU 619293 B2	23-01-1992
			AU 3502989 A	23-11-1989
			CA 1316969 C	27-04-1993
			DE 58902656 D1	17-12-1992
			EP 0343103 A1	23-11-1989
			IS 3467 A7	20-11-1989
			JP 2025671 A	29-01-1990
			JP 2647198 B2	27-08-1997
			NO 891950 A	20-11-1989
-----				
US 4399658	A	23-08-1983	CA 1094335 A1	27-01-1981
			DE 2906475 A1	04-09-1980
			FR 2449256 A1	12-09-1980
			GB 2042148 A	17-09-1980
-----				
US 3728869	A	24-04-1973	AUCUN	
-----				
DE 4429203	A1	22-02-1996	AUCUN	
-----				

EPC FORM P0480

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

**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**

- EP 1655383 A [0004] [0052]
- EP 0343103 A [0006]
- FR 2796965 A [0006]
- US 6054095 A [0006]
- US 5902543 A [0006]
- US 4934445 A [0006]
- JP 2170925 A [0006]
- US 4399658 A [0008]
- US 3728869 A [0008]
- DE 4429203 A [0008]