

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété

Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
20 mars 2008 (20.03.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/031937 A2

(51) Classification internationale des brevets :
C21D 9/00 (2006.01) **F27D 17/00** (2006.01)

Brou Sur Chantereine (FR). **GIRAUD, Patrick** [FR/FR];
17 avenue d'Italie, F-75013 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/001461

(74) Mandataires : **MICHARDIERE, Bernard** etc.; Cabinet
ARMENGAUD AINE, 3 avenue Bugeaud, F-75116 Paris
(FR).

(22) Date de dépôt international :
11 septembre 2007 (11.09.2007)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
06 07999 13 septembre 2006 (13.09.2006) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **STEIN
HEURTEY** [FR/FR]; ZAI du Bois de l'Épine, F-92130 Ris
Orangis (FR).

(72) Inventeurs; et

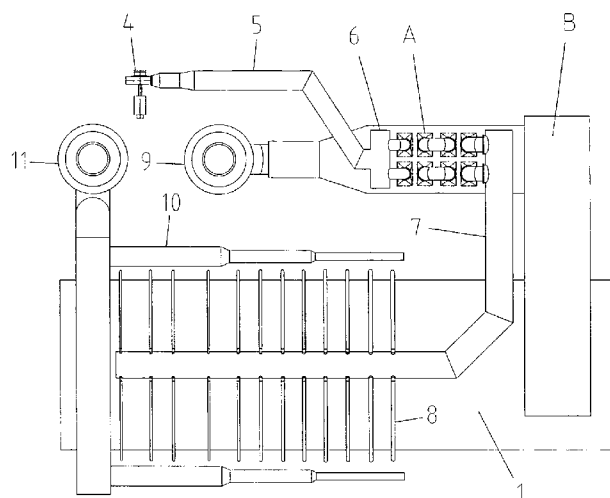
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CHEVER,
René-Vincent** [FR/FR]; 13 rue de Chantereine, F-77177

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD OF REHEATING IN A FURNACE USING A FUEL OF LOW CALORIFIC POWER, AND FURNACE
USING THIS METHOD

(54) Titre : PROCEDE DE RECHAUFFAGE DANS UN FOUR UTILISANT UN COMBUSTIBLE DE FAIBLE PUISSANCE
CALORIFIQUE, ET FOUR METTANT EN OEUVRE CE PROCEDE



(57) Abstract: Method of controlling a furnace (1) for reheating steel products, such as slabs, blooms, slugs or billets, capable of reheating the product to the desired temperature for rolling, the furnace being equipped with a heat recovery unit (A). The furnace is equipped principally with regenerative-type burners comprising regenerative matrices and operating on an all-or-nothing basis; the burners operate by duration modulation; some of the combustion fumes pass through the regenerative matrices of the regenerative burners in order to preheat one (fuel or oxidizer) of the fluids involved in combustion; and the remainder of the combustion fumes pass through the heat recovery unit (A) to preheat the fluid (oxidizer or fuel) other than that preheated in the regenerative matrices.

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/031937 A2



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport*

(57) Abrégé : Procédé de contrôle d'un four de réchauffage (1) de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le laminage, le four étant équipé d'un récupérateur de chaleur (A). Le four est équipé majoritairement de brûleurs de type brûleurs régénératifs comportant des matrices régénératives et fonctionnant en mode tout ou rien; les brûleurs fonctionnent en modulation de durée; une partie des fumées de combustion traverse les matrices régénératives des brûleurs régénératifs afin de préchauffer l'un (combustible ou comburant) des fluides participant à la combustion; le solde des fumées de combustion traverse le récupérateur de chaleur (A) pour préchauffer le fluide (comburant ou combustible) autre que celui préchauffé dans les matrices régénératives.

PROCEDE DE RECHAUFFAGE DANS UN FOUR UTILISANT UN COMBUSTIBLE DE FAIBLE PUISSANCE CALORIFIQUE, ET FOUR METTANT EN ŒUVRE CE PROCEDE.

L'invention est relative à un procédé de contrôle d'un four de réchauffage, en particulier un four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le laminage avec un combustible à faible puissance calorifique, communément appelé « gaz pauvre ».

Par « gaz pauvre » on désigne un combustible gazeux dont la puissance calorifique est comprise entre 2700 kJ / Nm^3 et 4000 kJ / Nm^3 .

Ces gaz pauvres sont généralement composés d'une grande proportion de gaz inertes, tels que l'azote et le gaz carbonique, qui jouent un rôle de ballast et qui doivent être réchauffés dans la combustion et en conséquence limitent la température théorique de combustion.

A titre d'exemple, on décrit ci-après plus en détail le cas de fonctionnement avec un combustible gazeux à faible pouvoir calorique en prenant comme exemple le gaz de haut fourneau.

Le gaz de haut fourneau provient d'un haut fourneau où il est généré comme co-produit lors du processus d'élaboration de la fonte. Son principal avantage réside dans le fait qu'il est disponible « gratuitement », d'où l'intérêt de l'utiliser comme combustible pour alimenter les fours situés sur le site sidérurgiste. Il a par contre un faible pouvoir calorifique, de l'ordre de 3500 kJ/Nm^3 , lié à sa composition chimique qui comprend une teneur élevée en gaz inertes, N_2 et CO_2 . Pour que les produits à réchauffer atteignent la température requise au défournement du four pour le laminage, environ 1150 à 1280°C , il est indispensable que les parois du four et les fumées de combustion soient à haute température, environ 1300 à 1400°C . Selon l'état de la technique, ces températures sont difficiles à atteindre par la température théorique de combustion lors de l'utilisation exclusive de gaz pauvres. La température théorique de combustion est la température maximale susceptible d'être obtenue par les gaz en fin de combustion. Elle se calcule en déterminant l'état final d'un mélange combustible/comburant pris initialement dans des proportions stoechiométriques ou dans des proportions définies et ayant subi

une combustion adiabatique instantanée à pression constante et sans échange de chaleur avec son environnement. La température théorique de combustion ne peut pas être obtenue dans un four car, d'une part, la combustion ne se produit jamais instantanément et que, d'autre part, la flamme échange toujours de la chaleur avec son environnement. Il en résulte que dans des conditions données, on ne peut obtenir effectivement qu'une température de flamme pratique inférieure à la température théorique. Le rapport entre cette température pratique et la température théorique est appelé « rendement pyrométrique ». Cette notion est par exemple détaillée dans l'article « Combustibles pauvres dans les fours continus de sidérurgie » paru dans le numéro 232 d'avril 1981 de la Revue Générale de Thermique. Le rendement pyrométrique pour le gaz de haut fourneau est par exemple de 0.80. Cette valeur est retenue pour exposer le problème technique auquel l'invention apporte une solution.

Les fumées présentes dans le four ont donc une température maximale correspondant à la température de flamme pratique.

Il est connu qu'un moyen d'augmenter la température théorique de combustion consiste à préchauffer l'air de combustion ou le combustible en amont du nez du brûleur.

Les moyens mis en œuvre selon l'état de la technique consistent à préchauffer l'un des deux fluides participant à la combustion soit au travers d'un récupérateur situé dans le circuit de fumées soit au travers des matrices régénératives de brûleurs régénératifs.

Les Fig. 1 à 4 des dessins annexés sont des tableaux de valeurs calculées pour un combustible de type gaz pauvre de haut fourneau, dont la composition en volume est la suivante : N_2 56.7%, CO 24.5% , CO_2 16.7%, H_2 2.0%, autres 0.1%. Les conditions sont rappelées en tête de chaque tableau.

Les calculs représentés en Figure 1 montrent qu'en préchauffant l'air de combustion, une température d'air de 1250°C n'est pas suffisante pour obtenir une température de fumées comparable à celles obtenues pour des gaz riches, c'est à dire 1400°C et plus. Ce niveau de température de réchauffage de l'air, et donc a fortiori un niveau supérieur, ne peut pas être obtenu avec un récupérateur industriel situé dans le circuit de fumées.

Les brûleurs régénératifs, grâce auxquels il est possible de réchauffer l'air à haute température, permettent d'obtenir des différences de températures entre les fumées et le gaz préchauffé d'environ 150°C. Néanmoins, la température limite de réchauffage de l'air avec un brûleur régénératif se situe entre 1150°C et 1200°C.

Il n'est donc pas possible d'obtenir une température de paroi de four suffisante pour réchauffer un produit à 1200°C en préchauffant uniquement l'air de combustion.

Les calculs représentés en Figure 2 montrent qu'en préchauffant le gaz pauvre, il est nécessaire de le préchauffer jusqu'à une température de 1000°C pour obtenir une température de fumées comparable à celles obtenues (1400°C et plus) pour des gaz riches. Ce niveau de température pourrait être atteint en effectuant le préchauffage dans un brûleur régénératif. Cette solution n'est néanmoins pas mise en œuvre industriellement en raison de problèmes techniques qui la rendent difficile de mise en œuvre, tels que les risques inhérents à ce niveau de température du gaz ainsi qu'aux problèmes induits par le cracking du gaz à ces températures. Il n'est donc pas possible industriellement d'obtenir une température de paroi de four suffisante pour réchauffer un produit à 1200°C en préchauffant uniquement le gaz pauvre.

Un autre moyen permettant d'augmenter la température théorique de combustion consiste à réaliser une suroxydation de l'air de combustion, c'est à dire à augmenter sa teneur en oxygène.

Les calculs représentés en Figure 3, avec un comburant à 450°C, montrent que cette solution n'est pas satisfaisante car même en préchauffant le comburant à 450°C, une teneur en oxygène dans le comburant de 80% est nécessaire pour atteindre une température de fumées proche de 1400°C. Un préchauffage à cette température d'oxygène presque pur n'est pas réalisable industriellement pour des raisons de sécurité. Par ailleurs, la rentabilité de cette solution serait très variable selon les usines et le coût du m³ d'oxygène. Pour ces mêmes raisons, une teneur moindre en oxygène associée à un réchauffage du gaz pauvre n'est pas une solution satisfaisante.

Ainsi, les solutions mises en œuvre selon l'état de la technique ne permettent pas de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le

laminage avec exclusivement un combustible à faible puissance calorifique dans des conditions satisfaisantes.

Pour répondre à ce problème technique, l'invention réside principalement dans un procédé de contrôle d'un four de réchauffage, en particulier un four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le laminage, le four étant équipé d'un récupérateur de chaleur, caractérisé en ce que :

- le four est équipé majoritairement de brûleurs de type brûleurs régénératifs comportant des matrices régénératives et fonctionnant en mode tout ou rien,
- les brûleurs fonctionnent en modulation de durée,
- une partie des fumées de combustion traverse les matrices régénératives des brûleurs régénératifs afin de préchauffer l'un (combustible ou comburant) des fluides participant à la combustion,
- et le solde des fumées de combustion traverse le récupérateur de chaleur placé à l'extérieur du four dans un carneau de fumées pour préchauffer le fluide (comburant ou combustible) autre que celui préchauffé dans les matrices régénératives.

Avantageusement, un gaz pauvre est utilisé exclusivement comme combustible, et un préchauffage à haute température d'un des fluides participant à la combustion, obtenu lors de son passage au travers des matrices régénératives des brûleurs, est combiné avec un préchauffage de l'autre fluide participant à la combustion obtenu lors de son passage au travers du récupérateur de chaleur, et permet d'atteindre la température requise aux produits à réchauffer à la sortie du four.

Le débit des fumées qui traverse la matrice régénérative d'un brûleur régénératif est déterminé pour obtenir la température souhaitée des fumées en sortie du brûleur régénératif et corrélativement la température souhaitée sur le fluide à préchauffer après son passage dans la matrice régénérative.

De préférence, pour un temps de cycle constant de basculement entre deux brûleurs régénératifs d'une même paire, le temps de fonctionnement en mode chauffe de chaque brûleur régénératif est ajusté pour chaque cycle de sorte que le brûleur transmette la puissance calorifique requise.

Afin d'atteindre une température de flamme suffisante lors des phases d'allumage du four ou en fonctionnement à petit régime, la température du fluide provenant du récupérateur est avantageusement maintenue à un niveau minimum soit en utilisant le ou les brûleurs du four situés au plus près de ce récupérateur soit en utilisant un ou plusieurs brûleurs d'appoint. De préférence, les brûleurs d'appoint sont placés sur le circuit de fumées en amont du récupérateur.

La proportion de fumées passant par le récupérateur de chaleur est mise à profit pour un contrôle précis de la pression à l'intérieur du four afin de limiter les entrées d'air.

Avantageusement, le gaz pauvre est préchauffé dans les matrices régénératives des brûleurs à une température comprise entre 600°C et 800°C,

- le gaz pauvre a un pouvoir calorifique compris entre 2700 kJ / Nm³ et 4000 kJ / Nm³,
- et le comburant est formé par de l'air préchauffé dans le récupérateur de chaleur à une température comprise 400°C et 600°C pour obtenir une température de fumées supérieure à 1300°C permettant de porter le produit à réchauffer à une température comprise entre 1150°C et 1280°C.

De préférence, les brûleurs de type brûleurs régénératifs sont disposés sur des côtés opposés du four et sont groupés par paires de brûleurs en vis à vis, le brûleur d'une paire situé d'un côté étant commandé pour fonctionner alternativement en brûleur et cheminée alors que le brûleur de la paire situé de l'autre côté est commandé pour fonctionner alternativement en cheminée et brûleur. Le nombre de brûleurs de type brûleurs régénératifs est supérieur au nombre total de brûleurs d'un autre type.

Le temps de cycle constant de basculement entre deux brûleurs régénératifs d'une même paire est avantageusement compris entre 40 et 80 secondes et le temps de fonctionnement en mode chauffe de chaque brûleur régénératif est ajusté pour chaque cycle de sorte que le brûleur transmette la puissance calorifique requise.

L'invention est également relative à un four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le

laminage, comportant un récupérateur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comporte :

- d'une part majoritairement des brûleurs de type brûleurs régénératifs comportant des matrices régénératives et fonctionnant en mode tout ou rien,
- des moyens pour faire fonctionner les brûleurs en modulation de durée,
- des moyens pour qu'une partie des fumées de combustion traverse les matrices régénératives des brûleurs régénératifs afin de préchauffer l'un ou l'autre des fluides participant à la combustion (combustible ou comburant),
- et des moyens pour que le solde des fumées de combustion traverse le récupérateur de chaleur placé à l'extérieur du four dans un carneau de fumées pour préchauffer le fluide qui n'est pas réchauffé dans les matrices régénératives (comburant ou combustible).

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en un certain nombre d'autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après à propos d'exemples de réalisation décrits en détail avec références aux dessins annexés, mais qui ne sont nullement limitatifs. Sur ces dessins :

Fig. 1 à 3 sont des tableaux de valeurs calculées pour un combustible de type gaz pauvre de haut fourneau, dont la composition en volume est la suivante : N_2 56.7%, CO 24.5%, CO_2 16.7%, H_2 2.0%, autres 0.1%, avec fonctionnement selon procédés de l'état de la technique

Fig.4 est un tableau de valeurs calculées pour un combustible de type gaz pauvre de haut fourneau semblable à celui des Fig.1 à 3, avec fonctionnement selon le procédé de l'invention.

Fig. 5 est une vue schématique en plan d'un four de réchauffage selon l'invention, et

Fig.6 est une coupe transversale verticale du four de Fig.5 au niveau de deux brûleurs régénératifs en vis-à-vis.

A titre d'exemple de réalisation de l'invention, le tableau de la Figure 4 montre qu'un préchauffage du gaz pauvre dans la matrice régénérative à une température modérée de 700°C combiné à un réchauffage de l'air de combustion à 450°C dans le récupérateur de chaleur permet d'atteindre la température de flamme requise pour réchauffer les produits.

Une caractéristique du procédé selon l'invention est que les fumées sont réparties en deux circuits séparés permettant de préchauffer, selon le circuit, le

combustible et le comburant et que l'un au moins de ces circuits de fumées traverse un récupérateur épuisant les fumées en sortie de four.

Une autre caractéristique du procédé selon l'invention est que la combinaison d'un préchauffage de l'un des fluides participant à la combustion obtenu lors de son passage au travers des matrices régénératives des brûleurs, et d'un préchauffage de l'autre fluide participant à la combustion obtenu lors de son passage au travers du récupérateur de chaleur, permet, grâce à une température de flamme élevée, d'atteindre la température requise aux produits à réchauffer à la sortie du four en utilisant exclusivement un gaz pauvre.

Une autre caractéristique du procédé selon l'invention est que le débit des fumées qui traverse la matrice régénérative d'un brûleur régénératif est déterminé pour obtenir la température souhaitée des fumées en sortie du brûleur régénératif et corrélativement la température souhaitée sur le fluide à préchauffer après son passage dans la matrice régénérative.

En effet, pour atteindre la température de flamme visée avec un gaz pauvre, selon l'invention on préchauffe le comburant et le combustible. Pour que le fluide à préchauffer atteigne la température requise à la sortie de la matrice régénérative il faut que celle-ci puisse lui transmettre l'énergie calorique correspondante. Cela est possible si la matrice régénérative a atteint une température suffisante lors du précédent fonctionnement du brûleur en mode cheminée. En effet, pour une masse donnée de matrice régénérative, à cette température correspond une quantité d'énergie emmagasinée dans la matrice susceptible d'être restituée au fluide à préchauffer lors de son passage au travers de la matrice lors du prochain fonctionnement du brûleur en mode chauffe.

Selon cette caractéristique de l'invention, le débit de fumées circulant dans la matrice régénérative lors d'un fonctionnement en mode cheminée est limité à celui nécessaire pour atteindre la température visée sur la matrice régénérative. Le débit de fumées en excès est évacué à l'extérieur du four en passant au travers du récupérateur de chaleur tubulaire préchauffant l'autre fluide participant à la combustion contribuant ainsi à un bon rendement thermique global du four.

Une autre caractéristique du procédé selon l'invention est que, pour un temps de cycle constant de basculement entre deux brûleurs régénératifs d'une même paire, le temps de fonctionnement en mode chauffe de chaque brûleur régénératif est ajusté pour chaque cycle de sorte que le brûleur transmette la puissance calorifique requise.

Le temps de cycle de fonctionnement d'un brûleur comprend le temps de fonctionnement en mode chauffe auquel s'ajoute le temps de fonctionnement en mode cheminée. Pour un temps de cycle constant, une réduction du temps de fonctionnement en mode chauffe en raison d'une demande calorifique plus faible se traduit par une augmentation de la même durée de fonctionnement en mode cheminée. Du fait de cette durée plus importante de fonctionnement du brûleur en mode cheminée, le débit de fumées circulant dans la matrice régénérative est réduit de sorte de limiter la quantité d'énergie emmagasinée dans la matrice à celle nécessaire au fluide à préchauffer lors du prochain fonctionnement du brûleur en mode chauffe. A nouveau, le débit de fumées en excès est évacué à l'extérieur du four en passant au travers du récupérateur de chaleur tubulaire préchauffant l'autre fluide participant à la combustion contribuant ainsi à un bon rendement thermique global du four.

Selon un exemple de réalisation de l'invention, le temps de cycle constant d'un brûleur est de 60s (60 secondes) avec un temps de base de fonctionnement en mode chauffe de 30s et un temps de fonctionnement en mode cheminée de 30s. Lorsque la puissance calorifique requise au brûleur est de 100% de sa puissance nominale, le brûleur fonctionne 30s en mode chauffe puis 30s en mode cheminée. Lorsque la puissance calorifique requise au brûleur est de 50% de sa puissance nominale, le brûleur fonctionne 15s en mode chauffe puis 45s en mode cheminée. La mise en service du brûleur en mode chauffe nécessitant un certain temps, il existe une durée minimale de fonctionnement en mode chauffe, par exemple de 5s. Selon la demande calorifique, le temps de fonctionnement en mode chauffe sera ainsi compris entre 5 et 30s, chaque seconde de moins sur la durée de chauffe ajoutant une seconde sur la durée de fonctionnement en mode cheminée pour un temps de cycle constant de 60s.

Une autre caractéristique du procédé selon l'invention est que la proportion de fumées passant par le récupérateur de chaleur tubulaire est mise à profit pour un contrôle précis de la pression à l'intérieur du four afin de limiter les entrées d'air. Selon l'invention, le débit de fumées évacué par les brûleurs au travers

des matrices régénératives est limité. Il en résulte une quantité importante de fumées présente dans le four mise à profit pour contrôler le niveau de pression du four en agissant sur le débit d'extraction des fumées au travers d'un registre ou d'un exhausteur dont le moteur électrique est contrôlé via un variateur de fréquence du courant d'alimentation.

La Figure 5, représente un exemple de réalisation de l'invention montrant l'implantation d'un récupérateur de chaleur A, par exemple tubulaire, placé à l'extérieur du four 1 dans le carneau de fumées B. Le préchauffage de l'air de combustion et/ou du combustible est ainsi réalisé hors des brûleurs 2a, 2b (Fig.6) de type régénératif, en amont de ceux-ci. Le préchauffage dans le récupérateur de chaleur est effectué pour l'ensemble des brûleurs concernés. Ce préchauffage a lieu en continu par échange entre fluide chaud et fluide froid. Dans les brûleurs régénératifs 2a, 2b, le transfert d'énergie entre les fumées et le fluide à préchauffer est réalisé directement à l'intérieur du brûleur, ou à proximité immédiate, dans une matrice régénérative 3a, 3b, formée par une masse compacte de matériaux accumulateurs de chaleur.

Dans l'exemple de réalisation représenté, c'est l'air de combustion qui est préchauffé. Celui-ci est acheminé à partir du ventilateur 4 par la gaine d'alimentation 5 jusqu'à une nourrice d'alimentation 6 qui distribue l'air sur quatre circuits parallèles équipés chacun de deux échangeurs successifs de deux passes. L'air préchauffé est repris en sortie du récupérateur par un collecteur 7 pour être distribué aux brûleurs 2a, 2b par les tuyauteries d'alimentation 8. Sur le circuit fumées, le carneau B permet d'amener les fumées extraites du four 1 au récupérateur A où elles se refroidissent en cédant des calories à l'air de combustion avant d'être évacuées par la cheminée 9.

Le principe de fonctionnement des brûleurs régénératifs est maintenant décrit plus en détail.

Comme représenté sur la Figure 6, les brûleurs régénératifs 2a, 2b sont montés par paires sur le four 1. Les brûleurs sont installés sur les parois longitudinales opposées du four, en vis-à-vis par paires. A tour de rôle, un des brûleurs d'une paire sert de cheminée pendant que l'autre chauffe.

Chaque brûleur contient un organe 4a, 4b, notamment formé par une électrovanne, qui commande l'admission du combustible, un organe 5a, 5b

notamment formé par un volet d'étranglement, qui commande l'admission de l'air de combustion par une tuyauterie 8, et un organe 6a, 6b, notamment formé par un volet d'étranglement, qui permet l'évacuation des gaz de combustion. Il est à noter qu'un même organe, par exemple une vanne trois voies, peut assurer les deux fonctions des organes 5 et 6.

Comme représenté en Figure 6, lorsque le brûleur 2b fait office de cheminée, l'organe d'échappement 6b est ouvert et l'organe d'admission de l'air 5b est fermé. Les gaz de combustion passent à travers la matrice régénérative 3b puis sont mis à l'air libre, avantageusement par un circuit indépendant comme représenté en Figure 5, au travers du circuit 10 jusqu'à la cheminée 11.

Lorsque le brûleur 2b chauffe, la position de chaque organe est inversée et cette fois c'est l'air de combustion qui passe à travers la matrice régénérative avant d'être mélangé au combustible pour être brûlé.

Chaque brûleur fonctionne donc en alternance en mode chauffe, avec un temps de cycle composé d'une phase de chauffe et d'une phase de cheminée d'une durée comprise généralement entre 30 et 120 secondes. Cette durée est fonction du volume de la matrice régénérative et de la capacité calorifique qu'elle est capable d'accumuler et d'autres paramètres qui ne sont pas décrits ici.

Dans l'exemple représenté sur la Figure 6, c'est l'air de combustion qui est préchauffé en passant au travers de la matrice régénérative. Selon un autre exemple de réalisation, c'est le combustible qui est préchauffé en passant au travers de la matrice régénérative.

La puissance délivrée par le brûleur en chauffe est ajustée en fonction du besoin calorifique dans le four. Un premier mode d'ajustement consiste à moduler la puissance du brûleur en faisant varier le débit de combustible pendant son temps de fonctionnement en mode chauffe. Avantageusement, le mode d'ajustement selon l'invention consiste à maintenir constant le débit de combustible et à moduler le temps de fonctionnement du brûleur en mode chauffe.

REVENDICATIONS

1. Procédé de contrôle d'un four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le laminage, le four étant équipé d'un récupérateur de chaleur, **caractérisé en ce que :**

- le four est équipé majoritairement de brûleurs de type brûleurs régénératifs (2a,2b) comportant des matrices régénératives (3a,3b) et fonctionnant en mode tout ou rien,
- les brûleurs fonctionnent en modulation de durée ;
- une partie des fumées de combustion traverse les matrices régénératives des brûleurs régénératifs afin de préchauffer l'un (combustible ou comburant) des fluides participant à la combustion ;
- le solde des fumées de combustion traverse le récupérateur de chaleur (A) placé à l'extérieur du four dans un carneau de fumées (B) pour préchauffer le fluide (comburant ou combustible) autre que celui préchauffé dans les matrices régénératives.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que :**

- un gaz pauvre est utilisé exclusivement comme combustible ;
- un préchauffage à haute température d'un des fluides participant à la combustion, obtenu lors de son passage au travers des matrices régénératives (3a,3b) des brûleurs, est combiné avec un préchauffage de l'autre fluide participant à la combustion obtenu lors de son passage au travers du récupérateur de chaleur (A), et permet d'atteindre la température requise aux produits à réchauffer à la sortie du four.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le débit des fumées qui traverse la matrice régénérative d'un brûleur régénératif est déterminé pour obtenir la température souhaitée des fumées en sortie du brûleur régénératif et corrélativement la température souhaitée sur le fluide à préchauffer après son passage dans la matrice régénérative.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** pour un temps de cycle constant de basculement entre deux brûleurs régénératifs d'une même paire, le temps de fonctionnement en mode chauffe de chaque brûleur régénératif est ajusté pour chaque cycle de sorte que le brûleur transmette la puissance calorifique requise.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que**, afin d'atteindre une température de flamme suffisante lors des phases d'allumage du four ou en fonctionnement à petit régime, la température du fluide provenant du récupérateur (A) est maintenue à un niveau minimum soit en utilisant le ou les brûleurs du four situés au plus près de ce récupérateur soit en utilisant un ou plusieurs brûleurs d'appoint.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les brûleurs d'appoint sont placés sur le circuit de fumées en amont du récupérateur (A).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la proportion de fumées passant par le récupérateur de chaleur (A) est mise à profit pour un contrôle précis de la pression à l'intérieur du four afin de limiter les entrées d'air.

8. Procédé selon la revendication 2, ou l'ensemble de la revendication 2 et de l'une quelconque des revendications 3 à 7, **caractérisé en ce que** :

- le gaz pauvre est préchauffé dans les matrices régénératives des brûleurs à une température comprise entre 600°C et 800°C,
- le gaz pauvre a un pouvoir calorifique compris entre 2700 kJ / Nm³ et 4000 kJ / Nm³,
- et le comburant est formé par de l'air préchauffé dans le récupérateur de chaleur (A) à une température comprise 400°C et 600°C pour obtenir une température de fumées supérieure à 1300°C permettant de porter le produit à réchauffer à une température comprise entre 1150°C et 1280°C.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le nombre de brûleurs de type brûleurs régénératifs (2a, 2b) est supérieur au nombre total de brûleurs d'un autre type.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le temps de cycle constant de basculement entre deux brûleurs régénératifs d'une même paire est compris entre 40 et 80 secondes et le temps de fonctionnement en mode chauffe de chaque brûleur régénératif est ajusté pour chaque cycle de sorte que le brûleur transmette la puissance calorifique requise.

11. Four de réchauffage de produits sidérurgiques, notamment de brames, de blooms, d'ébauches ou de billettes, permettant de porter le produit à réchauffer à la température souhaitée pour le laminage, comportant un récupérateur de chaleur , **caractérisé en ce qu'il** comporte :

- d'une part majoritairement des brûleurs de type brûleurs régénératifs (2a, 2b) comportant des matrices régénératives (3a, 3b) et fonctionnant en mode tout ou rien ,
- des moyens (4a,5a ; 4b,5b) pour faire fonctionner les brûleurs (2a, 2b) en modulation de durée ;
- des moyens (6a, 6b) pour qu'une partie des fumées de combustion traverse les matrices régénératives (3a, 3b) des brûleurs régénératifs afin de préchauffer l'un ou l'autre des fluides participant à la combustion (combustible ou comburant)
- et des moyens (B) pour que le solde des fumées de combustion traverse le récupérateur de chaleur (A) placé à l'extérieur du four dans un carneau de fumées (B) pour préchauffer le fluide qui n'est pas réchauffé dans les matrices régénératives (comburant ou combustible).

12. Four selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le nombre de brûleurs de type brûleurs régénératifs (2a, 2b) est supérieur à celui des autres brûleurs.

1/3

Figure 1**Effet de la température de l'air de combustion sur la température théorique de combustion**

Composition du combustible : N₂ 56.7%, CO 24.5%, CO₂ 16.7%, H₂ 2.0%, autres 0.1%
 Température du combustible : 20°C
 Excès d'air de 5%

100	1333	1066
200	1362	1090
300	1392	1114
400	1422	1138
500	1452	1162
600	1482	1186
700	1513	1210
800	1545	1236
900	1577	1262
1000	1609	1287
1100	1639	1311
1200	1670	1336
1250	1685	1348

Figure 2**Effet de la température du combustible sur la température théorique de combustion**

Composition du combustible : N₂ 56.7%, CO 24.5%, CO₂ 16.7%, H₂ 2.0%, autres 0.1%
 Température de l'air de combustion : 20°C
 Excès d'air de 5%

Température du combustible au brûleur (°C)	Température théorique de combustion (°C)	Température maximale des fumées (°C)
20	1309	1047
100	1346	1077
200	1393	1114
300	1439	1151
400	1486	1189
500	1535	1228
600	1585	1268
700	1633	1306
800	1680	1344
900	1726	1381
1000	1771	1417
1100	1816	1453
1200	1859	1487

Figure 3**Effet de la suroxydation de l'air sur la température théorique de combustion**Composition du combustible : N₂ 56.7%, CO 24.5%, CO₂ 16.7%, H₂ 2.0%, autres 0.1%

Température du comburant : 450°C

Température du combustible : 20°C

Excès d'air de 5%

% O ₂ dans le comburant	Température théorique de combustion (°C)	Température maximale des fumées (°C)
20.8	1437	1150
25	1494	1195
30	1547	1238
35	1588	1270
40	1619	1295
50	1664	1331
60	1696	1357
70	1719	1375
80	1736	1389
90	1750	1400
100	1762	1410

Figure 4**Effet de la température du gaz pauvre sur la température théorique de combustion**Composition du combustible : N₂ 56.7%, CO 24.5%, CO₂ 16.7%, H₂ 2.0%, autres 0.1%

Température de l'air de combustion : 450°C

Excès d'air de 5%

Température du combustible au brûleur (°C)	Température théorique de combustion (°C)	Température maximale des fumées (°C)
20	1437	1150
100	1472	1178
200	1516	1213
300	1563	1250
400	1609	1287
500	1653	1322
600	1698	1358
700	1741	1393
800	1785	1428
900	1828	1462
1000	1871	1497

3/3

Figure 5

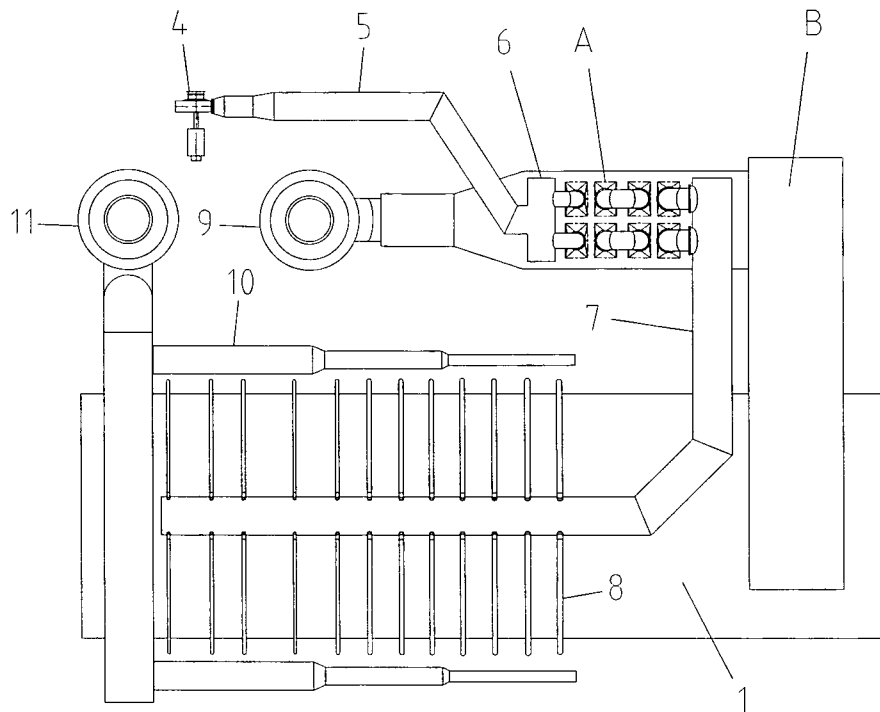


Figure 6

