

(19)



(11)

EP 3 390 911 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.07.2021 Bulletin 2021/29

(51) Int Cl.:
F23N 5/00 ^(2006.01) **F23D 14/60** ^(2006.01)
F23D 14/12 ^(2006.01) **F23C 3/00** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16836201.0**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2016/081282

(22) Date de dépôt: **15.12.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/103000 (22.06.2017 Gazette 2017/25)

**(54) MODULE DE CONTRÔLE ÉLECTRONIQUE ET PROCÉDÉ DE CONTRÔLE DU
FONCTIONNEMENT ET DE LA SÉCURITÉ D'AU MOINS UN BRÛLEUR À TUBE RADIANT**

**ELEKTRONISCHES STEUERUNGSMODUL UND VERFAHREN ZUR STEUERUNG DES BETRIEBS
UND DER SICHERHEIT VON MINDESTENS EINER STRAHLBRENNERVORRICHTUNG**

**ELECTRONIC CONTROL MODULE AND METHOD FOR CONTROLLING THE OPERATION AND
SAFETY OF AT LEAST ONE RADIANT TUBE BURNER**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Inventeur: **THOMAS, Patrick**
94700 Maisons-Alfort (FR)

(30) Priorité: **17.12.2015 FR 1562629**

(74) Mandataire: **IP Trust**
2, rue de Clichy
75009 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:
24.10.2018 Bulletin 2018/43

(56) Documents cités:
WO-A1-2010/007547 FR-A1- 2 712 961
FR-A1- 3 015 009

(73) Titulaire: **Fives Stein**
94700 Maisons Alfort (FR)

EP 3 390 911 B1

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

Description

[0001] L'invention concerne un module de contrôle électronique et un procédé de contrôle optimal de la combustion et de la sécurité de brûleurs industriels à tubes radiants équipant notamment des lignes horizontales ou verticales de traitement thermique en continu de bandes métalliques.

[0002] En se reportant à la figure 1 des dessins, on peut voir un exemple schématique d'une partie d'une ligne verticale de traitement thermique en continu d'une bande métallique selon l'état de la technique. Elle comprend une zone Z1 de préchauffage de la bande 2, par exemple par jets de gaz chauds, une zone Z2 de chauffage de la bande par des brûleurs à tubes radiants, une zone Z3 de maintien en température de la bande également équipée de brûleurs à tubes radiants et des zones aval Z4 et suivantes non détaillées utilisées pour d'autres traitements de la bande, par exemple son refroidissement.

[0003] Cette ligne est composée d'une enceinte calorifugée 1 dans laquelle pénètre la bande 2 sur une pluralité de rouleaux 3 assurant son guidage selon une multitude de passes verticales. Sur la hauteur de chaque passe verticale sont disposés des tubes radiants 4, 5 représentés schématiquement par des rectangles. Sur une ligne de recuit moderne, le nombre de tubes radiants - donc de brûleurs - installés peut être compris entre 200 et 400. Chacun de ces brûleurs est piloté de façon individuelle et fonctionne en tout ou rien, les tubes radiants fonctionnant par exemple en mode push-pull.

[0004] Sur cette Fig. 1, les tubes radiants 4 dont les brûleurs sont éteints sont représentés en blanc, les tubes radiants 5 dont les brûleurs sont allumés sont représentés en noir.

[0005] La puissance calorifique maximale $P_{\max}$ qui peut être fournie par la zone Z2 de chauffage correspond à l'allumage simultané de tous les tubes radiants.

[0006] On connaît le document FR2712961 qui divulgue un réglage en temps réel d'un brûleur à combustible de caractéristiques variables, notamment pour four métallurgique de réchauffage.

[0007] On connaît également le document WO2010/007547 qui divulgue un dispositif de pilotage de brûleurs régénératifs utilisés comme équipement de chauffe, en particulier pour des fours de réchauffage de produits sidérurgiques ou des tubes radiants pour lignes de traitement en continu de bandes d'acier.

[0008] On connaît enfin le document FR3015009 de la demanderesse qui divulgue un procédé et un brûleur pour réduire l'émission d'oxydes d'azote lors de la combustion d'un combustible gazeux.

[0009] Selon l'état de l'art, lorsque la puissance calorifique demandée P_{requis} pour la zone Z2 est inférieure à $P_{\max}$, par exemple égale à 60 % de $P_{\max}$, chacun des brûleurs des tubes radiants de la zone de chauffage est allumé pendant 60% du temps de cycle, typiquement fixé à 1 ou 2 minutes.

[0010] On comprend que l'obtention à chaque instant de la puissance calorifique demandée P_{requis} est obtenue par l'ajustement du temps de fonctionnement de chaque brûleur de tube radiant pendant une portion du temps de cycle égale au pourcentage de $P_{\text{requis}} / P_{\max}$.

[0011] La Fig. 2 présente une colonne de tubes radiants 4, 5 situés sur une face de la bande 2 qui défile sur des rouleaux 3. Les alimentations/évacuation de chacun des tubes radiants 4, 5 de cette colonne sont présentées sur cette figure, l'alimentation en comburant, par exemple l'air de combustion, est schématisée par 6, l'alimentation en combustible liquide ou gazeux, par exemple le gaz naturel, par 7 et l'évacuation des fumées par 8. On comprend que selon la position des raccordements fluidiques des tubes radiants sur les collecteurs d'alimentation/évacuation, les pressions d'alimentation d'air ou de gaz ou d'évacuation des fumées sont différentes pour chacun des tubes radiants.

[0012] Par la suite, pour simplifier la description de l'invention, nous utiliserons le terme « gaz » pour désigner le combustible alimentant les brûleurs, quelle que soit la nature de celui-ci, et le terme « air » pour désigner le comburant, quelle que soit sa teneur en oxygène.

[0013] Les changements de régime de fonctionnement du four en fonction de la production, du format de bande ou de la température que celle-ci doit atteindre conduisent à une fluctuation du nombre de brûleurs en service qui induit une variation des pressions de l'air, du gaz ou des fumées aux brûleurs.

[0014] D'autre part, l'allumage et l'extinction d'un brûleur peut également induire des fluctuations de pression sur les conduits des brûleurs situés à proximité ou dans la même zone du four.

[0015] De plus, l'augmentation de la température du tube radiant a pour effet de diminuer l'excès d'air.

[0016] On constate également sur les sites de production où les lignes de traitement thermiques sont implantées que la nature ou la composition du gaz peut varier, parfois dans des proportions importantes, par exemple avec des variations de pouvoir calorifique de +/- 10 % par rapport à une valeur moyenne. L'installation peut également être alimentée avec plusieurs types de gaz, par exemple du gaz naturel et du gaz de cokerie avec des caractéristiques de densité ou de pouvoir calorifique très différentes.

[0017] On voit que les conditions de fonctionnement des brûleurs peuvent être extrêmement variables selon les pressions d'alimentations en air ou gaz ou de soutirage des fumées, les caractéristiques du gaz utilisé, les températures de fonctionnement du tube radiant, l'influence des allumages et extinction des brûleurs voisins dans la colonne, de la zone ou d'un circuit fluide.

[0018] Ces variations peuvent être rapides et s'ajoutent à la rapidité du cycle d'allumage et d'extinction des brûleurs avec un fonctionnement en tout ou rien, par exemple avec 30 ou 60 cycles d'allumage et d'extinction par heure, ce qui peut amener des perturbations importantes sur le fonctionnement du brûleur seul et sur l'ensemble des brûleurs d'une colonne, de la zone ou d'un circuit fluide.

[0019] En particulier toutes ces variations peuvent causer des fluctuations importantes du rapport air-gaz par rapport à la valeur théorique souhaitée et/ou des productions importantes de polluants tels que le CO (monoxyde de carbone), ou les NOx (oxydes d'azote).

[0020] Pour résoudre ce problème, on choisit de façon traditionnelle des valeurs d'excès d'air de +10% à +20% par rapport à la valeur stœchiométrique de façon à ce que la combustion soit réalisée quelles que soient les conditions d'alimentation en air et gaz et les caractéristiques du gaz. Cette part supplémentaire d'air de combustion ne participe pas à la combustion. Au contraire, l'énergie nécessaire à son chauffage est une énergie perdue au détriment du rendement de l'installation.

[0021] On voit que les équipements suivant l'état de l'art ne permettent pas de contrôler efficacement la qualité de la flamme selon les variations de caractéristiques du gaz ou de son alimentation, y compris durant les phases d'allumage et d'extinction de la flamme qui sont en nombre important sur une installation comprenant une grande quantité de brûleurs fonctionnant en tout ou rien.

[0022] On comprend que le rapport air gaz à chaque instant des phases d'allumage, de fonctionnement et d'extinction du brûleur est la résultante à chaque instant du pourcentage d'ouverture des vannes d'air et de gaz, des pressions d'alimentation des collecteurs d'air et de gaz et du pouvoir calorifique réel du gaz par rapport à la valeur théorique de réglage. Ces différences sont particulièrement importantes durant les phases d'allumage et d'extinction de la flamme selon les caractéristiques d'ouverture et de fermeture des vannes, leur étanchéité réelle, les usures de leurs dispositifs d'étanchéité et les variations de caractéristiques des alimentations en air et gaz (variations de pressions dues à l'encrassement des tuyauteries par exemple) ou les variations de pouvoir calorifique du gaz.

[0023] Ces phases transitoires de contrôle approximatif de la qualité de la combustion, c'est-à-dire des débits d'air et de gaz et/ou le rapport entre les débits d'air et de gaz (le rapport air/gaz) ont un ensemble de conséquences :

- Une production accrue de polluants, en particulier les oxydes d'azote (NOx) dont les taux de rejet sont de plus en plus limités, et même parfois taxés
- La possibilité de produire des imbrûlés (combustible non brûlé), notamment du CO, qui réduisent le rendement de l'installation et qui créent un risque d'explosion dans les collecteurs, plénum et circuit final d'évacuation des fumées pouvant ainsi nuire à la sécurité des équipements et des personnels,
- La production d'une atmosphère de combustion incontrôlée pouvant être oxydante ou réductrice qui peut réduire la durée de vie des équipements exposés à cette atmosphère, par exemple les tubes radiants et d'une façon plus générale, tous les équipements en acier réfractaire fonctionnant à haute température et exposés aux gaz de combustion du ou des brûleur(s).

[0024] Les équipements de contrôle actuels, installés selon les normes en vigueur, par exemple l'EN 746-2, et l'EN 298, contrôlent l'existence de la flamme sans que la qualité de ladite flamme ne soit vérifiée. Il s'agit donc de modes de fonctionnement en boucle ouverte qui ne permet pas d'optimiser la combustion.

[0025] On voit que l'ensemble des imperfections de l'état de l'art entraînent des défauts dans le contrôle de la combustion de chacun des brûleurs à chaque instant qui concernent différents aspects de l'installation, en particulier la diminution du rendement de combustion, la dégradation des niveaux de polluants émis, la tenue des matériaux au contact des gaz de combustion, la création de risques d'explosion de gaz dans les collecteurs, plénum et circuit final d'évacuation des fumées ou d'une façon plus générale de risques sur l'équipement ou le personnel situé à proximité.

[0026] Ces défauts de contrôle de la combustion concernent des phénomènes rapides, à l'échelle du temps de cycle du fonctionnement des brûleurs ou des temps d'ouverture/fermeture des vannes d'alimentation en gaz et/ou air. Ces temps courts de mauvaise maîtrise de la combustion et de la sécurité de fonctionnement du brûleur imposent la mise en œuvre de dispositifs de contrôle rapides, si possible locaux, au plus près du brûleur contrôlé, et fonctionnant sous forme de boucles de régulation fermées avec des temps de réaction rapides.

[0027] Certains équipements commerciaux intègrent des capteurs situés dans les alimentations en air et gaz ou dans les fumées pour apporter des corrections aux conditions de fonctionnement des brûleurs, mais aucun ne permet d'optimiser chaque phase de fonctionnement du cycle tout ou rien et de compenser les variations de pouvoir calorifique du gaz d'alimentation.

[0028] De plus, les équipements suivant l'état de l'art ne permettent pas de détecter rapidement un dysfonctionnement sur un tube radiant, qu'il s'agisse de la défaillance d'un organe ou d'un mode de fonctionnement dégradé.

[0029] Le module de contrôle électronique et le procédé selon l'invention permettent d'optimiser la combustion des

brûleurs à tube radiant, de réduire les quantités de polluants émis, de compenser les variations de puissance calorifique du gaz d'alimentation, d'améliorer le rendement de combustion en réduisant l'excès d'air nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du brûleur et de détecter rapidement un dysfonctionnement sur ledit tube radiant.

[0030] Selon l'invention, il est proposé un module de contrôle d'au moins un brûleur à tube radiant apte à équiper une ligne horizontale ou verticale de traitement thermique en continu de bandes métalliques, le au moins un brûleur comprenant une vanne d'alimentation en combustible, une vanne d'alimentation en comburant et un conduit évacuation des fumées de combustion, le module de contrôle comprenant :

- un moyen de mesure de la qualité de la combustion installé dans le conduit d'évacuation des fumées de combustion dudit au moins un brûleur,
- un organe de mesure de débit de combustible,
- un organe de mesure de débit de comburant,
- un moyen de pilotage dudit au moins un brûleur, configuré pour agir sur les pourcentages d'ouverture des vannes d'alimentation en comburant et combustible dudit au moins brûleur pour adapter le rapport débit de comburant/débit de combustible en fonction de l'information délivrée par le moyen de contrôle de la qualité de la combustion.

[0031] Le module de contrôle comprend un moyen de calcul du pouvoir comburivore V_a du combustible utilisant les données fournies par le moyen de mesure de la qualité de la combustion, l'organe de mesure de débit de combustible et l'organe de mesure de débit de comburant, la valeur de V_a calculée par le moyen de calcul étant comparée avec une valeur théorique afin de détecter un écart dépassant un seuil prédéfini, et si l'écart dépasse le seuil défini, émettre une alerte.

[0032] Le moyen de contrôle de la qualité de la combustion peut être un capteur d'oxygène résiduel.

[0033] De manière plus avantageuse encore, le module peut être apte à contrôler deux brûleurs à tube radiant, le pouvoir comburivore V_a du combustible étant calculé pour chaque brûleur, notamment à partir des données fournies par les organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de contrôle de la qualité de la combustion, les deux valeurs de V_a obtenues pour les deux brûleurs étant comparées afin de détecter un écart dépassant un seuil défini.

[0034] L'invention a également trait à un procédé de contrôle d'au moins un brûleur à tube radiant dans une enceinte calorifugée (1) dans laquelle pénètre une bande métallique (2), apte à équiper une ligne horizontale ou verticale de traitement thermique en continu de bandes métalliques, le au moins un brûleur comprenant une vanne d'alimentation en combustible, une vanne d'alimentation en comburant et un conduit évacuation des fumées de combustion, le procédé consistant à :

- piloter le fonctionnement dudit au moins un brûleur avec une régulation du pourcentage d'ouverture des vannes d'alimentation en comburant et combustible dudit au moins brûleur selon un rapport comburant/combustible désiré à partir de l'information délivrée par un moyen de mesure de la qualité de la combustion installé dans le conduit d'évacuation des fumées de combustion dudit au moins un brûleur, calculer une valeur du pouvoir comburivore V_a du combustible alimentant ledit au moins un brûleur, notamment à partir des données fournies par des organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion dudit au moins un brûleur, et de comparer cette valeur V_a du pouvoir comburivore avec une valeur théorique afin de détecter un écart dépassant un seuil défini.

[0035] Avantageusement le procédé de contrôle permet également de :

- contrôler deux brûleurs à tube radiant,
- calculer une valeur du pouvoir comburivore V_a du combustible pour chaque brûleur, notamment à partir des données fournies par les organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion dudit brûleur, et de comparer les deux valeurs de V_a obtenues pour les deux brûleurs afin de détecter un écart dépassant un seuil défini.

[0036] L'invention offre ainsi un système rapide et efficace de gestion du fonctionnement des brûleurs à tube radiant installés en grand nombre sur un four industriel. Il optimise la combustion et réduit la quantité de polluants produits tout en assurant la sécurité de fonctionnement des brûleurs. L'invention apporte une solution au pilotage des brûleurs même lorsque le gaz d'alimentation a des caractéristiques variables (pouvoir calorifique ou pression d'alimentation), en per-

mettant de commander la quantité de gaz en fonction de la quantité d'air pour maintenir en permanence le rapport air/gaz requis pour chaque brûleur.

[0037] Dans ce qui suit l'invention est expliquée de manière détaillée sur la base d'un exemple de réalisation faisant référence aux figures 2 et 3 des dessins.

- Figure 2 est une représentation schématique partielle en élévation des collecteurs de distribution fluidiques aux brûleurs selon l'état de l'art,
- Figure 3 est une représentation schématique d'un ensemble tube radiant selon un exemple de réalisation de l'invention.

[0038] Comme représenté en figure 2 et 3 des dessins, les brûleurs à tube radiant sont alimentés par des collecteurs d'air 6 et de gaz 7. L'alimentation en air du brûleur est équipée d'un organe de mesure du débit, par exemple un diaphragme 13 et un capteur de pression différentielle 12 et d'une vanne à ouverture commandée électriquement ou pneumatiquement 14 avec éventuellement un signal de recopie de position d'ouverture.

[0039] L'air de combustion est réchauffé par les fumées dans un échangeur schématisé par 10 pour alimenter le brûleur 20 en air chaud.

[0040] L'alimentation en gaz du brûleur comprend un organe de mesure du débit, par exemple un diaphragme 16 et un capteur de pression différentielle 15 et de deux vannes à ouverture commandée électriquement ou pneumatiquement 17 et 18 assurant la fonction de double barrage conformément à la norme EN 746-2 et dont éventuellement une au moins délivre une recopie de position d'ouverture (sur la figure la vanne 18) et d'un pressostat 26 entre les vannes 17 et 18. Le brûleur 20 est ainsi alimenté en gaz et en air.

[0041] Les vannes à ouverture commandée 14, 17 et 18 peuvent également être équipées de capteurs ou fins de courses destinés à confirmer la position des vannes à pleine ouverture ou fermeture.

[0042] Le brûleur 20 est équipé d'un moyen de détection de flamme 21, par exemple une cellule optique de type Ultra-violet et d'un moyen d'allumage 22, par exemple une électrode d'allumage.

[0043] Le tube radiant est équipé de capteurs de température, par exemple au moins d'un thermocouple 25 de mesure de sa température de surface et d'un capteur 24 situé sur l'évacuation des fumées humides 8 du tube radiant 4 permettant de contrôler la qualité de la combustion, par exemple d'un capteur d'oxygène résiduel.

[0044] Le système de combustion est équipé d'un module de contrôle électronique 23 situé à proximité immédiate du brûleur, avec des signaux de sortie 23a et d'entrée 23b. Les signaux d'entrée selon l'exemple présenté sont les positions des vannes commandées 14 et 18, la détection de flamme 21, les mesures de débit d'air et de gaz 12 et 15, l'oxygène résiduel dans les fumées humides mesuré par le capteur 24 et la température du tube mesurée par le thermocouple 25. Les signaux de sortie sont les commandes des vannes 14, 17 et 18 ainsi que la commande d'allumage 22.

[0045] Enfin une liaison numérique permet de transmettre et recevoir des informations entre un système de contrôle/commande centralisé et les modules de contrôle électronique 23 et/ou entre les modules de contrôle électronique 23.

[0046] Ce module de contrôle électronique assure l'ensemble des fonctions traitées par les systèmes de contrôle de brûleurs existants sur le marché selon l'état de l'art et telles que définies dans les normes, en particulier les fonctions de séquençage de l'allumage, de fonctionnement, d'extinction du brûleur et les sécurités liées à chacune de ces phases de fonctionnement. Il possède également un contrôle de la combustion et un contrôle de défaillance tels que détaillés ci-après.

[0047] En mode de fonctionnement tout ou rien, le système proposé règle une quantité d'air qui est l'image de la puissance instantanée à délivrer par le brûleur dans ses différentes phases de fonctionnement, à l'aide de la vanne 14. Le capteur de pression différentielle 12 est connecté au module de contrôle électronique 23, lequel calcule le débit instantané d'air délivré au brûleur.

[0048] Le capteur 24 de mesure d'oxygène résiduel dans les fumées est connecté au module de contrôle électronique 23, lequel détermine la quantité de gaz nécessaire afin de respecter le taux d'oxygène requis dans les fumées humides dans les différentes phases de fonctionnement du brûleur telles qu'allumage, fonctionnement stabilisé et extinction et règle ce débit en pilotant la vanne 18.

[0049] De la même façon sur le circuit de gaz, le capteur de pression différentielle 15 est connecté au module de contrôle électronique 23, lequel calcule le débit instantané de gaz délivré au brûleur.

[0050] Les débits d'air et de gaz sont calculés à l'aide de la formule décrite dans la norme ISO 5167-2 qui intègre les caractéristiques géométriques des éléments primaires de mesure 13, 16, les paramètres relatifs aux propriétés des fluides et les conditions de service telles que la pression atmosphérique, les pressions, températures et poids spécifiques des fluides qui sont des données dynamiques communes ou individuelles mesurées et transmises au module de contrôle électronique 23.

[0051] A partir des paramètres de combustion V_a (air stœchiométrique, ou pouvoir comburivore, d'un gaz combustible correspondant à la quantité d'air nécessaire et suffisante pour assurer la combustion complète de l'unité de volume de

gaz), du facteur d'air (ou taux d'aération) souhaité noté n ainsi que du rapport air/gaz noté R ($R = n \times Va$) ainsi que d'autres paramètres propres à chacun des fluides, le module de contrôle électronique 23 calcule le taux d'oxygène résiduel attendu dans les fumées humides et ajuste le débit de gaz pour maintenir le taux d'oxygène requis dans les fumées humides. L'invention permet ainsi de maintenir la qualité de la combustion quelles que soient les variations de pression d'alimentation du gaz et de l'air.

[0052] La présente publication propose également d'autres fonctionnalités telles qu'un séquenceur de test d'étanchéité des vannes de gaz contrôlé par le pressostat 26 ainsi qu'une protection en cas de dépassement d'une température maximum de fonctionnement contrôlée par le thermocouple 25.

[0053] Le capteur 25 de mesure de la température du tube radiant 4 est connecté au module de contrôle électronique 23. Le module 23 peut ainsi commander l'arrêt du brûleur en cas de dépassement d'une température de sécurité maximum atteinte par le tube radiant.

[0054] On comprend l'intérêt de cette invention pour l'utilisateur final du four car elle permet, outre des améliorations du procédé de production, de réduire le coût de combustible consommé par l'installation et de réduire les taxes éventuelles qui pourraient être demandées en fonction des quantités de polluants émis.

[0055] Selon une autre caractéristique, le module de contrôle électronique 23 permet de détecter rapidement un dysfonctionnement sur le tube radiant auquel il est raccordé et de placer ledit tube en position de sécurité si le dysfonctionnement est jugé important.

[0056] Selon la nature du signal reçu révélateur d'un dysfonctionnement, notamment selon l'organe concerné, le module électronique va émettre une alerte en local et/ou vers le système de contrôle/commande centralisé, en maintenant le tube radiant concerné en service, ou arrêter ce dernier en le plaçant en position de sécurité.

[0057] Comme nous l'avons vu précédemment, le module de contrôle électronique 23 échange des informations avec les organes de mesure et de contrôle des débits d'air 12, 13, 14 et de gaz 15, 17, 18, 26, ainsi que le capteur d'oxygène résiduel 24 et le capteur de température 25. Le module de contrôle électronique 23 peut ainsi détecter une discordance entre l'information fournie par l'un de ces organes ou capteurs, les informations fournies par les autres organes ou capteurs, et les données théoriques attendues.

[0058] Par exemple, cette discordance peut consister en :

- Un décalage entre le débit mesuré sur l'air ou le gaz et l'ouverture de la vanne de réglage dudit débit,
- Un décalage entre la mesure de la teneur en oxygène résiduel et celle attendue au regard des mesures de débit d'air et de gaz,
- Un décalage entre la température mesurée du tube radiant et celle attendue.

[0059] A partir notamment des données fournies par les organes de mesure de débit de comburant et de combustible et un capteur mesurant la teneur en oxygène résiduel dans les fumées de combustion du brûleur, le module de contrôle électronique 23 calcule le Va du combustible et le compare au Va théorique du combustible. Ce Va théorique est avantageusement fourni au module par le système de contrôle/commande centralisé. Il peut également être directement renseigné dans le module par un opérateur. En cas de décalage entre la valeur de Va calculée et la valeur théorique du combustible, le module de contrôle électronique 23 émet une alerte au-delà d'un certain seuil d'écart. Lorsque cet écart atteint un second seuil plus élevé, le tube radiant est arrêté et mis en sécurité. Le premier seuil est par exemple de 10% d'écart et le second de 15% d'écart.

[0060] La valeur de Va théorique du combustible est par exemple calculée en fonction de la composition du gaz selon la formule suivante dans laquelle les formulations chimiques des gaz sont à remplacer par la teneur en ces gaz dans le combustible exprimée en m^3 de gaz par m^3 de combustible :

$$Va = H_2 \times 2.36 + CO \times 2.38 + CH_4 \times 9.54 + C_2H_4 \times 14.4 + C_2H_6 \times 16.84 + C_3H_6 \times 21.84 + C_3H_8 \times 24.37 + C_4H_8 \times 29.64 + C_4H_{10} \times 32.41 + C_5H_{12} \times 40.87 - O_2 \times 4.77$$

[0061] Avantageusement, le module de contrôle électronique 23 est placé à proximité immédiate du tube radiant qu'il contrôle. Cela permet un échange rapide d'informations entre le module de contrôle électronique et les organes placés sur le tube radiant du fait d'une longueur de câbles réduite. Cette solution permet de piloter et de mettre en sécurité les ensembles tubes radiants plus rapidement qu'ils ne le seraient en passant par un système centralisé de contrôle/commande. La proximité entre le module de contrôle électronique et le tube radiant auquel il est raccordé facilite également l'intervention des opérateurs lors de la mise en service de l'équipement et lors de sa maintenance.

[0062] Avantageusement, le module de contrôle électronique 23 est raccordé à deux tubes radiants situés à proximité l'un de l'autre. Il peut ainsi détecter un comportement différent des deux tubes radiants pouvant révéler un dysfonction-

nement de l'un des deux.

[0063] Cette solution est particulièrement avantageuse car elle permet de gommer les perturbations qui seraient liées à une variation des caractéristiques du gaz ou/et de l'air, celles-ci étant communes aux deux tubes radiants.

[0064] Par exemple, si le module de contrôle électronique 23 détecte un décalage entre la teneur en oxygène résiduel annoncé par le capteur 24 de l'un des tubes radiants et les débits mesurés sur l'air et le gaz de ce tube radiant, ce décalage peut être interprété comme étant lié à une évolution de la composition du combustible et de son Va. Dans cette situation, le module de contrôle électronique 23 selon l'invention vérifie si ce même décalage est présent sur le second tube radiant. Si cela est le cas, il s'agit bien d'un changement des caractéristiques de l'un des fluides. Si ce n'est pas le cas, il s'agit d'un dysfonctionnement d'un organe sur le premier tube radiant et une alerte est donnée par le module de contrôle électronique. Cette analyse permet également de détecter le perçage d'un tube radiant car il se traduirait par une entrée de l'atmosphère du four dans le tube, si le tube radiant fonctionne en mode push-pull (la pression à l'intérieur du tube est plus faible que celle à l'extérieur du tube), et donc une baisse du taux d'oxygène résiduel mesuré dans les fumées.

[0065] Comme nous l'avons vu, le module de contrôle électronique selon l'invention comprend dans un mode de réalisation optimisé :

- les fonctions de sécurité selon l'état de l'art et les impositions des normes existantes,
- le pilotage du fonctionnement d'un ou de deux brûleurs avec des régulations en boucles fermées des ouvertures des vannes d'alimentation en air et gaz, ces boucles fonctionnant selon un rapport air/gaz qui dépend de la valeur de l'oxygène désirée dans les fumées humides en tout point du cycle de fonctionnement (allumage, fonctionnement stabilisé, extinction), que les brûleurs fonctionnent en mode en tout ou rien ou en mode proportionnel,
- la prise en compte de données sur les caractéristiques de l'air et du gaz, notamment les compositions, températures, pressions d'alimentation et le pouvoir calorifique du combustible, pour le contrôle du rapport air-gaz de fonctionnement du brûleur,
- le contrôle du rapport air-gaz de fonctionnement du brûleur effectué en boucle fermée à partir de la mesure de l'O₂ résiduel dans les fumées validée par les calculs des débits,
- un système de calcul du Va du gaz pour vérifier si celui-ci est conforme à celui fourni par le système de contrôle/commande centralisé et déclencher une alerte s'il y a une différence allant au-delà d'un seuil défini,
- le pilotage des phases d'ouverture et de fermeture combinée des vannes air et gaz réalisé en temps réel en chaque point de cette séquence d'ouverture ou de fermeture de sorte de conserver le rapport air/gaz souhaité,
- la vérification périodique de l'étanchéité des vannes de gaz avec mise en sécurité du brûleur si le test n'est pas validé.

Revendications

1. Procédé de contrôle d'au moins un brûleur à tube radiant (4, 5) dans une enceinte calorifugée (1) dans laquelle pénètre une bande métallique (2), apte à équiper une ligne horizontale ou verticale de traitement thermique en continu de bandes métalliques, le au moins un brûleur comprenant une vanne d'alimentation en combustible (7), une vanne d'alimentation en comburant (6) et un conduit évacuation des fumées de combustion (8), le procédé consistant à :

- piloter le fonctionnement dudit au moins un brûleur avec une régulation du pourcentage d'ouverture des vannes d'alimentation en comburant et combustible dudit au moins brûleur selon un rapport comburant/combustible désiré à partir de l'information délivrée par un moyen de mesure de la qualité de la combustion installé dans le conduit d'évacuation des fumées de combustion dudit au moins un brûleur,
- calculer une valeur du pouvoir comburivore Va du combustible alimentant ledit au moins un brûleur, notamment à partir des données fournies par des organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion dudit au moins un brûleur, et de comparer cette valeur Va du pouvoir comburivore avec une valeur théorique afin de détecter un écart dépassant un seuil défini, et si l'écart dépasse le seuil défini, émettre une alerte.

2. Procédé de contrôle selon la revendication précédente, comportant les étapes de : contrôler deux brûleurs à tube

radiant, calculer une valeur du pouvoir comburivore V_a du combustible pour chaque brûleur, notamment à partir des données fournies par les organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion dudit brûleur, et comparer les deux valeurs de V_a obtenues pour les deux brûleurs afin de détecter un écart dépassant un seuil défini.

3. Module de contrôle d'au moins un brûleur à tube radiant (4, 5) apte à équiper une ligne horizontale ou verticale de traitement thermique en continu de bandes métalliques, le au moins un brûleur comprenant une vanne d'alimentation en combustible (7), une vanne d'alimentation en comburant (6), un conduit évacuation des fumées de combustion (8), un organe de mesure de débit de combustible, et un organe de mesure de débit de comburant, un moyen de mesure de la qualité de la combustion étant installé dans le conduit d'évacuation des fumées (8) de combustion dudit au moins un brûleur, le module de contrôle comprenant :

- un moyen de pilotage dudit au moins un brûleur, configuré pour agir sur les pourcentages d'ouverture des vannes d'alimentation en comburant (6) et combustible (7) dudit au moins brûleur pour adapter le rapport débit de comburant/débit de combustible en fonction de l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion,
- un moyen de calcul du pouvoir comburivore V_a du combustible utilisant les données fournies par le moyen de mesure de la qualité de la combustion, l'organe de mesure de débit de combustible et l'organe de mesure de débit de comburant, la valeur de V_a calculée par le moyen de calcul étant comparée avec une valeur théorique afin de détecter un écart dépassant un seuil prédéfini, et si l'écart dépasse le seuil défini, émettre une alerte.

4. Module de contrôle selon la revendication précédente, dans lequel le moyen de mesure de la qualité de la combustion est un capteur d'oxygène résiduel (24).

5. Module de contrôle selon la revendication 3 ou 4, dans lequel le module est apte à contrôler deux brûleurs à tube radiant, le pouvoir comburivore V_a du combustible étant calculé pour chaque brûleur, notamment à partir des données fournies par les organes de mesure de débit de comburant et de combustible et l'information délivrée par le moyen de mesure de la qualité de la combustion, les deux valeurs de V_a obtenues pour les deux brûleurs étant comparées afin de détecter un écart dépassant un seuil défini.

6. Brûleur à tube radiant (4, 5) apte à équiper une enceinte calorifugée (1) d'une ligne horizontale ou verticale de traitement thermique en continu de bandes métalliques, comprenant une vanne d'alimentation en combustible, une vanne d'alimentation en comburant, un conduit évacuation des fumées de combustion, un organe de mesure de débit de combustible, et un organe de mesure de débit de comburant, un moyen de mesure de la qualité de la combustion étant installé dans le conduit d'évacuation des fumées de combustion dudit au moins un brûleur, le brûleur étant **caractérisé en ce qu'il** comprend un module de contrôle selon l'une quelconque des revendications 3 à 5.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern von mindestens einem Strahlungsrohrbrenner (4, 5) in einem wärmeisolierten Gehäuse (1), in das ein Metallband (2) eindringt, der zum Ausstatten einer horizontalen oder vertikalen Linie einer kontinuierlichen Wärmebehandlung von Metallbändern geeignet ist, wobei der mindestens eine Brenner ein Brennstoffzufuhrventil (7), ein Oxidationsmittelzufuhrventil (6) und ein Abgasrohr für Verbrennungsabgase (8) umfasst, wobei das Verfahren besteht aus:

- Steuern des Betriebs des mindestens einen Brenners mit einer Regulierung des Öffnungsprozentages des Brennstoff- und des Oxidationsmittelzufuhrventils des mindestens einen Brenners gemäß einem gewünschten Oxidationsmittel/Brennstoff-Verhältnis ausgehend von Informationen, die durch ein Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung geliefert werden, das in dem Abgasrohr für Verbrennungsabgase des mindestens einen Brenners installiert ist,
- Berechnen eines Wertes der Verbrennungsluftmenge V_a des Brennstoffs, der den mindestens einen Brenner versorgt, insbesondere aus den Daten, die durch Durchflussmesselemente von Oxidationsmittel und Brennstoff geliefert werden, und den Informationen, die durch das Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung des mindestens einen Brenners geliefert werden, und Vergleichen dieses Wertes V_a der Verbrennungsluftmenge mit einem theoretischen Wert, um eine Abweichung zu erkennen, die einen definierten Schwellenwert überschreitet, und wenn die Abweichung den definierten Schwellenwert überschreitet, Ausgeben einer Warnung.

2. Verfahren zum Steuern nach dem vorhergehenden Anspruch, umfassend die Schritte:

Steuern von zwei Strahlungsrohrbrennern, Berechnen eines Wertes der Verbrennungsluftmenge V_a des Brennstoffs für jeden Brenner, insbesondere aus den Daten, die durch die Durchflussmesselemente von Oxidationsmittel und Brennstoff geliefert werden, und den Informationen, die durch das Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung des Brenners geliefert werden, und Vergleichen der beiden für die beiden Brenner erhaltenen V_a -Werte, um eine Abweichung zu erkennen, die einen definierten Schwellenwert überschreitet.

3. Steuermodul von mindestens einem Strahlungsrohrbrenner (4, 5), der zum Ausstatten einer horizontalen oder vertikalen Linie einer kontinuierlichen Wärmebehandlung von Metallbändern geeignet ist, wobei der mindestens eine Brenner ein Brennstoffzufuhrventil (7), ein Oxidationsmittelzufuhrventil (6), ein Abgasrohr für Verbrennungsabgase (8), ein Durchflussmesselement von Brennstoff und ein Durchflussmesselement von Oxidationsmittel umfasst, wobei ein Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung in dem Abgasrohr für Verbrennungsabgase (8) des mindestens einen Brenners installiert ist, wobei das Steuermodul umfasst:

- ein Mittel zum Steuern des mindestens einen Brenners, das konfiguriert ist, um auf die Öffnungsprozentsätze des Oxidationsmittel- (6) und des Brennstoffzufuhrventils (7) des mindestens einen Brenners einzuwirken, um das Verhältnis von Oxidationsmitteldurchfluss zu Brennstoffdurchfluss in Abhängigkeit von den Informationen, die durch das Mittel zur Messung der Qualität der Verbrennung geliefert werden, anzupassen,

- ein Mittel zum Berechnen der Verbrennungsluftmenge V_a des Brennstoffs unter Verwendung der Daten, die durch das Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung, das Durchflussmesselement für Brennstoff und das Durchflussmesselement für Oxidationsmittel bereitgestellt werden, wobei der durch das Berechnungsmittel berechnete Wert von V_a mit einem theoretischen Wert verglichen wird, um eine Abweichung zu erkennen, die einen vordefinierten Schwellenwert überschreitet, und eine Warnung auszugeben, wenn die Abweichung den definierten Schwellenwert überschreitet.

4. Steuermodul nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung ein Restsauerstoffsensor (24) ist.

5. Steuermodul nach Anspruch 3 oder 4, wobei das Modul geeignet ist, zwei Strahlungsrohrbrenner zu steuern, wobei die Verbrennungsluftmenge V_a des Brennstoffs für jeden Brenner berechnet wird, insbesondere aus den Daten, die durch die Durchflussmesselemente von Oxidationsmittel und Brennstoff geliefert werden, und den Informationen, die durch das Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung geliefert werden, wobei die beiden für die beiden Brenner erhaltenen V_a -Werte verglichen werden, um eine Abweichung zu erkennen, die einen definierten Schwellenwert überschreitet.

6. Strahlungsrohrbrenner (4, 5), mit dem ein wärmeisoliertes Gehäuse (1) einer horizontalen oder vertikalen Linie zur kontinuierlichen Wärmebehandlung von Metallbändern ausgestattet werden kann, umfassend ein Brennstoffzufuhrventil, ein Oxidationsmittelzufuhrventil, ein Abgasrohr für Verbrennungsabgase, ein Durchflussmesselement von Brennstoff und ein Durchflussmesselement von Oxidationsmittel, wobei ein Mittel zum Messen der Qualität der Verbrennung in dem Abgasrohr für Verbrennungsabgase des mindestens einen Brenner installiert ist, wobei der Brenner **dadurch gekennzeichnet ist, dass** er ein Steuermodul nach einem der Ansprüche 3 bis 5 umfasst.

Claims

1. Method for controlling at least one radiant tube burner (4, 5) in a heat-insulated enclosure (1) into which a metal strip (2) penetrates, suitable to equip a horizontal or vertical line for continuous heat treatment of metal strips, the at least one burner comprising a fuel supply valve (7), an oxidant supply valve (6) and a flue gas exhaust duct (8), the method consisting of:

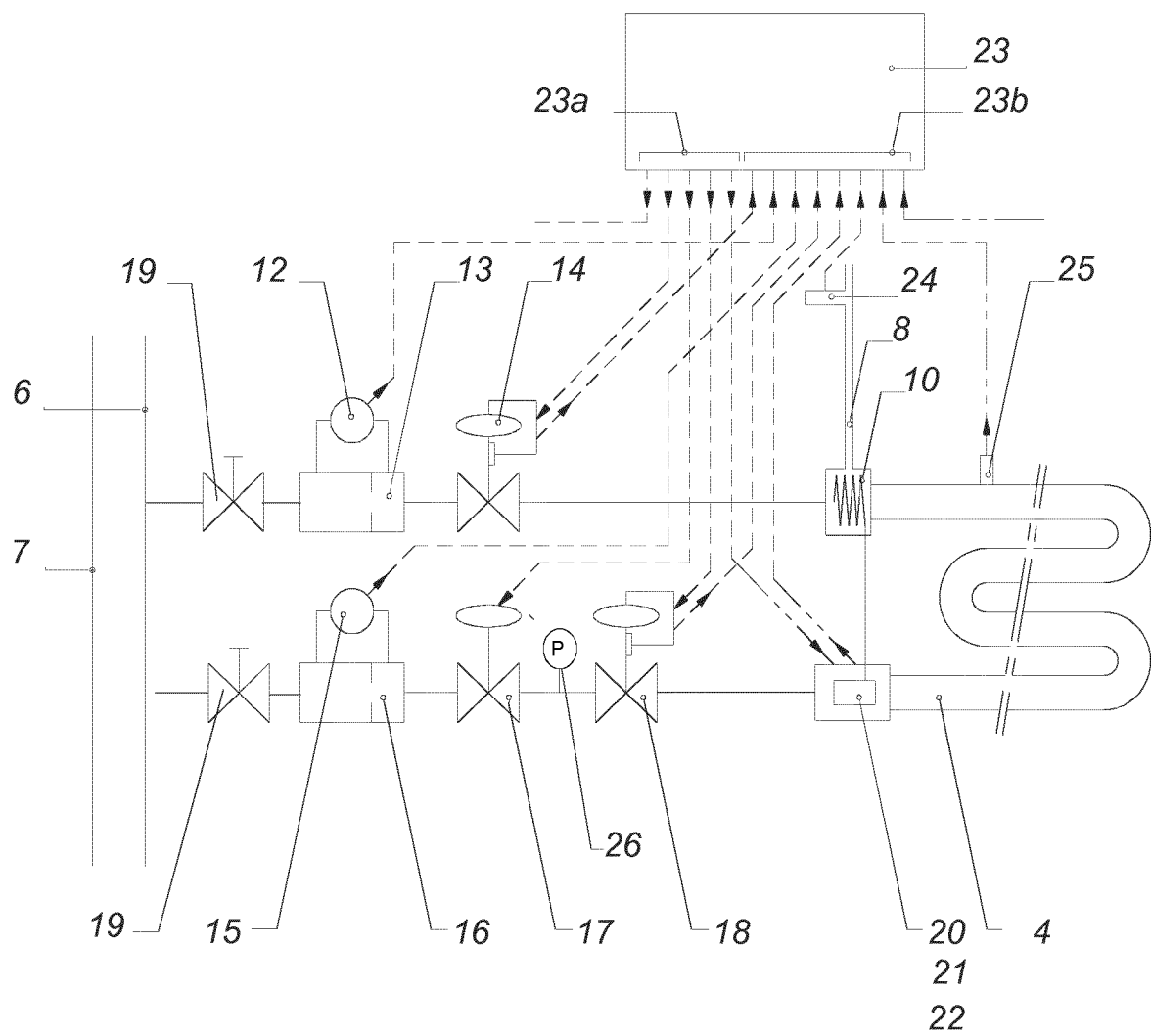
- control the operation of said at least one burner with a regulation of the opening percentage of the oxidant and fuel supply valves of said at least one burner according to a desired oxidant/fuel ratio from the information delivered by a means of measuring the quality of the combustion installed in the combustion flue gas exhaust duct of said at least one burner,

- calculating a combustion power value V_a of the fuel supplying at least one burner, in particular from the data supplied by oxidant and fuel flow measuring devices and the information delivered by the means for measuring the combustion quality of said at least one burner, and comparing this combustion power value V_a with a theoretical value in order to detect a deviation exceeding a defined threshold, and if the deviation exceeds the

defined threshold, issue an alert.

2. Control method according to the preceding claim, comprising the following steps: controlling two radiant tube burners, calculating a fuel combustion power value V_a for each burner, in particular from the data provided by the oxidant and fuel flow measuring devices and the information delivered by the means for measuring the combustion quality of said burner, and comparing the two V_a values obtained for the two burners in order to detect a deviation exceeding a defined threshold.
3. Control module for at least one radiant tube burner (4, 5) suitable to equip a horizontal or vertical line for continuous heat treatment of metal strips, the said at least one burner comprising a fuel supply valve (7), an oxidant supply valve (6), a combustion flue gas exhaust duct (8), a fuel flow measuring device, and an oxidant flow measuring device, a combustion quality measuring device installed in said combustion flue gas exhaust duct (8) in at least one burner, the combustion module control comprising:
 - a means for controlling of said at least one burner, acting on the opening percentages of the oxidant (6) and the fuel (7) supply valves of said at least one burner to adapt the ratio of the oxidant flow rate / the fuel flow rate depending on the information delivered by the means for measuring the quality of the combustion,
 - a means for calculating the fuel combustion power V_a using the data provided by the combustion quality measuring device, the fuel flow measuring device and the oxidant flow measuring device, the calculated V_a value by means of calculation being compared with a theoretical value in order to detect a deviation exceeding a predefined threshold, and if the deviation exceeds the defined threshold, issue an alert.
4. Control module according to the preceding claim, wherein the means for controlling the quality of the combustion is a residual oxygen sensor (24).
5. Control module according to claim 3 or 4, wherein the module can control two radiant tube burners, the combustion power V_a of the fuel being calculated for each burner from the data supplied by the oxidant and fuel flow measuring devices and the information delivered by the combustion quality control device, the two values of V_a obtained for the two burners being compared in order to detect a deviation exceeding a defined threshold.
6. A radiant tube burner (4, 5) suitable to equip a heat-insulated enclosure (1) of a horizontal or vertical line for continuous heat treatment of metal strips, comprising a fuel supply valve, an oxidant supply valve, a flue gas exhaust duct, a fuel flow measuring device, and an oxidant flow measuring device, a means for measuring the quality of the combustion installed in the combustion flue of said at least one burner, the burner being **characterized in that** it comprises a control module according to any one of claim 3 to claim 5.

FIG. 3



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

- FR 2712961 [0006]
- WO 2010007547 A [0007]
- FR 3015009 [0008]