Innovation, Sciences et Développement économique Canada
Office de la Propriété Intellectuelle du Canada

Innovation, Science and Economic Development Canada
Canadian Intellectual Property Office

CA 2797168 C 2018/07/03

(11)(21) **2 797 168**

(12) BREVET CANADIEN / CANADIAN PATENT

(13) **C**

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2011/03/30
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2011/10/27
(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2018/07/03
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2012/10/22
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2011/050703
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2011/131880
(30) **Priorité/Priority:** 2010/04/23 (FR1053147)

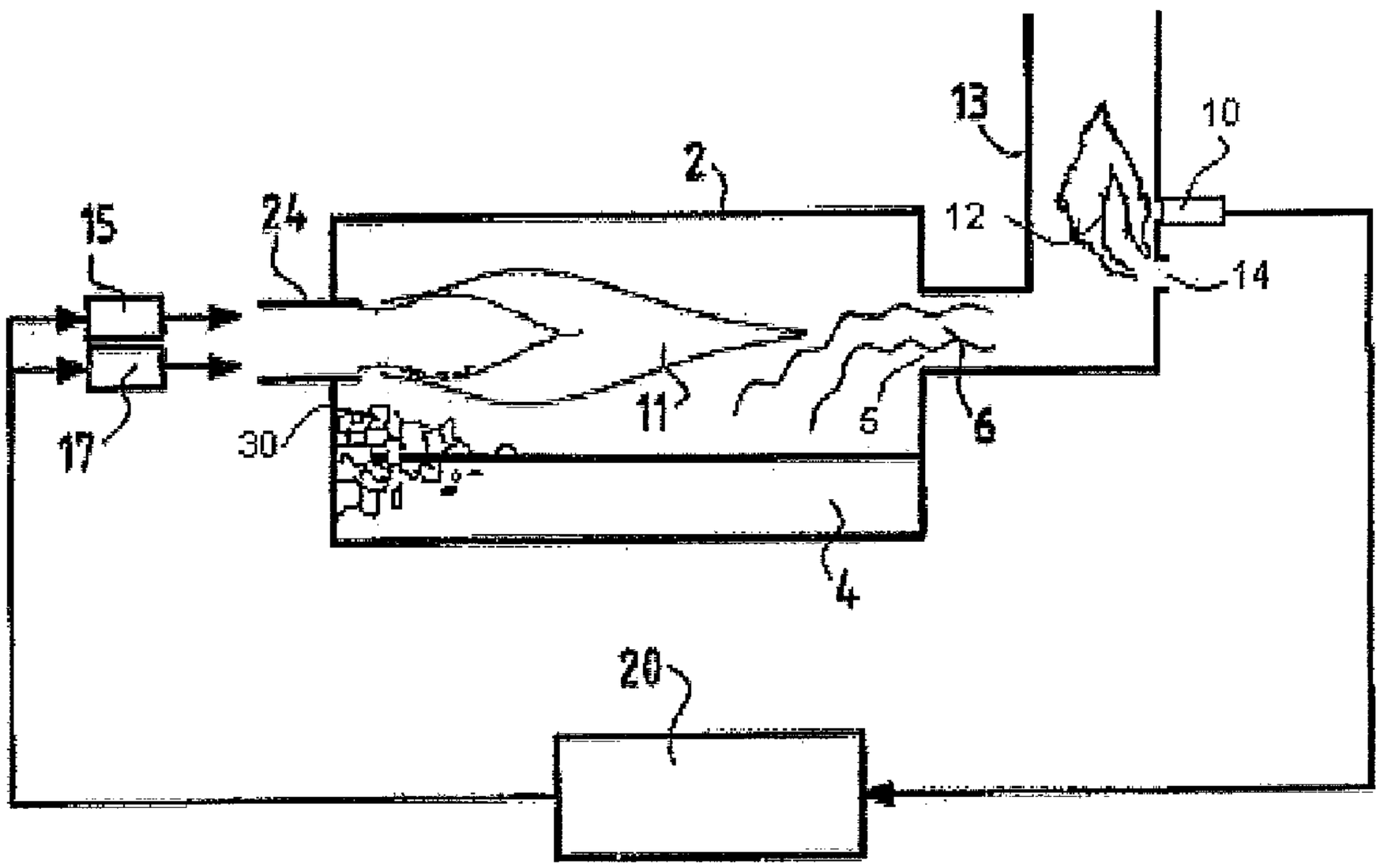
(51) **Cl.Int./Int.Cl.** ***F27D 17/00*** (2006.01), ***C03B 5/235*** (2006.01), ***C21C 5/46*** (2006.01), ***F23N 5/08*** (2006.01), ***F27D 19/00*** (2006.01), ***F27D 21/00*** (2006.01)

(72) **Inventeurs/Inventors:**
BEAUDOIN, PHILIPPE, FR;
LOISELET, BENOIT, FR

(73) **Propriétaire/Owner:**
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE, FR

(74) **Agent:** ROBIC

(54) **Titre : FOUR A FLAMME ET PROCEDE DE REGULATION DE LA COMBUSTION DANS UN FOUR A FLAMME**
(54) **Title: FUEL-FIRED FURNACE AND METHOD FOR CONTROLLING COMBUSTION IN A FUEL-FIRED FURNACE**



(57) **Abrégé/Abstract:**
Four à flamme et procédé pour son opération, procédé dans lequel: -on injecte un oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2) du four, -on brûle de la matière combustible dans la chambre de combustion (2) avec l'oxydant principal en produisant de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C, -on évacue les fumées (6) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées (6) évacuées pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, le conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2), -on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14), -on détecte l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (12), et -on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée.

(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
27 octobre 2011 (27.10.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/131880 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F27D 17/00 (2006.01) *C03B 5/235* (2006.01)
F27D 19/00 (2006.01) *C21C 5/46* (2006.01)
F27D 21/00 (2006.01) *F23N 5/08* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050703

(22) Date de dépôt international :
30 mars 2011 (30.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1053147 23 avril 2010 (23.04.2010) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE** [FR/FR]; 75, Quai d'Orsay, F-75007 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **BEAUDOIN, Philippe** [FR/FR]; 10 rue de Bavière, F-78280 Guyancourt (FR). **LOISELET, Benoit** [FR/FR]; 3 Allee des Myosotis, F-78390 Bois D'arcy (FR).

(74) Mandataire : **de VLEESCHAUWER, Natalie**; L'Air Liquide, SA, 75, Quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : FUEL-FIRED FURNACE AND METHOD FOR CONTROLLING COMBUSTION IN A FUEL-FIRED FURNACE

(54) Titre : FOUR À FLAMME ET PROCÉDÉ DE RÉGULATION DE LA COMBUSTION DANS UN FOUR À FLAMME

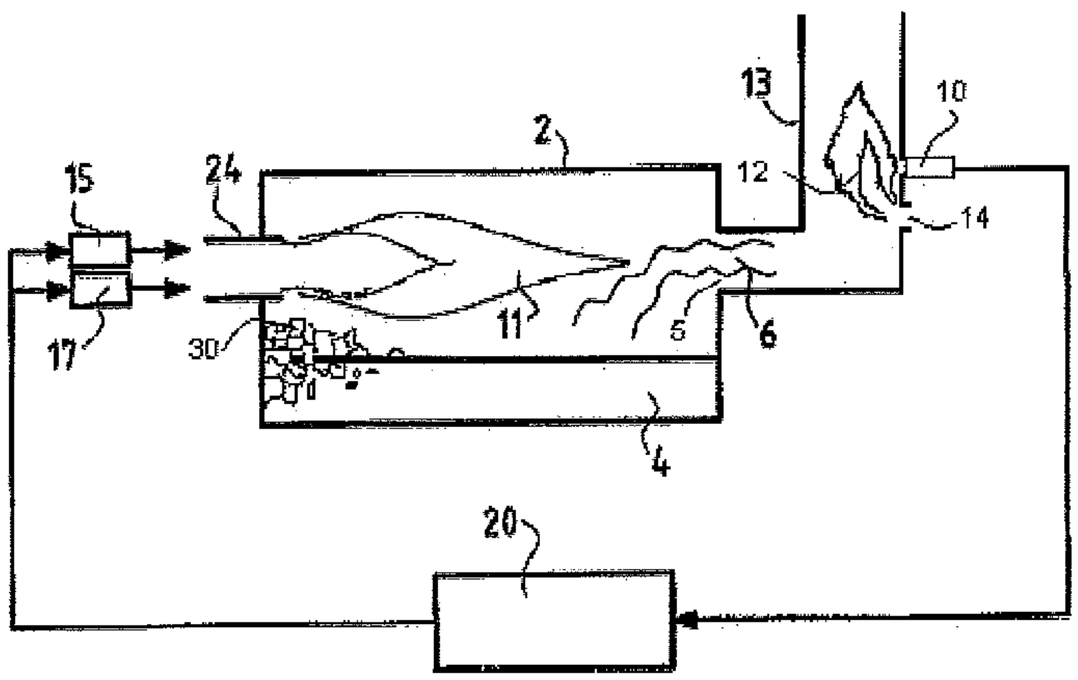


FIG.1

(57) Abstract : Fuel-fired furnace and a method for operating it, in which method: a main oxidizing agent is injected at a controlled flow rate into the combustion chamber (2) of the furnace; the combustible material is burnt in the combustion chamber (2) with the main oxidizing agent, producing thermal energy and flue gases (6) at a temperature higher than 600°C; the flue gases (6) are removed via an exhaust duct (13), said removed flue gases (6) possibly containing residual materials that could be oxidized, the exhaust duct (13) being equipped with an inlet (14) for a diluting oxidizing agent downstream of the combustion chamber (2); the residual materials that could be oxidized are burnt with the diluting oxidizing agent by means of a flame (12) at the inlet (14) for the diluting oxidizing agent; the flame intensity inside the exhaust duct (12) is detected; and the flow rate at which the main oxidizing agent is injected into the combustion chamber (2) is controlled according to the detected flame intensity.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/131880 A1

WO 2011/131880 A1

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

Four à flamme et procédé pour son opération, procédé dans lequel: -on injecte un oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2) du four, -on brûle de la matière combustible dans la chambre de combustion (2) avec l'oxydant principal en produisant de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C, -on évacue les fumées (6) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées (6) évacuées pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, le conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2), -on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14), -on détecte l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (12), et -on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée.

Four à flamme et procédé de régulation de la combustion dans un four à flamme

La présente invention concerne la régulation de la combustion dans des fours à flamme.

Les fours à flamme sont couramment utilisés dans l'industrie pour la génération d'énergie thermique et pour le traitement à température élevée des matériaux.

La terminologie « four à flamme » désigne un four, tel qu'un four de fusion ou un incinérateur, dans lequel au moins une partie de l'énergie thermique est produite dans la chambre de combustion du four par la combustion d'un combustible avec un oxydant présent dans le comburant. Ainsi, la terminologie « four à flamme » couvre également les fours dans lesquels au moins une partie de l'énergie thermique est produite par une combustion sans flamme visible, souvent appelée « combustion sans flamme » (en anglais : « flameless combustion »).

Les fumées générées par la combustion, contenant généralement du CO_2, du CO et de l'H_2O, sont évacuées de la chambre de combustion du four à flamme à une température supérieure à 600°C par un conduit d'évacuation.

En théorie, un maximum d'énergie thermique est généré par la combustion quand celle-ci est stoechiométrique, c'est-à-dire quand l'oxydant est injecté dans la zone de combustion en une quantité qui correspond à la quantité d'oxydant nécessaire pour la combustion totale du combustible présent dans la zone de combustion. Dans ce cas, le carbone présent dans le combustible est entièrement oxydé en CO_2, l'hydrogène généralement présent dans le combustible est entièrement oxydé en H_2O, etc. En pratique industrielle, on constate toutefois qu'un léger excès d'oxydant est nécessaire pour arriver à une combustion totale du combustible.

Une injection insuffisante d'oxydant entraîne une baisse de rendement du four par non-combustion ou combustion partielle du combustible. Un excès trop important d'oxydant entraîne également une baisse de rendement du four (par exemple : perte d'énergie thermique plus importante par les fumées évacuées et, en cas d'oxy-combustion, l'évacuation avec les fumées de la partie de l'oxygène n'ayant pas participé à la combustion, l'oxygène ayant un coût non-négligeable).

Parmi les autres inconvénients d'un débit trop important d'oxydant, on peut en particulier signaler un taux d'oxydation plus important de la charge dans le cas d'une

charge oxydable, comme c'est le cas dans un four de fusion de métaux oxydables, tel que l'aluminium, et certains fours de réchauffage (en anglais « reheating furnace »). Il est notamment connu d'opérer des fours à flamme en régime de sur- ou sous-stoechiométrie, pour éviter ou limiter une réduction ou oxydation nuisible de la charge par l'atmosphère dans la zone de combustion. Ainsi, pour certaines applications, la combustion optimale diffère de la combustion stoechiométrique.

Une opération optimisée d'un four à flamme est généralement possible dans les fours à flamme dans lesquels les apports en combustible et en oxydant et les compositions de ceux-ci sont parfaitement maîtrisés.

Toutefois, dans un nombre important d'applications industrielles des fours à flamme, la quantité et/ou la composition de la matière combustible disponible dans la zone de combustion sont mal ou peu maîtrisées.

Ceci est par exemple le cas :

- dans les fours à flamme dont la charge contient une quantité et/ou une qualité variable de matières combustibles, comme par exemple les incinérateurs de déchets et les fours de fusion secondaire pour le recyclage de métaux,

- dans les fours de fusion à flamme dans lesquels la charge contient des matières combustibles inhérentes et/ou ajoutées, et dans lesquels la charge libère de manière non contrôlée ces matières combustibles dans la zone de combustion généralement située au-dessus de la charge, comme par exemple les fours de fusion secondaire pour le recyclage de métaux,

- dans les fours à flamme pour la post-combustion des fumées issues de fours tels que décrits ci-dessus, par exemple des chambres de post-combustion des fours à arc pour la fusion secondaire d'acier.

De JP-A-1314809 et de JP-A-2001004116, il est connu d'équiper un incinérateur d'une caméra dirigée vers l'intérieur de la chambre de combustion et de réguler la post-combustion à l'intérieur de la chambre de combustion au-dessus de la combustion principale en fonction de l'image obtenue de la combustion à l'intérieur de la chambre.

De WO-A-2005/024398, il est connu de mesurer la quantité d'espèces chimiques contenues dans un gaz issu d'un four de traitement de métal, tel qu'un four électrique à arc ou un convertisseur, par prélèvement d'une partie du gaz à analyser, son refroidissement à moins de 300°C et la mesure de quantité de CO et/ou de CO_2 présente dans le gaz à l'aide du signal de lumière cohérente émise par une diode laser, ledit procédé permettant une

mesure desdites quantités avec un temps de réponse inférieur à 10 secondes et un contrôle du four en temps réel.

WO-A-03/056044 décrit un procédé de fusion d'aluminium, dans lequel on introduit de l'aluminium solide dans un four, on réalise la fusion de l'aluminium pour former un bain d'aluminium, on détecte les variations de concentration en monoxyde de carbone (CO) et la température dans les fumées sortant du four, on en déduit la formation d'oxydes d'aluminium à la surface du bain d'aluminium et on régule le procédé de fusion en fonction de la formation d'oxydes d'aluminium.

La mesure de la concentration en certaines espèces dans les fumées d'un four à flamme est toutefois rendue difficile par la nature et les quantités de polluants, telle que la suie, dans lesdites fumées.

WO-A-2004/083469 décrit un procédé de fusion d'aluminium dans lequel le rapport combustible/comburant injecté par un brûleur dans le four à flamme est régulé en fonction de la température des fumées dans le conduit d'évacuation des fumées muni d'une entrée d'air dit « air de dilution ».

Dans un tel procédé, le débit d'air de dilution peut varier en fonction de différents paramètres (taille des ouvertures, vitesse de l'extraction des fumées, état des conduits de fumées, débit des autres flux de fumées collectés par le même extracteur). Ce débit variable peut avoir une influence sur la température des fumées dans le conduit d'évacuation et ainsi avoir un impact sur le réglage du four. Des variations quotidiennes (jour et nuit) et saisonnières (été et hiver) dans la température de l'air de dilution, qui est généralement de l'air ambiant, peuvent également avoir un impact sur la température des fumées dans le conduit d'évacuation.

La présente invention a pour but de fournir un réglage de la combustion dans un four à flamme qui ne présente pas les inconvénients des procédés connus décrits ci-dessus.

Selon un mode de réalisation préféré, l'invention concerne un procédé d'opération d'un four à flamme comportant une chambre de combustion (2),

procédé dans lequel :

- on injecte un oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2),

- on brûle de la matière combustible dans la chambre de combustion (2) avec l'oxydant principal en produisant dans la chambre de combustion de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C,

- on évacue les fumées (6) ainsi produites de la chambre de combustion (2) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées (6) évacuées pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, le conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),

- on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) à l'intérieur du conduit d'évacuation (13) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14),

le procédé étant caractérisé en ce que :

- on détecte l'intensité de flamme de ladite flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (13),

- on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée. La présente invention concerne ainsi un procédé d'opération d'un four à flamme amélioré. Selon ce procédé, on injecte un oxydant, dit « oxydant principal », à un débit régulé dans une chambre de combustion du four à flamme. On brûle de la matière combustible dans la chambre de combustion avec l'oxydant principal ainsi injecté en produisant dans la chambre de combustion de l'énergie thermique et des fumées ayant une température supérieure à 600°C. Les fumées ainsi produites sont évacuées de la chambre de combustion par un conduit d'évacuation. Ce conduit d'évacuation est muni d'une entrée d'un oxydant dit « oxydant de dilution », typiquement, mais pas nécessairement, de l'air ambiant, en aval de la chambre de combustion, de manière à ce que l'oxydant de dilution

entre en contact avec les fumées à 600°C, voire plus. Quand les fumées contiennent encore des matières oxydables, c'est-à-dire quand la combustion de matière combustible dans la chambre de combustion n'est pas complète, on obtient ainsi une flamme au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution à l'intérieur du conduit d'évacuation. En effet, le contact entre l'oxydant de dilution et les matières oxydables dans les fumées à température élevée génèrent une auto-combustion desdites matières oxydables, telles que du CO et/ou du H_2, présentes dans les fumées évacuées. Suivant l'invention, on détecte l'intensité de la flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation, et donc en aval de la chambre de combustion, et on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion en fonction de l'intensité de flamme détectée.

La matière combustible peut notamment être introduite dans la chambre de combustion de manière contrôlée, par exemple, par injection d'un jet de combustible dans la chambre de combustion au moyen d'une lance ou d'un brûleur. La matière combustible peut être présente dans la charge et donc être introduite dans la chambre de combustion avec la charge. La matière combustible peut également être introduite dans la chambre de combustion par une combinaison d'une introduction contrôlée et d'une introduction avec la charge dans la chambre de combustion.

Avantageusement, on réduit le débit d'injection d'oxydant principal injecté dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme ainsi détectée est inférieure à une limite inférieure prédéterminée et on augmente le débit d'oxydant principal injecté dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme ainsi détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

La présence de matières oxydables, telle que le CO, dans les fumées est ainsi détectée par l'intensité de leur combustion avec l'oxydant de dilution à l'aide d'un détecteur de flamme qui renvoie un signal indicateur de l'intensité de la combustion/de la flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation : (a) une intensité forte étant le signe d'une présence importante de matières oxydables dans les fumées évacuées, et (b) une intensité faible étant le signe d'une faible présence de matières oxydables dans les fumées évacuées.

L'invention permet ainsi de déterminer le niveau de la présence de matières oxydables dans les fumées et d'appliquer en temps réel une correction au réglage de la combustion dans la zone de combustion.

Les limites inférieure et supérieure prédéterminées sont fixées en fonction de la nature du procédé de combustion dans la chambre de combustion, comme discuté ci-dessus. Quand le procédé de combustion vise une combustion complète de la matière

combustible dans la chambre de combustion, la limite inférieure prédéterminée est très faible, mais supérieure à zéro. De cette manière, il est assuré que le débit d'injection d'oxydant principal n'est ni excessif ni trop faible pour le procédé de combustion dans la chambre de combustion.

L'invention permet notamment de compenser une connaissance imparfaite de la teneur en matière combustible de la charge du four (cas typique pour les fours de recyclage), de la qualité de la matière combustible et/ou de sa libération dans la chambre de combustion par une adaptation en temps réel du réglage du débit d'oxydant principal et, comme exposé ci-après, éventuellement également du débit de combustible injecté dans la chambre de combustion.

Un autre avantage de l'invention est qu'elle peut être réalisée avec un détecteur d'intensité de flamme peu coûteux et simple de mise en œuvre.

Dans certains procédés de combustion, la teneur en matières oxydables dans les fumées évacuées peut présenter des variations fréquentes, mais souvent de faible durée. Suivant une forme de réalisation, l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation est détecté pendant des durées prédéterminées $\Delta t1$ et $\Delta t2$. Le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion est réduit quand l'intensité de flamme détectée est restée inférieure à la limite inférieure pendant la durée prédéterminée $\Delta t1$. De manière analogue, le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion est augmenté quand l'intensité de flamme détectée est restée supérieure à la limite supérieure pendant la durée prédéterminée $\Delta t2$. Ainsi, des fluctuations excessives dans le procédé de combustion sont évitées. Une autre possibilité est (a) de réduire le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée $\Delta t1$ est inférieure à la limite inférieure, et (b) d'augmenter le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée $\Delta t2$ est supérieure à la limite supérieure. En pratique, les durées prédéterminées $\Delta t1$ et $\Delta t2$ sont typiquement identiques.

Selon un mode de réalisation préféré, l'invention concerne un procédé d'opération d'un four à flamme comportant une chambre de combustion (2), procédé dans lequel :

- on injecte un oxydant principal et de la matière combustible à des débits régulés dans la chambre de combustion (2),
- on brûle la matière combustible avec l'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en produisant de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C dans la chambre de combustion (2),
- on évacue les fumées (6) ainsi produites de la chambre de combustion (2) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées évacuées (6) pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, ledit conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),
- on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14) dans le conduit d'évacuation (13),

le procédé étant caractérisé en ce que :

- on détecte l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (13),
- on régule le débit d'injection d'oxydant principal, et éventuellement le débit d'injection de matière combustible, dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée.

Selon cette forme de réalisation, on injecte dans la chambre de combustion de l'oxydant principal et de la matière combustible à des débits régulés, on brûle la matière combustible avec l'oxydant principal dans la chambre de combustion en produisant de l'énergie thermique et des fumées à une température supérieure à 600°C dans la chambre de combustion, et on évacue les fumées ainsi produites de la chambre de combustion par un conduit d'évacuation. Comme indiqué ci-dessus, les fumées évacuées peuvent contenir

des matières oxydables résiduelles. Le conduit d'évacuation est muni d'une entrée d'oxydant de dilution en aval de la chambre de combustion. On brûle les matières oxydables résiduelles des fumées avec l'oxydant de dilution avec obtention d'une flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution. Selon l'invention, on détecte l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation et on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la zone de combustion en fonction de l'intensité de flamme détectée.

Il est également possible de réguler le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion en fonction de l'intensité de flamme détectée.

De manière avantageuse, on réduit le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée à l'intérieur du conduit d'évacuation est inférieure à une limite inférieure prédéterminée et on augmente le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de la flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

Il est notamment possible (a) de réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une durée prédéterminée $\Delta t1$, et (b) d'augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée à l'intérieur du conduit d'évacuation est supérieure à la limite supérieure pendant une durée prédéterminée $\Delta t2$. Il est également possible (a) de réduire le rapport entre le débit d'injection oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée à l'intérieur du conduit d'évacuation pendant la durée prédéterminée $\Delta t1$ est inférieure à la limite inférieure, et (b) d'augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée $\Delta t2$ est supérieure à la limite supérieure.

Le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion peut être modifié en changeant le débit d'injection d'oxydant principal par rapport au débit d'injection de matière

combustible prédéterminé, ou en changeant (a) le débit d'injection d'oxydant principal et (b) le débit d'injection de matière combustible. Il est toutefois à noter que le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion est souvent régulé en fonction du besoin d'énergie thermique dans la chambre de combustion.

Suivant une forme de réalisation, la chambre de combustion est équipée d'au moins une lance pour l'injection d'un débit régulé d'oxydant principal. La chambre de combustion peut également être équipée d'au moins un brûleur pour l'injection d'un débit régulé d'oxydant principal et d'un débit régulé de matière combustible. La chambre de combustion peut également comprendre au moins une telle lance et au moins un tel brûleur.

Le procédé peut être un procédé batch, un procédé semi-batch ou un procédé d'alimentation continu.

La chambre de combustion peut être la chambre de combustion d'un four à arc, d'un four rotatif, d'un four de fusion fixe, d'un four de réchauffage, d'une chaudière, une chambre de post-combustion d'effluents gazeux, etc.

Le procédé peut être un procédé de fusion ou de vitrification, et en particulier un procédé de fusion secondaire de métaux récupérés, un procédé de combustion de déchets solides, liquides ou gazeux, un procédé de post-combustion d'effluents gazeux, un procédé de réchauffage, tel que le réchauffage de produits métallurgiques, etc.

L'entrée d'oxydant de dilution est typiquement une entrée d'air ambiant dans le conduit d'évacuation (en anglais : « air gap »), mais peu également être un injecteur d'oxydant, tel qu'un injecteur d'air enrichi d'oxygène ou d'oxygène.

Le détecteur de flamme est avantageusement un détecteur optique et notamment un détecteur optique choisi parmi les détecteurs ultraviolets, les détecteurs infrarouges et les détecteurs de radiation visible. Le détecteur est de préférence un détecteur infrarouge ou un détecteur ultraviolet.

Pour éviter une interférence par la combustion, dite combustion principale, qui a lieu à l'intérieur de la chambre de combustion, on détecte la flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation de préférence à un endroit à l'abri de la combustion principale.

Pour mieux séparer la zone de détection à l'intérieur du conduit d'évacuation de la chambre principale, le conduit d'évacuation peut être muni d'un coude. La détection de flamme a lieu alors de préférence en aval de ce coude. L'entrée d'oxydant de dilution se situe avantageusement immédiatement en amont, dans ou en aval du coude, de manière à

ce que la flamme générée par la combustion des matières oxydables dans les fumées avec l'oxydant de dilution se développent au moins principalement en aval du coude.

Quand le four présente une géométrie empêchant une interférence entre la combustion principale et le détecteur de flamme ou si le four comporte des éléments formant un écran entre la combustion principale et le détecteur de flamme, un tel coude n'est pas nécessaire.

La présente invention concerne également un four à flamme adapté pour la mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus.

Selon un mode de réalisation préféré, l'invention concerne un four à flamme comportant

- une chambre de combustion (2),

- un moyen (15, 24) pour l'injection d'oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2), et

- un conduit (13) pour l'évacuation de fumées (6) de ladite chambre de combustion (2), ledit conduit (13) comportant une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),

le four étant caractérisé en ce qu'il comporte également :

- un détecteur (10) pour détecter une intensité de flamme au niveau de l'entrée d'oxygène de dilution (14) à l'intérieur du conduit d'évacuation (13).

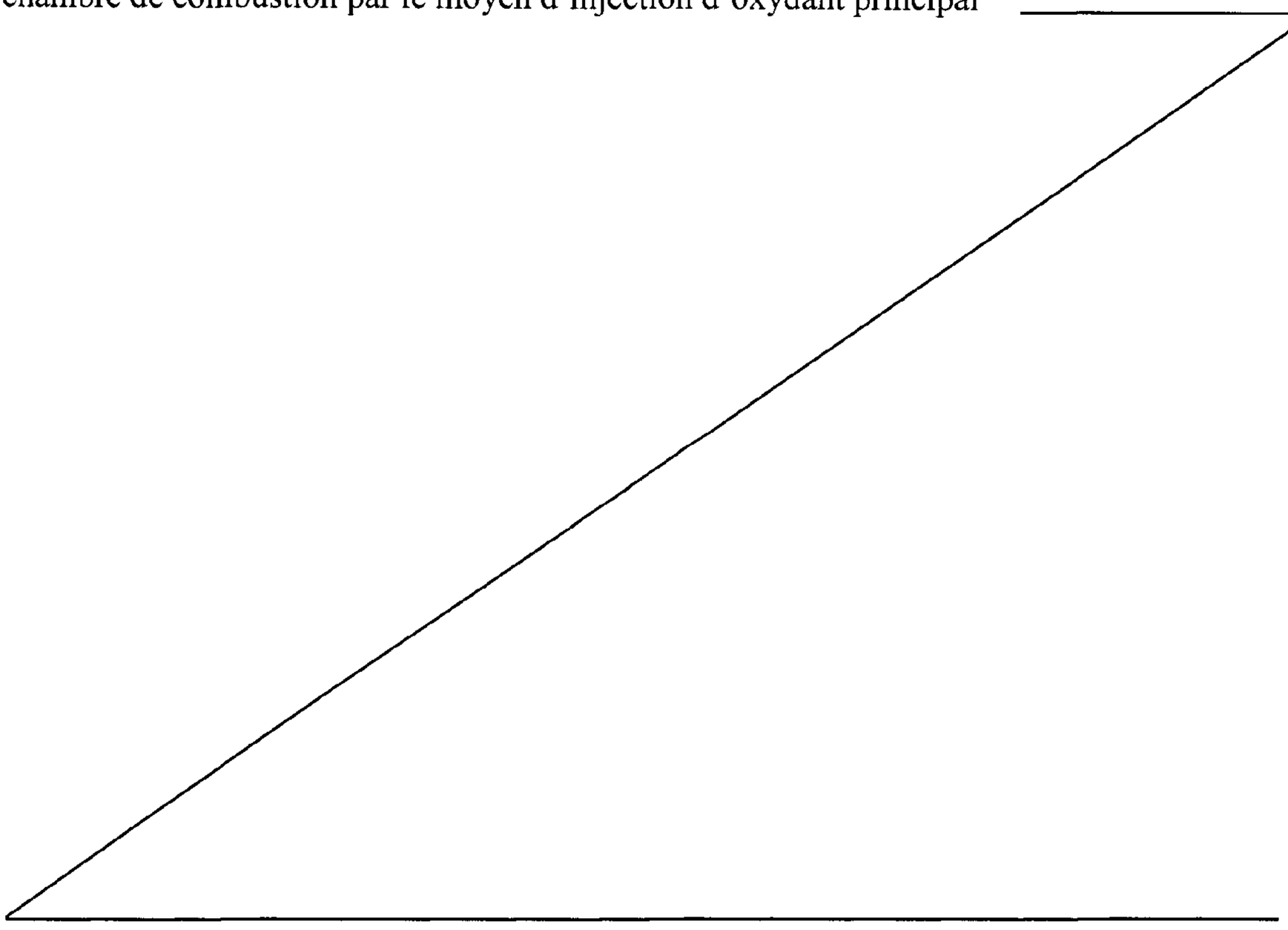
Ainsi, l'invention concerne plus particulièrement un four à flamme comportant une chambre de combustion, un moyen pour l'injection d'oxydant principal à un débit régulé dans cette chambre de combustion et un conduit pour l'évacuation de fumées de ladite chambre de combustion. Le conduit d'évacuation comporte une entrée d'oxydant de dilution en aval de la chambre de combustion. Le four à flamme de l'invention comporte également un détecteur pour détecter une intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation au niveau de l'entrée d'oxygène de dilution. Le détecteur est positionné et orienté de manière à éviter que la combustion principale fausse l'intensité de flamme détectée.

Le conduit d'évacuation peut en particulier comporter un coude comme mentionné ci-dessus. Concernant le procédé suivant l'invention, le détecteur de flamme est alors de

préférence positionné en aval de ce coude. De manière avantageuse, l'entrée d'oxydant de dilution est positionné immédiatement en amont, dans ou en aval du coude du conduit d'évacuation.

Le four comprend avantageusement une unité de contrôle liée au détecteur et au moyen pour l'injection d'oxydant principal. Cette unité de contrôle est programmée :

- pour comparer l'intensité de flamme détectée par le détecteur à l'intérieur du conduit d'évacuation avec une limite inférieure prédéterminée et une limite supérieure prédéterminée,
- pour réduire le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion par le moyen d'injection d'oxydant principal quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure prédéterminée, et
- pour augmenter le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion par le moyen d'injection d'oxydant principal



quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

L'unité de contrôle peut plus particulièrement être programmée :

- pour réduire le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une période prédéterminée Δt1 et/ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant une période prédéterminée Δt1 est inférieure à la limite inférieure pendant la période prédéterminée Δt1, et
- pour augmenter le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion quand l'intensité de la flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une période prédéterminée Δt2 et/ou quand la valeur moyenne de l'intensité de la flamme détectée pendant la période prédéterminée Δt2 est supérieure à la limite supérieure pendant une période prédéterminée Δt2.

Le four suivant l'invention peut également comporter un moyen pour l'injection de matière combustible à un débit régulé dans la chambre de combustion.

Dans ce cas, le four à flamme comporte de préférence une unité de contrôle liée (a) au détecteur, (b) au moyen pour l'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion, et (c) au moyen pour l'injection de matière combustible dans la chambre de combustion. Cette unité de contrôle est programmée (i) pour comparer l'intensité de flamme détectée par le détecteur à l'intérieur du conduit d'évacuation avec une limite inférieure prédéterminée et une limite supérieure prédéterminée, (ii) pour réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure prédéterminée, et (iii) pour augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

Suivant une forme de réalisation préférée, l'unité de contrôle est plus particulièrement programmée :

- pour réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée à l'intérieur du conduit

d'évacuation est inférieure à la limite inférieure pendant une période prédéterminée Δt1 et/ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt1 est inférieure à la limite inférieure, et

- pour augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une période prédéterminée Δt2 et/ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt2 est supérieure à la limite supérieure.

Pour faire varier le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion, l'unité de contrôle fera avantageusement varier le débit d'injection d'oxydant principal en fonction du débit d'injection de la matière combustible. Il est toutefois également possible pour l'unité de contrôle de faire varier le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible en régulant le débit d'injection de l'oxydant principal et le débit d'injection de la matière combustible. Dans ce cas, l'unité de contrôle peut, par exemple, dans le cas d'une intensité de flamme inférieure à la limite inférieure prédéterminée, réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible en augmentant le débit d'injection de matière combustible à un débit d'injection d'oxydant principal inchangé.

Le moyen d'injection d'oxydant principal du four peut comporter une ou plusieurs lances pour l'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion.

Le moyen d'injection de matière combustible du four peut comporter une ou plusieurs lances pour l'injection de matière combustible dans la chambre de combustion.

Le four peut également comprendre un ou plusieurs brûleurs pour l'injection de matières combustibles et d'oxydant principal dans la chambre de combustion. Un tel brûleur fait donc d'une part, partie du moyen pour l'injection d'oxydant principal et d'autre part, du moyen pour l'injection de matière combustible du four.

Le four suivant l'invention peut être un four pour procédé batch, pour procédé semi-batch ou pour procédé continu.

Le four peut notamment être un four à arc, un four rotatif, un four de fusion fixe, un four de réchauffage, tel qu'un four de réchauffage pour produits métallurgiques, une chaudière, une chambre de post-combustion d'effluents gazeux, etc.

Le four peut être un four de fusion ou de vitrification, et en particulier un four de fusion secondaire de métaux récupérés, un incinérateur de déchets solides, liquides ou gazeux, etc.

L'entrée d'oxydant de dilution est typiquement une entrée d'air ambiant dans le conduit d'évacuation (en anglais : « air gap »), mais peu également être un injecteur d'oxydant, tel qu'un injecteur d'air enrichi d'oxygène ou un injecteur d'oxygène.

Le détecteur de flamme est de préférence un détecteur optique et en particulier un détecteur optique choisi parmi les détecteurs ultraviolets, les détecteurs infrarouges et les détecteurs de radiation visible.

La matière combustible injectée dans la chambre de combustion peut être un combustible gazeux, liquide ou solide (par exemple : gaz naturel, fuel liquide, propane, bio-combustible, charbon pulvérisé) ou une combinaison de plusieurs combustibles. Cette matière combustible peut être injectée en sus de matière combustible introduite dans la chambre de combustion avec la charge, celle-ci pouvant être mélangée avec la charge avant son introduction dans la chambre de combustion et/ou pouvant faire partie intrinsèque de la charge.

L'oxydant principal peut être de l'air, de l'air enrichi en oxygène, de l'oxygène pur (ayant par définition une teneur en oxygène de 88% à 100%vol) ou un mélange d'oxygène avec des fumées recyclées. Dans les derniers cas (air enrichi en oxygène et en particulier oxygène pur ou mélange d'oxygène avec des fumées recyclées), on bénéficie d'un volume de fumées et une consommation de combustibles réduits.

L'invention est particulièrement utile pour les fours à flamme utilisés pour la seconde fusion des métaux. La seconde fusion désigne la fusion de matériaux recyclés ou issus de la métallurgie primaire (par exemple : de la fonte issue d'un haut fourneau).

Les métaux considérés sont par exemple : la fonte, le plomb, l'aluminium, le cuivre, ou tout autre métal pouvant être fondu dans un four à flamme.

La charge métallique peut également être chargée dans le four en mélange avec des matières combustibles composées d'une forte proportion de carbone (plastique, coke, ...). Ces matières combustibles peuvent être présentes dans la charge métallique (par exemple dans le cas du recyclage de l'aluminium) et/ou ajoutées intentionnellement à la charge pour le besoin du procédé de fusion (par exemple dans le cas de la réaction de désoxydation pour le recyclage du plomb).

La présente invention et ses avantages apparaissent plus clairement dans l'exemple illustratif ci-après, référence étant faite à la figure 1 qui représente de manière schématique un four de fusion à flamme suivant l'invention.

Le four est plus particulièrement un four rotatif pour la fusion secondaire de plomb avec une chambre de combustion 2 d'une capacité de 15t.

Le four est équipé d'un brûleur 24 gaz naturel/oxygène qui génère la flamme 11 dans la chambre de combustion 2. La puissance du brûleur 24 et le ratio oxygène/gaz naturel sont contrôlés par l'automatisme du four (dispositif de contrôle 20 relié au régulateur de débit d'oxygène 15 et au régulateur de débit de gaz naturel 17) en fonction de l'avancement du cycle de chauffe, tel que décrit ci-après.

La charge 30 est constituée de déchets de plomb provenant du broyage de batterie automobile. Une part importante de ce plomb se présente sous la forme d'une « pâte » d'oxyde (PbO, PbO_2…) et de sulfate de plomb ($PbSO_4$ …). A cette charge métallique sont ajoutées des matières nécessaires à la réduction des oxydes en partie constitués de coke (comportant une forte teneur en carbone), également appelés « réactifs ».

Le procédé de recyclage du plomb consiste à chauffer la charge 30, et à ensuite maintenir la charge chaude au contact des réactifs afin d'obtenir du plomb liquide 4 et un laitier qui fixe les impuretés et le soufre présent dans le sulfate de plomb.

Le four est à fonctionnement discontinu. La chambre de combustion 2 est chargée au début de chaque cycle. Le brûleur 24 est ensuite allumé et sa puissance modulée par le dispositif de contrôle 20 pour que la température de la charge suive un cycle de chauffe qui a été déterminé de manière empirique.

Au cours de l'étape de chauffage, une part importante du carbone présent dans la charge solide 30 réagit avec l'atmosphère de la chambre de combustion rotative 2 constituée essentiellement de la fumée chaude produite par le brûleur 24.

Cette réaction produit du CO et de l'H_2 par la réaction suivante entre une partie de la fumée et une partie du carbone de la charge, dont les mécanismes peuvent schématiquement être présentés comme suit :

$CO_2 + C \rightarrow 2.CO$

$H_2O + C \rightarrow H_2 + CO.$

Pour limiter la formation de CO dans l'atmosphère de la chambre 2, il est possible de prérégler le brûleur 24 afin d'injecter un excès d'oxygène dans la chambre 2. Cependant, le taux de réaction du carbone présent dans la charge solide 30 avec l'atmosphère du four varie en fonction des différents paramètres du procédé, tels que

notamment la composition de la charge qui varie en fonction de la provenance des lots à recycler.

Pour une charge de 15t, la puissance du brûleur 24 sera par exemple réglée entre 1 et 1,5 MW selon l'avancement du cycle de chauffe. En milieu de cycle, le brûleur est par exemple réglé pour une puissance de 1,3 MW avec les débits suivants :

- gaz naturel 130 Nm3/h
- oxygène pur 270 Nm3/h.

Une analyse des fumées 6 sortant de la chambre 2 révèle la composition suivante :

- CO_2 : 56% / CO : 25% / H_2 : 4% reste N_2.

Le CO et le H_2 des fumées brûlent avec de l'air de dilution dans la flamme 12 à l'intérieure de la cheminée 13 qui comporte un coude en aval et à proximité de la chambre 2. L'air de dilution est de l'air ambiant qui entre dans la cheminée 13 par l'ouverture 14 prévue à cet effet en aval du coude. Cet air de dilution permet la combustion du CO en CO_2 et le refroidissement des fumées avant la filtration (non-illustrée) qui précède l'évacuation des fumées. Un niveau de CO trop important dans les fumées 6 a plusieurs inconvénients :

- une combustion incomplète du CO dans la cheminée 13, et donc une émission de CO résiduelle à la cheminée 13,
- une élévation très importante de la température des fumées dans la cheminée 13 ne permettant pas un passage de fumées dans le filtre en aval (non illustré), d'où la baisse forcée de la puissance du brûleur 24, voire l'arrêt du brûleur 24 sur sécurité température, afin de permettre une filtration et le respect des normes environnementales, et
- une surconsommation de combustible et donc une baisse de rendement énergétique dans le four, car les réactions $CO_2 + C \rightarrow 2.CO$ et $H_2O + C \rightarrow H_2 + CO$ sont endothermiques.

La détection suivant l'invention au moyen du détecteur UV 10 de la gamme D-LX100 commercialisée par la société Durag de l'intensité de la flamme 12 de combustion du mélange $CO + H_2$ avec l'air de dilution juste après la sortie 5 du four permet de corriger le réglage du brûleur 24 en agissant sur le ratio « Oxygène / Gaz Naturel ». A cette fin, le détecteur 10 transmet au dispositif de contrôle 20 un signal correspondant à l'intensité de flamme détectée.

Le coude de la cheminée 13 et le positionnement du détecteur UV10 par rapport audit coude assure que le détecteur UV10 détecte uniquement l'intensité de la flamme 12 à l'intérieur de la cheminée 13 sans interférence du rayonnement UV de la combustion à l'intérieur de la chambre de combustion 2.

L'invention permet, par exemple, au dispositif de contrôle 20, notamment quand l'intensité de cette combustion dans la cheminée 13 dépasse une limite supérieure expérimentalement prédéterminée :

- d'augmenter au moyen du régulateur de débit d'oxygène 15 le débit d'oxygène à 340 Nm3/h et de conserver le débit de gaz naturel inchangé à 130 Nm3/h,
- de diminuer au moyen du régulateur de débit de combustible 17 le débit de combustible à 95 Nm3/h et de conserver le débit d'oxygène inchangé à 270 Nm3/h, et
- de moduler les deux débits en augmentant le débit d'oxygène à 300 Nm3/h au moyen du régulateur 15 et en diminuant le débit de gaz naturel à 110 Nm3/h au moyen du régulateur 17.

Dans les trois cas, le brûleur 24 injecte un excès de 70 Nm3/h d'oxygène, par rapport au réglage initial. Cet excès d'oxygène est alors disponible pour la combustion à l'intérieur du four 2 des matières combustibles libérées par la charge.

Dès que le débit de libération de matière combustible par la charge diminue, à la suite de l'évolution du cycle, l'intensité de la combustion de CO et de H_2 dans la cheminée 13 diminue et l'intensité de la flamme 12 détectée par le détecteur 10 diminue donc également.

Il est alors possible de ramener progressivement les débits oxygène et gaz naturel du brûleur 24 aux débits initiaux ou de base prédéterminés et de réduire ainsi le ratio oxygène / gaz naturel.

Ce réglage du ratio oxygène / gaz naturel se fait en dynamique en fonction de l'intensité de la post combustion de la fumée dans la cheminée 13 (intensité de la flamme 12 détectée).

Le rendement énergétique du four 2 s'en trouve amélioré de manière significative et le traitement efficace des fumées, notamment leur filtrage, est assuré.

Revendications

1) Procédé d'opération d'un four à flamme comportant une chambre de combustion (2),

procédé dans lequel :

- on injecte un oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2),

- on brûle de la matière combustible dans la chambre de combustion (2) avec l'oxydant principal en produisant dans la chambre de combustion de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C,

- on évacue les fumées (6) ainsi produites de la chambre de combustion (2) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées (6) évacuées pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, le conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),

- on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) à l'intérieur du conduit d'évacuation (13) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14),

le procédé étant caractérisé en ce que :

- on détecte l'intensité de flamme de ladite flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (13),

- on régule le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée.

2) Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- on réduit le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à une limite inférieure prédéterminée et

- on augmente le débit d'oxydant principal injecté dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme ainsi détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

3) Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- on réduit le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une durée prédéterminée Δt1 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt1 est inférieure à la limite inférieure, et

- on augmente le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une durée prédéterminée Δt2 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt2 est supérieure à la limite supérieure.

4) Procédé d'opération d'un four à flamme comportant une chambre de combustion (2),

procédé dans lequel :

- on injecte un oxydant principal et de la matière combustible à des débits régulés dans la chambre de combustion (2),

- on brûle la matière combustible avec l'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) en produisant de l'énergie thermique et des fumées (6) à une température supérieure à 600°C dans la chambre de combustion (2),

- on évacue les fumées (6) ainsi produites de la chambre de combustion (2) par un conduit d'évacuation (13), lesdites fumées évacuées (6) pouvant contenir des matières oxydables résiduelles, ledit conduit d'évacuation (13) étant muni d'une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),

- on brûle les matières oxydables résiduelles avec l'oxydant de dilution au moyen d'une flamme (12) au niveau de l'entrée d'oxydant de dilution (14) dans le conduit d'évacuation (13),

le procédé étant caractérisé en ce que :

- on détecte l'intensité de flamme à l'intérieur du conduit d'évacuation (13),

- on régule le débit d'injection d'oxydant principal, et éventuellement le débit d'injection de matière combustible, dans la chambre de combustion (2) en fonction de l'intensité de flamme détectée.

5) Procédé selon la revendication 4, dans lequel :

- on réduit le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à une limite inférieure prédéterminée, et

- on augmente le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de la flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

6) Procédé selon la revendication 5, dans lequel :

- on réduit le rapport entre le débit d'injection oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une durée prédéterminée $\Delta t1$ ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée $\Delta t1$ est inférieure à la limite inférieure, et

- on augmente le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une durée prédéterminée $\Delta t2$ ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée $\Delta t2$ est supérieure à la limite supérieure.

7) Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel on varie le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) en fonction du besoin d'énergie thermique dans la chambre de combustion (2).

8) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'intensité de flamme est déterminée au moyen d'un détecteur optique, de préférence au moyen d'un détecteur optique choisi parmi les détecteurs ultraviolets, les détecteurs infrarouges et les détecteurs de radiation visible.

9) Four à flamme comportant

- une chambre de combustion (2),
- un moyen (15, 24) pour l'injection d'oxydant principal à un débit régulé dans la chambre de combustion (2), et
- un conduit (13) pour l'évacuation de fumées (6) de ladite chambre de combustion (2), ledit conduit (13) comportant une entrée d'oxydant de dilution (14) en aval de la chambre de combustion (2),

le four étant caractérisé en ce qu'il comporte également :

- un détecteur (10) pour détecter une intensité de flamme au niveau de l'entrée d'oxygène de dilution (14) à l'intérieur du conduit d'évacuation (13).

10) Four à flamme selon la revendication 9, comportant également une unité de contrôle (20) liée (a) au détecteur (10) et (b) au moyen pour l'injection d'oxydant principal (15, 24), l'unité de contrôle (20) étant programmée :

- pour comparer l'intensité de flamme détectée par le détecteur (10) avec une limite inférieure prédéterminée et une limite supérieure prédéterminée,
- pour réduire le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) par le moyen d'injection d'oxydant principal (15, 24) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure prédéterminée, et
- pour augmenter le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) par le moyen d'injection d'oxydant principal (15, 24) quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

11) Four à flamme selon la revendication 10, dans lequel l'unité de contrôle (20) est programmée :

- pour réduire le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une période prédéterminée Δt1 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt1 est inférieure à la limite inférieure, et

- pour augmenter le débit d'injection d'oxydant principal dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une période prédéterminée Δt2 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt2 est supérieure à la limite supérieure.

12) Four à flamme selon la revendication 9, comportant également un moyen (17, 24) pour l'injection de matière combustible à un débit régulé dans la chambre de combustion (2).

13) Four à flamme selon la revendication 12, comportant également une unité de contrôle (20) liée (a) au détecteur (10), (b) au moyen pour l'injection d'oxydant principal (15, 24) et (c) au moyen pour l'injection de matière combustible (17, 24), l'unité de contrôle (20) étant programmée :

- pour comparer l'intensité de flamme détectée par le détecteur (10) avec une limite inférieure prédéterminée et une limite supérieure prédéterminée,

- pour réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure prédéterminée, et

- pour augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est supérieure à une limite supérieure prédéterminée.

14) Four à flamme selon la revendication 13, dans lequel l'unité de contrôle (20) est programmée :

- pour réduire le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de flamme détectée est inférieure à la limite inférieure pendant une période prédéterminée Δt1 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt1 est inférieure à la limite inférieure, et

- pour augmenter le rapport entre le débit d'injection d'oxydant principal et le débit d'injection de matière combustible dans la chambre de combustion (2) quand l'intensité de la flamme détectée est supérieure à la limite supérieure pendant une période prédéterminée Δt2 ou quand la valeur moyenne de l'intensité de flamme détectée pendant la durée prédéterminée Δt2 est supérieure à la limite supérieure.

15) Four selon l'une quelconque des revendications 9 à 14 dans lequel le détecteur de flamme (10) est choisi parmi les détecteurs optiques, de préférence parmi les détecteurs ultraviolets, les détecteurs infrarouges et les détecteurs de radiation visible.

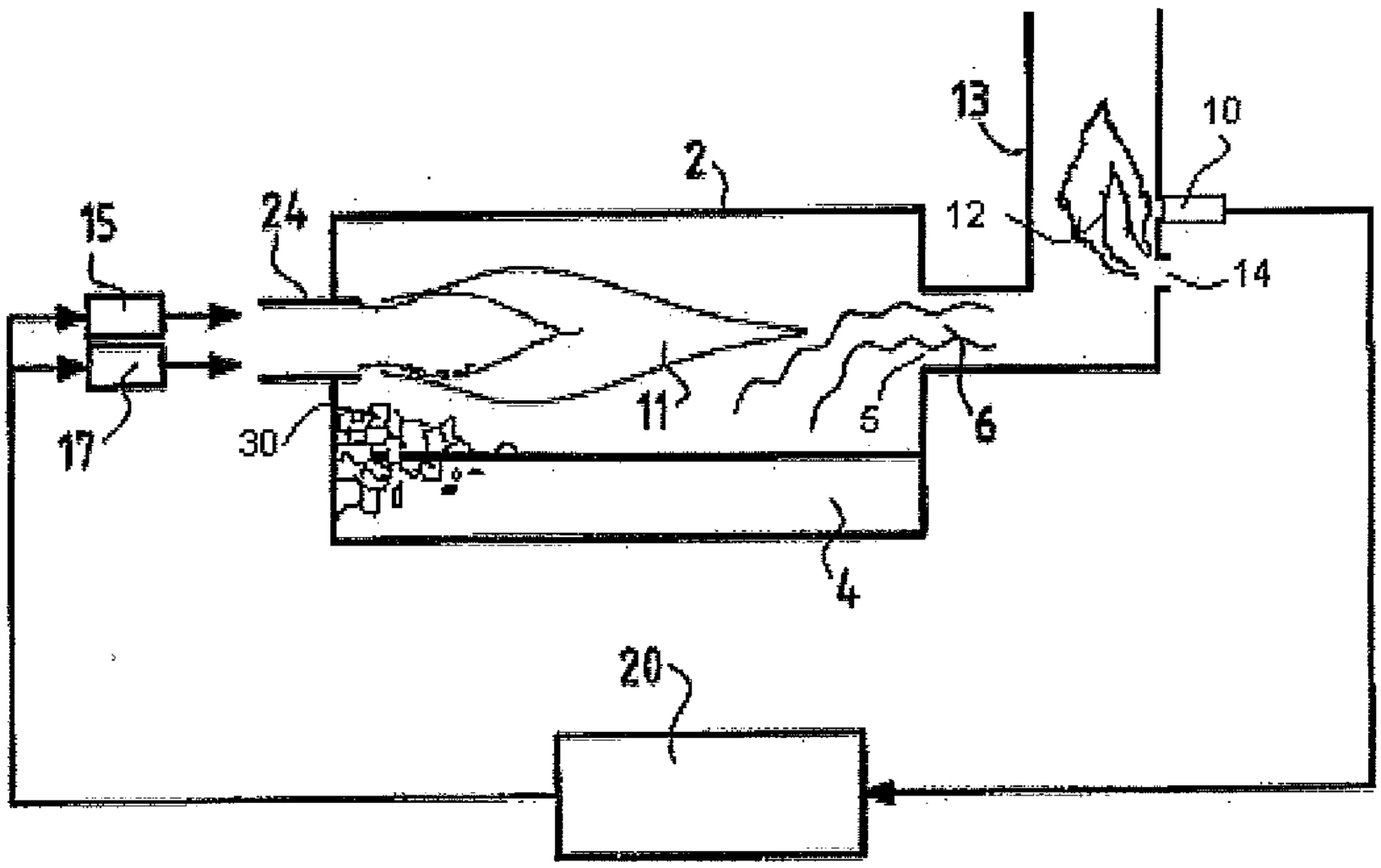
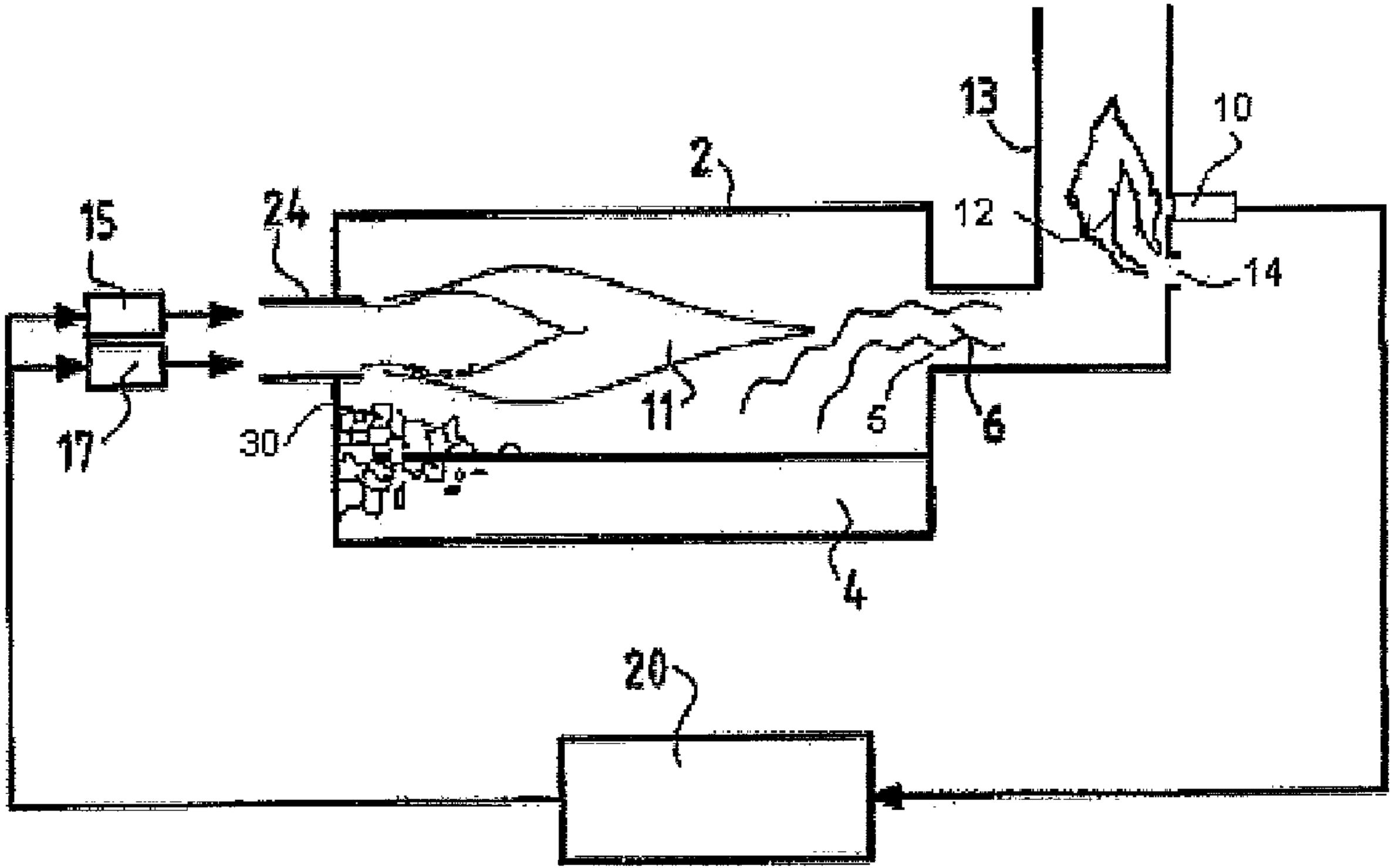


FIG.1


13
10
2
12
24
15
14
11
5
6
30
17
4
20