

(19)



(11)

EP 3 475 609 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

09.03.2022 Bulletin 2022/10

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

F23C 3/00 ^(2006.01) **F23D 1/02** ^(2006.01)
F23D 99/00 ^(2010.01)

(21) Numéro de dépôt: **17732472.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F23D 1/02; F23C 3/002; F23D 91/02

(22) Date de dépôt: **28.06.2017**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2017/066018

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2018/002151 (04.01.2018 Gazette 2018/01)

(54) **PROCÉDÉ DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLE DANS UNE CHAMBRE DE COMBUSTION
CYLINDRIQUE**

**VERFAHREN ZUM VERBRENNEN VON BRENNSTOFF IN EINER ZYLINDRISCHEN
BRENNKAMMER**

METHOD FOR BURNING FUEL IN A CYLINDRICAL COMBUSTION CHAMBER

(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: **HABIB, Ziad**

1630 Linkebeek (BE)

(30) Priorité: **28.06.2016 BE 201605489**

(74) Mandataire: **Gevers Patents**

Intellectual Property House

Holidaystraat 5

1831 Diegem (BE)

(43) Date de publication de la demande:

01.05.2019 Bulletin 2019/18

(56) Documents cités:

EP-A2- 2 143 998

BE-A3- 1 015 604

US-A1- 2006 169 181

(73) Titulaire: **S.A. Lhoist Recherche et
Développement**

1342 Ottignies-Louvain-la-Neuve (BE)

EP 3 475 609 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] La présente invention est relative à un procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique, comprenant, dans cette chambre de combustion,

- une projection, à partir d'un brûleur, d'un jet de combustible solide pulvérulent déplacé par un air de transport, et éventuellement d'un flux d'air primaire, et
- une alimentation en un gaz comburant suivant un sens de propagation de manière à former un courant de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur, à une température occasionnant une combustion du combustible.

[0002] Dans le domaine de la calcination de roches minérales, en particulier de roches calcaires et dolomitiques, on utilise différents types de fours, notamment des fours rotatifs, des fours à cuve, et en particulier des fours droits annulaires.

[0003] Ces fours droits annulaires mettent en œuvre, pour chauffer la matière, des chambres de combustion supérieures et inférieures. Les chambres de combustion inférieures sont à l'origine conçues pour fonctionner avec du gaz naturel comme combustible et celui-ci brûle quasiment instantanément.

[0004] Or, il devient de plus en plus souhaitable de pouvoir remplacer, dans ces fours actuellement en service, le gaz combustible par un combustible moins coûteux, en particulier un combustible solide pulvérulent du type poudre de charbon, de coke ou de lignite, pépins de raisins, noyaux d'olives, sciure de bois, etc.

[0005] Un exemple non conforme à l'invention de brûleur est représenté schématiquement selon une coupe axiale sur la figure 3a et en perspective sur la figure 4a. Le brûleur comprend un conduit de combustible 120 entouré d'un manchon cylindrique 121 comprenant une portion évasée 127 vers l'extrémité du nez du brûleur et comprenant une pluralité de trous 128. Le manchon cylindrique 121 forme avec le conduit 120 un espace annulaire au travers duquel passe un gaz combustible 126. Le manchon 121 et le conduit 120 sont inclus dans une enveloppe externe 122 (représentée sur la figure 3a, non représentée sur la figure 4a) de telle sorte que le nez du conduit 120 dépasse de la portion évasée 127 du manchon 121 et du nez de l'enveloppe externe 122, que la portion évasée 127 du manchon soit en retrait par rapport au nez de l'enveloppe externe 122. De l'air primaire axial 105 peut circuler entre un espace formé par l'enveloppe externe 122 et le manchon 121, ainsi que par la pluralité de trous 128 sur la partie évasée du manchon.

[0006] L'alimentation des brûleurs dans les chambres de combustion inférieures de fours annulaires de calcination par un tel combustible pulvérulent solide s'est toutefois avérée, lors d'essais expérimentaux effectués par la demanderesse, difficilement appropriée. En effet la combustion est incomplète, ce qui conduit à une combustion des imbrûlés non plus dans la chambre de combustion, mais dans le lit de matière et même dans le cylindre intérieur du four annulaire, par lequel les gaz de fumée chauds sont récupérés. Il en résulte une détérioration de la qualité du produit cuit (perte de réactivité) et de la productivité (arrêts fréquents du four pour le nettoyer). Et on en arrive à devoir continuer à mettre en œuvre du gaz combustible en combinaison avec du combustible solide pulvérulent pour éviter ces problèmes. La diminution de prix escomptée en est ainsi largement réduite.

[0007] Il faut noter que les chambres de combustion inférieures des fours droits annulaires sont petites et courtes. Elles sont dimensionnées pour du gaz naturel qui brûle instantanément suivant la loi de « aussitôt mélangé, aussitôt brûlé » d'une combustion homogène (combustion gaz-gaz). Dans ces chambres également l'air nécessaire à la combustion arrive prémélangé avec des gaz de fumée remis en circulation, lesquels présentent une concentration réduite en oxygène.

[0008] Quand du combustible solide est projeté dans la chambre de combustion, la situation est différente, on est devant une combustion hétérogène (solide-gaz) où la loi de « aussitôt mélangé, aussitôt brûlé » n'est plus d'application. Le temps de combustion est très supérieur et dépend de beaucoup de facteurs, tels que la taille des particules, la réactivité de la surface solide, la disponibilité de l'oxygène près de la surface solide.

[0009] Simplement remplacer du combustible gazeux par du combustible solide dans des chambres de combustion existantes s'est donc avéré réellement problématique.

[0010] En vue d'améliorer la combustion du combustible solide, on a déjà prévu des artifices mécaniques qui obligent le combustible solide à se mélanger plus intimement au comburant (voir par exemple BE 1015604, qui décrit un procédé et une chambre de combustion selon le préambule des revendications 1 et 10 respectivement, et EP2143998).

[0011] Cependant de tels systèmes restent compliqués et coûteux à la fabrication et surtout à la maintenance. Ils présentent des risques non négligeables de dysfonctionnement, tels que bouchages, usure rapide des pièces mécaniques, etc.

[0012] La présente invention a pour but de porter remède à ces inconvénients et donc de proposer un procédé de combustion applicable dans les chambres de combustion de fours, en particulier de fours existants, qui soit efficace avec une consommation uniquement de combustible solide pulvérulent.

[0013] Pour résoudre ce problème on a prévu un procédé de combustion tel qu'indiqué au début, dans lequel le jet de combustible solide présente une composante axiale de projection dans un même sens que ledit sens de propagation

du gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique et dans lequel le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est égal ou inférieur à 1,0 et supérieur à zéro.

[0014] Le débit spécifique de quantité de mouvement est la mesure de la force d'un jet (par exemple jet du brûleur ou courant du comburant) divisée par la puissance du brûleur.

[0015] Le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur utilisé est calculé selon l'équation (1) suivante :

$$Gax_{brûleur} = (Qmcs + Qmat) \times Vinj / P + Qmap \times Vap / P,$$

où

Qmcs = débit massique du combustible solide (kg/sec),

Qmat = débit massique de l'air de transport (kg/sec),

Qmap = débit massique de l'air primaire (kg/sec),

Vinj = vitesse d'injection axiale du combustible (m/sec)

Vap = vitesse d'injection axiale de l'air primaire, et

P = puissance du brûleur (MW).

[0016] La vitesse d'injection axiale se calcule selon l'équation (2) suivante :

Pour le combustible

$$Vinj = Qvat / Sb, \text{ où}$$

Qvat = débit volumique réel de l'air de transport (m³/sec), et

Sb = section droite du conduit d'injection du combustible dans le brûleur (m²).

Pour l'air primaire

$$Vap = Qvap / Sap$$

Qvap = débit volumique réel de l'air primaire (m³/sec)

Sap = section droite du conduit d'injection de l'air primaire dans le brûleur (m²)

[0017] La puissance du brûleur se calcule selon l'équation (3) suivante :

$$P = Qmcs \times PCI, \text{ où}$$

PCI = pouvoir calorifique inférieur du combustible (MJ/kg).

[0018] Le débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est calculé selon l'équation (4) suivante :

$$Gax_{comburant} = Qmgc \times Vgc / P, \text{ où}$$

Qmgc = débit massique du gaz comburant (kg/sec), et

Vgc = vitesse axiale du gaz comburant autour du jet de combustible solide (m/sec).

[0019] La vitesse axiale du gaz comburant se calcule selon l'équation (5) suivante :

$$Vgc = Qvgc / Sch, \text{ où}$$

Qvgc = débit volumique du gaz comburant (m³/sec), et

Sch = section droite de la chambre de combustion (m²).

[0020] Le principe de base dans la conception des brûleurs est qu'un brûleur doit avoir un débit de quantité de mouvement (vitesse d'injection x débit massique) important et suffisant pour que le jet central de combustible puisse aspirer le comburant arrivant à sa périphérie, en forçant ainsi le mélange combustible/comburant, ce qui accélère la combustion. L'aérodynamique d'une flamme de conception traditionnelle est donc déterminée par le brûleur lui-même (voir figure 1).

[0021] Au contraire, le procédé suivant la présente invention s'appuie sur une aérodynamique qui est déterminée par

le comburant arrivant dans la chambre de combustion. Le comburant force ici le combustible à pénétrer dans son courant par une adaptation du débit de quantité de mouvement du brûleur à celle du comburant (voir figure 2). Ce n'est donc plus le jet de combustible qui est moteur, c'est le combustible qui est entraîné par le comburant. Il en résulte un temps de séjour augmenté du combustible, avec pour effet la possibilité de mettre en œuvre un combustible uniquement sous

une forme solide pulvérulente et d'obtenir une combustion totale de ce combustible dans la chambre de combustion.

[0022] Pour adapter ce débit de quantité de mouvement du brûleur on peut par exemple prévoir d'augmenter la section d'injection du combustible dans le nez du brûleur, ce qui a pour effet immédiat de diminuer la vitesse d'injection du combustible tout en conservant inchangés les débits de combustible et de comburant et la vitesse du comburant et ce qui est sans influence sur le fonctionnement du four lui-même. Il s'agit d'une modification mineure et aisée du nez du brûleur, avec effet immédiat sur le rapport revendiqué entre les débits spécifiques de quantité de mouvement qui est adapté de façon à devenir égal ou inférieur à 1,0. De préférence ce rapport sera compris entre 0,5 et 0,9.

[0023] Suivant un mode de réalisation du procédé suivant l'invention, la chambre de combustion cylindrique présente une première et une seconde extrémités axiales et le jet de combustible solide pulvérulent est projeté par le brûleur depuis la première extrémité axiale de la chambre de combustion vers la seconde extrémité axiale. Avantageusement le brûleur est agencé dans un ouvrage prévu dans la paroi frontale de la première extrémité de la chambre de combustion. Le jet de combustible solide peut ainsi entrer en contact avec le comburant sur toute la longueur de la chambre de combustion.

[0024] Suivant l'invention le gaz comburant est principalement un gaz de fumée remis en circulation, par exemple depuis le four de calcination. Ce gaz de fumée peut être enrichi en oxygène, par exemple par un apport d'air.

[0025] Avantageusement, le gaz comburant est alimenté tangentiellement dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, de manière à former un courant hélicoïdal de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur. Cela favorise le mélange combustible-comburant. On peut naturellement aussi prévoir que le gaz comburant soit alimenté dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, parallèlement à son axe et autour du jet de combustible projeté par le brûleur. La propagation du gaz comburant doit de toute manière suivre un sens de propagation vers l'extrémité aval de la chambre de combustion.

[0026] Pour favoriser encore en outre le mélange combustible-comburant on peut prévoir, suivant l'invention, une mise en rotation partielle ou totale du jet de combustible transporté par de l'air de transport. Celle-ci peut par exemple être obtenue en donnant un mouvement de rotation à l'air de transport, à l'aide d'ailettes directrices.

[0027] Le procédé suivant l'invention est prévu pour être de préférence mis en œuvre dans une chambre de combustion inférieure de four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique.

[0028] La présente invention concerne également une telle chambre de combustion comprenant, à une première extrémité axiale, un brûleur agencé pour projeter un jet de combustible solide pulvérulent dans cette chambre, et éventuellement un flux d'air primaire axial, et une entrée d'alimentation pour un gaz comburant disposée de manière à former un courant de gaz comburant suivant un sens de propagation autour du jet de combustible projeté par le brûleur, le brûleur étant agencé pour projeter le combustible solide suivant une composante axiale de projection ayant un même sens que le sens de propagation du courant de gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique, de manière à permettre la mise en œuvre du procédé suivant l'invention. Elle concerne aussi un four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique, comprenant au moins une telle chambre de combustion ainsi qu'un four droit annulaire de calcination de roche calcaire ou dolomitique, mettant en œuvre un procédé suivant l'invention.

[0029] L'invention va à présent être décrite de manière plus détaillée en se référant aux dessins annexés donnés à titre non limitatif.

La figure 1 représente de manière schématique une projection non conforme à l'invention d'un jet de combustible solide pulvérulent dans un four rotatif conventionnel.

La figure 2 représente de manière schématique une projection suivant l'invention d'un combustible solide pulvérulent dans une chambre de combustion par exemple de four de calcination droit annulaire.

La figure 3a représente une vue schématique selon une coupe longitudinale d'un brûleur non conforme à l'invention.

La figure 3b représente une vue en coupe axiale d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé suivant l'invention.

La figure 4a représente une vue schématique en perspective d'un brûleur non conforme à l'invention.

La figure 4b représente une vue schématique en perspective d'une forme de réalisation d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé suivant l'invention.

La figure 4c représente une vue schématique en perspective d'une autre forme de réalisation d'un brûleur utilisable pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

La figure 5 représente une vue en coupe axiale d'un four de calcination droit annulaire pourvu de chambres de combustion inférieures mettant en œuvre le procédé suivant l'invention.

[0030] Sur les différents dessins les éléments identiques portent les mêmes références.

[0031] Il est usuel de mettre en œuvre, dans les chambres de combustion de fours rotatifs industriels, des brûleurs qui sont alimentés uniquement en combustible solide pulvérulent. Les conditions prévues pour le fonctionnement de brûleurs de ce genre, dont la puissance est de 66 MW, dans un four rotatif dont le débit est de 1100t/jour sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1

	Débit	T (°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Comburant*	165806 m ³ /h	550	2,5	0,74
Air de transport	22127 m ³ /h	50	60	6,10
Charbon	9000 kg/h	50	60	2,28
Total brûleur				8,38
Gax_brûleur/Gax_comburant				11,29
*Le comburant est dans ce cas de l'air.				

[0032] Comme on peut le constater le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur (air de transport + charbon) est très supérieur à celui du comburant.

[0033] Sur la figure 1 cette chambre de combustion 1 est illustrée de manière schématique. Le combustible est projeté par le brûleur 2 à une vitesse d'injection 3 très élevée et le cône d'injection 4 formé par le combustible projeté hors du nez du brûleur a une forme très effilée. Grâce à cette vitesse d'injection élevée le comburant 5, alimenté autour du jet de combustible, est aspiré dans celui-ci.

[0034] Ainsi qu'il ressort de la figure 5, un four droit annulaire usuel pour la calcination de roche calcaire ou dolomitique comprend un cylindre extérieur 6 et un cylindre intérieur 7 formant un espace annulaire 8 dans lequel descend la matière à cuire. La matière crue est introduite par le haut du four en 9 et le produit cuit est déchargé par le bas en 10. Le combustible est injecté à deux niveaux, à travers plusieurs chambres de combustion supérieures 11 et inférieures 12 (de 4 à 6 chambres selon la capacité du four). De manière générale, 1/3 du combustible est injecté dans les chambres 11 et 2/3 dans les chambres 12. La totalité des fumées des chambres supérieures 11 et une partie des fumées des chambres inférieures 12 sont tirées vers le haut par un ventilateur de tirage 13, donc à contre-courant du mouvement de la charge de matière. Dans cette zone il se produit une calcination à contre-courant. L'autre partie des gaz de fumées des chambres de combustion inférieures 12 est tirée vers le bas par une dépression créée au niveau des ouïes de reprise 14 prévues dans le cylindre intérieur 7, plus bas que les chambres de combustion 12. C'est la zone de calcination en co-courant. Au niveau des ouïes les fumées de la zone de calcination en co-courant se mélangent avec l'air de refroidissement introduit au bas du four en 15. Ce mélange forme les fumées de recirculation qui, en 16, sont récupérées du cylindre intérieur 7 et ramenées aux chambres de combustion inférieures 12 pour y devenir le gaz comburant. Par un conduit 17, ce gaz comburant 31 arrive à chacune des chambres 12 de manière tangentielle à l'axe de la chambre et donc au jet du brûleur 18 injecté axialement. De ce fait, le gaz comburant 31 acquiert un mouvement rotationnel qui induit une force centrifuge poussant le gaz comburant 31 vers les parois de la chambre de combustion cylindrique.

[0035] Des essais expérimentaux ont alors été réalisés pour appliquer à chacune des chambres de combustion d'un tel four de calcination annulaire usuel une alimentation du brûleur uniquement en combustible solide pulvérulent.

[0036] La figure 3b représente une coupe axiale d'une forme de réalisation de brûleur selon l'invention. Le brûleur comprend un manchon 21 comprenant un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre au moins un conduit supplémentaire 23 par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 enveloppe le manchon 21 et forme avec lui un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion. L'enveloppe externe 22 comprend une portion 19 dont le diamètre interne se réduit progressivement vers le nez du brûleur, et le manchon comprend une portion 27 dont le diamètre externe augmente progressivement vers le nez du brûleur de sorte à réduire l'espace entre le nez de l'enveloppe externe 22 et le nez du manchon 21. Cette réduction d'espace entre l'enveloppe externe 22 et le manchon permet d'augmenter la vitesse d'injection de l'air primaire axial 5 dans la chambre de combustion sans avoir à fournir un débit élevé d'air primaire axial. Le nez de l'enveloppe externe 22, le nez du manchon 21, le nez du conduit central 20 et le nez dudit au moins un conduit supplémentaire 23 passent par un plan orthogonal à l'axe 30 du brûleur.

[0037] La figure 4b représente une vue en perspective d'une première forme de réalisation de brûleur suivant l'invention. Le manchon 21 comprend un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre un conduit supplémentaire 23 formant un mince espace annulaire, par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 (non

représentée sur la figure 4b) enveloppe le manchon 21 et forme un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion.

[0038] La figure 4c représente une vue en perspective d'une autre forme de réalisation du brûleur suivant l'invention. Le manchon 21 comprend un conduit central 20 par lequel est amené le combustible solide pulvérulent. Le manchon 21 comprend en outre une pluralité de conduits supplémentaires 23 répartis autour du conduit central 20, ces conduits supplémentaires 23 par lequel du gaz combustible 26 peut être alimenté au moment de l'allumage du four, et uniquement à ce moment-là. Une enveloppe externe 22 (non représentée sur la figure 4c) enveloppe le manchon 21 et forme un espace au travers duquel de l'air primaire axial 5 peut être alimenté pour aider à la combustion.

[0039] Selon d'autres formes de réalisations possibles du brûleur, une réduction d'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe externe 22 peut être réalisée uniquement en diminuant le diamètre interne de l'enveloppe 22 au niveau du nez du brûleur et en gardant le diamètre externe du manchon 21 constant, ou alternativement en augmentant le diamètre externe du manchon 21 au niveau du nez du brûleur tout en gardant le diamètre interne de l'enveloppe 22 constant. Cette réduction d'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe permet de fournir une vitesse d'injection d'air primaire plus élevée à la sortie du brûleur.

[0040] Selon une autre forme de réalisation possible du brûleur, le diamètre interne de l'enveloppe 22, le diamètre externe du manchon 21 et l'espace entre le manchon 21 et l'enveloppe externe restent constants. Dans ce cas, le débit d'air primaire axial ou le volume du manchon 21 ou le volume de l'intérieur de l'enveloppe 22 sont adaptés pour permettre à l'air primaire axial de sortir à une vitesse prédéfinie au nez du brûleur.

[0041] La figure 5 représente un schéma d'un four annulaire et comprend une représentation d'une forme de réalisation d'une chambre de combustion 12 cylindrique selon l'invention. Dans cette forme de réalisation, la chambre de combustion comprend une entrée formant l'enveloppe 22 du brûleur 18 et l'axe 30 du brûleur est préférablement situé dans l'axe 30' de la chambre de combustion cylindrique 12. La chambre de combustion 12 comprend en outre une entrée de gaz comburant 31 située tangentiellement par rapport à l'axe 30, 30' du brûleur et de la chambre de combustion cylindrique, tel que décrit plus haut. Les gaz de combustion sont ensuite évacués de la chambre de combustion par un conduit.

[0042] Les conditions prévues pour le fonctionnement d'un brûleur tel que décrit à l'aide de l'exemple de la figure 3b, dont la puissance est de 1,13 MW, dans un four annulaire doté de 4 chambres de combustion inférieures et dont le débit de chaux est de 150t/jour, sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Comburant*	10995 m ³ /h	700	6,1	5,99
Air primaire axial	700 m ³ /h	200	34	1,89
Air de transport	199 m ³ /h	50	60	3,19
Charbon	185 kg/h	50	60	2,73
Total brûleur				7,81
Gax_brûleur/Gax_comburant				1,30
*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.				

[0043] La vitesse d'injection du combustible transporté par de l'air est obtenue par passage dans le conduit 20 qui présente une section de 0,001 m². La « force » du brûleur, c'est-à-dire son débit spécifique de quantité de mouvement (air primaire axial + air de transport + charbon) est encore légèrement supérieure à celle du comburant, mais elle est insuffisante pour aspirer le comburant dans le combustible. Elle n'est pas à comparer avec celle du four rotatif décrit plus haut. Et on observe donc une combustion insatisfaisante avec un four présentant les inconvénients décrits précédemment.

[0044] On a à présent prévu, pour un four de calcination annulaire ayant le même débit de chaux de 150 t/jour et doté de chambres de combustion inférieures identiques avec des brûleurs de même puissance, de diminuer le débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur, au contraire de ce qu'aurait imaginé l'homme de métier sur base de ses connaissances. Les conditions nouvelles appliquées sont celles indiquées dans le tableau 3.

Tableau 3

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Comburant*	10995 m ³ /h	700	6,1	5,99

EP 3 475 609 B1

(suite)

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Air primaire axial	700 m³/h	200	34	1,89
Air de transport	199 m³/h	50	35	1,85
Charbon	185 kg/h	50	35	1,58
Total brûleur				5,32
Gax_brûleur/Gax_comburant				0,88
*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.				

[0045] Comme on peut le constater, seule la vitesse d'injection du combustible solide pulvérulent déplacé par l'air de transport a été modifiée, à presque la moitié de sa valeur. Une telle modification a pu être obtenue par une adaptation de la section du conduit 20, à une valeur de 0,002 m². Cette modification mineure a induit l'obtention d'un rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du comburant nettement inférieur à 1.

[0046] D'une manière surprenante, on a alors constaté que cette simple modification donnait lieu à une flamme, initiée très vite, aussi rapidement qu'avec du gaz naturel, et surtout que, à présent, c'était le combustible qui était aspiré dans le courant hélicoïdal du gaz comburant.

[0047] Ce phénomène est représenté de manière schématique sur la figure 2. Etant donné sa vitesse d'injection 3 faible, le combustible projeté par le brûleur 2 forme un cône de projection 4 plus ouvert et il est en outre aspiré dans le courant de gaz comburant qui devient le moteur.

[0048] Une expérience identique a été réalisée sur un brûleur, dont la puissance est de 1,81 MW, dans un four droit annulaire doté de 5 chambres de combustion et dont le débit est de 300t/jour. Les conditions de fonctionnement avec un brûleur dont la section du conduit d'alimentation de combustible est de 0,001 m² sont données dans le tableau 4.

Tableau 4

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Comburant*	17592 m³/h	700	6,2	6,13
Air primaire axial	1400 m³/h	200	34	1,89
Air de transport	318 m³/h	50	60	3,19
Charbon	296 kg/h	50	60	2,73
Total brûleur				7,81
Gax_brûleur/Gax_comburant				1,27
*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.				

[0049] Ce résultat s'est avéré insatisfaisant pour obtenir un mélange satisfaisant combustible-comburant dans la chambre de combustion et donc une combustion totale du combustible solide pulvérulent dans celle-ci.

[0050] En modifiant la vitesse d'injection du combustible, par un agrandissement de la section du conduit d'injection à 0,002 m², on obtient les conditions données dans le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Comburant*	17592 m³/h	700	6,2	6,13
Air primaire axial	1400 m³/h	200	34	1,89
Air de transport	318 m³/h	50	35	1,86
Charbon	296 kg/h	50	35	1,59
Total brûleur				5,34

(suite)

	Débit	T(°C)	Vitesse (m/sec)	Gax (N/MW)
Gax_brûleur/Gax_comburant				0,87
*Le comburant est dans ce cas formé des gaz de recirculation.				

[0051] Cet agencement permet un temps de séjour des particules augmenté drastiquement dans la chambre de combustion et donc l'oxygène est mieux disponible et la combustion est complète à l'intérieur de la chambre de combustion.

[0052] Il doit être entendu que la présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation indiqués ci-dessus et que bien des modifications peuvent y être apportées sans sortir du cadre des revendications annexées.

[0053] On peut par exemple ajouter un mouvement propre au brûleur, soit en ajoutant des ailettes de rotation dans le circuit du combustible solide pulvérulent, soit en ajoutant des ailettes de rotation au circuit d'air de transport ou au circuit d'air primaire axial, ou encore une combinaison de ces mesures. On peut aussi ajouter en périphérie du brûleur un circuit d'air supplémentaire amené en rotation pour aider à l'ouverture du cône de projection du combustible dans la chambre.

[0054] On peut aussi injecter le combustible directement dans le courant de gaz comburant, par exemple au point d'arrivée de celui-ci dans la chambre de combustion, mais avant sa mise en rotation.

[0055] Il est aussi tout à fait envisageable de ne pas alimenter d'air primaire dans le brûleur, ce qui peut modifier les valeurs du rapport revendiqué par rapport à celles obtenues avec un brûleur dans lequel de l'air primaire est fourni.

[0056] Dans un brûleur sans air primaire, lorsqu'on met en œuvre un jet de combustible à une vitesse d'injection V_{inj} égale à 15 m/sec, le rapport revendiqué peut même devenir égal à 0,25. A une vitesse d'injection V_{inj} de 45 m/sec, il sera alors de 0,74.

Revendications

1. Procédé de combustion de combustible dans une chambre de combustion cylindrique (1), comprenant, dans cette chambre de combustion,

- une projection, à partir d'un brûleur (2), d'un jet de combustible solide pulvérulent (3) déplacé par un air de transport, et éventuellement d'un flux d'air primaire, et
- une alimentation en un gaz comburant (5) suivant un sens de propagation de manière à former un courant de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur, à une température occasionnant une combustion du combustible,

caractérisé en ce que le jet de combustible solide présente une composante axiale de projection dans un même sens que ledit sens de propagation du gaz comburant dans la chambre de combustion cylindrique, et **en ce que** le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est égal ou inférieur à 1,0 et supérieur à zéro.

2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le rapport entre débit spécifique de quantité de mouvement du brûleur et débit spécifique de quantité de mouvement du gaz comburant est compris entre 0,25 et 0,9.

3. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** la chambre de combustion cylindrique présente une première et une seconde extrémités axiales et **en ce que** le jet de combustible solide pulvérulent est projeté par le brûleur depuis la première extrémité axiale de la chambre de combustion vers la seconde extrémité axiale.

4. Procédé suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** le gaz comburant est alimenté tangentiellement dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, de manière à former un courant hélicoïdal de gaz comburant autour du jet de combustible projeté par le brûleur.

5. Procédé suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** le gaz comburant est alimenté dans la chambre de combustion à ladite première extrémité de celle-ci, parallèlement à son axe et autour du jet de combustible projeté par le brûleur.

6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'il** comprend une mise en rotation partielle ou totale du jet de combustible transporté par de l'air de transport.
- 5 7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'il** comprend une mise en rotation partielle ou totale du flux d'air primaire.
8. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le gaz comburant est un gaz de fumée remis en circulation.
- 10 9. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** ladite chambre de combustion est une chambre de combustion inférieure de four droit annulaire de calcination de roche minérale.
- 15 10. Chambre de combustion cylindrique (1) comprenant, à une première extrémité axiale, un brûleur (2) agencé pour projeter un combustible solide pulvérulent (3) dans cette chambre et une entrée d'alimentation pour un gaz comburant (5) disposée de manière à former un courant de gaz comburant suivant un sens de propagation autour du jet de combustible projeté par le brûleur, **caractérisée en ce que** le brûleur est agencé pour projeter le combustible solide suivant une composante axiale de projection ayant un même sens que ledit sens de propagation des gaz dans la chambre de combustion cylindrique, cette chambre étant agencée et dimensionnée pour la mise en œuvre du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9.
- 20 11. Four droit annulaire de calcination de roche minérale, comprenant au moins une chambre de combustion suivant la revendication 10.
- 25 12. Mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 dans un four droit annulaire de calcination de roche minérale.

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einer zylindrischen Brennkammer (1), dieses umfasst in dieser Brennkammer,
 - eine Projektion, aus einem Brenner (2), für einen Pulverstrahl eines Festbrennstoffs (3), der durch eine Transportluft fortbewegt wird, und gegebenenfalls eines Primärluftstroms, und
 - 35 - eine Versorgung eines oxidierenden Gases (5) entlang einer Ausbreitungsrichtung, sodass eine Strömung aus oxidierendem Gas um den von dem Brenner ausgeworfenen Brennstoffstrahl herum gebildet wird, bei einer Temperatur, die eine Verbrennung des Brennstoffs verursacht,
- 40 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Strahl des Festbrennstoffs eine axiale Projektionskomponente in derselben Richtung wie die Ausbreitungsrichtung des oxidierenden Gases in der zylindrischen Brennkammer aufweist, und dadurch, dass das Verhältnis zwischen der spezifischen Impulsrate des Brenners und der spezifischen Impulsrate des oxidierenden Gases gleich oder kleiner als 1,0 und größer als null ist.
- 45 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis zwischen der spezifischen Impulsrate des Brenners und der spezifischen Impulsrate des oxidierenden Gases zwischen 0,25 und 0,9 liegt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zylindrische Brennkammer ein erstes und ein zweites axiales Ende aufweist und dadurch, dass der Strahl des pulverförmigen Festbrennstoffs durch den Brenner vom ersten axialen Ende der Brennkammer zum zweiten axialen Ende ausgeworfen wird.
- 50 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oxidierende Gas tangential in die Brennkammer an deren erstem Ende zugeführt wird, sodass eine spiralförmige Strömung aus oxidierendem Gas um den vom Brenner ausgeworfenen Brennstoffstrahl gebildet wird.
- 55 5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oxidierende Gas in die Brennkammer an deren erstem Ende, parallel zu ihrer Achse und um den vom Brenner ausgeworfenen Brennstoffstrahl zugeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine teilweise oder vollständige

Drehung des von Transportluft getragenen Brennstoffstrahls umfasst.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine teilweise oder vollständige Drehung des Primärluftstroms umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oxidierende Gas ein rezirkuliertes Rauchgas ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkammer eine der unteren Brennkammern eines Ringschachtofens für die Kalzinierung von Mineralgestein ist.

10. Eine zylindrische Brennkammer (1), umfassend, an dem ersten axialen Ende, einen Brenner (2), der eingerichtet ist, um einen pulverförmigen Festbrennstoff (3) in diese Kammer auszuwerfen, und einen Einlass für ein oxidierendes Gas (5), der so angeordnet ist, dass eine Strömung aus oxidierendem Gas entlang einer Ausbreitungsrichtung um den vom Brenner ausgeworfenen Brennstoffstrahl gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brenner so angeordnet ist, dass er den Festbrennstoff entlang einer axialen Projektionskomponente auswirft, die die gleiche Richtung hat, wie die Ausbreitungsrichtung des Gases in der zylindrischen Brennkammer, wobei diese Kammer eingerichtet und dimensioniert ist, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 umzusetzen.

11. Ringschachtofen zur Kalzination von Mineralgestein, umfassend mindestens eine Brennkammer nach Anspruch 10.

12. Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem Ringschachtofen zur Kalzination von Mineralgestein

Claims

1. A method for burning fuel in a cylindrical combustion chamber (1), comprising, in this combustion chamber,

- a projection, from a burner (2), of a jet of pulverulent solid fuel (3), carried by a conveying air, and possibly of a flow of primary air, and
- a supply of an oxidising gas (5) in a direction of propagation such as to form a stream of oxidising gas around the jet of fuel projected by the burner, at a temperature that causes combustion of the fuel,

characterised in that the jet of solid fuel has an axial component of projection in a same direction as said direction of propagation of the oxidising gas in the cylindrical combustion chamber, and **in that** the ratio between the specific momentum rate of the burner and the specific momentum rate of the oxidising gas is equal to or less than 1.0 and greater than zero.

2. The method according to claim 1, **characterised in that** the ratio of the specific momentum rate of the burner to the specific momentum rate of the oxidising gas is between 0.25 and 0.9.

3. The method according to either of claims 1 or 2, **characterised in that** the cylindrical combustion chamber has a first and a second axial end and **in that** the jet of pulverulent solid fuel is projected by the burner from the first axial end of the combustion chamber towards the second axial end.

4. The method according to claim 3, **characterised in that** the oxidising gas is supplied tangentially into the combustion chamber at said first end thereof, such as to form a helical stream of oxidising gas around the jet of fuel projected by the burner.

5. The method according to claim 3, **characterised in that** the oxidising gas is supplied into the combustion chamber at said first end thereof, parallel to its axis and around the jet of fuel projected by the burner.

6. The method according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** it comprises a partial or total rotation of the jet of fuel carried by conveying air.

7. The method according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** it comprises a partial or total rotation of the flow of primary air.

8. The method according to any one of claims 1 to 7, **characterized in that** the oxidising gas is a recirculated flue gas.
9. The method according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** said combustion chamber is a lower combustion chamber of an annular shaft kiln for mineral rock calcination.
- 5 10. A cylindrical combustion chamber (1) comprising, at a first axial end, a burner (2) arranged to project a pulverulent solid fuel (3) in this chamber and a supply inlet for an oxidising gas (5) arranged to form a stream of oxidising gas in a direction of propagation around the jet of fuel projected by the burner, **characterised in that** the burner is arranged to project the solid fuel along an axial component of projection having a same direction as said direction of propagation of the gases in the cylindrical combustion chamber, this chamber being arranged and dimensioned for the implementation of the method according to any of claims 1 to 9.
- 10 11. An annular shaft kiln for mineral rock calcination, comprising at least one combustion chamber according to claim 10.
- 15 12. An implementation of a method according to any one of claims 1 to 9 in an annular shaft kiln for mineral rock calcination.

20

25

30

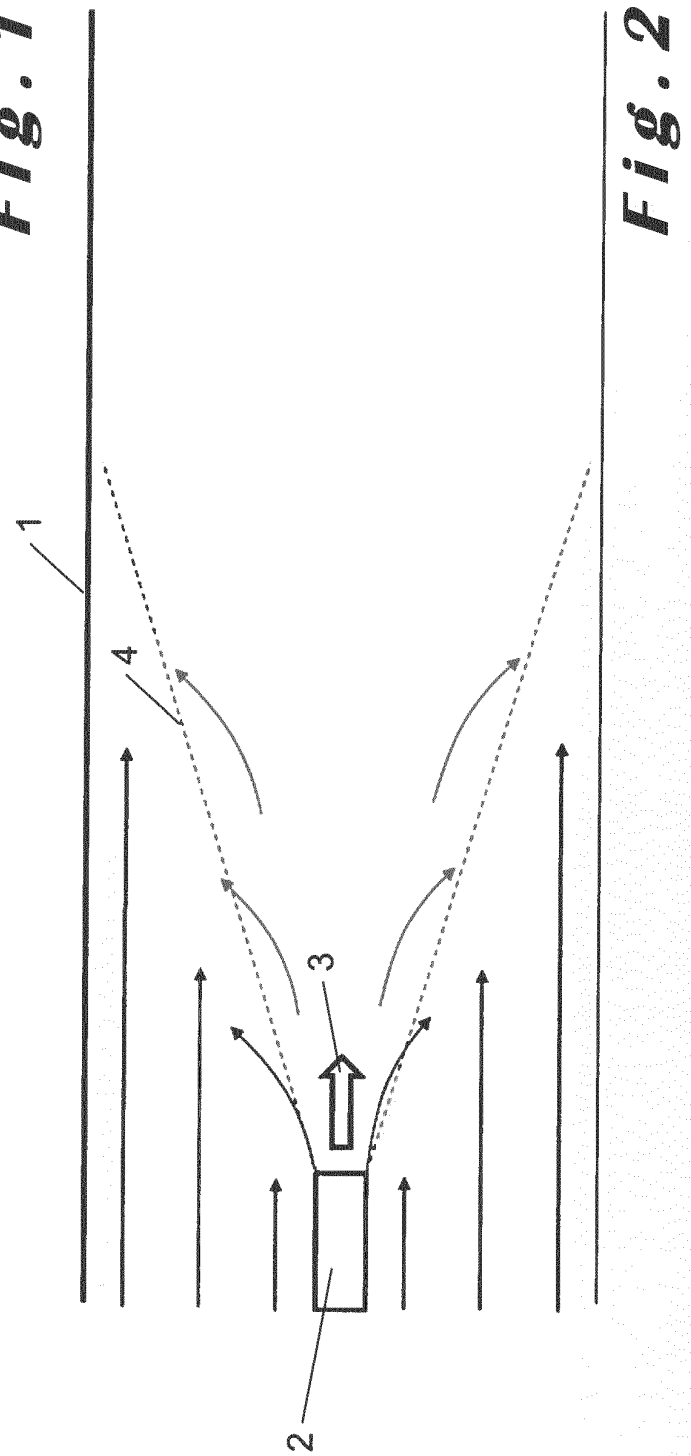
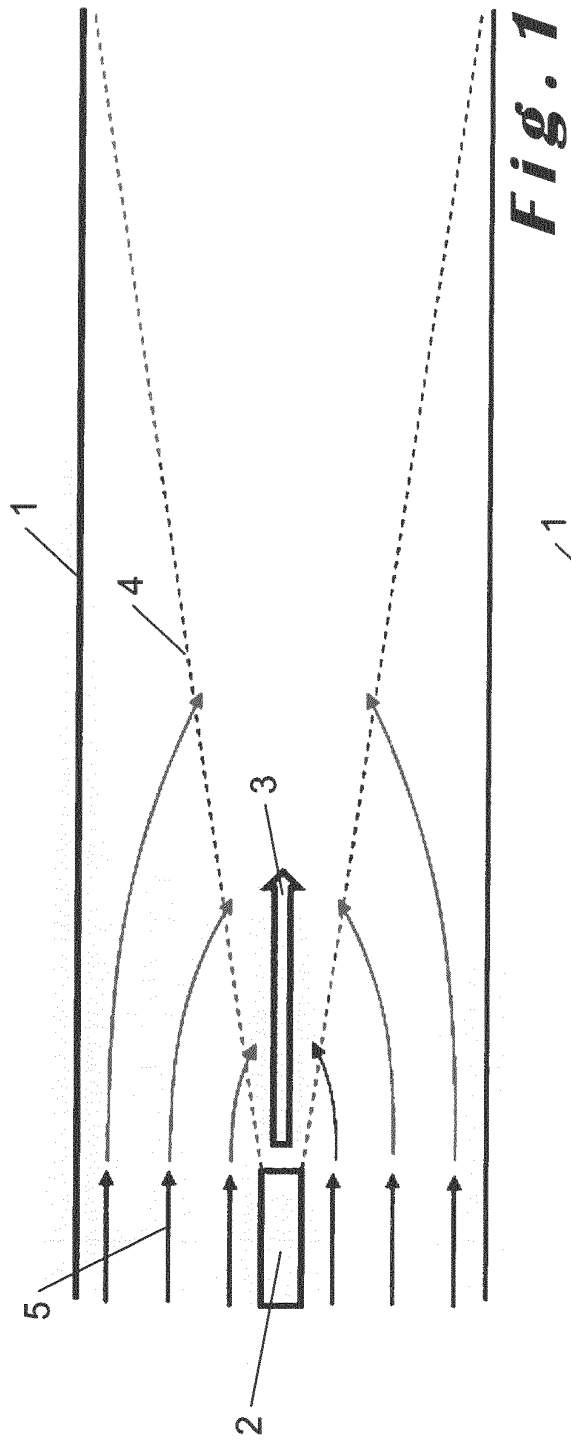
35

40

45

50

55



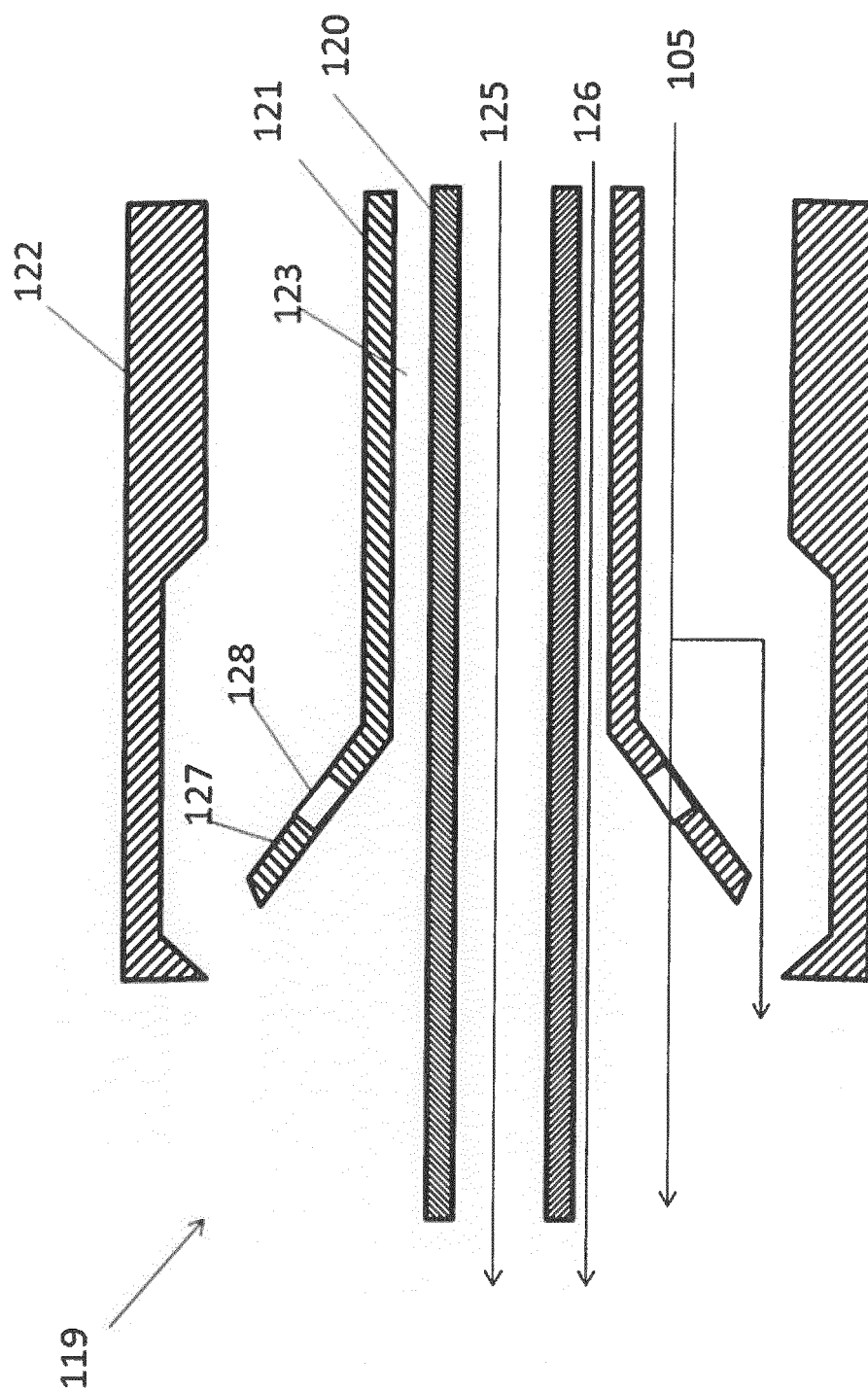


Fig. 3a

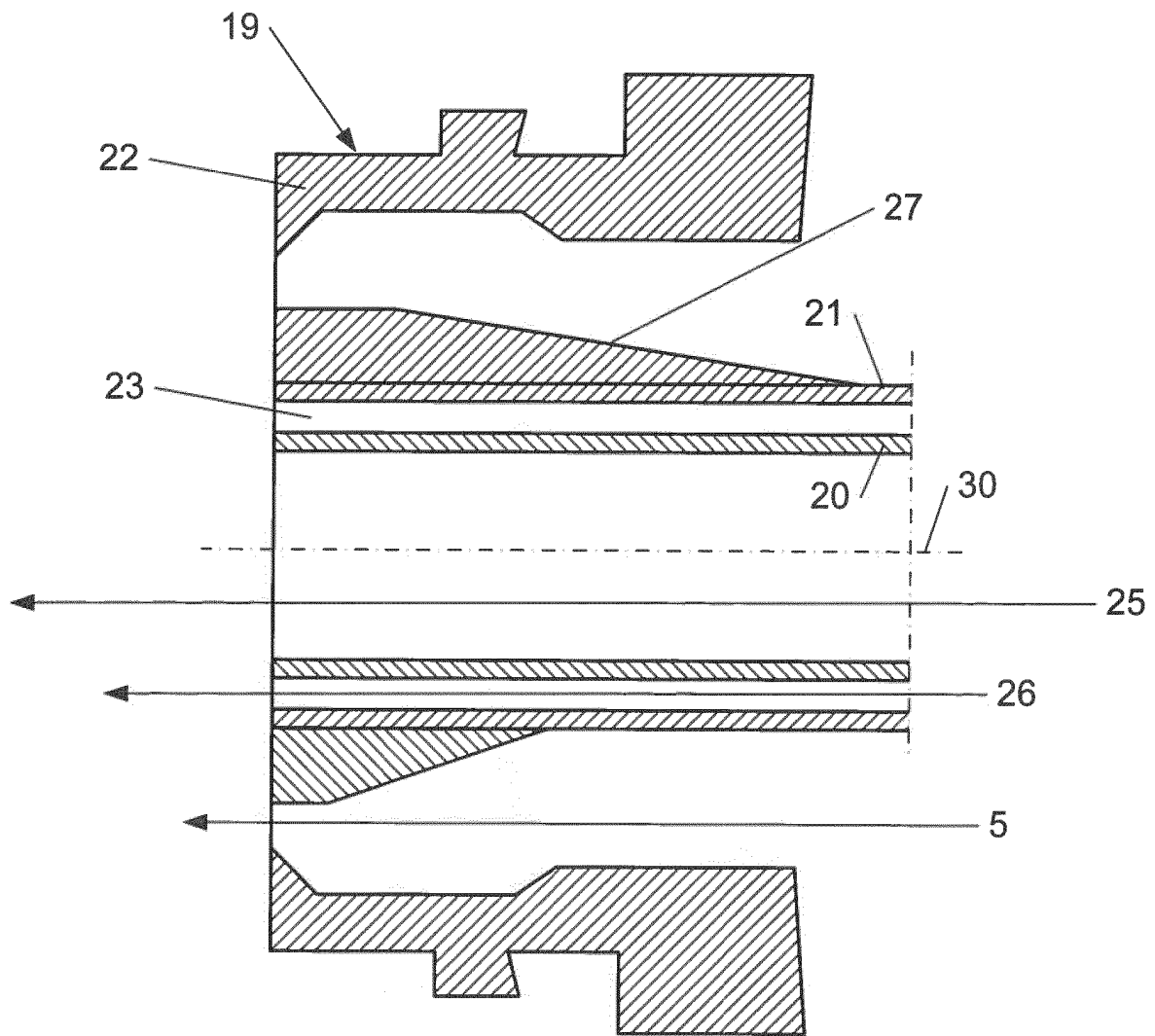


Fig. 3b

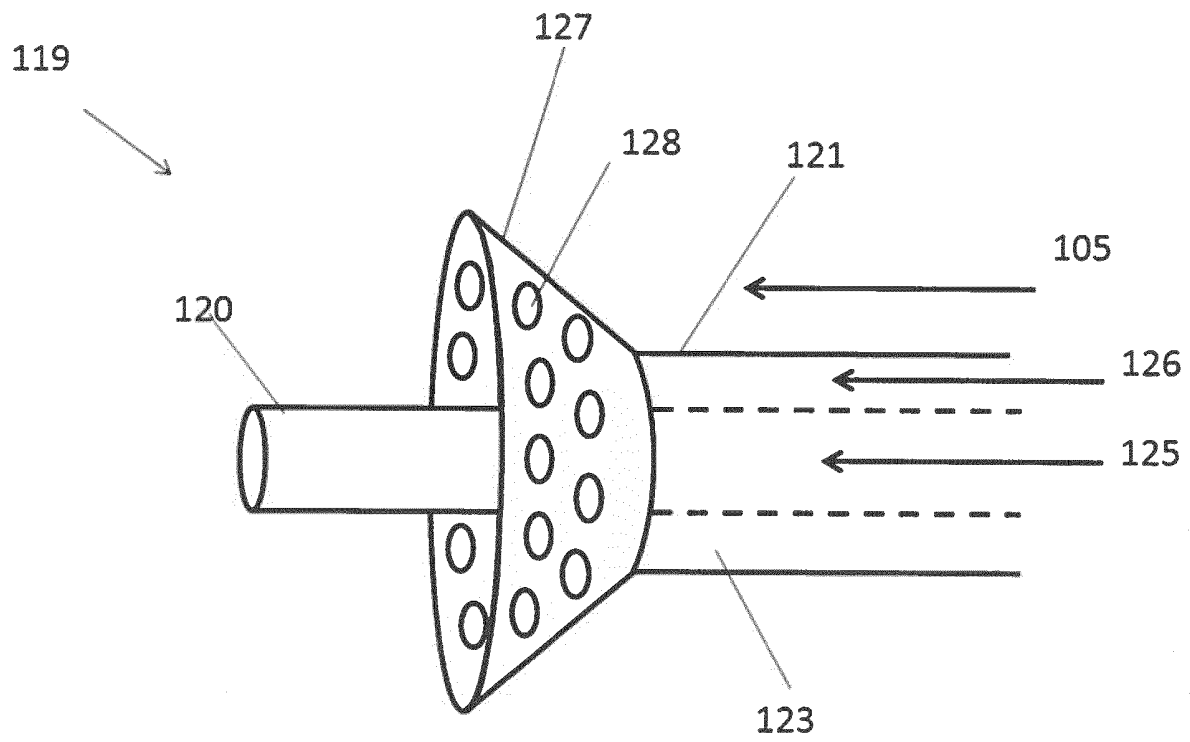


Fig. 4a

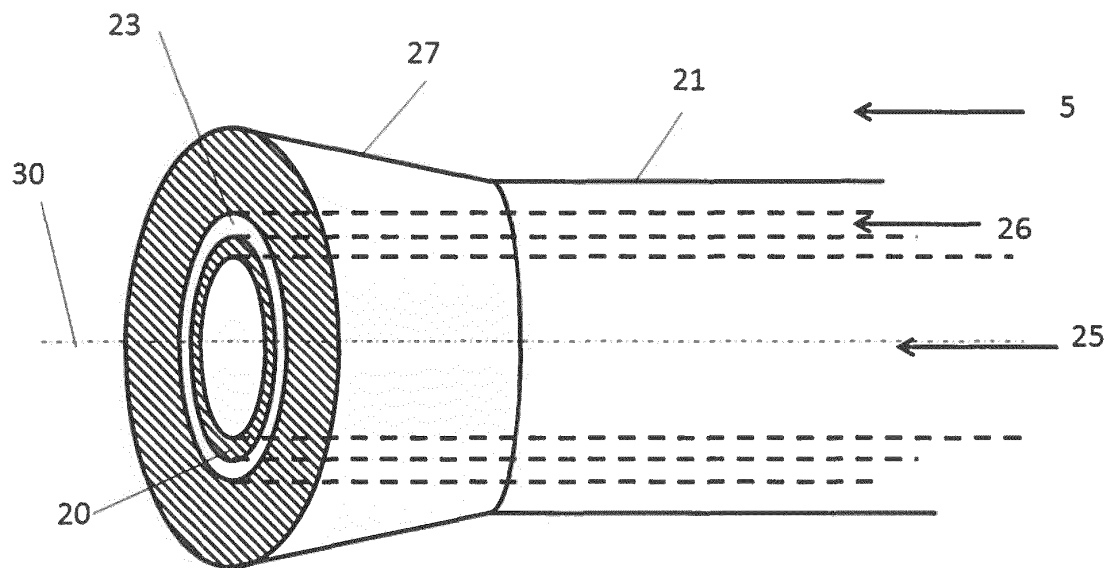


Fig. 4b

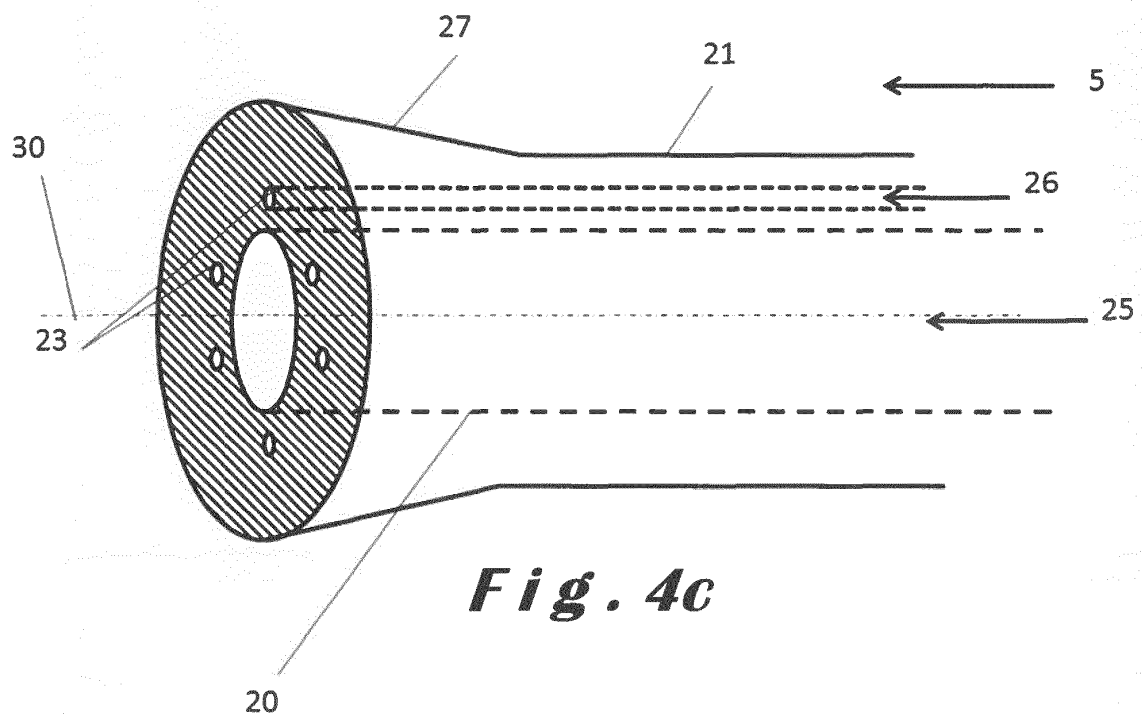


Fig. 4c

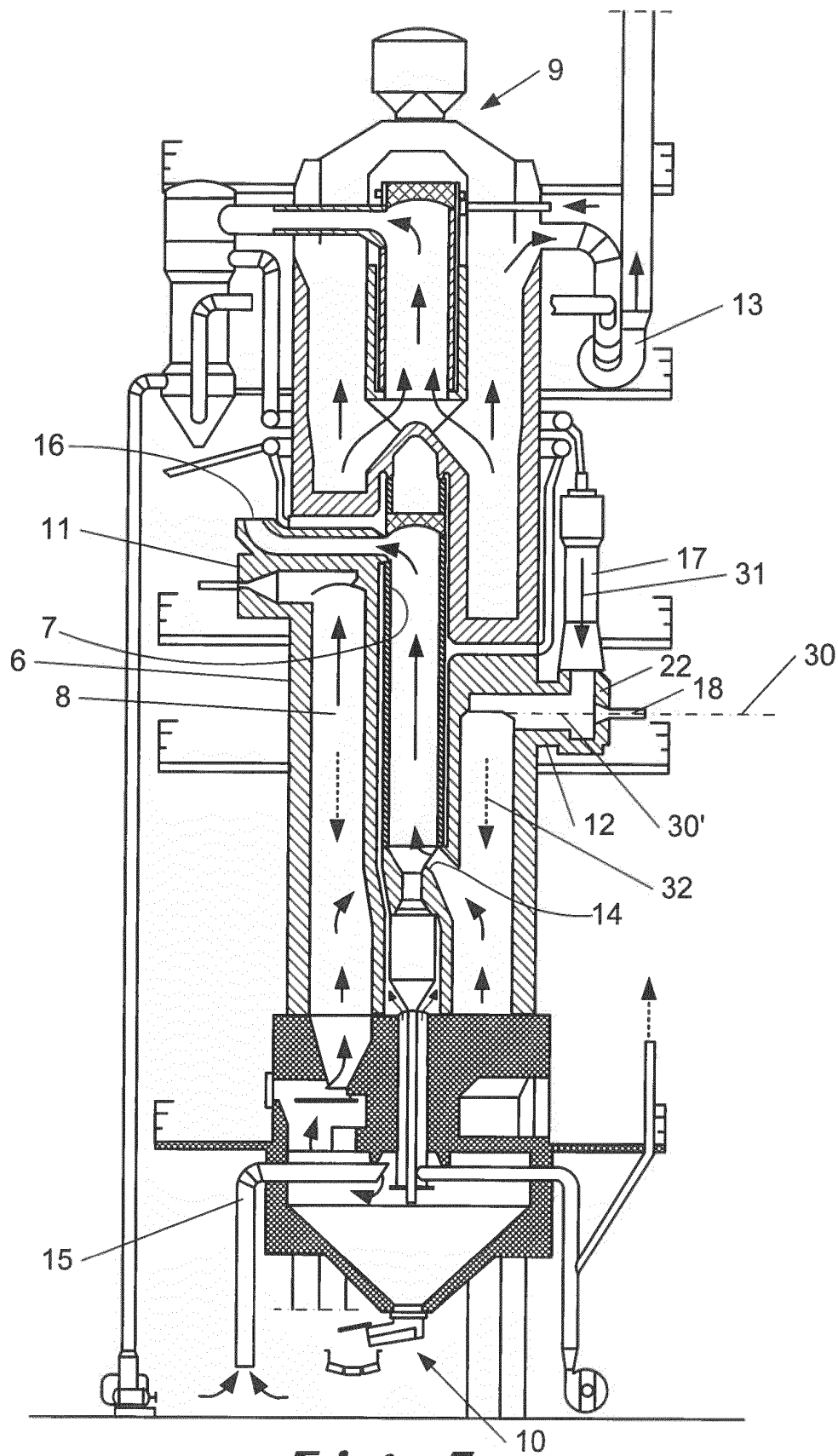


Fig. 5

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

- BE 1015604 [0010]
- EP 2143998 A [0010]