

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 674 135 B2**

(12)

**NOUVEAU FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la  
décision concernant l'opposition:  
**21.08.2002 Bulletin 2002/34**

(51) Int Cl.7: **F23D 14/24, F23C 9/00**

(45) Mention de la délivrance du brevet:  
**23.06.1999 Bulletin 1999/25**

(21) Numéro de dépôt: **95400603.7**

(22) Date de dépôt: **20.03.1995**

(54) **Brûleurs à gaz pour fours industriels**

Gasbrenner für Industrieöfen

Gas burners for industrial furnaces

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU NL PT  
SE**

(30) Priorité: **24.03.1994 FR 9403633**

(43) Date de publication de la demande:  
**27.09.1995 Bulletin 1995/39**

(73) Titulaire: **SOLLAC S.A.**  
**92800 Puteaux (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Usai, Alain**  
**F-13007 Marseille (FR)**  
• **Silvestrini, Serge**  
**Allée Degas SA2, F-13500 Martigues (FR)**  
• **Dieuloufet, Jean-Claude**  
**F-13000 Raphèle-les-Arles (FR)**  
• **Domini, Philippe**  
**F-13100 Beaulieu (FR)**

(74) Mandataire: **Neyret, Daniel**  
**c/o Cabinet Lavoix,**  
**2, Place d'Estienne d'Orves**  
**75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A- 0 347 956 US-A- 3 209 811**  
**US-A- 4 728 284**

- **H. Lederer: "Neuartiger Drehofenbrenner mit nur einer Primärluftzuführung", extrait de la revue "Zement-Kalk-Gips International", 46ème année (1993), pages 779-783, Bauverlag GmbH, Wiesbaden**
- **F. Schneider, "Betriebserfahrungen mit dem KHD PYRO-JET Brenner", KHD Symposium '90, Volume 1, "Moderne Rollenpressen-Technik", pp. 97-99, KHD Humboldt Wedag AG, Köln, 1991**

**EP 0 674 135 B2**

## Description

**[0001]** L'invention concerne un brûleur à gaz, du type utilisé dans des fours industriels, par exemple dans des fours de réchauffage de produits sidérurgiques, tels que des fours à brames, ou des fours de traitements thermiques, etc...

**[0002]** Ces brûleurs sont des brûleurs de forte puissance, de l'ordre de 1000 à 6000 thermies ou plus, alimentés en particulier en gaz sidérurgique (gaz mixte, gaz de fours à coke...) sous faible pression (< 1 bar).

**[0003]** On connaît déjà différents brûleurs de ce type, qui comportent de manière générale plusieurs canaux concentriques d'alimentation en gaz combustibles et en air, débouchant au niveau du nez du brûleur, en aval duquel se produit la combustion. Par exemple, on connaît des brûleurs comportant un canal central d'alimentation en gaz combustible, entouré par deux canaux annulaires concentriques d'alimentation en air. On connaît également d'autres brûleurs, étudiés pour améliorer le mélange des gaz combustible et comburant, et donc la combustion, dans lesquels le gaz combustible arrive au nez du brûleur par un canal annulaire situé entre un canal central et un canal annulaire périphérique, ces deux canaux servant à l'alimentation en air comburant.

**[0004]** Mais les brûleurs industriels actuels produisent par combustion des gaz ayant des teneurs élevées en oxyde d'azote NOx, notamment supérieures à 300 ppm pour une teneur en oxygène de l'ordre de 2 % dans les fumées, ce qui est un inconvénient dans la plupart des fours, ainsi que pour l'environnement, ces oxydes d'azote étant rejetés dans l'atmosphère avec les fumées du four.

**[0005]** Pour réduire la teneur en oxyde d'azote des gaz de combustion, il est connu de procéder à des combustions étagées ou des combustions dégradées, mais ceci se fait au détriment du rendement de combustion, et donc du coût du réchauffage des produits.

**[0006]** L'invention a donc pour but de réduire le taux d'oxyde d'azote dans les gaz de combustion, tout en assurant une bonne combustion et une bonne structure de flamme, et ceci malgré les variations de puissance qui peuvent être nécessaires lors de la mise en oeuvre des brûleurs.

**[0007]** Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un brûleur à gaz, tel que décrit dans la revendication 1.

**[0008]** Grâce à l'invention, la combinaison du flux divergent de gaz de combustion et du flux tourbillonnaire d'air de combustion conduit, lors de la rencontre de ces deux flux à proximité du nez du brûleur, à un fort brassage du gaz et de l'air et donc à une homogénéisation du mélange et à une amélioration de la combustion.

**[0009]** Par ailleurs, les jets de gaz issus des orifices de sortie de gaz et dirigés vers l'extérieur, tendent à élargir la flamme en lui donnant une forme évasée, en forme de coupe de faible épaisseur, la zone à haute température de la flamme étant constituée seulement par la pa-

roi de cette coupe. Il en résulte que le temps de séjour des produits de combustion dans cette zone à haute température est réduit, par rapport à une flamme plus concentrée qui définit une zone à haute température sous forme d'un volume plein sensiblement cylindrique, dans lequel les produits de combustion séjournent plus longtemps.

**[0010]** Du fait de cette durée de séjour réduite à haute température, la formation d'oxyde d'azote, qui est favorisée par les hautes températures et le temps de séjour, est elle-même réduite.

**[0011]** Le nez du brûleur comporte, au centre de la première série d'orifices de passage du gaz, une partie en protubérance, vers l'extérieur du brûleur, par rapport à la surface frontale sensiblement plane, perpendiculaire à l'axe du brûleur, où débouchent les dites première et deuxième séries d'orifices. Cette partie en protubérance évite que se produise, à proximité directe des orifices de gaz, une recirculation des produits de combustion qui perturberait la sortie du gaz. Par contre, elle favorise cette recirculation à une plus grande distance du nez du brûleur, ce qui tend à faire sortir rapidement les produits de combustion de la zone à haute température, et donc à réduire encore plus la quantité d'oxydes d'azote formés.

**[0012]** D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui va être faite d'un brûleur de forte puissance conforme à l'invention, pour un four de réchauffage de brames en acier.

**[0013]** On se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe axiale du brûleur à gaz, implanté sur la paroi latérale du four de réchauffage,
- la figure 2 est une vue en coupe à échelle agrandie, du nez du brûleur,
- la figure 3 est une demi vue frontale du nez du brûleur,
- la figure 4 est une vue en coupe selon la ligne IV-IV de la figure 1.

**[0014]** Le brûleur 1 comporte un caisson 2 d'alimentation en gaz combustible et en air, formé d'un canal central 3 d'amenée du gaz, orienté selon la direction axiale X du brûleur, entouré d'un premier canal annulaire 4 d'amenée d'air, et d'un deuxième canal annulaire 5 périphérique également alimenté en air. Ces trois canaux coaxiaux sont alimentés respectivement en gaz et en air par des conduits d'alimentation respectifs 6, 7, 8.

**[0015]** Le brûleur 1 comporte également un nez 10, encore appelé diffuseur, généralement réalisé en un matériau céramique. Le nez 10 est constitué d'une plaque 11 épaisse qui recouvre les extrémités axiales des différents canaux en assurant l'étanchéité entre ceux-ci, et qui est insérée dans un logement aménagé dans le revêtement interne du four 12, en y étant maintenue par des moyens de fixation, non représentés, sur la pa-

roi 13 du four.

**[0016]** La plaque 11 est traversée par une pluralité d'orifices de sortie du gaz et de l'air :

- une première série d'orifices 14, répartis sur un cercle C1 débouchent du côté de la face arrière 9 de la plaque 11 dans le canal 3 d'alimentation en gaz,
- une seconde série d'orifices 15, répartis sur un cercle C2, débouchent de même dans le canal annulaire 4, et
- une troisième série d'orifices 16, répartis sur un cercle C3, débouchent dans le canal périphérique 5.

**[0017]** La face avant du nez du brûleur comporte une surface frontale 17 plane dans laquelle débouchent les orifices 14 de passage de gaz et les orifices 15, et une partie annulaire périphérique, 18 proéminente par rapport à la dite surface frontale, à la surface de laquelle débouchent les orifices 16.

**[0018]** Les orifices 14 de passage de gaz sont inclinés par rapport à la direction axiale X du brûleur, en formant avec celle-ci un angle  $\alpha$  compris entre 15 et 25°.

**[0019]** Les orifices 15 de passage d'air sont réalisés de manière que l'axe de chaque orifice soit situé dans un plan parallèle à la direction axiale du brûleur et tangent au cercle C2, et incliné dans ce plan, d'un angle  $\beta$  de 15 à 25° par rapport à la dite direction axiale (voir figure 2). Les orifices 15 sont donc orientés en hélice, de manière que le flux d'air qui s'en échappe ait un mouvement de rotation autour de l'axe X du brûleur. Les orifices 16 sont inclinés d'un angle  $\gamma$  compris entre 0° et 10° par rapport à l'axe et de préférence d'environ 5°. Un angle trop accentué conduit en effet à un raccourcissement de la flamme tel que, dans certains cas, des éléments ou des organes du four proches du brûleur peuvent subir une élévation trop forte de température.

**[0020]** Le nez du brûleur comporte, dans sa partie centrale, entre les orifices 14, une partie tronconique 19 en protubérance par rapport à la surface frontale 17, le tronc de cône ayant sa grande base au niveau de cette surface frontale. Entre la partie tronconique 19 et la partie proéminente 18 est ainsi formée une rainure annulaire 20 de section trapézoïdale, dans laquelle débouchent les orifices 14 de passage de gaz et les orifices 15 de la première série d'orifices de passage d'air.

**[0021]** Préférentiellement, les orifices 14 de passage de gaz débouchent à la surface frontale 17 dans une position angulaire intermédiaire entre les débouchés de deux orifices 15 de passage d'air adjacent (figure 3). Ainsi, le flux d'air tourbillonnant issu des orifices 15 intersecte le flux de gaz issu des orifices 14 à proximité directe de la surface frontale 17, créant ainsi un fort brassage du gaz et de l'air, et donc un mélange homogène assurant une très bonne combustion.

**[0022]** De plus, l'inclinaison des orifices 14 de passage de gaz a pour effet que le mélange air-gaz tend à former un rideau en forme de coupe évasée, dans lequel la température due à la combustion est maximale. Par

contre, la zone centrale de cette coupe, dans l'axe du brûleur, est relativement dégagée et permet en aval du brûleur une recirculation des produits de combustion qui peuvent ainsi quitter rapidement la zone la plus chaude, ce qui, comme indiqué précédemment, est favorable pour la diminution du taux d'oxyde d'azote formé.

**[0023]** Les orifices 16 de passage d'air périphérique comportent, du côté du canal d'alimentation, un chanfrein conique 21, d'angle au sommet voisin de 30°, qui élargit l'entrée de ces orifices et a pour effet de réduire les pertes de charges dans le circuit formé par le canal périphérique 5 et les dits orifices, et donc d'augmenter, à pression constante, la vitesse de sortie de l'air.

**[0024]** Il est à noter que la répartition des débits d'air dans les canaux annulaire 4 et périphérique 5 permet d'ajuster la longueur de la flamme en fonction des besoins. En effet, pour un débit d'air total donné, par exemple 3900 Nm<sup>3</sup>/h, dans le cas d'un brûleur fournissant 3500 thermies/heure, si ce débit est réparti entre les deux canaux 4 et 5 et donc entre les deux séries d'orifices 15 et 16, par exemple 1900 Nm<sup>3</sup>/h pour l'air périphérique (passant par des orifices 16) et 2000 Nm<sup>3</sup>/h pour l'air central (passant par les orifices 15) les vitesses en sortie de ces orifices sont sensiblement égales, de l'ordre de 95 m/s. Dans ces conditions, la combustion s'amorcera, comme indiqué précédemment, à proximité directe du nez 10, et l'on obtiendra une flamme courte.

**[0025]** Par contre, si tout ce débit est envoyé dans le canal périphérique et donc dans les orifices 16, la vitesse de l'air éjecté par ces orifices va être importante, par exemple de 170 m/s. Cette grande vitesse permet d'entraîner des produits de combustion ambiants (plus froids) et de créer ainsi une recirculation naturelle sur la périphérie de la flamme, ce qui permet de limiter la production de NOx. Dans ces conditions, d'une part la combustion se produira à plus grande distance du nez du brûleur, du fait que le gaz ne rencontrera l'air périphérique que relativement loin du brûleur, et d'autre part, elle se poursuivra loin du brûleur, du fait de la vitesse élevée de l'air, en formant ainsi une flamme longue.

**[0026]** Bien évidemment, une flamme de longueur intermédiaire pourra être obtenue en adaptant correctement le rapport des débits d'air entre air central et air périphérique. Préférentiellement, le débit d'air central sera toutefois limité à 50 % au plus du débit d'air total pour éviter une flamme trop courte dont le point chaud se situerait trop près de la paroi du four ou des longerons de support des brames.

**[0027]** Quelle que soit la longueur de flamme ou le régime thermique du brûleur, l'invention permet d'obtenir une très bonne combustion et une faible teneur en oxyde d'azote des produits de combustion.

**[0028]** Pour réduire au maximum les pertes de charges dans les circuits d'alimentation en air, il est prévu d'amener l'air dans les canaux 4 et 5 selon une direction tangentielle. A cette fin, les conduits d'alimentation 7 et 8 sont réalisés de manière à déboucher tangentiellement dans les dits canaux, ainsi que représenté sur la

figure 4.

**[0029]** De la sorte, les écoulements d'air sont améliorés, notamment par rapport aux dispositions classiques où l'air arrive dans les canaux selon une direction radiale et frappe les parois situées face à la conduite d'arrivée avant de se répartir dans les canaux. De plus, en ce qui concerne le conduit 7 d'alimentation en air central, le côté d'arrivée est déterminé de manière à provoquer une rotation de l'air dans le canal 4 dans le même sens que la rotation induite par l'inclinaison des orifices 15 du nez du brûleur.

**[0030]** Il va de soi que l'invention ne se limite pas aux exemples décrits, mais peut présenter de multiples variantes ou équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques énoncées dans les revendications jointes.

**[0031]** Par exemple, si on le souhaite, il est possible de réduire plus encore le taux d'oxyde d'azote dans les fumées de combustion en prévoyant des moyens pour injecter dans l'air comburant des gaz de combustion, notamment par recirculation partielle des fumées produites par le brûleur lui-même après filtration pour diminuer les éventuels résidus solides en suspension.

## Revendications

1. Brûleur à gaz à forte puissance, notamment pour fours industriels, comportant un canal central (3) d'alimentation en gaz combustible et deux canaux (4, 5) annulaires concentriques d'alimentation en air, et un nez (10) de brûleur comprenant :
  - une première série d'orifices (14) pour le passage du gaz, disposés en cercle et en communication avec le canal central (3),
  - une seconde série d'orifices (15) pour le passage d'air, disposés en cercle autour des orifices de passage de gaz, et en communication avec un premier (4) des deux canaux annulaires,
  - et une troisième série d'orifices (16) pour le passage d'air, disposés en cercle et en communication avec un deuxième (5) des deux canaux annulaires, situé à la périphérie, **caractérisé en ce que** les orifices (14) de la première série sont inclinés par rapport à la direction axiale (X) du nez du brûleur et divergent vers l'extérieur du brûleur, pour créer un flux de gaz divergent, et les orifices (15) de la seconde série sont orientés en hélice pour créer un flux d'air tourbillonnant qui intersecte le flux de gaz, et **en ce que** ledit brûleur comporte des moyens pour moduler la répartition de l'air entre la seconde série d'orifices (15) et la troisième série d'orifices (16), le nez (10) du brûleur comportant, au

centre de la première série d'orifices (14) de passage du gaz, une partie (19) en protubérance, vers l'extérieur du brûleur, par rapport à une surface frontale (17) du nez, sensiblement plane, perpendiculaire à l'axe du brûleur, où débouchent les dites première et deuxième séries d'orifices.

2. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle ( $\alpha$ ) d'inclinaison des orifices (14) de passage de gaz par rapport à l'axe du brûleur est compris entre 15 et 25°.
3. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle ( $\beta$ ) d'inclinaison des orifices (15) de passage d'air de la deuxième série d'orifices par rapport à la direction axiale du brûleur est compris entre 15 et 25°.
4. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle ( $\gamma$ ) d'inclinaison des orifices (16) de passage d'air de la troisième série d'orifices par rapport à la direction axiale du brûleur est compris entre 0 et 10°.
5. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la dite partie (19) en protubérance est sensiblement en forme de tronc de cône, dont la grande base est située au niveau de la dite surface frontale (17).
6. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, considérée dans une surface frontale (17) du nez, sensiblement plane, perpendiculaire à l'axe du brûleur, où débouchent les dites première et deuxième séries d'orifices, la position angulaire de chaque orifice (14) de passage de gaz est intermédiaire entre les positions angulaires respectives des sorties de deux orifices adjacents de la seconde série d'orifices (15).
7. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les orifices (16) de la troisième série d'orifices comportent, à leurs extrémités dirigées vers le canal périphérique (5), un chanfrein conique (21).
8. Brûleur selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte des conduits (7, 8) d'alimentation en air qui débouchent tangentielllement dans les canaux annulaires (4, 5).
9. Brûleur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le conduit (7) d'alimentation du premier canal (4) débouche dans le dit canal selon une direction telle que la rotation de l'air provoquée par son arrivée tangentielle dans le canal soit de même sens que la rotation induite par l'orientation en hélice des dits orifices (15) de la seconde série.

10. Brûleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** des moyens sont prévus pour injecter dans l'air comburant des gaz de combustion.

11. Brûleur selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'il** est équipé de moyens de recirculation partielle des fumées de combustion dans l'air comburant.

#### Patentansprüche

1. Gasbrenner hoher Leistung, insbesondere für Industrieöfen, mit einem zentralen Kanal (3) zur Zufuhr von Brenngas, mit zwei konzentrischen ringförmigen Kanälen (4, 5) zur Zufuhr von Luft und mit einem Brennerkopf (10), welcher aufweist:

- eine erste Anzahl von Gasdurchlassöffnungen (14), die kreisförmig angeordnet sind und die mit dem zentralen Kanal (3) in Verbindung stehen, 20
- eine zweite Anzahl von Luftdurchlassöffnungen (15), die kreisförmig um die Gasdurchlassöffnungen herum angeordnet sind und die mit dem ersten (4) der beiden ringförmigen Kanäle in Verbindung stehen und 25
- eine dritte Anzahl von Luftdurchlassöffnungen (16), die kreisförmig angeordnet sind und die mit dem zweiten (5) der beiden ringförmigen Kanäle in Verbindung stehen, der am Umfang angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (14) der ersten Anzahl bezüglich der Axialrichtung (X) des Brennerkopfes geneigt sind und zum Äusseren des Brenners hin divergieren, um einen divergenten Gasstrom zu erzeugen, dass die Öffnungen (15) der zweiten Anzahl schraubenlinienförmig angeordnet sind, um einen wirbelförmigen Luftstrom zu erzeugen, der den Gasstrom schneidet und dass der Brenner eine Anordnung aufweist, um die Verteilung der Luft zwischen der zweiten Anzahl von Öffnungen (15) und der dritten Anzahl von Öffnungen (16) zu modulieren, wobei der Brennerkopf (10) in der Mitte der ersten Anzahl von Gasdurchlassöffnungen (14) einen in Richtung zur Aussenseite des Brenners bezüglich einer Vorderseite (17) des Kopfes hervorspringenden Abschnitt (19) aufweist, der im wesentlichen eben ist, senkrecht zur Brennerachse verläuft und in dem die Öffnungen der ersten und der zweiten Anzahl münden. 40 45 50

2. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel ( $\alpha$ ) der Gasdurchlassöffnungen (14) bezüglich der Brennerachse zwischen 15 und 25° liegt.

3. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel ( $\beta$ ) der Luftdurchlassöffnungen (15) der zweiten Anzahl von Öffnungen bezüglich der Axialrichtung des Brenners zwischen 15 und 25° liegt.

4. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel ( $\gamma$ ) der Luftdurchlassöffnungen (16) der dritten Anzahl von Öffnungen bezüglich der Axialrichtung des Brenners zwischen 0 und 10° liegt.

5. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der hervorspringende Abschnitt (19) im wesentlichen kegelstumpfförmig ist, wobei die grosse Basis auf Höhe der Vorderseite (17) angeordnet ist.

6. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die winkelmässige Anordnung einer jeden Gasdurchlassöffnung (14) in der im wesentlichen ebenen Vorderseite (17) des Kopfes, die senkrecht zur Brennerachse verläuft und in der diese erste Anzahl Öffnungen mündet, zwischen den entsprechenden winkelmässigen Anordnungen der Auslässe zweier benachbarter Öffnungen der zweiten Reihe von Öffnungen (15) befindet.

7. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (16) der dritten Anzahl von Öffnungen an ihren zum Umfangskanal (5) hin gerichteten Enden eine konische Abschrägung (21) aufweisen.

8. Brenner nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** er Luftzufuhrleitungen (7, 8) aufweist, die tangential in den ringförmigen Kanälen. (4, 5) münden.

9. Brenner nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Luftzufuhrleitung (7) für den ersten Kanal (4) in diesem Kanal in einer derartigen Richtung mündet, dass die durch ihren tangentialen Eintritt in diesen Kanal in Rotation versetzte Luft die gleiche Richtung aufweist wie die durch die schraubenlinienförmige Anordnung der Öffnungen (15) der zweiten Anzahl hervorgerufene Rotation.

10. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine Anordnung aufweist, um Brenngase in die Brennluft einzuführen.

11. Brenner nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** er mit einer Anordnung zur teilweisen Rezirkulation der Verbrennungsabgase in die Brennluft versehen ist.

## Claims

1. High-power gas burner, especially for industrial furnaces, which has a central channel (3) for supplying combustible gas and two concentric annular channels (4, 5) for supplying air, and a burner head (10) comprising:
  - a first series of holes (14) through which the gas flows, these being arranged in a circle and communicating with the central channel (3),
  - a second series of holes (15) through which air flows, these being arranged in a circle around the gas flow holes and communicating with a first (4) of the two annular channels,
  - and a third series of holes (16) through which air flows, these being arranged in a circle and communicating with a second (5) of the two annular channels, this one being located at the periphery, **characterized in that** the holes (14) of the first series are inclined with respect to the axial direction (X) of the burner head and diverge towards the outside of the burner, in order to create a divergent gas flow, and the holes (15) of the second series are oriented in a helix in order to create a turbulent air flow which intersects the gas flow, and **in that** the said burner includes means for varying the distribution of the air between the second series of holes (15) and the third series of holes (16), the head (10) of the burner including, at the centre of the first series of gas flow holes (14), a part (19) which protrudes towards the outside of the burner, with respect to a front surface (17) of the head, which is substantially plane, perpendicular to the axis of the burner, from which the said first and second series of holes emerge.
2. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the angle of inclination ( $\alpha$ ) of the gas flow holes (14) with respect to the axis of the burner is between 15 and 25°.
3. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the angle of inclination ( $\beta$ ) of the air flow holes (15) of the second series of holes with respect to the axial direction of the burner is between 15 and 25°.
4. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the angle of inclination ( $\gamma$ ) of the air flow holes (16) of the third series of holes with respect to the axial direction of the burner is between 0 and 10°.
5. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the said protruding part (19) is substantially in the form of a truncated cone, the large base of which is level with the said front surface (17).
6. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the angular position of each gas flow hole (14), with respect to a front surface (17) of the head, which is substantially plane, perpendicular to the axis of the burner, from which the said first and second series of holes emerge, is intermediate between the respective angular positions of the outlets of the two adjacent holes of the second series of holes (15).
7. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the holes (16) of the third series of holes have, at their ends facing the peripheral channel (5), a conical bevel (21).
8. Burner according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it includes air supply lines (7, 8) which emerge tangentially in the annular channels (4, 5).
9. Burner according to Claim 8, **characterized in that** the supply line (7) of the first channel (4) emerges in the said channel in a direction such that the rotation of the air caused by its tangential entry into the channel is in the same sense as the rotation induced by the helical orientation of the said holes (15) of the second series.
10. Burner according to Claim 1, **characterized in that** means are provided for injecting flue gases into the oxidizer air.
11. Burner according to Claim 10, **characterized in that** it is fitted with means for partially recirculating the flue gases in the oxidizer air.

FIG. 1

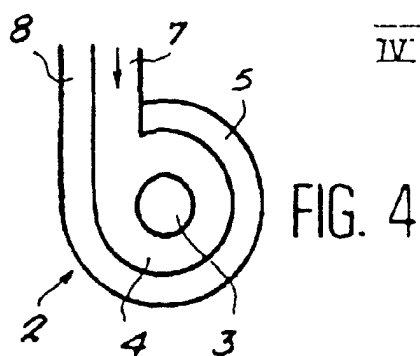
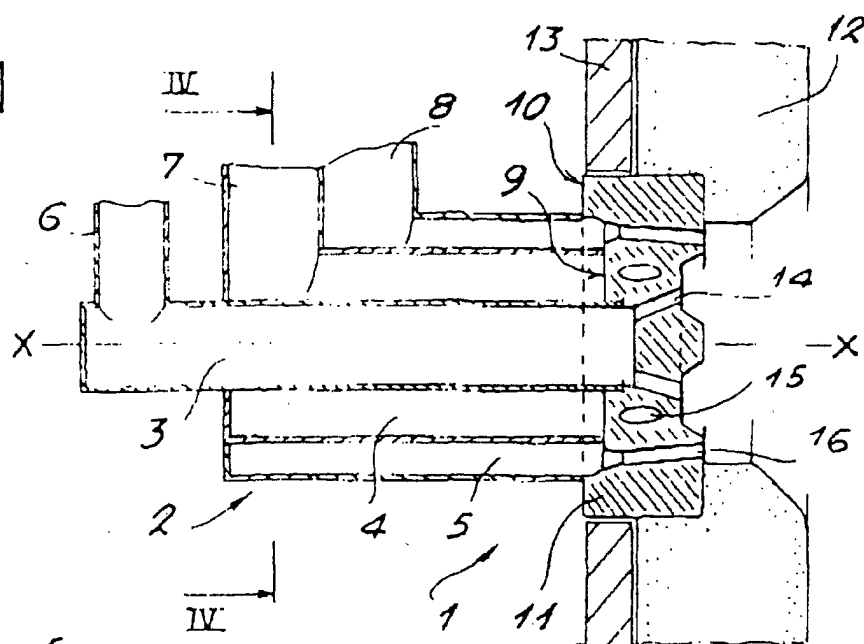


FIG. 2

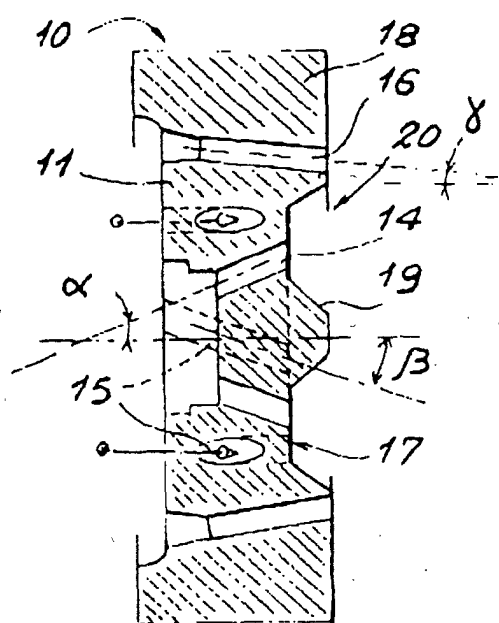


FIG. 3

