

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 200**

51 Int. Cl.:

F23D 14/22 (2006.01)

F23D 14/32 (2006.01)

F23D 14/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2005** **E 05013888 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016** **EP 1612481**

54 Título: **Proceso de combustión por etapas con lanzas de combustible de ignición asistida**

30 Prioridad:

01.07.2004 US 883349

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

20.04.2016

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 HAMILTON BOULEVARD
ALLENTOWN, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**JOSHI, MAHENDRA LADHARAM;
SLAVEJKOV, ALEKSANDAR GEORGI y
LI, XIANMING JIMMY**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 567 200 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso de combustión por etapas con lanzas de combustible de ignición asistida

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los sistemas de combustión por etapas se utilizan para mejorar la combustión mediante la introducción de porciones sucesivas de combustible en el proceso de combustión con el fin de permitir que el oxidante y el combustible reaccionen en múltiples zonas o etapas. Esto produce temperaturas pico de llama más bajas y otras condiciones de combustión favorables que reducen la generación de óxidos de nitrógeno (NO_x). Se conoce una amplia variedad de métodos de combustión por etapas que se usan en aplicaciones de combustión, incluyendo calentadores de proceso, hornos, calderas de vapor, cámaras de combustión de turbina de gas, unidades de generación de potencia alimentadas con carbón y muchos otros sistemas de combustión en las industrias metalúrgicas y de procesos químicos. Tal método de combustión por etapas conocido se da a conocer en el documento EP1443271A1, que representa una técnica anterior en el sentido del artículo 54(3) CPE.

15 La combustión de un combustible gaseoso con oxígeno en un gas que contiene oxígeno, tal como aire, se produce cuando una mezcla de combustible-oxígeno- gas inerte que tiene una composición en la región combustible alcanza su temperatura de autoignición o se enciende por una fuente de ignición independiente. Cuando se produce la combustión en un espacio de proceso en tres dimensiones, tal como un horno, el grado de mezcla es otra variable importante en el proceso de combustión. El grado de mezcla en el horno, especialmente en las regiones cerca de los quemadores, afecta a composiciones y temperaturas de gas localizadas y, por lo tanto, es un factor importante en la estabilidad de funcionamiento.

25 En los procesos de combustión, en particular en los procesos de combustión por etapas para la reducción de NO_x, es importante tener una buena estabilidad de llama y una ubicación correcta del frente de llama con respecto a los puntos en los que se introduce combustible de graduación por etapas por etapas en el espacio de combustión. En sistemas de combustión convencionales, la estabilidad de llama se puede mantener por el uso de dispositivos de inyección de combustible y patrones de recirculación interna para mejorar el contacto del flujo de combustible con la atmósfera de combustión y para proporcionar la energía de ignición necesaria para mantener la estabilidad de llama. Un control inadecuado de la estabilidad de llama y la ubicación de llama en los sistemas de combustión por etapas, en particular durante un arranque en frío, alteraciones en el proceso o condiciones de reglaje, pueden dar como resultado un rendimiento indeseable de combustión, mayores emisiones de NO_x y/o combustible no quemado. Esta última condición podría dar lugar a importantes bolsas de combustible en el horno y a la posibilidad de una liberación incontrolada de energía.

35 Existe una necesidad en los procesos de combustión por etapas de mejorar la estabilidad de llama y obtener una combustión de combustible completa, particularmente durante los períodos de funcionamiento en estado inestable, como arranque en frío, alteraciones en el proceso o condiciones de reglaje del proceso. Se revelan sistemas de combustión por etapas mejorados para satisfacer estas necesidades mediante realizaciones de la presente invención descritas a continuación y definidas por las reivindicaciones que siguen.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Una realización de la presente invención se refiere a un proceso de combustión que comprende:

45 (a) proporcionar un conjunto de quemador que incluye:

(1) un soporte de llama central que tiene unos medios de entrada para un gas oxidante, unos medios de entrada para un combustible primario, una región de combustión para quemar el gas oxidante y el combustible primario, y una salida para descargar un efluente primario desde el soporte de llama; y

50 (2) una pluralidad de boquillas de inyector de combustible secundario que rodean la salida del soporte de llama central, en la que cada boquilla de inyector de combustible secundario comprende

55 (2a) un cuerpo de boquilla que tiene una cara de entrada, una cara de salida y un eje de flujo de entrada que atraviesa las caras de entrada y salida; y

(2b) una o más ranuras que se extienden a través del cuerpo de boquilla desde la cara de entrada hasta la cara de salida, teniendo cada ranura un eje de ranura y un plano central de ranura;

60 (3) uno o más encendedores asociados con la pluralidad de boquillas de inyectores de combustible secundario;

(b) introducir el combustible primario y el gas oxidante en el soporte de llama central, quemar el combustible primario con una porción del gas oxidante en la región de combustión del soporte de llama, y descargar un efluente primario que contiene productos de combustión y el exceso de gas oxidante desde la salida del soporte de llama; y

(c) inyectar el combustible secundario a través de las boquillas de inyector de combustible secundario dentro del efuyente primario desde la salida del soporte de llama; y

5 (d) operar los uno o más encendedores e inflamar el combustible proveniente de las boquillas de inyector de combustible secundario para provocar la combustión del combustible con el oxidante en exceso en los productos de combustión.

10 En esta realización, el combustible primario y el combustible secundario pueden ser gases que tengan composiciones diferentes. El combustible primario puede ser gas natural o gas de escape de refinería, y el combustible secundario puede comprender hidrógeno, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono obtenido a partir de un sistema de adsorción por oscilación de presión. Alternativamente, el combustible primario y el combustible secundario pueden ser gases con las mismas composiciones.

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS**

La figura 1 es una vista en sección esquemática de un conjunto de quemador que utiliza boquillas de inyección de combustible secundario.

La figura 2 es una vista isométrica de un conjunto de boquilla y un cuerpo de boquilla que pueden ser utilizados en una realización de la presente invención.

20 La figura 3 es un dibujo en sección axial del cuerpo de boquilla de la figura 2.

La figura 4 es una vista frontal esquemática del conjunto de quemador de la figura 1.

La figura 5 es una vista en sección esquemática de un conjunto de quemador que utiliza boquillas de inyección de combustible secundario y encendedores de ejemplo relacionados con realizaciones de la invención.

25 La figura 6 es una vista frontal esquemática del conjunto de quemador de la figura 5.

La figura 7A es una vista en sección esquemática de un encendedor de ejemplo utilizado en una realización de la invención.

La figura 7B es una vista frontal de la figura 7A.

30 La figura 8A es una vista en sección esquemática de un piloto de encendedor alternativo de ejemplo utilizado en una realización de la invención.

La figura 8B es una vista frontal de la figura 8A.

La figura 9 es una vista isométrica de una boquilla de inyector de combustible y un encendedor integrados utilizados en una realización de la invención.

35 **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCÓN**

Los procesos basados en la combustión utilizan la combustión de flujos de combustible con oxígeno para generar calor de proceso y, en algunos casos, para consumir flujos de gas de escape de combustible de otros sistemas de proceso. En el establecimiento de una reacción de combustión con estos diversos combustibles, se producirá autoignición si la temperatura de la mezcla combustible-oxidante está por encima de la temperatura de autoignición de la mezcla. En las mezclas de aire/ gas natural, por ejemplo, la temperatura de autoignición es de aproximadamente 1.000 °F (537,7 °C). Se requiere una fuente de ignición para iniciar la reacción de combustión si la temperatura de la mezcla de combustible-oxidante está por debajo de su temperatura de autoignición.

45 Una variable adicional, el grado de mezcla en la atmósfera de combustión o la región de combustión, puede afectar a la estabilidad del proceso de combustión con un combustible gaseoso o vaporizado. La estabilización del proceso de combustión se complica cuando se utiliza un combustible de graduación por etapas por etapas para limitar la formación de NO_x. En la graduación de combustible de graduación por etapas por etapas, el combustible en bruto (sin aire u oxígeno) se introduce en la atmósfera de combustión que contiene oxígeno en exceso remanente de un paso anterior de la combustión. Aunque el combustible para cada etapa de combustión es típicamente idéntico, pueden usarse diferentes fuentes de combustible, y el uso de diferentes combustibles de graduación por etapas puede afectar a la estabilidad operativa del proceso de combustión. Con el fin de minimizar la formación de NO_x, es deseable introducir el combustible de graduación por etapas por etapas en la atmósfera de combustión en o cerca de un lugar que tenga una concentración mínima de oxígeno.

55 El mantenimiento de la estabilidad de llama y la ubicación de llama en los sistemas de combustión de combustible de graduación por etapas por etapas puede ser difícil durante las condiciones de proceso en estado inestable que se producen en un horno durante el arranque en frío, perturbaciones en el proceso o condiciones de reglaje. Durante tales condiciones, las temperaturas localizadas pueden caer por debajo de la temperatura de autoignición de la mezcla combustible-oxidante y pueden dar como resultado llamas y/o regiones inestables que contienen combustible sin quemar. Esto no es deseable y puede llevar a la posibilidad de una liberación de energía incontrolada en el horno.

60 La estabilidad de llama, que es la ubicación adecuada del frente de llama con respecto al punto de introducción del flujo de combustible en la atmósfera de combustión, es un aspecto clave de la aplicación exitosa de la graduación del combustible por etapas. En los sistemas de combustión por etapas convencionales, la estabilidad de llama se mantiene mediante el uso de combinaciones de dispositivos de inyección de combustible y patrones de mezcla para

mejorar el contacto entre el chorro rico en combustible y la fuente de oxígeno, que podría ser el flujo de entrada de aire de combustión u oxígeno sin reaccionar contenido en la atmósfera gaseosa en el horno. La ubicación y la cantidad apropiadas de energía de encendido también son importantes. Los diseños de dispositivos de inyección de combustible típicamente intentan anclar la llama en la punta del soporte de llama, que puede ser el inyector de combustible mismo, un dispositivo de cuerpo achatado separado (por ejemplo, una superficie externa de ladrillo refractario), o una boquilla de estabilización de remolino. El inconveniente de los estabilizadores de llama de tipo de cuerpo achatado convencionales es que tienen una relación de reglaje limitada, lo que limita su desempeño de estabilidad durante el arranque en frío y en condiciones alteradas del proceso. Cualquier distancia o altura de despegue sustancial entre el frente de llama de chorro de combustible por etapas y la superficie del soporte de llama causará una oscilación de la llama y dará como resultado un rendimiento de combustión indeseable, incluyendo emisiones de NO_x y/o la presencia de combustible no quemado.

Cuando las condiciones de estado inestable, tales como puesta en marcha o alteraciones del proceso, se producen mientras se mantiene el flujo a través del sistema de graduación de combustible por etapas convencional, el volumen de combustible que existe a altas concentraciones puede aumentar sustancialmente dentro del sistema de combustión. Las regiones cerca de los chorros ricos en combustible de los dispositivos de inyección pueden estar fuera de los límites de inflamabilidad (por ejemplo, entre un 5% y 15% en volumen para gas natural) y puede ser insuficiente la energía de encendido disponible en el horno frío. Cuando múltiples elementos de estos sistemas de graduación de combustible por etapas se incluyen en una pieza de equipo o cuando se restablece la llama de un quemador individual, pueden estar presentes fuentes adicionales de ignición en el horno. Estas fuentes de ignición pueden ser, por ejemplo, radicales formados en las reacciones de combustión en el quemador y/o los dispositivos de inyección de combustible de graduación por etapas por etapas. Una liberación de energía descontrolada promovida por la reacción de estos radicales con el volumen de combustible no quemado en un calentador de proceso, una caldera, un reformador u otra unidad de operación similar es una preocupación de seguridad y operatividad.

La tecnología de quemador convencional no puede proporcionar estabilidad de llama para lanzas de graduación de combustible por etapas individuales durante el arranque en frío, a bajas temperaturas de horno, y durante condiciones anormales o de reglaje. La falta de estabilidad durante estos períodos podría conducir a un despegue de llama y a una posterior liberación de energía descontrolada como se discutió anteriormente. Se necesita una solución robusta para hacer frente a estas condiciones potencialmente inseguras. La solución preferida deberá recurrir a cambios y mejoras en el equipo de combustión mismo en lugar de requerir la ejecución de pasos operativos y de control específicos por parte del personal de operación del proceso. Tal solución se revela en realizaciones de la presente invención en las que se utilizan una o más fuentes de ignición en combinación con las lanzas de inyección de combustible que introducen combustible de graduación por etapas por etapas en una región o zona de combustión.

Se utilizan lanzas de combustible de ignición asistida en diversas realizaciones de la invención con el fin de asegurar la ignición del combustible inyectado en gases que contienen oxígeno en una atmósfera de combustión en un calentador de proceso, un horno, una caldera de vapor, un combustor de turbina de gas u otro sistema de combustión alimentado por gas. En el presente documento se define una lanza de combustible como un dispositivo para inyectar combustible a una velocidad elevada en una atmósfera de combustión. La atmósfera de combustión contiene un gas oxidante, y el combustible de graduación por etapas por etapas inyectado en el gas oxidante se quema con el oxígeno del gas oxidante. El gas oxidante puede ser aire, aire enriquecido con oxígeno, o un gas de combustión que contiene productos de combustión y un exceso de oxígeno sin reaccionar. Por ejemplo, las lanzas de combustible de ignición asistida pueden instalarse en los límites de un horno, una pared, o un recinto adyacente, pero separados de un quemador en el que las lanzas de combustible inyectan combustible en la atmósfera de combustión generada por el quemador para efectuar la combustión por etapas. Alternativamente, las lanzas de combustible de ignición asistida pueden instalarse adyacentes a, pero separadas de, una fuente de gas oxidante, tal como aire, en donde las lanzas de combustible inyectan porciones del combustible en el gas oxidante o la atmósfera de combustión para efectuar una combustión por etapas paralela.

El término "atmósfera de combustión" como se usa en este documento significa la atmósfera dentro del recinto o límites de un horno. La atmósfera de combustión general dentro de los límites del horno comprende oxígeno, combustible, gas de combustión que contiene productos de reacción de combustión (por ejemplo, óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno y agua) y gases inertes (por ejemplo, nitrógeno y argón). La fuente del oxígeno y los gases inertes normalmente es aire; una fuente alternativa o adicional de oxígeno puede ser un sistema de inyección de oxígeno que introduce aire enriquecido con oxígeno y/u oxígeno de alta pureza para mejorar el proceso de combustión. La atmósfera de combustión es heterogénea debido a que la concentración de los componentes varía en todo del horno. Por ejemplo, la concentración de oxígeno puede ser mayor cerca de los puntos de inyección de oxidante y la concentración de combustible puede ser mayor cerca de los puntos de inyección de combustible. En otras regiones de la atmósfera de combustión puede no haber combustible presente. La concentración de oxígeno y productos de reacción de combustión variará dependiendo de la extensión de la combustión en diversos lugares dentro de la atmósfera de combustión. En ciertos lugares, el combustible inyectado puede reaccionar directamente con oxígeno del gas oxidante inyectado en la atmósfera de combustión; en otros lugares, el combustible inyectado puede reaccionar con oxígeno sin reaccionar procedente de la combustión que ocurre en otras partes de la atmósfera de combustión.

Se dispone una carga térmica en la atmósfera de combustión en el interior del horno, en donde una carga térmica se define como (1) el calor absorbido por el material transportado a través de la atmósfera de combustión del horno, en donde el calor se transfiere desde la atmósfera de combustión hasta el material a medida que éste es transportado a través del horno, o (2) el aparato de intercambio de calor adaptado para transferir calor de la atmósfera de combustión al material que se está calentando.

Un ejemplo de un sistema de quemador de combustión por etapas concéntricas se ilustra en una vista en sección en la figura 1, que muestra un quemador central o un soporte de llama rodeado de múltiples lanzas de inyección para inyectar combustible de graduación por etapas por etapas. Un quemador se define como un conjunto de combustión integrado para la combustión de oxidante y combustible, en donde el quemador está adaptado para el montaje en la pared o el recinto de un horno. Un quemador central o soporte de llama 1 comprende una tubería exterior 3, una tubería intermedia concéntrica 5 y una tubería concéntrica interior 7. El interior de la tubería interior 7 y un espacio anular 9 entre la tubería exterior 3 y la tubería intermedia 5 están en comunicación de flujo con el interior de una tubería exterior 3. Un espacio anular 11 entre la tubería interior 7 y la tubería intermedia 5 está conectado a y en comunicación de flujo con la tubería 13 de entrada de combustible. El quemador central está instalado en una pared 14 de horno.

Durante el funcionamiento de este quemador central, un gas oxidante 15 (típicamente aire o aire enriquecido con oxígeno) fluye hacia el interior de la tubería exterior 3, una porción de este aire fluye a través del interior de la tubería interior 7, y la porción restante de este aire fluye a través del espacio anular 9. Un combustible primario 15 fluye a través de la tubería 13 y a través del espacio anular 11, y se quema inicialmente en una zona de combustión 17 con aire procedente de la tubería interior 7. El gas de combustión procedente de la zona de combustión 17 se mezcla con aire adicional en una zona de combustión 19. Típicamente, la combustión en esta zona es extremadamente pobre en combustible. Una llama visible se forma normalmente en la zona de combustión 19 y en una zona de combustión 21 cuando un gas de combustión 23 entra en el interior 25 del horno. El término "zona de combustión" según se usa en el presente documento significa una región dentro del quemador en la que se produce la combustión.

Un sistema de combustible de graduación por etapas cuenta con una tubería de entrada 27, un colector 29 y una pluralidad de lanzas 31 combustible de graduación por etapas. Los extremos de las lanzas de combustible de graduación por etapas pueden equiparse con boquillas de inyección 33 de cualquier tipo deseado. Un combustible 35 de graduación por etapas fluye a través de la tubería de entrada 27, el colector 29 y las lanzas de inyección 31 de combustible de graduación por etapas. Unas corrientes 37 de combustible de graduación por etapas procedentes de las boquillas 33 se mezclan rápidamente y se queman con el gas de combustión 23 que contiene oxidante. La atmósfera de combustión más fría en el interior 25 del horno es arrastrada rápidamente por las corrientes 37 de combustible de graduación por etapas gracias a la acción de mezclado intenso promovida por las boquillas 33, y el combustible de graduación por etapas inyectado concéntricamente se quema con la atmósfera de combustión que contiene oxidante aguas abajo de la salida del quemador central 1. El combustible primario puede ser de un 5% a un 30% del caudal total de combustible (primario más graduación por etapas) y el combustible de graduación por etapas pueden ser de un 70% a un 95% del caudal total de combustible.

Los combustibles primario y de graduación por etapas pueden tener la misma composición o pueden tener diferentes composiciones y uno u otro combustible puede ser de cualquier material gaseoso, vaporizado, o atomizado que contenga hidrocarburos. Por ejemplo, el combustible se puede seleccionar del grupo que consiste en gas natural, gas de escape de refinería, gas asociado procedente de la producción de petróleo crudo y gas residual de proceso de combustible. Un gas residual de proceso de ejemplo es el gas de cola o gas residual procedente de un sistema de adsorción por oscilación de presión en un proceso para la generación de hidrógeno a partir de gas natural.

Se ilustra en la figura 2 un tipo de ejemplo de la boquilla 33. Un conjunto 201 de boquilla comprende un cuerpo 203 de boquilla unido a una tubería 205 de entrada de boquilla. Una ranura 207, que se ilustra aquí como verticalmente orientada, está atravesada por unas ranuras 209, 211, 213 y 215. Las ranuras están dispuestas entre una cara de salida 217 y una cara de entrada (no vista) en la conexión entre el cuerpo 203 de boquilla y la tubería 205 de entrada de boquilla. Un fluido 219 fluye a través de la tubería 205 de entrada de boquilla y a través de las ranuras 207, 209, 211, 213 y 215, y luego se mezcla con otro fluido que rodea las salidas de ranura. Además del patrón de ranuras mostrado en la figura 2, son posibles otros patrones de ranuras; el conjunto de boquilla se puede utilizar en cualquier orientación y no se limita a la orientación generalmente horizontal mostrada. Cuando se mira en una dirección perpendicular a la cara 217 de salida, las ranuras de ejemplo 209, 211, 213 y 215 intersectan la ranura 207 en ángulo recto. Son posibles otros ángulos de intersección entre las ranuras de ejemplo 209, 211, 213 y 215 y la ranura 207. Cuando se mira en una dirección perpendicular a la cara 217 de salida, las ranuras de ejemplo 209, 211, 213 y 215 son paralelas entre ellas; sin embargo, son posibles otras realizaciones en las que una o más de estas ranuras no sean paralelas a las ranuras restantes.

El término "ranura" como se usa en el presente documento se define como una apertura a través de un cuerpo de boquilla u otro material sólido, en donde cualquier sección transversal de ranura (es decir, una sección perpendicular

al eje de flujo de entrada definido más adelante) no es circular y se caracteriza por un eje mayor y un eje menor. El eje mayor es más largo que el eje menor y los dos ejes son generalmente perpendiculares. Por ejemplo, el eje mayor de la sección transversal de cualquier ranura de la figura 2 se extiende entre los dos extremos de la sección transversal de ranura; el eje menor de sección transversal es perpendicular al eje mayor y se extiende entre los lados de la sección transversal de la ranura. La ranura puede tener una sección transversal de cualquier forma no circular y cada sección transversal se puede caracterizar por un punto central o centroide, en donde el centroide tiene la definición geométrica usual.

Una ranura se puede caracterizar además por un eje de ranura definido como una línea recta que conecta los centroides de todas las secciones transversales de ranura. Además, una ranura puede estar caracterizada o definida por un plano central que intersecta los ejes mayores de todas las secciones transversales de ranura. Cada sección transversal de ranura puede tener simetría perpendicular a ambos lados de este plano central. El plano central se extiende más allá de cada extremo de la ranura y se puede usar para definir la orientación de ranura con respecto al eje de flujo de entrada del cuerpo de boquilla como se describe a continuación.

La sección axial I-I de la boquilla de la figura 2 se reproduce en la figura 3. Un eje 301 de flujo de entrada atraviesa el centro de una tubería 302 de entrada de boquilla, una cara 303 de entrada y la cara 217 de salida. En esta realización, los planos centrales de las ranuras 209, 211, 213 y 215 forman ángulos con el eje 301 de flujo de entrada (es decir, no son paralelos al eje 301 de flujo de entrada) de tal manera que el fluido fluye desde las ranuras en la cara 217 de salida en direcciones divergentes respecto del eje 301 de flujo de entrada. El plano central de la ranura 207 (sólo se ve en la figura 3 una parte de esta ranura) también forma ángulo con el eje 301 de flujo de entrada. Esta característica de ejemplo dirige el fluido desde la cara de salida de boquilla en otra dirección divergente respecto del eje 301 de flujo de entrada. En este ejemplo de realización, cuando se mira en una dirección perpendicular a la sección axial de la figura 3, las ranuras 209 y 211 se intersectan en la cara 303 de entrada para formar un borde afilado 305, las ranuras 211 y 213 se intersectan para formar un borde afilado 307, y las ranuras 213 y 215 se intersectan para formar un borde afilado 309. Estos bordes afilados proporcionan una separación de flujo aerodinámico en las ranuras y reducen la caída de presión asociada con cuerpos achatados. Alternativamente, estas ranuras pueden intersectarse en un lugar axial entre la cara 303 de entrada y la cara 217 de salida, y los bordes afilados se formarían dentro del cuerpo 203 de boquilla. Como alternativa, estas ranuras pueden no intersectarse cuando se mira en una dirección perpendicular a la sección axial de la figura 2, y no se formarían bordes afilados.

El término "eje de flujo de entrada" como se usa en el presente documento es un eje definido por la dirección del flujo de un fluido que entra en la boquilla en la cara de entrada, en donde este eje atraviesa las caras de entrada y salida. Típicamente, pero no en todos los casos, el eje de flujo de entrada es perpendicular al centro de la cara 303 de entrada de boquilla y/o a la cara 217 de salida de boquilla, y se encuentra perpendicularmente con las caras. Cuando la tubería 302 de entrada de boquilla es un conducto cilíndrico típico, como se muestra, el eje de flujo de entrada puede ser paralelo a, o coincidente con, el eje del conducto.

La longitud de ranura axial se define como la longitud de una ranura entre la cara de entrada de boquilla y la cara de salida, por ejemplo entre la cara 303 de entrada y la cara 217 de salida de la figura 3. La altura de ranura se define como la distancia perpendicular entre las paredes de ranura en el eje menor de la sección transversal. La relación de la longitud de ranura axial con respecto a la altura de ranura puede estar entre aproximadamente 1 y aproximadamente 20.

Las múltiples ranuras en un cuerpo de boquilla pueden intersectarse en un plano perpendicular al eje de flujo de entrada. Como se muestra en la figura 2, por ejemplo, las ranuras 209, 211, 213 y 215 intersectan la ranura 207 en ángulo recto. Si se desea, estas ranuras pueden intersectarse en un plano perpendicular al eje de flujo de entrada en ángulos distintos de ángulos rectos. Las ranuras adyacentes también pueden intersectarse cuando se mira en un plano paralelo al eje de flujo de entrada, es decir, el plano de sección de la figura 3. Como se muestra en la figura 3, por ejemplo, las ranuras 209 y 211 se intersectan en la cara 303 de entrada para formar el borde afilado 305 como se describió anteriormente. Las relaciones angulares entre los planos centrales de las ranuras, y también entre el plano central de cada ranura y el eje de flujo de entrada, pueden variarse según se desee. Esto permite que el líquido sea descargado desde la boquilla en cualquier dirección seleccionada con respecto al eje de boquilla.

Como alternativa, puede contemplarse un cuerpo de boquilla en el que ninguna de las ranuras se intersecta con otras en algún plano perpendicular al eje 301. En esta realización alternativa, por ejemplo, todas las ranuras, vistas perpendicularmente a la cara de cuerpo de boquilla, están separadas y no intersectan otras ranuras. Una boquilla de este tipo podría, por ejemplo, ser similar a la boquilla de la figura 2 sin ranura 207, en donde la boquilla sólo tendría las ranuras 209, 211, 213 y 215. Estas ranuras pueden intersectarse axialmente como se muestra en la figura 2.

La figura 4 es una vista en planta que muestra el extremo de descarga del aparato de ejemplo de la figura 1 utilizando las boquillas de lanza de combustible de graduación por etapas de las figuras 2 y 3. Unas tuberías concéntricas 403, 405 y 407 encierran espacios anulares 409 y 411 que están equipados con elementos o aletas radiales. Unas boquillas ranuradas 433 de inyección de combustible de graduación por etapas (descritas anteriormente) pueden estar dispuestas concéntricamente alrededor del quemador central como se muestra. En esta

realización, los ángulos de ranura de las boquillas de inyección ranuradas están orientadas para dirigir combustible de graduación por etapas inyectado en direcciones divergentes con respecto al eje del quemador central 1.

Otros tipos de configuraciones de boquilla se pueden utilizar para el cuerpo 203 de boquilla (figura 2) en los extremos de inyección de las boquillas 433 de combustible de graduación por etapas (figura 4). Por ejemplo, las aberturas en la cara 217 de salida de cuerpo 203 de boquilla pueden configurarse con la forma de una o más aberturas en forma de cruz producidas por dos ranuras intersecantes. Alternativamente, se pueden usar cualquier otro tipo de aberturas en la cara de cuerpo de boquilla que tengan formas diferentes de la forma de las ranuras descritas anteriormente.

El ejemplo de un sistema de quemador de combustión por etapas concéntricas de la figura 1 puede modificarse de acuerdo con una realización de la invención, como se ilustra en la figura 5. Unos encendedores 501, mostrados aquí esquemáticamente, están asociados con las lanzas 31 de combustible de graduación por etapas y están adaptados para encender combustible 37 de graduación por etapas descargado desde las boquillas 33. Los encendedores pueden estar adyacentes a las lanzas de combustible de graduación por etapas como se muestra, en donde los extremos 503 de ignición de los encendedores son adyacentes a las puntas de las boquillas 33. Alternativamente, los encendedores pueden estar integrados en las lanzas de combustible de graduación por etapas como se describe más adelante. El significado genérico del término "encendedor" como se usa en el presente documento es un dispositivo para generar una temperatura localizada por encima de la temperatura de autoignición de la mezcla de combustible-oxidante. Por ejemplo, puede tratarse de los encendedores 501 adyacentes a las boquillas 33, asegurando así la ignición del flujo de combustible de graduación por etapas. Los encendedores 501 se muestran esquemáticamente en la figura 5 y pueden ser cualquier tipo de encendedor capaz de generar temperaturas suficientemente altas para encender la mezcla de combustible de graduación por etapas y oxidante. Por ejemplo, estos encendedores pueden generar llamas piloto en los extremos 503 de ignición en los que se forman las llamas piloto por la combustión de una mezcla de combustible-oxidante separada de la mezcla de combustible-oxidante del quemador central. Alternativamente, los encendedores 501 pueden ser encendedores de chispa intermitente, encendedores de chispa continua, plasmas de arco de corriente continua, plasmas de microondas, plasmas de RF, haces láser de alta energía o cualquier otro tipo de encendedor en los extremos 503 de ignición.

La ubicación de los encendedores de la figura 5 puede verse en la vista en planta de la figura 6, que muestra el extremo de descarga del quemador central y los extremos 503 de encendido esquemáticos asociados con boquillas 33 de inyección concéntricas. En esta realización, cada extremo de ignición es adyacente a una boquilla de inyección de graduación por etapas. Alternativamente, los encendedores pueden estar integrados en las lanzas 31 de combustible de graduación por etapas como se describe más adelante. En la realización de la figura 6, cada boquilla de inyección y cada lanza de combustible tiene un encendedor adyacente, y el número de encendedores y el número de lanzas de combustible de graduación por etapas son iguales. Alternativamente, el número de lanzas de combustible de graduación por etapas puede ser menor que el número de encendedores, en donde cada encendedor efectúa la ignición de una pluralidad de lanzas de combustible. En un ejemplo, los encendedores pueden estar asociados con lanzas alternas de combustible de graduación por etapas en donde el número de encendedores es la mitad del número de lanzas de combustible. Se pueden usar cualquier número y configuración de encendedores para efectuar la ignición apropiada de la mezcla de combustible de graduación por etapas-oxidante. En la presente revelación, el término "asociado con" significa que un encendedor asociado con una lanza de combustible de graduación por etapas está adaptado para, y es capaz de encender la mezcla combustible-oxidante formada por el combustible de graduación por etapas de la lanza de combustible de graduación por etapas y el oxidante presente en la región adyacente a la descarga de la lanza. Como se mencionó anteriormente, un encendedor asociado con una lanza puede estar adyacente a la lanza o puede ser una parte integral de la lanza.

El encendedor 501 (figura 5) puede utilizar una llama piloto formada en el extremo de encendido 503 por un combustible piloto y un oxidante piloto. El combustible piloto puede ser el mismo combustible que el que proporcionan a la lanza de combustible de graduación por etapas, o puede ser un combustible diferente tal como, por ejemplo, el combustible primario 15 del quemador central 1. El oxidante piloto puede ser aire, aire enriquecido con oxígeno u otro gas que contenga oxígeno. La dirección de la descarga de la llama piloto puede ser generalmente paralela a la dirección de la descarga de combustible de graduación por etapas, o alternativamente puede formar cualquier ángulo con la dirección de descarga de combustible de graduación por etapas. En una realización, la llama piloto puede ser dirigida radialmente hacia fuera desde el eje del quemador central y en otra realización puede ser dirigida generalmente paralela al eje del quemador central. El combustible piloto y el oxidante piloto se pueden mezclar previamente aguas arriba del extremo del encendedor o, alternativamente, el combustible y el oxidante se pueden suministrar al, y quemar cerca del, extremo de ignición del encendedor de tipo piloto. El encendedor mismo puede estar equipado con medios de encendido por chispa para encender el combustible piloto y el oxidante piloto tal como se describe a continuación.

Un encendedor de ejemplo es un dispositivo de piloto mostrado en las figuras 7A (vista en sección lateral) y 7B (vista extrema). Este piloto comprende una tubería exterior 701, una tubería interior 703, un generador de turbulencia de flujo o cuerpo achatado 705 y un anillo 707. Un gas oxidante tal como aire o aire enriquecido con oxígeno fluye a través del anillo 707 y sobre el generador de turbulencia de flujo o cuerpo achatado 705, y un gas combustible fluye a través de la tubería interior 703. El combustible y el oxidante se queman para formar una llama piloto en la salida

- del piloto. Si se desea, se puede usar un dispositivo de ignición eléctrico para el encendido inicial del combustible piloto y el oxidante piloto. Se muestra en las figuras 8A y 8B un dispositivo de ignición de ejemplo, en el que un electrodo 801 está instalado en el interior de la tubería interior 703. El extremo del electrodo se extiende típicamente más allá del extremo de la tubería interior 703 y está dispuesto en la región entre los extremos de la tubería interior 703 y la tubería exterior 701. Se genera una chispa entre el extremo del electrodo y la pared interior de la tubería exterior 701 cuando el electrodo es excitado eléctricamente. El oxidante y el combustible fluyen a través de la tubería interior 703 y el anillo 707, respectivamente, se mezclan en la región entre los extremos de la tubería interior 703 y la tubería exterior 701, y se encienden mediante una chispa generada entre el extremo del electrodo y la pared interior de la tubería exterior 701.
- Un tipo alternativo de piloto encendedor se puede utilizar como alternativa a las figuras 8A y 8B. En esta alternativa, la tubería interior 703 no se utiliza, y se proporciona una mezcla de combustible-oxidante mezclada previamente a través de la tubería 701 y se la enciende por una chispa proveniente del extremo del electrodo 801.
- Los encendedores piloto descritos anteriormente pueden ser operados de forma continua, por ejemplo durante la operación de un horno calentado por una pluralidad de quemadores (por ejemplo, como en el quemador 1 de la figura 5). Alternativamente, los encendedores piloto pueden ser operados solamente durante el arranque en frío del horno y estarían inactivos durante la operación normal del horno.
- Un encendedor piloto de las figuras 7A y 7B o las figuras 8A y 8B puede instalarse adyacente a cada lanza de combustible de graduación por etapas como se muestra en las figuras 5 y 6. Alternativamente, el encendedor piloto puede estar diseñado como una parte integral de una lanza de combustible de graduación por etapas como se ilustra en la figura 9. En este ejemplo de realización, el encendedor piloto asistido por electrodo de las figuras 8A y 8B está integrado en la lanza de combustible y la boquilla de las figuras 2 y 3. En el conjunto integrado 901 de lanza de combustible y encendedor de la figura 9, unas ranuras 909, 911, 913 y 915 intersectan una ranura 907 como se muestra, y todas las ranuras atraviesan una cara 917 de la boquilla de lanza de combustible y forman ángulo con el eje de flujo de entrada de la lanza de tal manera que el fluido fluye desde las ranuras en la cara de salida 917 en direcciones divergentes respecto del eje de flujo de entrada. El encendedor comprende una tubería exterior 903, una tubería interior 904 y un electrodo 905, y estos componentes están instalados en un ánima a través de la lanza paralela al eje de la lanza. El encendedor funciona como se describió anteriormente con referencia a las figuras 8A y 8B.
- Un combustible 919 entra en el extremo de entrada de lanza, fluye a través de un paso de combustible interior (no visto), y sale de las ranuras 907, 909, 911, 913 y 915 en la cara 917 de boquilla. Un combustible piloto 921, que puede ser el mismo o diferente que el combustible 919 de lanza, fluye hacia y a través de la tubería interior 904. Un gas oxidante piloto 923, (por ejemplo, aire o aire enriquecido con oxígeno) fluye hacia dentro y a través del anillo entre la tubería exterior 903 y la tubería interior 904. El electrodo de encendido 905 se utiliza para encender la mezcla de combustible piloto y el gas oxidante como se describió anteriormente.
- En lugar del encendedor de llama piloto discutido anteriormente como parte de la lanza de encendido asistido de la figura 9, puede usarse cualquier otro tipo de encendedor. El encendedor se puede seleccionar de, por ejemplo, encendedores de chispa intermitente, encendedores de chispa continua, plasmas de arco de corriente continua, plasmas de microondas, plasmas de RF y haces láser de alta energía.
- Un sistema de combustión por etapas concéntricas (figuras 5 y 6) puede utilizarse en cualquier geometría de horno para producir una distribución uniforme del calor, mejor estabilidad de llama y menores emisiones de NO_x.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de combustión que comprende:

5 (A) proporcionar un conjunto de quemador, que incluye:

10 (i) un soporte de llama central (1) que tiene unos medios de entrada (3) para un gas oxidante, unos medios de entrada (13) para un combustible primario, una región de combustión (17, 19, 21) para quemar el gas oxidante y el combustible primario, y una salida para descargar un efluente primario desde el soporte de llama;

(ii) una pluralidad de boquillas (33) de inyector de combustible secundario que rodean la salida del soporte de llama central, en donde cada boquilla de inyector de combustible secundario comprende

15 (a) un cuerpo (203) de boquilla que tiene una cara (303) de entrada, una cara (217) de salida y un eje de flujo de entrada que atraviesa las caras de entrada y salida; y

(b) una o más ranuras (207, 209, 211, 213, 215) que se extienden a través del cuerpo de boquilla desde la cara de entrada hasta la cara de salida, teniendo cada ranura un eje de ranura y un plano central de ranura; y

20 (iii) uno o más encendedores (501) asociados con la pluralidad de boquillas (33) de inyectores de combustible secundario;

25 (B) introducir el combustible primario (15) y el gas oxidante (15) en el soporte (1) de llama central, quemar el combustible primario con una porción del gas oxidante en la región de combustión (17, 19, 21) del soporte de llama, y descargar un efluente primario (23) que contiene productos de combustión y un exceso de gas oxidante desde la salida del soporte de llama;

(C) inyectar el combustible secundario (35, 37) a través de las boquillas (33) de inyector de combustible secundario dentro del efluente primario (23) desde la salida del soporte de llama; y

30 (D) operar los uno o más encendedores (503) e inflamar el combustible proveniente de las boquillas de inyector de combustible secundario para provocar la combustión del combustible con el oxidante en exceso en los productos de combustión.

35 2. El procesamiento de combustión de la reivindicación 1, en el que el combustible primario y el combustible secundario son gases que tienen composiciones diferentes.

3. El procesamiento de combustión de la reivindicación 1, en el que el combustible primario es gas natural o gas de escape de refinería, y el combustible secundario comprende hidrógeno, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono obtenido a partir de un sistema de adsorción por oscilación de presión.

40 4. El procesamiento de combustión de la reivindicación 1, en el que el combustible primario y el combustible secundario son gases que tienen las mismas composiciones.

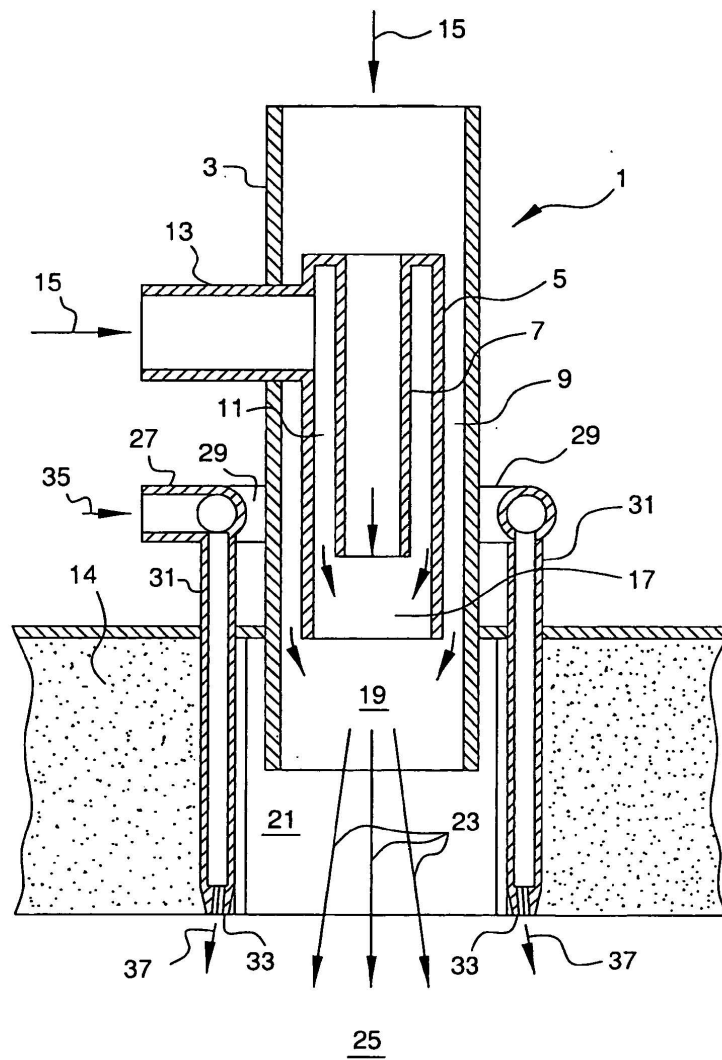


FIG. 1

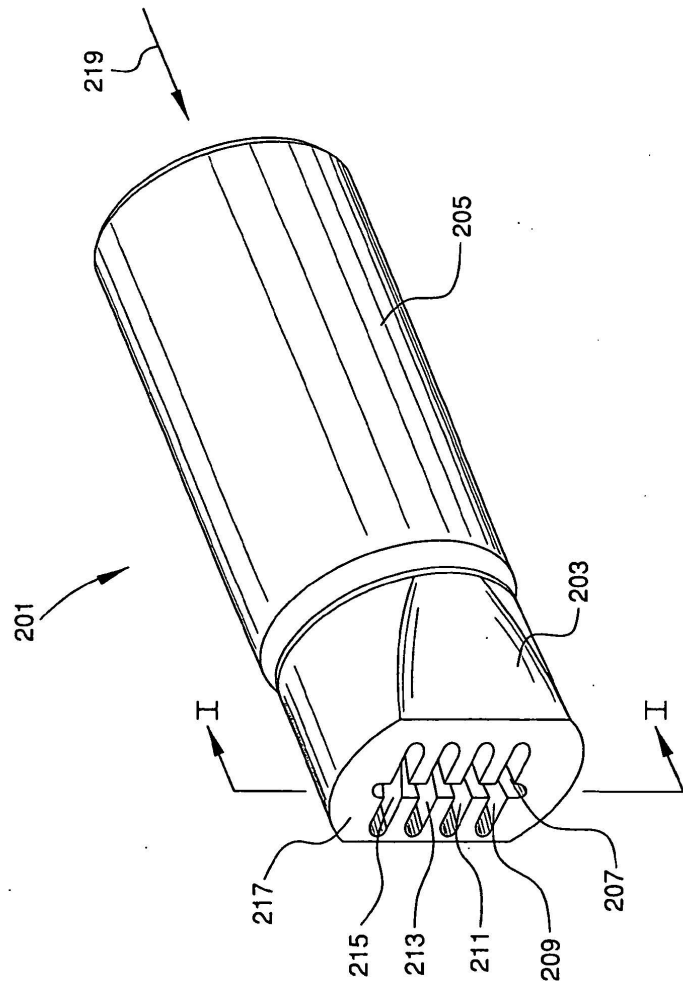


FIG. 2

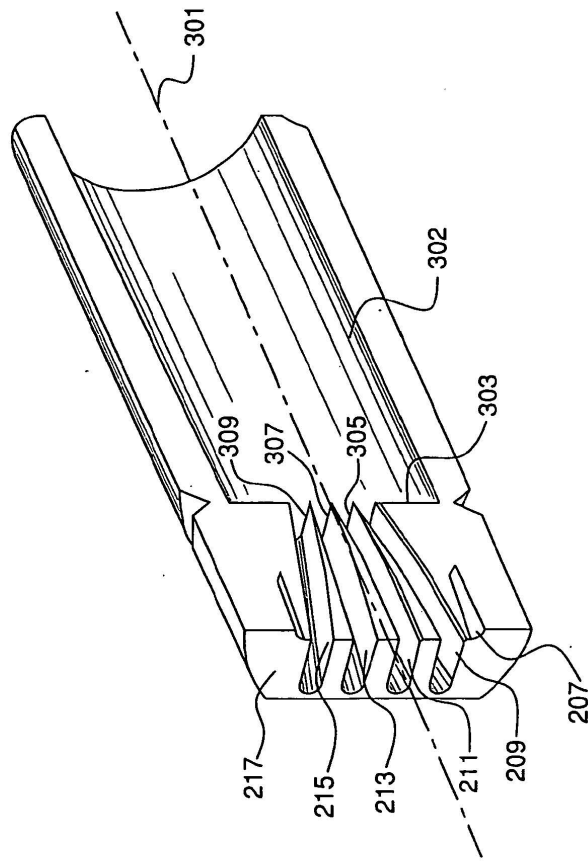


FIG. 3

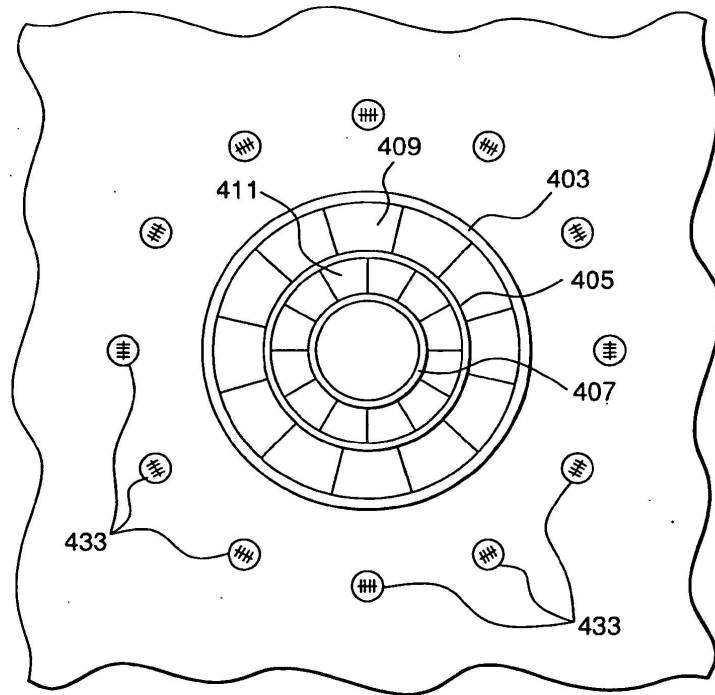


FIG. 4

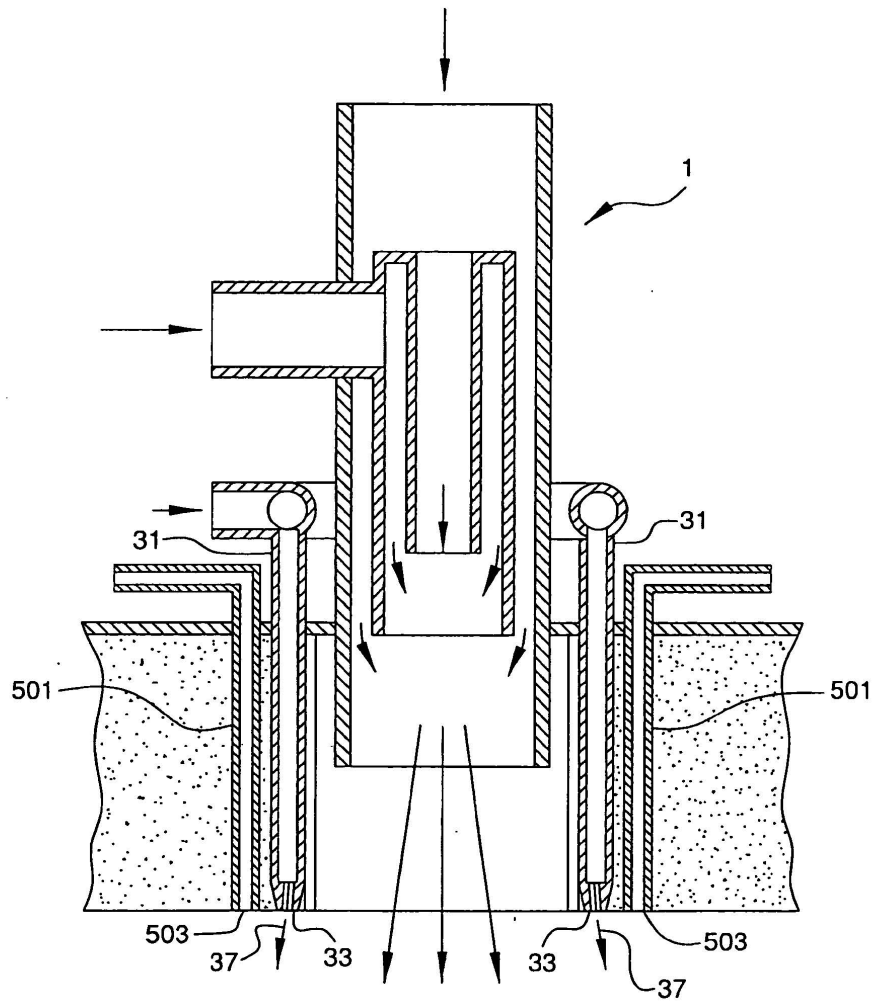


FIG. 5

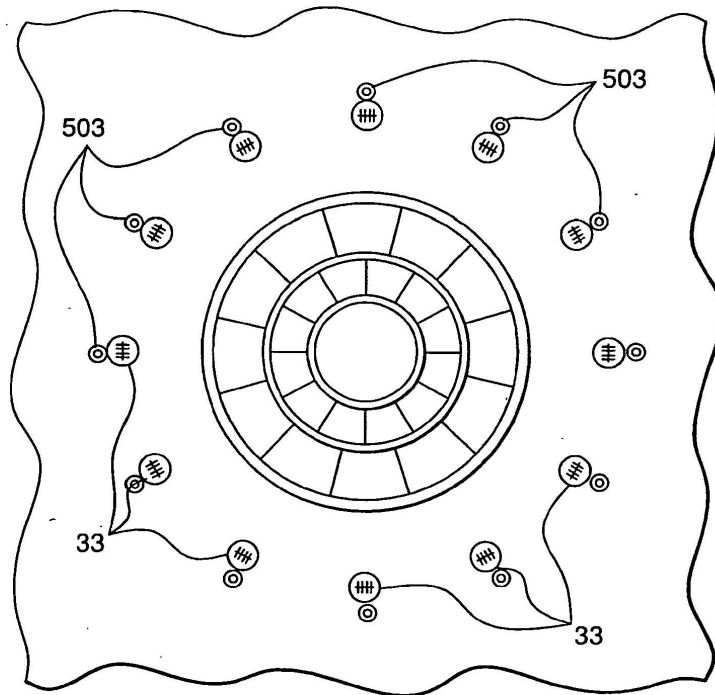


FIG. 6

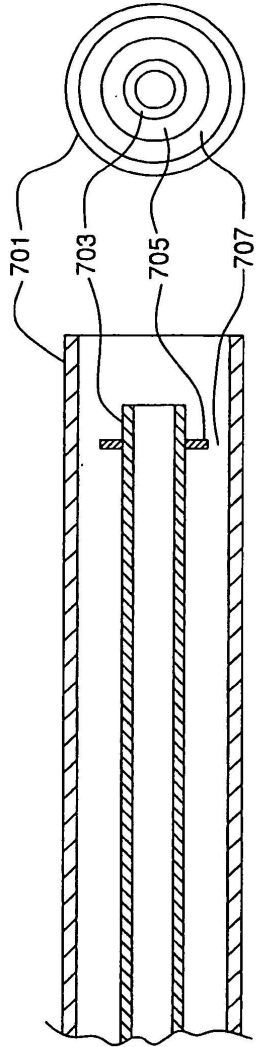


FIG. 7A

FIG. 7B

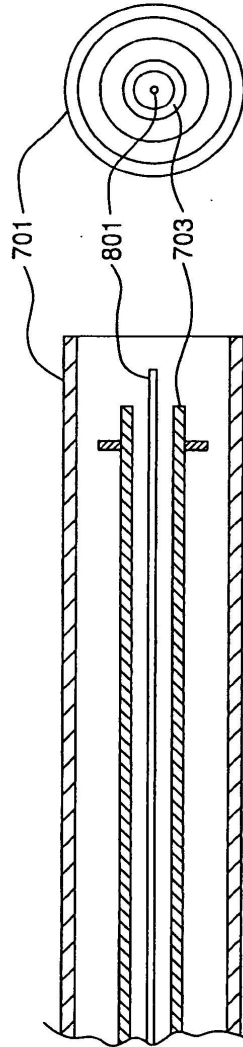


FIG. 8A

FIG. 8B

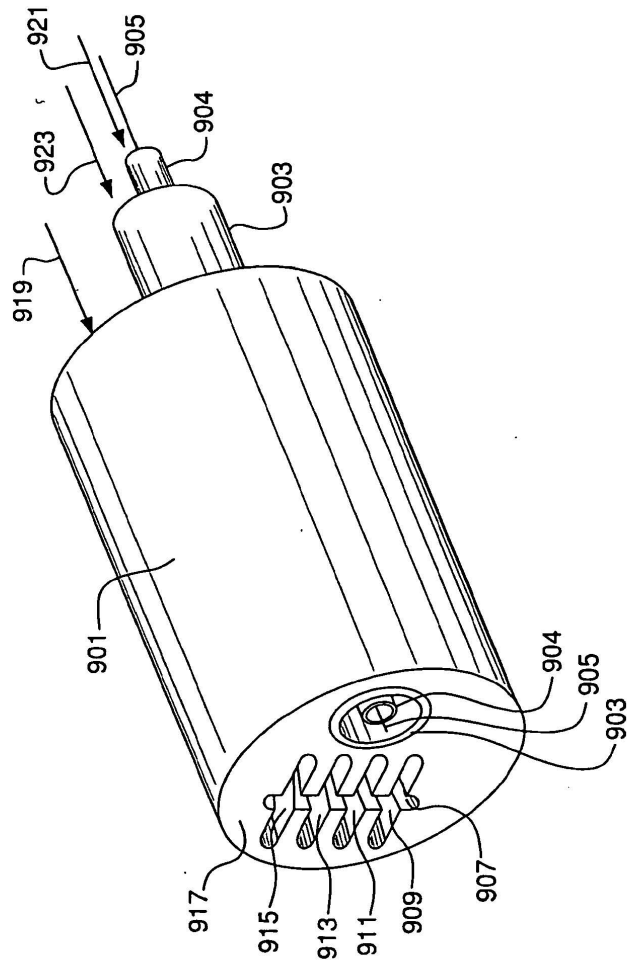


FIG. 9