



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0915819-7 B1



(22) Data do Depósito: 01/07/2009

(45) Data de Concessão: 24/12/2019

(54) Título: CONJUNTO DE QUEIMADOR, FORNO E MÉTODO DE COMBUSTÃO

(51) Int.Cl.: F23D 14/22; F23N 1/00; F23D 14/32.

(30) Prioridade Unionista: 08/07/2008 EP 08305386.8.

(73) Titular(es): L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE.

(72) Inventor(es): MOHAND AMIRAT; PASCAL DUPERRAY; BENOIT GRAND; MAGNUS MORTBERG; JACQUES MULON; XAVIER PAUBEL; RÉMI PIERRE TSIAVA; ROBERT KALCEVIC.

(86) Pedido PCT: PCT EP2009058293 de 01/07/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/003866 de 14/01/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 07/01/2011

(57) Resumo: CONJUNTO DE QUEIMADOR, FORNO E MÉTODO DE COMBUSTÃO Conjunto de queimador de momentum variável para injetar separadamente gás combustível e oxidante em uma zona de combustão, compreendendo pelo menos 5 dois canais de gás combustível (100), pelo menos um canal de oxidante e um distribuidor de gás combustível (110), pelo que os pelo menos dois canais de gás combustível compreendem uma passagem interna de condução de combustível (101) formando uma saída interna de gás combustível e uma passagem externa de condução de combustível (102) formando uma saída externa de gás combustível, a passagens de condução de combustível, interna e externa, sendo arrançadas coaxialmente; e pelo que o distribuidor de gás combustível compreende uma primeira câmara de gás combustível (111) em conexão de fluido com a passagem interna de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível e uma segunda câmara de gás combustível (112) em conexão de fluido com a outra passagem externa de condução de fluido dos pelo menos dois canais de gás combustível.

CONJUNTO DE QUEIMADOR, FORNO E MÉTODO DE COMBUSTÃO

A presente invenção se refere a um processo de combustão e a um equipamento para o mesmo contendo injetores separados de combustível e de oxidante para
5 introduzir gás combustível e oxidante separadamente na câmara de combustão de um forno, de modo que o combustível queima com o oxidante em uma chama luminosa larga, e pelo que a combustão do combustível com o oxidante gera quantidades reduzidas de óxidos de nitrogênio (NO_x).

10 Processos industriais de alta temperatura, tais como derretimento de vidro ou frita, fusão de materiais não ferrosos, utilizam grandes quantidades de energia para transformar uma variedade de matérias primas em um produto quente que é então fundido, formado ou de outro modo
15 descartado em estágios adicionais do processo industrial. Essa operação geralmente é realizada em fornos grandes que podem produzir por volta de 500 toneladas (métricas) por dia de material derretido. A combustão no forno de combustíveis de elevado valor calorífero, tal como gás
20 natural, propano, ou possivelmente combustíveis caloríficos inferiores tais como alguns gases de alto-forno, comum oxidante que contém oxigênio é um método preferido de fornecer energia. Em alguns casos, a combustão é suplementada mediante aquecimento elétrico. Na maioria das
25 vezes, o combustível e o oxidante são introduzidos no forno através de queimadores para gerar chamas. A transferência de energia a partir das chamas para o material a ser aquecido ou derretido resulta da combinação de convecção na superfície do material e irradiação para a superfície ou
30 para dentro do material, se o material for transparente à

irradiação. Chamas que são altamente radiativas (normalmente referidas como chamas luminosas) são normalmente preferidas porque elas proporcionam melhor transferência de calor e, assim, eficiência superior do combustível.

Para aquecimento de chama, também é muito importante ter a energia a partir da chama distribuída igualmente acima da superfície do material a ser aquecido ou derretido. De outro modo, regiões quentes e frias podem coexistir no forno, o que geralmente não é desejável uma vez que isso pode afetar a qualidade dos produtos fabricados com material aquecido ou derretido em tal forno. Por exemplo, em um banho de vidro derretido, pode haver pedras em regiões frias, e volatilização aumentada em regiões quentes. Chamas largas são preferidas porque elas produzem uma cobertura melhor e mais regular.

Em muitos países, normas cada vez mais rigorosas estão sendo promulgadas com relação às emissões de NOx. Técnicas de combustão em que a formação de NOx é limitada, portanto, foram desenvolvidas.

Em processos de temperatura muito elevada, a formação de NOx é promovida por longos tempos de permanência de moléculas de oxigênio e nitrogênio em regiões quentes da chama e do forno. O uso de oxigênio substancialmente puro (O₂ a 90% ou superior) em vez de ar como o oxidante comprovou ser muito bem-sucedido na redução das emissões de NOx em tanto quanto 90%, uma vez que quase todo o nitrogênio é eliminado.

Contudo, a substituição de ar por oxigênio substancialmente puro aumenta a temperatura da chama e,

assim, cria regiões no forno onde a reatividade do nitrogênio com oxigênio é elevada, e em que a formação de NOx pode aumentar proporcionalmente, embora ela seja diminuída globalmente em comparação com a combustão com o ar. Na realidade, na prática, é normalmente impossível eliminar todo o nitrogênio de um forno, porque os fornos industriais não são herméticos em relação aos vazamentos de ar, o combustível normalmente contém algum nitrogênio, e o oxigênio fornecido a partir de fontes não criogênicas, tal como oxigênio produzido por uma instalação de Adsorção por Oscilação a Vácuo (VSA) contém uma pequena concentração de nitrogênio residual.

Conjuntos de queimadores capazes de operar em baixa pressão, particularmente para o gás oxidante, enquanto produzindo uma chama larga, luminosa plana com emissões de NOx reduzidas, e que proporcionam uma forma de controlar a extensão da chama de modo a adaptar a chama ao forno no qual elas são usadas são conhecidos através de US-A-5984667 e US-A-6068468, e são comercializados pelo requerente sob as denominações comerciais Alglass™ FC e Albatch™ FC.

Um aspecto essencial do conjunto de queimador é que o combustível e o oxidante são fisicamente separados (isto é, espaçados), e dispostos geometricamente para transmitir aos fluxos de fluido combustível e fluxos de fluido oxidante ângulos que permitem a combustão do fluido combustível com o oxidante em uma chama estável, larga e luminosa.

Mais especificamente, US-A-5984667 revela um conjunto de queimador compreendendo pelo menos duas cavidades de fluido combustível, pelo menos um cavidade de fluido oxidante e pelo menos uma face de saída na qual termina

pelo menos uma das cavidades de fluido combustível e pelo menos uma das cavidades de fluido oxidante. O conjunto de queimador compreende:

a) meio para fornecer um fluxo de fluido oxidante;

b) meio para injetar o fluxo de fluido oxidante na pelo menos uma cavidade de fluido oxidante para criar pelo menos um fluxo de fluido oxidante injetado;

c) meio para fornecer um fluxo de fluido combustível; e

d) meio para injetar o fluxo de fluido combustível nos pelo menos dois canais de fluido combustível para criar pelo menos dois fluxos de fluido combustível, injetados; pelo que as direções de injeção do fluxo de fluido oxidante e do fluxo de fluido combustível estão substancialmente convergindo e se cruzam em uma zona de combustão, enquanto que as direções de pelo menos dois canais de fluido combustível, adjacentes estão divergindo.

Os benefícios demonstrados desse tipo de queimadores são:

- aperfeiçoamentos na eficiência do combustível mediante direcionamento da energia da chama para a carga mais propriamente do que em direção à estrutura do forno,

- aperfeiçoamentos na uniformidade de aquecimento e eliminação de pontos quentes através de cobertura de carga aperfeiçoada,

- elevada luminosidade resultante em transferência de calor eficiente para a carga, por exemplo, em fornos de derretimento de vidro,

- baixas emissões de poluentes.

Queimadores desse tipo operam de forma segura sob

certa faixa de condições de processo, particularmente dentro de certa faixa de taxas de queima, porém problemas podem surgir quando o queimador é operado fora da faixa. Por exemplo, um problema experimentado com os queimadores desse tipo é que em baixas taxas de queima (por exemplo, abaixo de 30% da taxa de queima nominal) a chama produzida pelo queimador é "preguiçosa" e tende a se levantar em direção ao topo do forno, criando assim o risco de formação de pontos quentes no topo do forno. Em taxas e queima muito elevadas (por exemplo, mais do que 200% da taxa de queima nominal, o controle de chama se torna cada vez mais difícil e a extensão da chama pode ser tal de modo a causar dano na parede oposta do forno.

Existe uma necessidade de se aumentar a flexibilidade do tipo de queimador conhecido mencionado acima.

Nos fornos de derretimento de vidro, como exemplo, a taxa de extração do forno pode ter que ser aumentada, o que geralmente impõe um aumento na taxa de queima de pelo menos um dos queimadores montados no forno. Sob certas circunstâncias, também pode ser necessário diminuir a taxa de extração do forno, o que pode acarretar em uma diminuição na taxa de queima de pelo menos um de seus queimadores. Seria desejável prover mais flexibilidade na taxa de queima do forno sem deterioração da qualidade do produto produzido no forno e sem acelerar ou aumentar substancialmente o risco de dano no forno.

Um objetivo da presente invenção é o de prover conjuntos de queimador e métodos de combustão que apresentam de forma segura os benefícios do tipo de queimadores conhecidos mencionados acima por uma faixa mais

ampla de condições de processo e particularmente de taxas de queima.

Queimadores injetando conjuntamente combustível e oxidante (isto é, injeção de combustível e oxidante que não é espaçada ao contrário de injeção separada) e capaz de operar em elevado momentum e em baixo momentum são conhecidos na técnica.

EP-A-0563793 revela um sistema de combustão de oxi-combustível de momentum variável compreendendo um queimador de oxi-combustível tendo um alojamento geralmente cilíndrico com um conduto de combustível disposto em relação espaçada com o alojamento e concentricamente dentro do alojamento, pelo que:

- o conduto de combustível é co-extensível ao longo de uma porção maior do alojamento e tem uma extremidade de chama terminando no mesmo plano que a extremidade de chama do alojamento;

- uma tampa de combustível é disposta concentricamente dentro do conduto de combustível, a tampa de combustível e o conduto de combustível cooperando para produzir um fluxo de combustível anular na extremidade de chama do alojamento;

- um conduto de oxidante é disposto concentricamente dentro do alojamento entre o conduto de combustível e o alojamento, o conduto e oxidante se estendendo de forma coexistente no alojamento;

- um pré-combustor é montado no queimador;

- e pelo quer:

- o conduto de combustível é adaptado para posicionamento variável em relação ao conduto de oxidante

ao longo do eixo longitudinal incluindo uma posição onde eles terminam no local definido pela extremidade de chama do alojamento para definir um orifício de passagem de oxidante anular circundando o conduto de combustível; e

- 5 - o conduto de combustível e a tampa de combustível adaptados para posicionamento variável em relação mútua ao longo do eixo longitudinal incluindo uma porção onde eles terminam no local definido pela extremidade de chama do alojamento para definir um meio de passagem de combustível
- 10 anular para introduzir combustível na passagem de combustível e oxidante na passagem de oxidação.

Uma principal inconveniência do sistema de combustão de momentum variável de acordo com EP-A-0563793 é que o momentum da chama de oxi-combustível é variado mediante

15 variação da posição das partes constituintes do conjunto, tal como o conduto de combustível, o conduto de oxidante e/ou a tampa de combustível próxima à extremidade de chama do alojamento. A presença, no conjunto, de partes móveis em um ponto onde elas são submetidas aos efeitos da chama de

20 oxi-combustível, tal como elevadas temperaturas e possivelmente depósitos de produtos de combustão ou material volatizado, afeta a confiabilidade do sistema de combustão em operação.

EP-A-763692 revela um queimador de oxi-combustível

25 incluindo um tubo externo de oxidante, um tubo intermediário de combustível e um tubo interno de oxidante que são arranjados coaxialmente com o tubo de combustível disposto entre os tubos de oxidante, interno e externo, e pelo que as características da chama produzida pelo

30 queimador podem ser controladas mediante variação das taxas

de fluxo relativas dos fluxos de oxidante, interno e externo. Um aumento na percentagem do oxidante total que é provido ao tubo oxidante interno faz com que a extensão e a luminosidade da chama diminuam e aumente o momentum da chama. Queimadores desse tipo são comercializados pelo requerente sob as denominações comerciais Alglass™ VM e Albath™ VM.

Benefícios dessa tecnologia de queimador conforme demonstrados nos fornos de derretimento de vidro são:

- possibilidade de regular a atmosfera no forno,
- possibilidade de regular o momentum da chama, particularmente no caso de oxi reforço,
- possibilidade de ajustar a extensão da chama de acordo com a geometria do forno (largura do forno no caso de queima transversal), e
- possibilidade de modificar a luminosidade de chama de acordo com o tipo de carga (composição de vidro).

Nenhuma das tecnologias de combustão de momentum variável conhecidas, mencionadas acima, para injeção conjunta de combustível e oxidante é adaptada para uso em conjuntos de queimador do tipo conhecido a parti de US-A-5984667 e US-A-6068468, que compreendem ao menos duas passagens de combustível e pelo que o gás combustível e o gás oxidante são injetados em fluxos separados de fluido em uma câmara de combustão de um forno de alta temperatura.

De acordo com a presente invenção, é provido um conjunto de queimador compreendendo pelo menos dois canais de fluido combustível e pelo menos um canal de fluido oxidante e pelo que as direções de injeção do fluxo de fluido oxidante e do fluxo de fluido combustível estão

substancialmente convergindo e se cruzam em uma zona de combustão a jusante do conjunto de queimador.

De acordo com a invenção, o conjunto de queimador compreende:

- 5 • pelo menos dois canais de gás combustível;
- pelo menos um canal de oxidante; e
- pelo menos uma face de saída na qual terminam pelo menos dois canais de gás combustível ou pelo menos um dos canais de oxidante, ou ambos.

10 O conjunto de queimador da invenção compreende ainda:

a) meio para fornecer um fluxo de oxidante;

b) meio para injetar o fluxo de oxidante no pelo menos um canal de fluido oxidante para criar pelo menos um fluxo de oxidante injetado;

15 c) meio para fornecer um fluxo de gás combustível;

d) meio para injetar o fluxo de gás combustível nos pelo menos dois canais de gás combustível para criar pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados.

20 O conjunto de queimador é projetado adicionalmente de modo que as direções de injeção do pelo menos um fluxo de oxidante e dos pelo menos dois fluxos de gás combustível são substancialmente convergentes e se cruzam em uma zona de combustão a jusante do conjunto de queimador.

25 O conjunto de queimador é caracterizado ainda pelo fato de

- os pelo menos dois canais de gás combustível compreendem uma passagem interna de condução de combustível formando uma saída interna de gás combustível e uma passagem externa de condução de combustível formando uma
- 30 saída externa de gás combustível, as passagens de condução

de combustível, interna e externa, sendo arrançadas coaxialmente;

- o meio para injetar o fluxo de gás combustível compreende um distribuidor de gás combustível para receber
5 o fluxo de gás combustível a partir do meio para fornecer um fluxo de gás combustível, o distribuidor de gás combustível tendo:

- i) uma primeira câmara de gás combustível em conexão de fluido com a passagem interna de condução de combustível
10 dos pelo menos dois canais de gás combustível, pelo que a primeira câmara de gás combustível tem uma primeira entrada para receber o gás combustível fornecido pelo meio para fornecimento de fluxo de gás combustível;

- ii) uma segunda câmara de gás combustível em conexão
15 de fluido com a passagem externa de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível, pelo que a segunda câmara de gás combustível tem uma segunda entrada para receber o gás combustível fornecido pelo meio para fornecimento de um fluxo de gás combustível; e

- 20 iii) o meio de controle de fluxo de gás combustível para controlar o escoamento da corrente de gás combustível a partir do meio para fornecer um fluxo de gás combustível respectivamente para a primeira e a segunda entrada.

O distribuidor de gás combustível que tem uma primeira
25 câmara de gás combustível em conexão de fluido com a passagem interna de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível e uma segunda câmara de gás combustível em conexão de fluido com a passagem interna de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás
30 combustível possibilita controlar simultaneamente,

igualmente e seguramente o fluxo de gás combustível para todos dos pelo menos dois canais de gás combustível, e mais especificamente para as passagens de condução de combustível, respectivamente interna e externa, dos pelo menos dois canais de gás combustível. Conforme esclarecido nos exemplos abaixo, distribuindo-se desse modo o fluxo de gás combustível através das passagens de condução de combustível, interna e externa, a taxa de queima do conjunto de queimador assim como a extensão de chama, podem ser controladas.

O controle regular e simultâneo do fluxo de gás combustível para as respectivas passagens dos pelo menos dois canais de gás combustível é de principal importância quando o conjunto de queimador é usado em processos industriais de alta temperatura tal como derretimento de vidro. Na realidade, um controle irregular ou espaçado em relação ao tempo através de pelo menos dois canais de gás combustível resultaria em mudança demorada ou transitória no formato da chama e no perfil de calor da zona de combustão com possíveis conseqüências para a qualidade dos produtos obtidos no processo, ou dano ao forno.

A relativa simplicidade do distribuidor de gás combustível também possibilita uma sua construção robusta. Além disso, como o distribuidor de gás combustível está situado no lado de baixa temperatura do conjunto de queimador oposto e afastado da zona de combustão também aumenta a confiabilidade do conjunto de queimador em que o distribuidor de gás combustível e quaisquer de suas partes móveis não são submetidos aos efeitos potencialmente prejudiciais das elevadas temperaturas no forno nem à

formação de depósitos de produtos de combustão, produtos condensados ou poeira.

A presente invenção também se refere aos fornos equipados com pelo menos um conjunto de queimador de acordo com a presente invenção e aos processos de combustão nos quais um conjunto de queimador de acordo com a presente invenção é usado para injetar e queimar combustível e oxidante em uma zona de combustão a jusante do conjunto de queimador. Fornos de acordo com a presente invenção podem ser particularmente fornos de derretimento, tais como fornos de derretimento de vidro ou fornos de derretimento de material não ferroso, tais como fornos de fusão de alumínio.

De acordo com a invenção, a passagem interna de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível pode ser montada na primeira câmara de gás combustível ou a passagem externa de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível pode ser montada na segunda câmara de gás combustível. Preferivelmente, as passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível são montadas na primeira câmara de gás combustível e as passagens externas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível são montadas na segunda câmara de gás combustível. Os pelo menos dois canais de gás combustível e o pelo menos um canal de fluido oxidante estão situados tipicamente em um bloco refratário. A zona de combustão é posicionada tipicamente no interior de um forno. O distribuidor de gás combustível está situado vantajosamente parcialmente ou totalmente fora do bloco

refratário. Tal posição do distribuidor de gás combustível no lado a montante do bloco refratário facilita acesso ao distribuidor de gás combustível.

De acordo com uma modalidade vantajosa, o conjunto de
5 queimador tem três canais de gás combustível. Conjuntos de queimador, vantajosos têm pelo menos cinco canais e particularmente três canais de gás combustível e dois canais de oxidante, pelo que preferivelmente, se os canais de gás combustível forem posicionados em uma porção
10 inferior do conjunto de queimador os canais de oxidante são posicionados em uma sua porção superior ou vice-versa.

Para detalhes adicionais com relação a diferentes modalidades possíveis da invenção, e particularmente o número de canais de gás combustível, o número de canais de
15 fluido oxidante, seus formatos e orientação e os materiais que podem ser usados, faz-se referência aos documentos anteriores mencionados acima US-A-5984667 e US-A-6068468.

Para facilidade de construção, a segunda câmara de gás combustível preferivelmente circunda ao menos parcialmente
20 a primeira câmara de gás combustível. A segunda câmara de gás combustível pode particularmente circundar totalmente a primeira câmara de gás combustível.

Meio para fornecer um fluxo de gás combustível compreende tipicamente uma linha de fornecimento de
25 combustível conectando o conjunto de queimador a uma fonte de combustível, pelo que a fonte de combustível pode ser um reservatório de combustível, uma unidade de produção de combustível ou uma linha de fornecimento de combustível adicional, por exemplo, uma tubulação de gás. Será
30 considerado que na fonte de combustível, o combustível pode

estar presente na forma líquida, embora no conjunto de queimador a jusante da fonte de combustível o combustível esteja presente na forma de um fluxo de gás combustível (por exemplo, após ter passado através de um expensor).

5 Similarmente, meio para fornecer um fluxo de oxidante compreende tipicamente uma linha de fornecimento de oxidante conectando o conjunto de queimador a uma fonte de oxidante, tal como um reservatório de oxidante, uma unidade de produção de oxidante ou uma linha de fornecimento de
10 oxidante adicional.

O meio de controle de fluxo de gás combustível pode compreender uma ou mais válvulas capazes de fechar parcialmente ou integralmente a primeira e/ou segunda entrada para obter o efeito de controlar o fluxo de gás
15 combustível fluindo respectivamente através da primeira e segunda entrada.

Essas válvulas podem ser operadas manualmente e/ou automaticamente.

No presente contexto, o fechamento parcial de uma
20 entrada é entendido como significando uma restrição da abertura da entrada pelo que o fluxo de combustível gasoso através da entrada é parcialmente obstruído.

De acordo com uma modalidade preferida, o meio de controle de fluxo de gás combustível é particularmente
25 equipado para seletivamente abrir ou fechar, parcialmente ou totalmente, a entrada da segunda câmara de gás combustível.

A presente invenção possibilita controlar de forma simultânea ou regular o momentum do gás combustível através
30 dos pelo menos dois canais de combustível, e mais

especificamente através das passagens de condução de combustível, interna e externa, dos canais, mediante controle do fluxo do gás combustível para a primeira entrada e assim para a primeira câmara de gás combustível e o fluxo do gás combustível para a segunda entrada e assim para a segunda câmara de gás combustível.

De acordo com a invenção, a primeira câmara de gás combustível e a segunda câmara de gás combustível estão em conexão de fluido uma com a outra por intermédio de uma da primeira e segunda entrada. O meio de fornecimento de combustível fornece o fluxo de gás combustível à primeira ou à segunda entrada do distribuidor de gás combustível, isto é, para a entrada de qualquer uma da primeira ou segunda câmara de gás combustível. De acordo com essa referida modalidade, o meio de controle de fluxo de gás combustível é equipado para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da câmara de gás combustível para a qual o meio de fornecimento de combustível fornece o fluxo de gás combustível até a outra câmara de gás combustível através da entrada da outra câmara de gás combustível. Tipicamente, o meio de controle de fluxo de gás combustível compreende uma válvula capaz de fechar parcialmente ou completamente a entrada mencionada por último para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da câmara de gás combustível inicial até a outra câmara de gás combustível, controlando assim de forma simultânea e regular as proporções do fluxo de gás combustível injetado respectivamente através das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível e através das

passagens externas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível. De acordo com a invenção, a válvula pode ser operada manualmente e/ou automaticamente.

5 Preferivelmente, o meio de fornecimento de combustível fornece o fluxo de gás combustível à primeira entrada, isto é, à entrada da primeira câmara de gás combustível, e o meio de controle de fluxo de gás combustível é equipado para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo
10 a partir da primeira câmara de gás combustível para dentro da segunda câmara de gás combustível através da segunda entrada. A porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da primeira câmara de gás combustível para dentro da segunda câmara de gás combustível, é injetada para dentro
15 da zona de combustão por intermédio das passagens externas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível, o restante do fluxo de gás combustível, o qual não flui a partir da primeira câmara de gás combustível para dentro da segunda câmara de gás
20 combustível, é injetado por intermédio das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível.

Alternativamente, o meio de fornecimento de combustível pode fornecer o fluxo de gás combustível à
25 segunda entrada, isto é, à entrada da segunda câmara de gás combustível, e o sistema de controle de fluxo de gás combustível é equipado para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da segunda câmara de gás combustível para dentro da primeira câmara de gás
30 combustível através da primeira entrada. Nesse caso, a

porção do fluxo de gás combustível fluindo da segunda câmara de gás combustível para dentro da primeira câmara de gás combustível é injetada para dentro da zona de combustão por intermédio das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível, o restante do fluxo de gás combustível, que não flui a partir da segunda câmara de gás combustível para a primeira câmara de gás combustível, é injetado por intermédio das passagens de condução de combustível, externas e internas, dos pelo menos dois canais de gás combustível.

Nesse caso, o mesmo gás combustível proveniente do meio para fornecer um fluxo de gás combustível é alimentado à primeira e à segunda câmara de gás combustível (ou apenas a uma das câmaras de gás combustível, quando a proporção do fluxo de gás combustível fluindo a partir de uma câmara para a outra câmara é igual a zero).

Por exemplo:

(a) quando o meio de fornecimento de combustível fornece o fluxo de gás combustível para a primeira entrada e assim para a primeira câmara de gás combustível e quando o meio de controle de fluxo de gás combustível fecha completamente a segunda entrada para a segunda câmara de gás combustível, o fluxo de gás combustível inteiro é injetado através das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível; e

(b) quando, por outro lado, o meio de controle de fluxo de gás combustível sai da segunda entrada para dentro da segunda câmara de gás parcialmente ou totalmente aberta, parte do fluxo de gás combustível flui através da segunda

entrada para dentro da segunda câmara de gás combustível, em cujo caso, a parte do fluxo de gás combustível que passa para dentro da segunda câmara de gás combustível é injetada através das passagens externas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de combustível e o restante do fluxo de gás combustível, que não passa para dentro da segunda câmara de gás combustível, é injetado através das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível.

O contrário é o caso quando o meio de fornecimento de combustível fornece o fluxo de gás combustível à segunda entrada.

Para um fluxo idêntico de gás combustível a partir do meio para fornecer um fluxo de gás combustível ao distribuidor de gás combustível, o momentum global com o qual o gás combustível é injetado através dos pelo menos dois canais de gás combustível é superior no caso (a) pelo que todo o gás combustível é injetado através das passagens internas de condução de combustível, em comparação com o caso (b), pelo que parte do gás combustível é injetada através das passagens externas de condução de combustível e o restante do gás combustível através das passagens internas de condução de combustível.

Conforme mencionado anteriormente, a presente invenção também se refere aos fornos compreendendo ao menos um conduto de queimador de acordo com qualquer uma das modalidades acima da presente invenção. Os fornos podem ser particularmente um forno de derretimento, tal como um forno de derretimento de vidro ou um forno de fusão de alumínio.

Outro aspecto da invenção é um método de combustão de

um combustível com um oxidante utilizando um conjunto de queimador de acordo com qualquer uma das modalidades da invenção descritas acima. O método compreende

a) fornecer um fluxo de oxidante, o fluxo de oxidante sendo fornecido pelo meio para fornecer um fluxo de oxidante;

b) injetar o fluxo de oxidante no pelo menos um canal de fluido de oxidante para criar pelo menos um fluxo de oxidante injetado;

c) fornecer um fluxo de gás combustível ao distribuidor de gás combustível, o fluxo de gás combustível sendo fornecido pelo meio para fornecer um fluxo de gás combustível;

d) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível para a primeira e segunda entrada; o escoamento do fluxo de gás combustível sendo controlado pelo meio de controle de fluxo de gás combustível;

e) injetar o fluxo de gás combustível nos pelo menos dois canais de gás combustível para criar pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados;

f) queimar o pelo menos um fluxo de oxidante injetado e os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados na zona de combustão a jusante do conjunto de queimador, pelo que o pelo menos um fluxo de oxidante injetado, e os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados, se cruzam.

O oxidante pode consistir em um oxidante tal como um ar ou ar enriquecido com oxigênio. O fluxo oxidante consiste vantajosamente em um oxidante tendo uma concentração molar de oxigênio de pelo menos 50%, preferivelmente de pelo menos 80%, mais preferivelmente de

pelo menos 90% e mais preferivelmente de pelo menos 95%. Tais oxidantes incluem ar enriquecido com oxigênio em pelo menos 50% em volume de oxigênio, o oxigênio tal como oxigênio "industrialmente" puro (99,5%) produzido por uma
5 instalação criogênica de separação de ar ou oxigênio não puro produzido, por exemplo, por um processo de adsorção por oscilação a vácuo (88% em volume de O₂ ou mais) ou oxigênio "impuro" produzido a partir do ar ou de qualquer outra fonte mediante filtração, adsorção, absorção,
10 separação de membrana, ou semelhante, pelo que o oxidante pode estar em temperatura ambiente ou na forma pré-aquecida.

No caso de um conjunto e queimador da invenção pelo que o meio de fornecimento de gás combustível fornece o
15 fluxo de gás combustível a uma da primeira e segunda entrada, e pelo que a primeira e segunda câmara de gás combustível estão em conexão de fluido uma com a outra por intermédio da outra da primeira e segunda entrada:

- etapa c) do método de combustão compreende
20 tipicamente fornecer o fluxo de gás combustível a uma da primeira e segunda câmara de gás combustível por intermédio da entrada da câmara de gás combustível e:

- a etapa d) do método compreende:

- d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível
25 fornecido a uma da primeira e segunda câmara de gás combustível por intermédio da entrada da câmara de gás combustível, e

- d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir de uma da primeira e segunda câmara de gás
30 combustível para a outra câmara de gás combustível por

intermédio da entrada da outra câmara de gás combustível.

Quando, conforme descrito acima, o meio para fornecer um fluxo de gás combustível fornece o fluxo de gás combustível à primeira entrada (da primeira câmara de gás combustível), então a etapa (c) do método de combustão compreende fornecer o fluxo de gás combustível à primeira câmara de gás combustível por intermédio da primeira entrada e a etapa (d) do método compreende:

d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível fornecido à primeira câmara de gás combustível por intermédio da primeira entrada, e

d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da primeira câmara de gás combustível para a segunda câmara de gás combustível por intermédio da segunda entrada.

Inversamente, quando o meio para fornecer um fluxo de gás combustível fornece o fluxo de gás combustível à segunda entrada (da segunda câmara de gás combustível), então a etapa (c) do método de combustão compreende fornecer o fluxo de gás combustível à segunda câmara de gás combustível por intermédio da segunda entrada e a etapa (d) do método compreende:

d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível fornecido à segunda câmara de gás combustível por intermédio da segunda entrada, e

d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da segunda câmara de gás combustível para a primeira câmara de gás combustível por intermédio da primeira entrada.

Como também mencionado acima, a segunda câmara de gás

combustível pode ao menos parcialmente e preferivelmente integralmente circundar a primeira câmara de gás combustível.

Em uma modalidade alternativa do método de acordo com a invenção, a etapa (c) de fornecer um fluxo de gás combustível ao distribuidor de gás combustível compreende:

- etapa c1) de fornecer um primeiro fluxo de gás combustível à primeira (131) entrada da primeira câmara de gás combustível (111); e

- etapa c2) de fornecer um segundo fluxo de gás combustível à segunda entrada (132), ao passo que a etapa (d) de controlar o escoamento do fluxo de gás combustível respectivamente para a primeira entrada e para a segunda entrada compreende:

- etapa d1) de controlar o escoamento do primeiro fluxo de gás combustível para a primeira entrada (131); e

- etapa d2) de controlar o escoamento do segundo fluxo de gás combustível para a segunda entrada (132).

O método compreende adicionalmente as etapas:

- e1) de injetar o primeiro fluxo de gás combustível a partir da primeira câmara de gás combustível (111) na passagem interna de condução de combustível (101) dos pelo menos dois canais de gás combustível (110);

- e2) de injetar o segundo fluxo de gás combustível a partir da segunda câmara de gás combustível (112) na passagem externa de condução de combustível (102) dos pelo menos dois canais de gás combustível (110); e

- etapa f) de queimar o pelo menos um fluxo de oxidante injetado e os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados na zona de combustão a jusante do

conjunto de queimador onde se cruzam o pelo menos um fluxo de oxidante injetado, e os pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados.

Nesse caso, o conjunto de queimador tem tipicamente um meio para fornecer um fluxo de gás combustível compreendendo (a) meio para fornecer um primeiro fluxo de gás combustível à primeira entrada da primeira câmara de gás combustível, e (b) meio para fornecer um segundo fluxo de gás combustível à segunda entrada da segunda câmara de gás combustível e um (c) meio de controle de fluxo de gás combustível equipado para controlar o escoamento do primeiro fluxo de gás combustível para a primeira entrada e para controlar o escoamento do segundo fluxo de gás combustível para a segunda entrada.

O primeiro fluxo de gás combustível pode consistir em um gás combustível de baixo valor calorífico e o segundo fluxo de gás combustível pode consistir em um gás combustível de elevado valor calorífico ou vice-versa.

Vantajosamente, o primeiro fluxo de gás combustível consiste em um gás combustível de baixo calor calorífico, e o segundo fluxo de gás combustível consiste em um gás combustível de alto valor calorífico.

Preferivelmente:

i) o meio de controle de fluxo de gás combustível controla o escoamento do primeiro fluxo de gás combustível a partir do meio para fornecer um primeiro fluxo de gás combustível à primeira entrada, isto é, à entrada da primeira câmara de gás combustível e a partir daí para as passagens internas de combustão de combustível, de modo que o primeiro fluxo de gás combustível constitui de 0 a 90% em

volume dos pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados, e

ii) o meio de controle de fluxo de gás combustível controla o escoamento do segundo fluxo de gás combustível a partir do meio para fornecer um segundo fluxo de gás combustível à segunda entrada, isto é, à entrada da segunda câmara de gás combustível e a partir daí para as passagens externas de combustão de combustível, de modo que o segundo fluxo de gás combustível constitui a partir de 100 a 10% em volume dos pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados.

De acordo com uma modalidade específica desse processo de combustão, o primeiro fluxo de gás combustível constitui de 0 a 50% em volume dos pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados, e o segundo fluxo de gás combustível constitui de 100 a 50% em volume dos pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados. Essa modalidade mostrada por último é particularmente útil quando o conjunto de queimador opera em uma capacidade não superior à sua capacidade nominal.

O primeiro fluxo de gás combustível vantajosamente sai da saída interna de gás combustível com uma velocidade de injeção a partir de 5 m/s a 50 m/s.

O segundo fluxo de gás combustível vantajosamente sai da saída externa de gás combustível com uma velocidade de injeção a partir de 18 m/s a 30 m/s.

Conforme mencionado anteriormente, tal conjunto e queimador e processo de combustão correspondente apresenta uma maior vantagem de permitir que o conjunto de queimador/processo de combustão e conseqüentemente também o

forno no qual o conjunto de queimador é montado utilize gás combustível de baixo valor calorífico o qual pode estar disponível no local ou com baixo custo. O gás combustível de baixo valor calorífico pode ser difícil de queimar ou
5 pode causar instabilidade de chama, que pode ser de natureza transitória, por exemplo, durante a partida quando a temperatura no forno está baixa. A presente invenção torna possível superar esses problemas através da injeção de combustível de elevado valor calorífico, temporariamente
10 (por exemplo, durante a partida) independentemente (isto é, sem injeção simultânea de combustível de baixo valor calorífico) ou com injeção simultânea de combustível de baixo valor calorífico (temporariamente ou continuamente), e isso simultaneamente e igualmente para os pelo menos dois
15 canais de combustível.

Nos conjuntos de queimador de acordo com essa modalidade, a primeira câmara de gás combustível normalmente não está em conexão de fluido com a segunda câmara de gás combustível. O primeiro fluxo de gás
20 combustível inteiro que é alimentado à primeira câmara de gás combustível assim flui normalmente para dentro das passagens internas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível para ser injetado na zona de combustão, e o segundo fluxo de gás combustível
25 integral que é alimentado a segunda câmara de gás combustível flui para dentro das passagens externas de condução de combustível dos pelo menos dois canais de gás combustível para sua injeção para dentro da zona de combustão.

30 A composição do primeiro fluxo de gás combustível pode

ser idêntica ou diferente da composição do segundo fluxo de gás combustível. Quando o primeiro e o segundo fluxo de gás combustível têm diferentes composições, a composição total do gás combustível injetado através os pelo menos dois canais de gás combustível é simultaneamente e igualmente controlada por intermédio de controle, utilizando o meio de controle de fluxo de gás combustível, a relação entre o escoamento do primeiro fluxo de gás combustível para a primeira câmara de gás combustível e o escoamento do segundo fluxo de gás combustível para a segunda câmara de gás combustível.

Particularmente, o gás combustível do primeiro fluxo de gás combustível pode ter um valor calorífico superior ou inferior (também referido como o Valor de Aquecimento Inferior ou LHV) do que o gás combustível do segundo fluxo de gás combustível. Particularmente, o gás combustível do primeiro fluxo de gás combustível pode ser um combustível com um baixo valor calorífico e o gás combustível do segundo fluxo de gás combustível pode ser um combustível com um elevado valor calorífico ou vice-versa.

Quando o primeiro e o segundo fluxo de gás combustível têm diferentes valores caloríficos, o valor calorífico global do gás combustível injetado através dos pelo menos dois canais de gás combustível é simultaneamente e igualmente controlado mediante controle, utilizando o meio de controle de fluxo de gás combustível, da relação entre o escoamento do primeiro fluxo de gás combustível para a primeira entrada e assim para a primeira câmara de gás combustível e o escoamento do segundo fluxo de gás combustível para a segunda entrada e assim para dentro da

segunda câmara de gás combustível.

No presente contexto, um "combustível com um baixo valor calorífico" é entendido como significando um combustível que tem um valor calorífico de menos do que 5 kWh/Nm³ e o um "combustível com um elevado valor calorífico" é entendido como significando um combustível que tem um valor calorífico de pelo menos 5 kWh/Nm³. Exemplos de combustíveis de baixo valor calorífico são alguns gases de alto-forno tendo, por exemplo, um valor calorífico a partir de 0,90 a 0,98 kWh/Nm³. Um exemplo de um combustível de autovalor calorífico é o gás natural com um valor calorífico de aproximadamente 10 kWh/Nm³. (Método cúbico normal (Nm³) corresponde à quantidade de gás ocupando um volume de 1 m³ em condições normais (0°C e 1 atm)).

Tal conjunto de queimador e o processo de combustão correspondente e forno, não apenas proporciona maior flexibilidade (faixa mais ampla de condições de processo), mas também possibilita a valorização do forno e do processo de combustão de combustível com baixo valor calorífico.

Na realidade, embora geralmente, variações no valor calorífico do combustível injetado em uma zona de combustão possam levar a significativas variações em temperatura, em distribuição de temperatura e estabilidade de chama, o conjunto de queimador de acordo com a invenção e o processo de combustão correspondente e forno são especificamente adaptados para prover melhor controle da estrutura de chama e, portanto, também da estabilidade de chama, de liberação de energia térmica e de criação de poluente, tal como NO_x, e isso para uma ampla faixa de gases combustíveis de

valores caloríficos globais e de variações em valor calorífico global.

A estabilidade da chama também pode ser aumentada mediante injeção de um ou mais jatos auxiliares de oxidante
5 através das ou nas proximidades das saídas dos pelo menos dois canais de injeção de combustível. De acordo com uma modalidade preferida, jatos auxiliares de oxidante são injetados na zona de combustão através das ou nas proximidades das saídas dos pelo menos dois canais de
10 combustível, pelo que os jatos auxiliares de oxidante circundam os pelo menos dois fluxos de gás combustível, injetados. Será considerado que tal medida para aumentar a estabilidade de chama também pode ser usada na primeira modalidade anteriormente descrita do método de acordo com a
15 presente invenção.

Quando um ou mais jatos oxidantes auxiliares são injetados, a velocidade de injeção de um ou mais jatos oxidantes auxiliares é vantajosamente de 1 m/s a 12 m/s, preferivelmente $10 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$, a estabilidade de chama
20 sendo assim aperfeiçoada.

O uso de um primeiro e de um segundo fluxo de gás combustível com composições diferentes, apresenta a principal vantagem de permitir que o método de combustão/o conjunto de queimador e conseqüentemente o forno no qual o
25 conjunto de queimador é montado utilize o gás combustível de baixo valor calorífico o qual pode estar disponível no local ou com baixo custo. O gás combustível de baixo valor calorífico pode ser difícil de queimar ou pode causar instabilidade de chama, o que pode ser de natureza
30 transitória, por exemplo, durante a partida quando a

temperatura no forno está baixa. A presente invenção possibilita a superação desses problemas através da injeção de combustível de elevado valor calorífico, temporariamente (por exemplo, durante a partida) por si própria (isto é, sem injeção simultânea de combustível de baixo valor calorífico) ou com injeção simultânea de combustível com baixo valor calorífico (temporariamente ou continuamente), e isso simultaneamente e igualmente para os pelo menos dois canais de combustível.

Modalidades e vantagens da presente invenção são ilustradas nos exemplos a seguir, nos quais se faz referência aos desenhos anexos.

A Figura 1 é uma vista em perspectiva esquemática da combustão do gás combustível e oxidante utilizando um conjunto de queimador de acordo com a invenção, pelo que uma "lâmina" de gás combustível é feita mediante injeção de gás combustível através de três (3) canais de gás combustível localizados em um primeiro plano, e em que o oxidante é injetado através de dois (2) canais de oxidante localizados em um segundo plano;

A Figura 2 é uma seção transversal esquemática através dos canais de gás combustível de uma primeira modalidade do conjunto de queimador da Figura 1, no qual um primeiro fluxo de gás combustível é fornecido à primeira câmara de gás combustível e um segundo fluxo de gás combustível é fornecido à segunda câmara de gás combustível,

A Figura 3 é uma seção transversal esquemática através dos canais de gás combustível de uma segunda modalidade do conjunto de queimador da Figura 1, no qual o fluxo de gás combustível fornecido ao distribuidor de gás combustível é

dividido em um primeiro fluxo de gás combustível que é alimentado à primeira câmara e um segundo fluxo de gás combustível que é alimentado à segunda câmara de gás combustível,

5 As Figuras 4 a 7 são seções transversais esquemáticas através dos canais de gás combustível de uma modalidade adicional do conjunto de queimador da Figura 1, no qual o fluxo de gás combustível fornecido ao distribuidor de gás combustível é fornecido a uma das câmaras de gás
10 combustível e no qual uma porção controlada do fluxo de gás combustível assim fornecida à câmara de gás combustível pode passar para a segunda câmara de gás combustível.

I. Aspectos Gerais

De acordo com um aspecto da presente invenção, o
15 processo de combustão e o conjunto de queimador do mesmo são providos, os quais operam com baixa pressão de fornecimento de oxidante, tal como a pressão entregue por uma unidade de produção de oxigênio de adsorção por oscilação a vácuo. Baixa pressão de oxidante significa uma
20 pressão variando de 105 mil a 170 mil Pa (pressão absoluta) (5 KPa a 70 KPa/pressão relativa).

De acordo com a presente invenção, o combustível e o oxidante são introduzidos no forno através de canais separados no conjunto de queimador. O termo "gás
25 combustível", de acordo com essa invenção, significa combustível na forma gasosa, por exemplo, metano, gás natural, propano ou semelhante, em temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) ou na forma pré-aquecida. O "oxidante" de acordo com a presente invenção pode ser o ar.
30 O oxidante preferivelmente é um gás com uma concentração

molar de oxigênio de pelo menos 50%. Tais oxidantes incluem ar enriquecido com oxigênio contendo ao menos 50% em volume de oxigênio, oxigênio tal como oxigênio "industrialmente" puro (99,5%) produzido por uma instalação criogênica de separação de ar ou oxigênio não puro produzido, por exemplo, por um processo de adsorção por oscilação a vácuo (88% em volume de O₂ ou mais) ou oxigênio "impuro" produzido a partir do ar ou de qualquer outra fonte mediante filtração, adsorção, absorção, separação de membrana, ou semelhante, pelo que o oxidante pode estar em temperatura ambiente ou na forma pré-aquecida.

Quando montados para operação, os canais conforme aqui definidos, normalmente passam através de um bloco de cerâmica ou conjunto de bloco ou através de uma parede do forno. Os canais têm preferivelmente uma seção transversal geralmente circular. Qualquer seção transversal equivalente pode ser usada, tal como quadrada, retangular, elipsóide, oval, e semelhante. Os canais e as passagens são feitas vantajosamente de elementos tubulares e podem ser colocados no bloco de cerâmica, no conjunto de bloco ou na parede do forno para evitar ou reduzir dano a esse último. Os elementos tubulares podem ser tubos metálicos, tubos ou canos metálicos com extremidades de cerâmica, tubos cerâmicos, ou uma combinação dos mesmos. Exemplos de materiais cerâmicos adequados para tubos injetores incluem alumina, zircônia, ítria, carboneto de silício, e semelhantes. Diversos aços inoxidáveis podem ser usados para os injetores se os injetores forem metálicos, e injetores metálicos tendo revestimentos refratários de proteção contra o calor, empregando materiais tais como

aqueles mencionados para injetores cerâmicos, também são possíveis.

A injeção de gás combustível é feita preferivelmente mediante ao menos dois canais, preferivelmente de dimensões substancialmente idênticas, cujos eixos estão localizados preferivelmente no mesmo plano, referido adicionalmente como o primeiro plano de combustível. As saídas de combustível e oxidante são fisicamente separadas e geometricamente arranjadas para transmitir aos fluxos de fluido combustível e aos fluxos de fluido oxidante ângulos e velocidades que permitem a combustão do fluido combustível com o oxidante em uma chama estável, larga e luminosa em uma zona de combustão a jusante do conjunto de queimador.

Em modalidades preferidas, os canais de combustível divergem em um ângulo inicial e, então, esse ângulo de divergência inicial aumenta ligeiramente exatamente antes de o combustível entrar na câmara de combustão para o ângulo de divergência final. Esse ângulo de divergência final é preferivelmente apenas uns poucos graus maior do que o primeiro ângulo de divergência. Um ângulo final preferido entre dois canais adjacentes de combustível está entre 3 e 10 graus.

De acordo com uma modalidade preferida da presente invenção, é provido um processo em que uma "lâmina" de fluido combustível é gerada acima da superfície a ser aquecida, por exemplo, por intermédio de pelo menos dois canais de combustível que fazem um ângulo divergente final preferivelmente menor do que 15 graus, os canais de combustível estando localizados em um primeiro plano de

combustível, um fluido oxidante tendo uma velocidade inferior do que aquela do fluido combustível (preferivelmente não excedendo 60 metros por segundo (m/s) sendo injetado acima da superfície sendo aquecida, 5 preferivelmente com pelo menos dois canais de oxidante, dois canais de oxidante adjacentes fazendo um ângulo divergente final menor do que 15 graus. Os eixos desses canais oxidantes estão localizados preferivelmente em um segundo plano de oxidante, que converge para e se 10 intersecta com o primeiro plano de combustível na câmara de combustão. Os jatos de fluido de oxidante de baixa velocidade que se cruzam com a lâmina de combustível, são arrastados pelo fluxo de combustível ao longo da lâmina de combustível, e criam uma zona de combustão que se estende 15 ao longo da "lâmina". Consequentemente, no início da zona de combustão da câmara de combustão, uma região rica em combustível é mantida no lado inferior da nuvem de combustível onde quantidades significativas de fuligem são formadas. A fuligem e o combustível são então 20 progressivamente oxidados pelo oxidante que se difunde ao longo da zona de combustão.

As quantidades totais de combustível e oxidante usadas pelo sistema de combustão são normalmente tais que o fluxo de oxidante varia de 0,95 a 1,05 do fluxo estequiométrico 25 teórico de oxigênio necessário para obter a combustão completa do fluxo de combustível. Outra expressão dessa declaração é que a relação de combustão está entre 0,95 e 1,05.

II. Exemplos

30 A Figura 1 representa uma vista em perspectiva

esquemática da combustão de gás combustível e um oxidante por intermédio de um conjunto de queimador de acordo com a invenção, conforme usado, por exemplo, em um tanque de fusão de vidro.

5 Uma "lâmina" ou "nuvem" de gás combustível é formada pelos três fluxos de gás combustível, injetados, saindo da face de saída do conjunto de queimador por intermédio de três (3) canais de gás combustível no primeiro plano 2. Dois (2) fluxos de oxidante injetados 6 saem dos canais de oxidante no segundo plano 4, e cruzam a lâmina de combustível na câmara de combustão 70 do forno.

10 A combustão do gás combustível com o oxidante ocorre em uma interface entre os dois fluxos para gerar uma chama 8 acima do material fundido 9. Mediante dispersão do gás combustível em um plano e criado uma camada planar ou uma "lâmina" por todo o material fundido substancialmente paralelo ao material fundido e orientando o oxidante, e particularmente o oxigênio a partir de cima para a direção da "lâmina" para intersectar a "lâmina", a combustão ocorre entre o fluido oxidante e o gás combustível onde eles se cruzam.

20 Tal processo de combustão e suas vantagens são descritos em US-A-5984667 e US-A-6068468.

25 A Figura 2 é uma seção transversal esquemática através dos canais de gás combustível (plano 2) de uma primeira modalidade do conjunto de queimador da Figura 1, na qual um primeiro fluxo de gás combustível é fornecido à primeira câmara de gás combustível e um segundo fluxo de gás combustível é fornecido à segunda câmara de gás combustível.

30 combustível.

Conforme mostrado na Figura 2, cada um dos três (3) canais de gás combustível 100 compreende uma passagem interna de condução de combustível 101 formando uma saída interna de gás combustível e uma passagem externa coaxial de condução de combustível 102 formando uma saída externa de gás combustível.

Os três canais de gás combustível 100 estão em conexão de fluido com o distribuidor de gás combustível 110. O distribuidor de gás combustível compreende uma primeira câmara de gás combustível 111 e uma segunda câmara de gás combustível 112. O meio para fornecer gás combustível ao distribuidor de gás combustível compreende (1) uma primeira linha de fornecimento é suprida com gás combustível mediante meio compreendendo uma primeira linha de fornecimento 121 que fornece um primeiro gás combustível à primeira câmara de gás combustível 111 por intermédio da primeira entrada 121 e (2) uma segunda linha de fornecimento 122 que fornece um segundo gás combustível à segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda entrada 132. Um primeiro controlador de fluxo 141 controla o fluxo do primeiro gás combustível a partir de uma primeira fonte de combustível por intermédio da primeira linha de fornecimento 121 e primeira entrada 131 para a primeira câmara de gás combustível 11 e um segundo controlador de fluxo 142 controla o fluxo do segundo gás combustível a partir de uma segunda fonte de combustível por intermédio da segunda linha de fornecimento 122 e segunda entrada 132 para a segunda câmara de gás combustível 112. Os dois controladores de fluxo 141, 142 são operados automaticamente pela unidade de controle 140.

Cada uma das três passagens internas de condução de combustível 101 é montada na primeira câmara de gás combustível 111 e em conexão de fluido com a mesma. Similarmente, cada uma das passagens externas de condução de combustível 102 é montada na segunda câmara de gás combustível 112.

Em operação, um fluxo do primeiro gás combustível, controlado pelo controlador de fluxo 141, é fornecido à primeira câmara de gás combustível 111 e é distribuído pela primeira câmara de gás combustível, 111, para as passagens internas de condução de combustível 101 para sua injeção na zona de combustão a jusante do conjunto de queimador. Similarmente, o fluxo do segundo gás combustível, controlado pelo controlador de fluxo 142, é fornecido à segunda câmara de gás combustível 112 e é distribuído pela segunda câmara de gás combustível, 112, para as passagens externas de condução de combustível 102 para sua injeção na zona de combustão a jusante do conjunto de queimador.

De acordo com um modo de operação particularmente interessante, o primeiro gás combustível (em seguida: gás combustível rico) é um gás combustível com um elevado valor calorífico, tal como gás natural e o segundo gás combustível (em seguida: gás combustível pobre) é um gás combustível com baixo valor calorífico, tal como gás de alto-forno.

Mediante controle do fluxo de gás combustível, rico e pobre, para o conjunto de queimador e conseqüentemente, para a zona de combustão, a invenção possibilita controle simultâneo e regular do momentum global e do valor calorífico global do fluxo de gás combustível injetado por

cada um dos canais de gás combustível.

Por exemplo, durante a partida do forno, quando o interior do forno ainda está em baixa temperatura e inflamação e estabilidade de chama são difíceis de obter, os controladores de fluxo 141 e 142 são operados de modo que principalmente ou apenas o gás combustível rico flui para dentro do distribuidor de gás combustível e a partir do distribuidor para a zona de combustão. Quando o interior do forno é aquecido, e a ignição e a estabilidade da chama se tornam mais fáceis, os controladores de fluxo 141 e 142 são operados de modo a aumentar a relação de gás combustível pobre em relação ao gás combustível rico fluindo para dentro do distribuidor de gás combustível, pelo que, dependendo das condições na zona de combustão, o conjunto de queimador pode ser operado apenas com gás combustível pobre. Será considerado que se for possível, em qualquer momento, aumentar a relação de gás combustível rico em relação ao gás combustível pobre, se exigido. A presente invenção assim possibilita valorizar os gases combustíveis pobres de forma simples e segura.

Para estabilidade aumentada de chama, o conjunto de queimador pode ser equipado para injetar um gás oxidante auxiliar nas proximidades de cada fluxo de gás combustível injetado, por exemplo, circundando cada fluxo de gás combustível.

A presente invenção também possibilita controlar de forma simples e segura o momentum global do fluxo de gás combustível injetado através de cada um dos canais de gás combustível quando uma única fonte do gás combustível é usada.

A Figura 3 representa uma seção transversal esquemática através dos canais de gás combustível de uma segunda modalidade do conjunto de queimador da Figura 1, no qual o fluxo de gás combustível fornecido ao distribuidor de gás combustível é dividido em um primeiro fluxo de gás combustível que é alimentado à primeira câmara e um segundo fluxo de gás combustível que é alimentado à segunda câmara de gás combustível.

Conforme mostrado na Figura 3, o meio para fornecer gás combustível ao distribuidor de gás combustível compreende uma linha de fornecimento 120. O controlador de fluxo 150 controla o fluxo de gás combustível a partir de uma fonte de gás combustível (não mostrada) para o distribuidor de gás combustível 110 por intermédio da linha de fornecimento 120. A jusante do controlador de fluxo 150, a linha de fornecimento 120 é dividida em (1) uma primeira derivação de fornecimento que fornece gás combustível à primeira câmara de gás combustível 111 por intermédio de primeira entrada 131 e (2) uma segunda derivação de fornecimento 122 que fornece gás combustível à segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda entrada 132. A válvula 162, a qual na modalidade ilustrada é montada na segunda derivação de fornecimento controla a porção do gás combustível fornecida pela linha de fornecimento 20 que flui para dentro da segunda derivação de fornecimento 122 e a partir da segunda derivação de fornecimento para a segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda entrada 132. Na modalidade ilustrada, a válvula 162 é operada manualmente, mas uma válvula automática também é possível. Similarmente, uma

válvula pode ser montada na primeira derivação de fornecimento em vez de na segunda derivação de fornecimento, ou em ambas as derivações.

Em operação, a porção do gás combustível que é
5 fornecida à primeira câmara de gás combustível 111 por intermédio da primeira derivação de fornecimento 121 é distribuída pela primeira câmara de gás combustível 111 para as passagens internas de condição de combustível 101 para sua injeção na zona de combustão a jusante do conjunto
10 de queimador. Similarmente, uma porção do gás combustível que é fornecida à segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda derivação de fornecimento 122 e é distribuída pela segunda câmara de gás combustível 112 para as passagens externas de condução de combustível 102 para
15 sua injeção na zona de combustão a jusante do conjunto de queimador.

Mediante controle do fluxo de gás combustível respectivamente para a primeira e segunda câmara de gás combustível, a invenção possibilita para um determinado
20 fluxo de fornecimento de gás combustível, controle simultâneo e igual do momentum global do fluxo de gás combustível injetado por cada um dos canais de gás combustível.

A Figura 4 e a Figura 5 são seções transversais
25 esquemáticas através dos canais de gás combustível de uma modalidade adicional do conjunto de queimador da Figura 1, no qual o fluxo de gás combustível fornecido ao distribuidor de gás combustível é fornecido a uma das câmaras de gás combustível e no qual uma porção controlada
30 do fluxo de gás combustível assim fornecida à câmara de gás

combustível pode passar para a segunda câmara de gás combustível.

Na modalidade ilustrada, a linha de fornecimento 120 fornece gás combustível à primeira câmara de gás combustível 111 por intermédio da primeira entrada 131. A segunda entrada 132 conecta a primeira câmara de gás combustível 111 com a segunda câmara de gás combustível. A segunda entrada 132 funciona como uma sede de válvula, para a válvula, ou bujão, manualmente operado, 160. Quando, conforme mostrado na Figura 4, a válvula 160 fecha completamente a segunda entrada 132, o fluxo de gás combustível inteiro fornecido pela linha de fornecimento 120 à primeira câmara de gás combustível 111 é injetado na zona de combustão por intermédio das passagens internas de condução de combustível 101 dos canais de gás combustível 100. Quando, por outro lado, a válvula 160 não fecha a segunda entrada 132 ou, como mostrado na Figura 5, não fecha completamente a segunda entrada 132, uma parte controlada do fluxo de gás combustível fornecida à primeira câmara de gás combustível 111 escorre para dentro da segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda entrada 132 e, posteriormente, é injetada para dentro da zona de combustão por intermédio das passagens externas de condução de combustível 102 dos canais de gás combustível.

Uma forma alternativa de válvula 160 é mostrada na Figura 6.

Conforme mostrado na Figura 7, uma válvula automaticamente operada 160 também pode ser usada para abrir ou fechar a entrada que conecta as duas câmaras de

gás combustível. Na modalidade ilustrada a linha de fornecimento 120 fornece gás combustível à segunda câmara de gás combustível 112 por intermédio da segunda entrada 132. A primeira entrada 131 conecta a segunda câmara de gás combustível 112 com a segunda câmara de gás combustível. A válvula automática 160 é montada na primeira entrada 131. Quando, a válvula 160 fecha completamente a primeira entrada 131, o fluxo de gás combustível inteiro fornecido pela linha de fornecimento 120 à segunda câmara de gás combustível 112 é injetado para a zona de combustão por intermédio das passagens externas de condução de combustível 102 dos canais de gás combustível 100. Quando, por outro lado, a válvula 160 não fecha a primeira entrada 131 ou não fecha completamente a primeira entrada 131, uma parte controlada do fluxo de gás combustível fornecida à segunda câmara de gás combustível 112 escorre para dentro da primeira câmara de gás combustível 111 por intermédio da primeira entrada 131 e, posteriormente, é injetada para dentro da zona de combustão por intermédio das passagens internas de condução de combustível 101 dos canais de gás combustível. Na modalidade ilustrada, a mesma unidade de controle comanda o controlador de fluxo 150 e a válvula 160.

Mediante controle do fluxo de gás combustível para uma da primeira e segunda câmara de gás combustível e mediante controle do fluxo de gás combustível a partir da câmara de gás combustível para a outra câmara de gás combustível, a invenção possibilita, para um determinado fluxo de fornecimento de gás combustível, controle simultâneo e igual do momentum global do fluxo de gás combustível

injetado por cada um dos canais de gás combustível.

As principais vantagens da presente invenção são a sua facilidade de operação e o fato de que as partes móveis exigidas do conjunto de queimador estão situadas afastadas da zona de combustão e, portanto, estão protegidas dos efeitos prejudiciais da atmosfera e das temperaturas dentro da zona de combustão.

REIVINDICAÇÕES

1. Conjunto de queimador compreendendo:

- pelo menos dois canais de gás combustível (100);
- pelo menos um canal de oxidante; e

5 • pelo menos uma face de saída na qual terminam os
pelo menos dois canais de gás combustível ou pelo menos um
dos canais de oxidante, ou ambos,

onde o conjunto de queimador compreende ainda:

a) meio para fornecer um fluxo de oxidante;

10 b) meio para injetar o fluxo de oxidante no pelo menos
um canal de fluido oxidante para criar pelo menos um fluxo
de oxidante injetado;

c) meio (120) para fornecer um fluxo de gás
combustível;

15 d) meio para injetar o fluxo de gás combustível nos
pelo menos dois canais de gás combustível (100) para criar
pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados;

e em que as direções de injeção do pelo menos um fluxo
de oxidante e dos pelo menos dois fluxos de gás combustível
20 são substancialmente convergentes e se cruzam em uma zona
de combustão a jusante do conjunto de queimador,

caracterizado pelo fato de que:

• os pelo menos dois canais de gás combustível
(100) compreendem uma passagem interna de condução de
25 combustível (101) formando uma saída interna de gás
combustível e uma passagem externa de condução de
combustível (102) formando uma saída externa de gás
combustível, as passagens de condução de combustível
interna e externa sendo arrançadas coaxialmente; e

30 • o meio para injetar o fluxo de gás combustível

compreende um distribuidor de gás combustível (110) para receber o fluxo de gás combustível a partir do meio para fornecer um fluxo de gás combustível (120), e tendo:

i) uma primeira câmara de gás combustível (111) em
5 conexão de fluido com a passagem interna de condução de combustível (101) dos pelo menos dois canais de gás combustível (100), a primeira câmara de gás combustível tendo uma primeira entrada (131) para receber o gás combustível fornecido pelo meio para fornecimento de fluxo
10 de gás combustível;

ii) uma segunda câmara de gás combustível (112) em conexão de fluido com a passagem externa de condução de combustível (102) dos pelo menos dois canais de gás combustível (100), a segunda câmara de gás combustível
15 tendo uma segunda entrada (132) para receber o gás combustível fornecido pelo meio para fornecimento de um fluxo de gás combustível; e

iii) o meio de controle de fluxo de gás combustível (140, 141, 142, 150, 160, 162) para controlar o escoamento
20 do fluxo de gás combustível respectivamente para a primeira e a segunda entrada,

- onde o meio para fornecer um fluxo de gás combustível (120) fornece o fluxo de gás combustível a uma da primeira (131) e segunda (132) entrada,

25 • onde a primeira (111) e a segunda (112) câmaras de gás combustível estão em conexão de fluido uma com a outra por intermédio da outra da primeira (131) e segunda (132) entradas, e

- onde o meio de controle de fluxo de gás
30 combustível (140, 150, 160) é equipado para controlar a

porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir de uma da primeira e segunda câmara de gás combustível para a outra câmara de gás combustível por intermédio da outra da primeira e segunda entradas.

5 2. Conjunto de queimador, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a segunda câmara de gás combustível (112) circunda pelo menos parcialmente e preferivelmente integralmente a primeira câmara de gás combustível (111).

10 3. Conjunto de queimador, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o meio para fornecer um fluxo de gás combustível (120) fornece o fluxo de gás combustível à primeira entrada (131) e pelo que o meio de controle de fluxo de gás combustível é
15 equipado para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da primeira câmara de gás combustível (111) para dentro da segunda câmara de gás combustível (112) por intermédio da segunda entrada (132).

 4. Conjunto de queimador, de acordo com a
20 reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o meio para fornecer um fluxo de gás combustível (120) fornece o fluxo de gás combustível à segunda entrada (132) e pelo que o meio de controle de fluxo de gás combustível é equipado para controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo
25 a partir da segunda câmara de gás combustível (112) para a primeira câmara de gás combustível (111) por intermédio da primeira entrada (131).

 5. Forno caracterizado por compreender um conjunto de queimador conforme definido em qualquer uma das
30 reivindicações 1 a 4.

6. Forno, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de ser um forno de fusão.

7. Método de queimar um gás combustível com um oxidante utilizando um conjunto de queimador conforme
5 definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 4, o método caracterizado por compreender:

a) fornecer um fluxo de oxidante;

b) injetar o fluxo de oxidante no pelo menos um canal
de fluido de oxidante para criar pelo menos um fluxo de
10 oxidante injetado;

c) fornecer um fluxo de gás combustível ao distribuidor de gás combustível;

d) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível para a primeira (131) e segunda (132) entrada;

15 e) injetar o fluxo de gás combustível nos pelo menos dois canais de gás combustível (100) para criar pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados,

f) queimar o pelo menos um fluxo de oxidante injetado e os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados na
20 zona de combustão a jusante do conjunto de queimador, onde o pelo menos um fluxo de oxidante injetado, e os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados, se cruzam,

onde:

- a etapa c) de fornecimento de um fluxo de gás
25 combustível ao distribuidor gás combustível (110) compreende fornecer o fluxo de gás combustível a uma da primeira (111) e segunda (112) câmara de gás combustível por intermédio da entrada da câmara de gás combustível e:

- a etapa d) de controle de escoamento do fluxo de
30 gás combustível para a primeira e segunda entrada

compreende:

d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível fornecido a uma da primeira e segunda câmara de gás combustível por intermédio da entrada da câmara de gás
5 combustível e

d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir de uma da primeira e segunda câmara de gás combustível para a outra câmara de gás combustível por intermédio da entrada da outra câmara de gás combustível.

10 8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de:

- a etapa c) de fornecimento de um fluxo de gás combustível ao distribuidor gás combustível (110) compreende fornecer o fluxo de gás combustível a primeira
15 câmara de gás combustível (111) por intermédio da primeira entrada da câmara de gás combustível e:

- a etapa d) de controle de escoamento do fluxo de gás combustível para a primeira e segunda entrada compreende:

20 d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível fornecido a primeira câmara de gás combustível por intermédio da entrada da referida primeira da câmara de gás combustível e

25 d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da primeira câmara de gás combustível para a segunda câmara de gás combustível por intermédio da entrada da referida segunda câmara de gás combustível.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de:

30 • a etapa c) de fornecimento de um fluxo de gás

combustível ao distribuidor gás combustível (110) compreende fornecer o fluxo de gás combustível a uma da segunda câmara de gás combustível (112) por intermédio da entrada da referida segunda da câmara de gás combustível e:

- 5 • a etapa d) de controle de escoamento do fluxo de gás combustível para a primeira e segunda entrada compreende:

d1) controlar o escoamento do fluxo de gás combustível fornecido a segunda câmara de gás combustível por
10 intermédio da entrada da referida segunda da câmara de gás combustível e

d2) controlar a porção do fluxo de gás combustível fluindo a partir da segunda câmara de gás combustível para a primeira câmara de gás combustível por intermédio da
15 entrada da referida primeira câmara de gás combustível.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, caracterizado pelo fato de que o fluxo de oxidante consiste em um oxidante que tem uma concentração molar de oxigênio de ao menos 50%,
20 preferivelmente de pelo menos 80%, mais preferivelmente de pelo menos 90%.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 10, caracterizado pelo fato de que um jato de oxidante auxiliar é injetado através das, ou nas
25 proximidades das saídas dos pelo menos dois canais de injeção de combustível, pelo que os jatos auxiliares de oxidante preferivelmente circundam os pelo menos dois fluxos de gás combustível injetados.

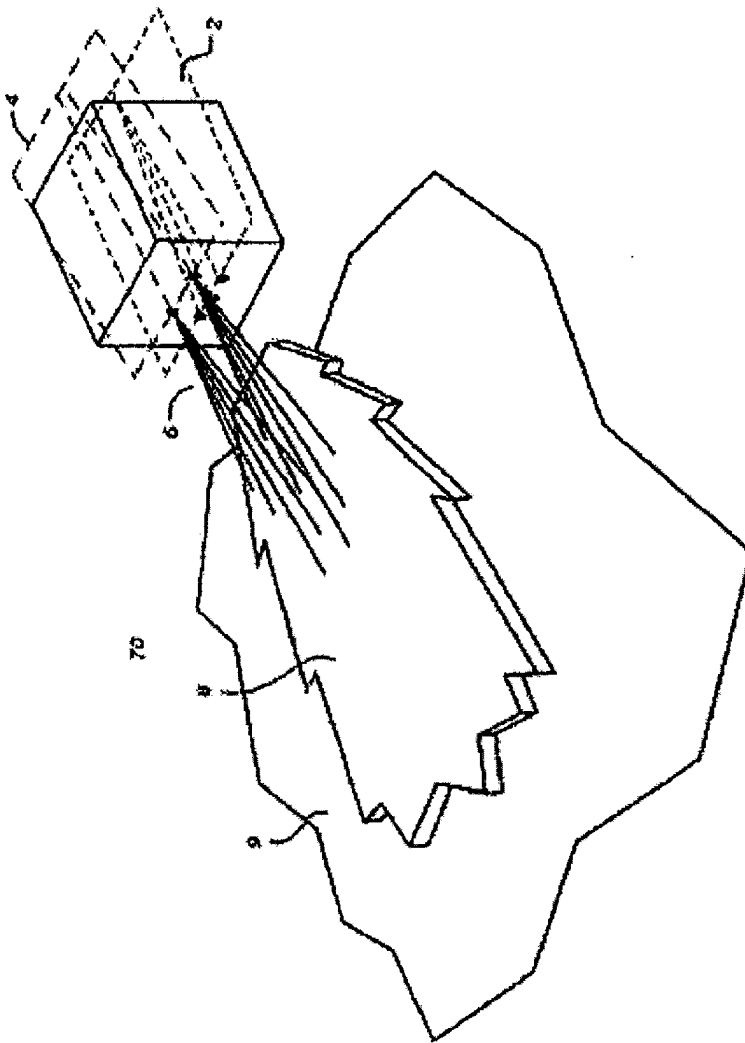


Fig. 1

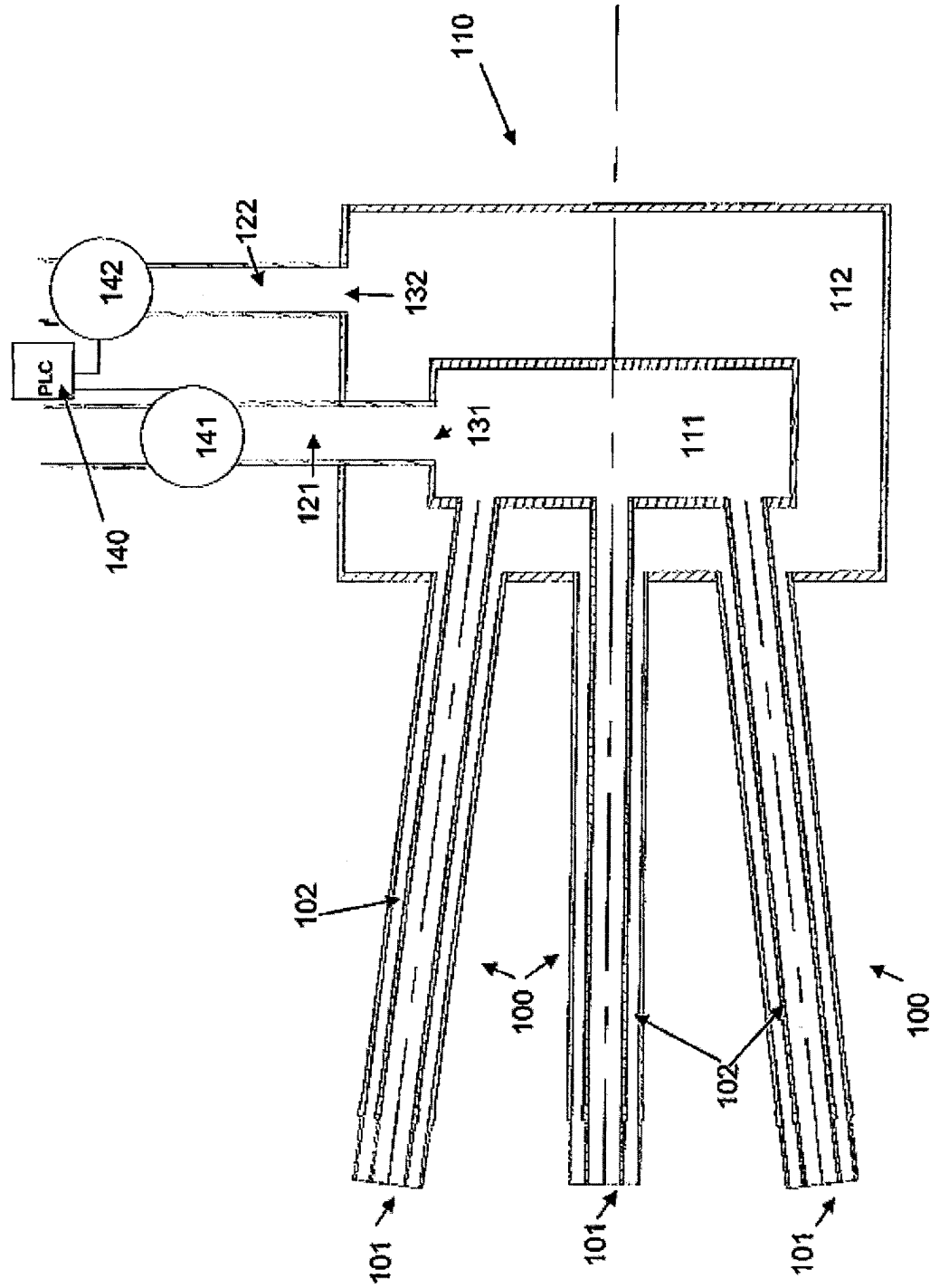


Fig. 2

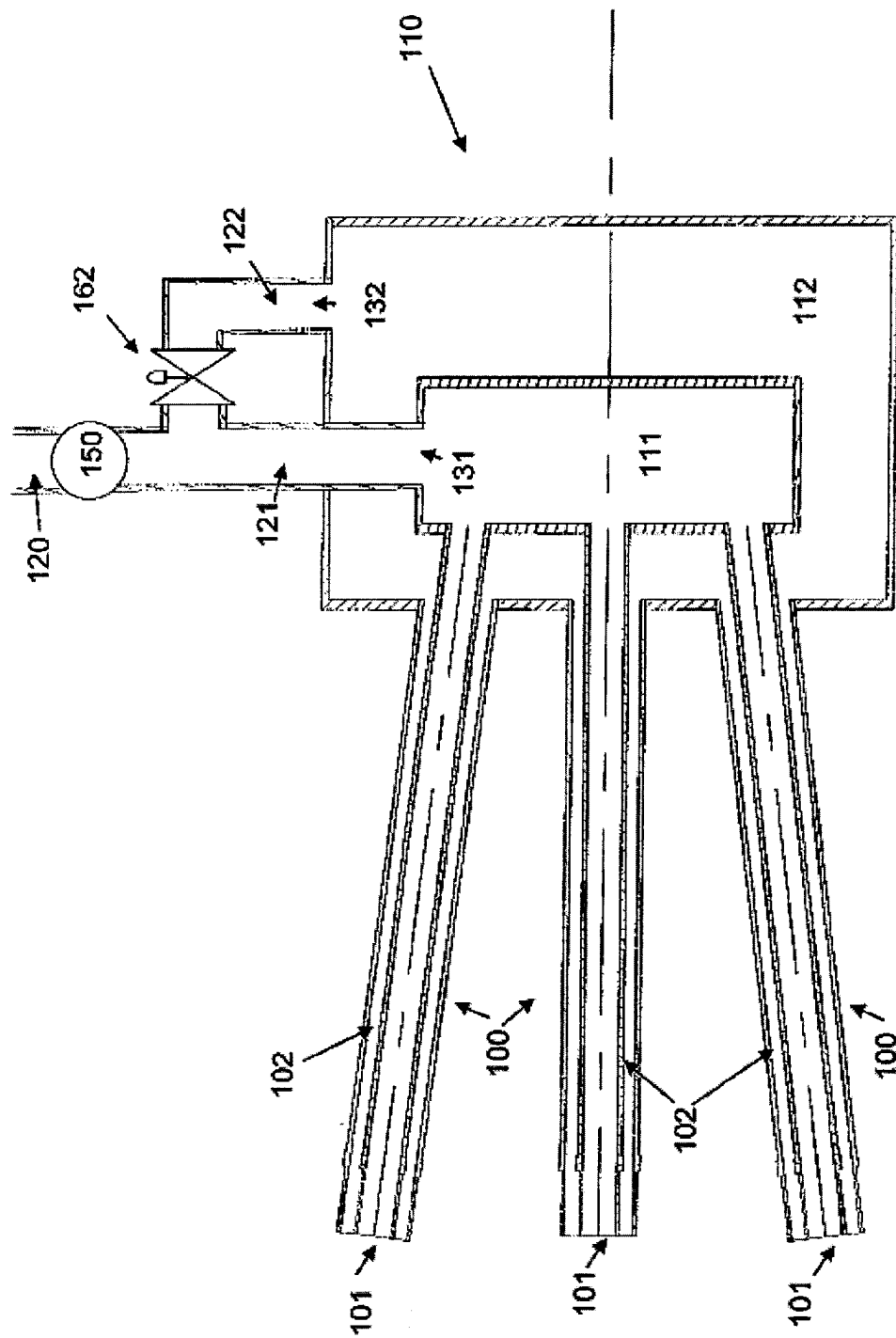


Fig. 3

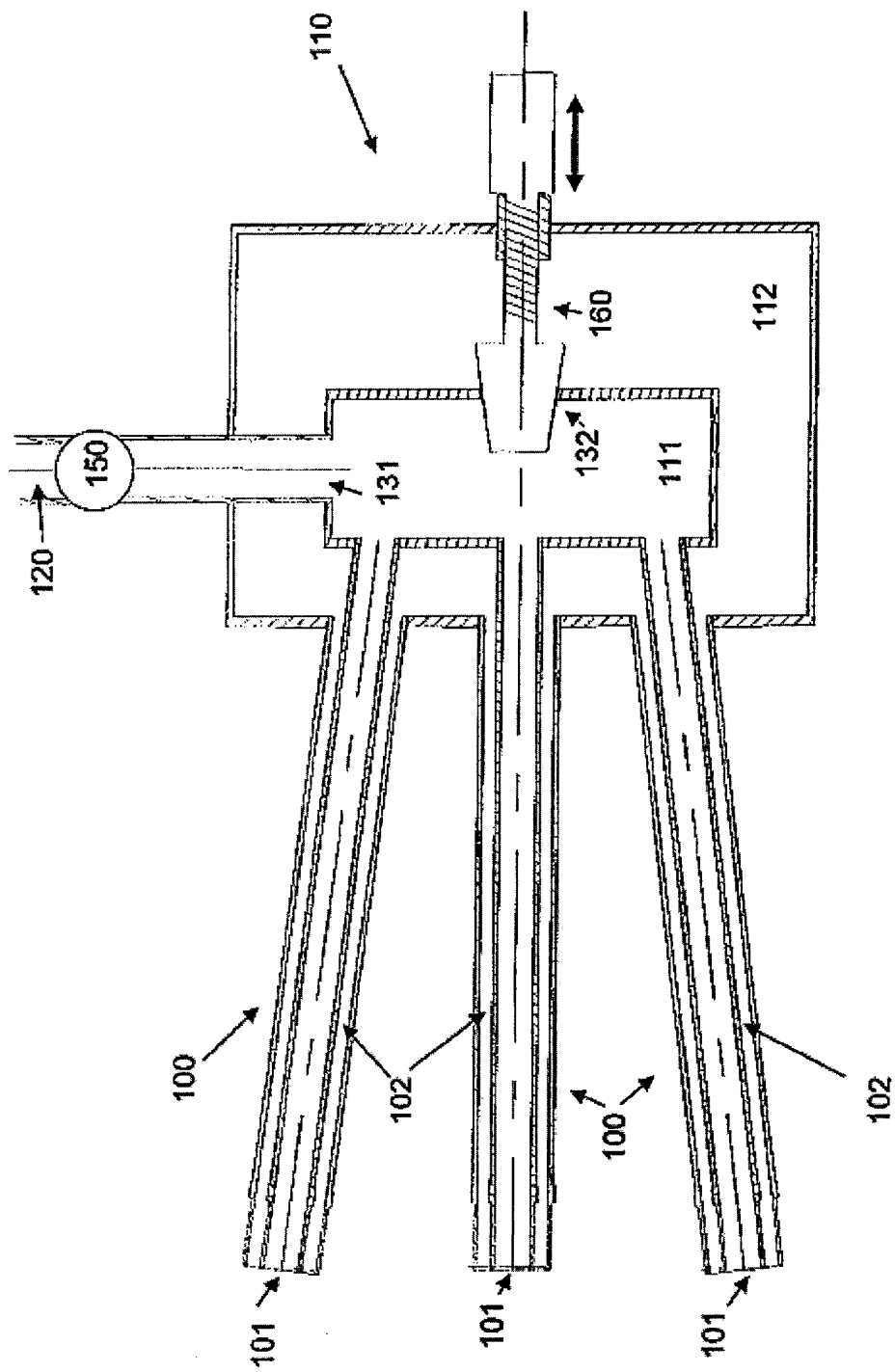


Fig. 4

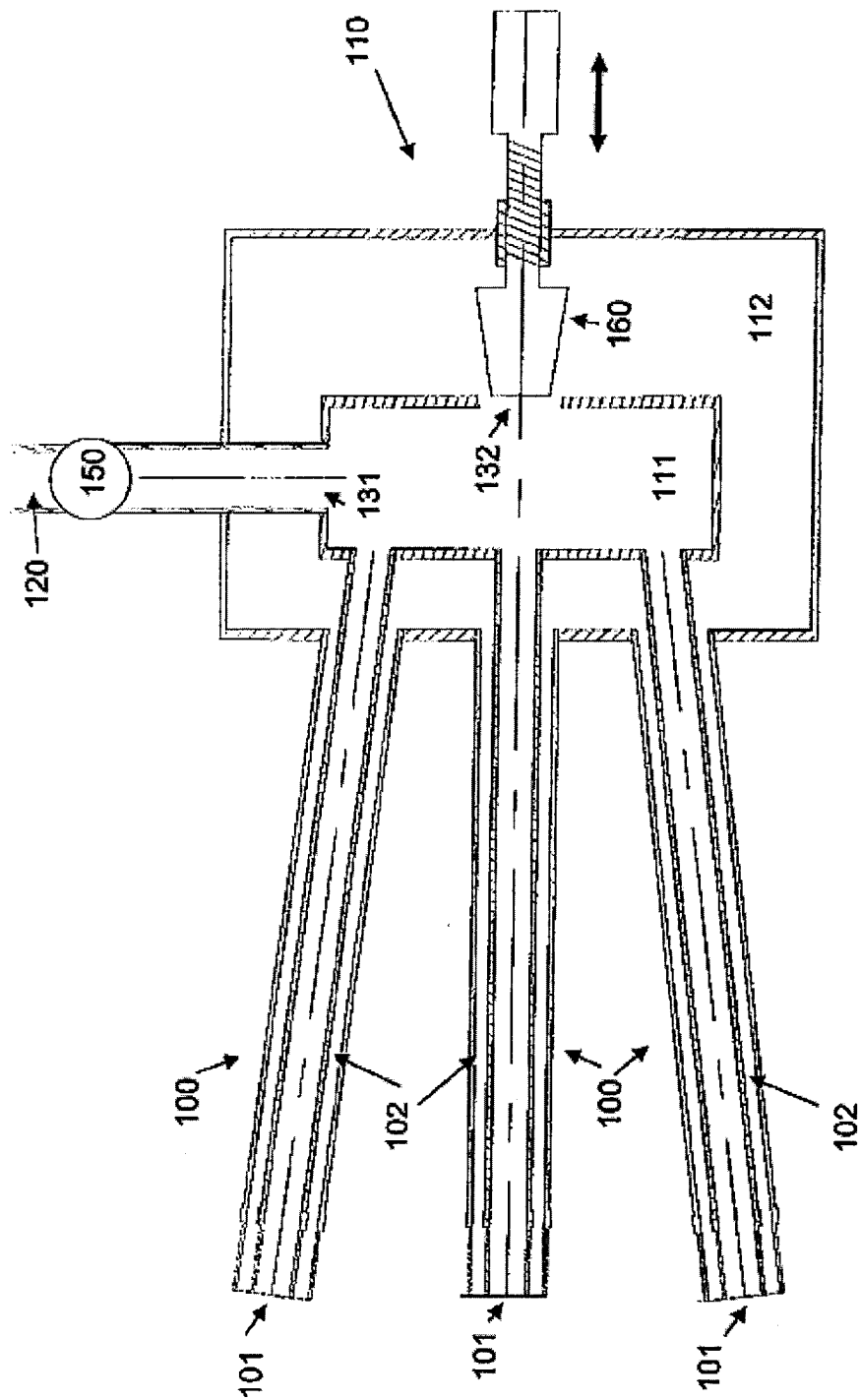


Fig. 5

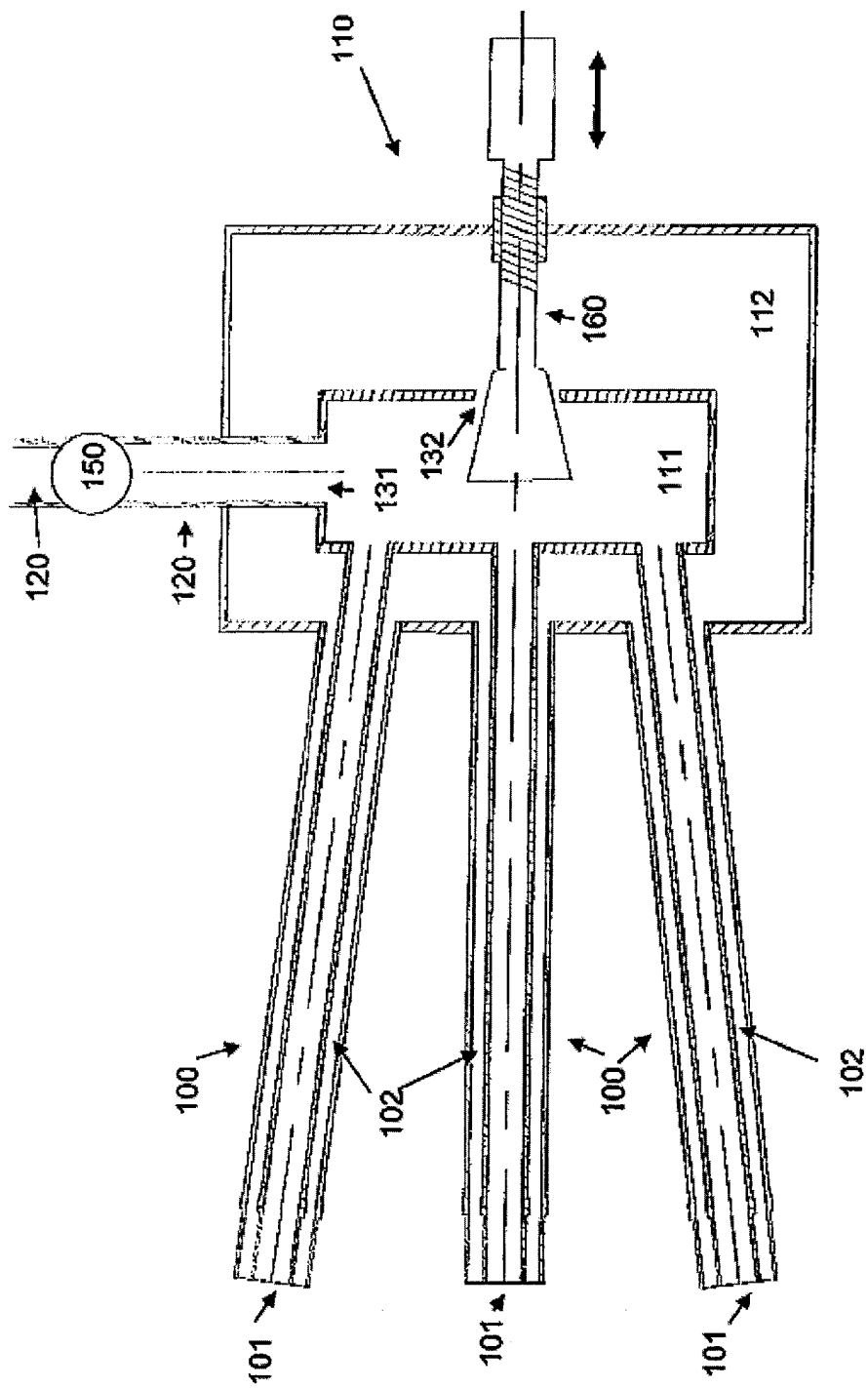


Fig. 6

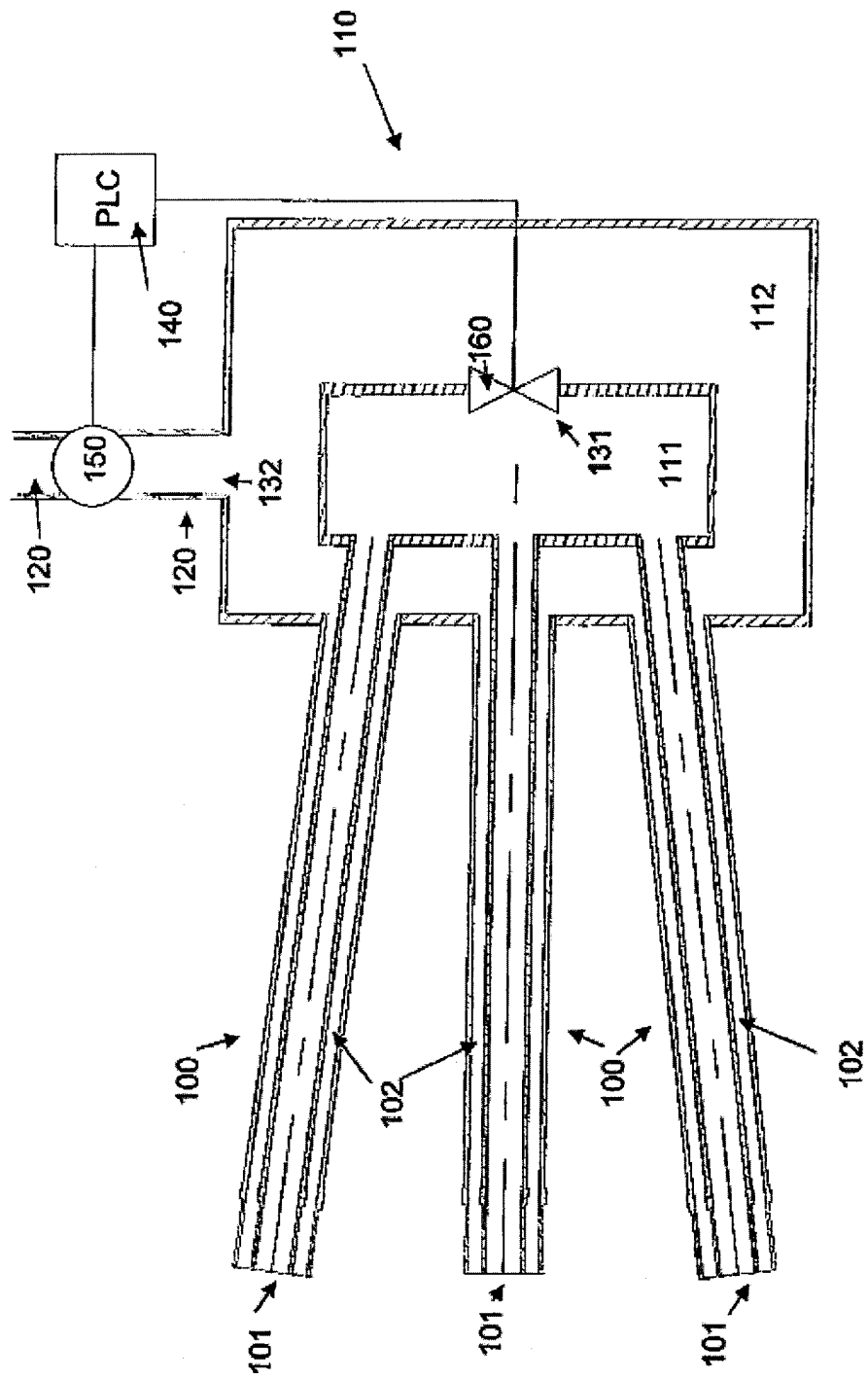


Fig. 7