

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(11) PI0200582-4 B1



(22) Data de Depósito: 01/03/2002  
(45) Data da Concessão: 06/09/2011  
(RPI 2122)

(51) Int.Cl.:  
C03B 5/235

(54) Título: MÉTODO PARA FUNDIR MATERIAL DE FORMAÇÃO DO VIDRO EM UM FORNO DE FUSÃO DE VIDRO.

(30) Prioridade Unionista: 02/03/2001 US 09/798,826

(73) Titular(es): The Boc Group, Inc.

(72) Inventor(es): Andrew Peter Richardson, Greg Floyd Prusia, John R. Leblanc, Neil George Simpson, Thomas G. Clayton

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO  
PARA FUNDIR MATERIAL DE FORMAÇÃO DO VIDRO EM UM FORNO  
DE FUSÃO DE VIDRO".**

**REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS**

5 O presente pedido é uma continuação-em-partes do pedido norte-americano Nº de Série 09/374.921, depositado em 16 de agosto de 1999.

**CAMPO DA INVENÇÃO**

A invenção refere-se ao uso de queimadores de oxigênio-combustível montados no topo de um forno para a fusão de vidro. Esta invenção adicionalmente refere-se ao uso de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível que utiliza o desdobramento em etapas da combustão interna ou externa no topo de um forno de fusão de vidro. A invenção se aplica tanto a fornos carregados com 100% de oxigênio-combustível, como a fornos aquecidos por meio elétrico ou por meio que não seja de oxigênio-combustível, tais como queimador(es) de ar-combustível ou suas combinações.

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

Em uma concretização, esta invenção refere-se ao uso de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível no topo de um forno de fusão de vidro para intensificar a capacidade de produção ou manter a capacidade de produção corrente, seja com a redução do reforço elétrico, seja como resultado da deterioração do equipamento recuperativo de calor existente, tais como recuperadores ou regeneradores. O processo envolve a substituição de uma porção da capacidade de energia elétrica ou de ar-combustível existente ou anteriormente existente pela energia de oxigênio-combustível. Com a exceção dos fornos regenerativos carregados pelo fundo e dos fornos elétricos, o processo envolve o bloqueio de portas regenerativas ou o isolamento de queimadores recuperativos. Em particular, a seleção do desenho, a angulação e o posicionamento dos queimadores sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno aperfeiçoam a velocidade de fusão, aumentam a produção do produto, apresentam uma melhor eficiência da energia e aperfeiçoam a qualidade do vidro. O controle preciso

da relação estequiométrica de combustão no queimador, a interação rica-pobre dos queimadores, e o desdobramento em etapas do combustível/oxygênio zonal do forno são usados para otimizar a transferência de calor, enquanto minimiza os óxidos de nitrogênio e as emissões de dióxido de enxofre.

Os fornos de carregamento direto, elétricos, recuperativos e regenerativos têm comumente sido envolvidos na fabricação de vidro e produtos de frita afins.

Os fornos regenerativos de ar-combustível se encontram em duas categorias: carregados transversalmente e carregados pelo fundo. Os fornos regenerativos carregados transversalmente apresentam múltiplas portas, tipicamente de três a oito em cada lado do forno, que são conectadas a um regenerador comum ou compartmentalizado para preaquecer o ar de combustão. Os regeneradores, que se apresentam em várias formas e tamanhos, são invertidos a cada 15-30 minutos dependendo da operação do forno. Durante cada ciclo de inversão, o ar de combustão originário de um ventilador que passa através de uma passagem em uma válvula de inversão entra na base do regenerador em um lado do forno e é preaquecido antes de entrar nas portas que são conectadas ao forno. O combustível na forma de óleo e/ou gás é injetado sob, sobre, através ou na lateral da porta para produzir uma chama que é inflamada no forno de fusão de vidro. Os produtos quentes da combustão saem do forno através da porta lateral oposta, abaixo através dos tijolos de empilhamento do regenerador, liberando calor e depois saindo para a chaminé de exaustão através de uma segunda passagem na válvula de inversão. À medida que o regenerador lateral-ar de combustão de entrada é esfriado, o regenerador de exaustão é aquecido até que a válvula de inversão seja invertida e o ar de combustão entre no regenerador de exaustão anteriormente quente.

O vidro é fundido parcialmente devido à radiação da chama de ar-combustível, mas principalmente pela re-radiação do topo e das paredes que são aquecidas pelos produtos de combustão. Para se obter uma maior capacidade de produção de vidro no forno, muitos fornos usam um reforço

elétrico por meio de eletrodos imersos no vidro. Isto é muito dispendioso e pode causar danos às paredes do tanque de contato de vidro. Com o tempo, os regeneradores podem ficar bloqueados devido aos danos térmicos/estruturais e/ou à propagação de matérias-primas de formação do vidro,

5 também conhecidos como matérias-primas ou fornadas, ou à condensação de espécies voláteis liberadas da matéria-prima do vidro. À medida que os regeneradores começam a bloquear ou a falhar, a temperatura de preaquecimento do ar no forno irá diminuir, e a pressão atmosférica dentro do forno irá aumentar, reduzindo a eficiência térmica do forno. A maior parte do combustível e do ar de combustão seria exigida para manter a mesma velocidade de produção de vidro. Mais importante, devido ao aumento na pressão do forno, a velocidade da produção de vidro tem que ser diminuída de modo a não danificar os materiais refratários que formam a superestrutura do forno.

10

Para recuperar a capacidade de produção perdida para os fornecimentos anteriores do regenerador ou para aumentar a produção em um forno desobstruído, o oxigênio foi usado por quatro meios: o enriquecimento do ar ordinário com oxigênio, o lançamento de oxigênio específico sob as chamas da porta, a instalação de um queimador de oxigênio-combustível entre a primeira porta e o carregamento de queimadores de oxigênio-combustível resfriados por água e de parede lateral instalados através da porta. Os aumentos de capacidade originários destas tecnologias são limitados pelo acesso, pelas exigências do processo ou pelos limites de temperatura do refratário.

15

O forno regenerativo carregado pelo fundo é similar na operação a um forno carregado transversalmente; entretanto, ele tem apenas duas portas na parede de extremidade que são conectadas aos regeneradores individuais. A deterioração do regenerador pode ocorrer pelo mesmo mecanismo como nos fornos carregados transversalmente, sendo, similarmente, utilizados o reforço de oxigênio e o reforço elétrico.

20

Para recuperar a capacidade de produção perdida para os fornecimentos acima mencionados do regenerador ou para aumentar a produção, o oxigênio foi usado por três meios: o enriquecimento do ar ordinário

30

com oxigênio, o lançamento de oxigênio específico sob a porta e a instalação de queimadores de oxigênio-combustível através do forno. Estas tecnologias são tipicamente limitadas pela capacidade devido às limitações de temperatura dentro do forno, por causa da localização e preocupações em razão do superaquecimento do forno.

O forno recuperativo utiliza pelo menos um trocador de calor do tipo recuperador. Diferente do regenerador, o recuperador é contínuo com um trocador de calor de fluxo simultâneo quente, onde os gases de exaustão preaquecem o ar de combustão, que é ligado por dutos aos queimadores de ar-combustível individuais ao longo dos lados do forno. Os fornos recuperativos podem também usar um reforço elétrico. Como com os fornos recuperativos, os recuperadores podem começar a perder sua eficiência e habilidade para preaquecer o ar. Eles podem ficar bloqueados ou desenvolver vazamentos entre as paredes que separam o ar de combustão e os gases de exaustão.

Para recuperar a capacidade de produção perdida originária dos fornecimentos acima mencionados do recuperador ou para aumentar a produção, o oxigênio foi usado por três meios: o enriquecimento do ar ordinário com oxigênio, o lançamento de oxigênio específico sob os queimadores de combustível-ar e a instalação de queimadores de oxigênio-combustível cada qual através dos altares do forno. Estas tecnologias são tipicamente limitadas na capacidade devido às limitações de localização do queimador e preocupações em razão do superaquecimento do forno.

Os fornos de carregamento direto não utilizam o ar preaquecido e são, portanto, menos eficientes do que os exemplos anteriores de desenho de forno. Para aperfeiçoar a eficiência térmica ou para aumentar a capacidade de produção, os queimadores de oxigênio-combustível de parede lateral apresentam queimadores de ar-combustível substituídos.

Os fornos elétricos ou fornos que utilizam a eletricidade para a maior parte da fusão apresentam tipicamente uma operação muito dispendiosa e são submetidos à uma duração mais curta do que os fornos carregados de combustível fóssil típicos. Uma vez projetados, é difícil aumentar a

capacidade de produção. Esta invenção se refere ao que é comumente denominado na indústria de fornos elétricos de topo quente e topo aquecido e não se aplica a fornos de topo frio.

A patente norte-americana Nº 5.139.558, para Lauwers, descreve o uso de um queimador carregado de oxigênio auxiliar montado no topo do forno de momento elevado e resfriado por água em um forno de fusão de vidro, o qual é direcionado para a interface dos ingredientes de formação de vidro sólido e fundido em um ângulo direcionado para cima com relação ao fluxo de vidro, por meio do que os ingredientes de formação de vidro sólido são mecanicamente retidos, sendo assim impedidos de escapar da zona de fundição.

A patente norte-americana Nº 3.337.324, para Cable, descreve um processo para fundir a matéria-prima em um forno de vidro que usa um queimador posicionado para queimar substancialmente sobre a extremidade de alimentação de um forno resfriado por água.

No passado, os queimadores montados no topo de um forno foram cogitados na indústria de vidro, mas foram desconsiderados. Foi percebido que o calor liberado dos queimadores montados no topo de um forno era grande demais, resultando na fusão da coroa (topo) do forno. Além disso, as chamas de momento elevado originárias dos queimadores soprariam as matérias-primas ao redor, prejudicando as paredes do forno e gerando uma camada de bolhas gasosas, comumente denominadas de espuma, sobre a superfície fundida do vidro.

Recentemente, foi proposta a instalação de queimadores de oxigênio-combustível montados no topo de um forno em fundidores de vidro revestido refratário. Estes queimadores são direcionados para baixo em um ângulo maior do que 45° com relação à superfície da matéria-prima de formação do vidro em uma velocidade controlada de modo a não transpor a matéria-prima solta para a atmosfera do forno, e são adicionalmente controlados, de tal modo que um fluxo de combustível e oxigênio geralmente colunar seja queimado próximo à superfície de topo da matéria-prima de formação do vidro para produzir uma chama que atinge a superfície da matéria-

prima de formação do vidro. Isto permite um aumento significativo na transferência de calor para o vidro, enquanto mantém as temperaturas do refratário dentro de limites de operação seguros, e impede o superaquecimento do topo e das paredes do forno. Esta abordagem da tecnologia de usar queimadores (que não são executados em etapas) montados no topo de um forno como a principal fonte de calor em um forno de fusão de vidro que não apresenta quaisquer regeneradores ou recuperadores, é descrita no pedido de patente norte-americano Nº 08/992.136, para LeBlanc, que é aqui incorporado para referência, como transcrito abaixo na íntegra.

O desenho de um queimador de combustível de oxigênio com desdobramento em etapas integral é descrito na patente norte-americana Nº 5.458.483, para Taylor. Seu uso em uma configuração montada no topo de um forno não foi, contudo, contemplado.

É desejável proporcionar processos para o desdobramento em etapas da combustão nas concretizações que aperfeiçoam a transferência de calor e/ou emissões inferiores de óxidos de nitrogênio, na operação de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo de um forno de fusão de vidro.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere tanto a fornos de vidro de 100% de oxigênio-combustível como a fornos de ar-combustível de intensificação de oxigênio-combustível com ou sem o uso de regeneradores ou dispositivos de recuperação de calor e/ou o enriquecimento de oxigênio. Conseqüentemente, a presente invenção se refere tanto à modificação dos fornos de vidro existentes como a fornos de vidro de finalidade dedicada recentemente projetados.

De acordo com a presente invenção, os fornos de fusão de vidro de todos desenhos podem ser reforçados com o uso de pelo menos um queimador(es) de combustível de oxigênio montado(s) no topo do forno posicionado(s) sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro à medida que os materiais entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e aperfeiçoar a qualidade do vidro e/ou a produção do produto de vi-

dro. Devido à alta velocidade e produção da fusão de vidro gerada pelo desenho e pelo posicionamento destes queimadores, dependendo da condição e do tipo de forno, pelo menos um ou mais dos seguintes pontos podem ser alcançados: uma maior produção de vidro, uma melhor qualidade do vidro, a 5 redução no reforço elétrico, a recuperação da produção perdida devido à recuperação de calor ineficiente (isto é, regeneradores bloqueados), a redução do uso de oxigênio pela substituição do enriquecimento de oxigênio da atmosfera do forno, a redução do uso de oxigênio pela substituição do lançamento de oxigênio, a redução do uso de oxigênio pela substituição de 10 queimadores de oxigênio-combustível convencionais posicionados através das paredes de um forno de vidro, a redução na temperatura da superestrutura do forno, uma maior duração do forno, uma melhor eficiência da energia, a redução nas emissões dos óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, a redução no uso de combustível fóssil, a redução na sucata de vidro reciclado, o controle da temperatura de saída do vidro, e uma maior produção do 15 produto de vidro.

Esta invenção pode ser aplicada aos seguintes tipos de fornos.

Nas aplicações de fornos elétricos de topo quente desta invenção, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível será montado no topo do forno. 20 Nas aplicações de fornos regenerativos carregados transversalmente desta invenção pode, às vezes, ser necessário pelo menos um par de portas opostas a serem totalmente ou parcialmente bloqueadas ou isoladas. Nas aplicações de forno regenerativo carregado pelo fundo desta invenção, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível será montado no topo do forno e 25 o fluxo de ar de combustão será reduzido por uma porção do fluxo máximo do desenho original. Em todas as aplicações de forno recuperativo desta invenção, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível será montado no topo do forno. Nos fornos de múltiplos queimadores, os queimadores montados na parede adjacentes aos queimadores montados no topo do forno 30 devem ser removidos e o suprimento de ar isolado. Nas aplicações de queimador único ou de porta única, o fluxo de ar de combustão será reduzido por uma porção do fluxo máximo do desenho original.

Em todas as aplicações de forno de carregamento direto desta invenção, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível será montado no topo do forno. Nos fornos de múltiplos queimadores, os queimadores montados na parede adjacentes aos queimadores montados no topo do forno devem ser removidos e o suprimento de ar descontinuado. Nas aplicações de queimador único ou de porta única, o fluxo de ar de combustão será reduzido por uma porção pelo fluxo máximo do desenho original.

Em todos os casos acima, o escopo da invenção é eficazmente o mesmo: a fusão do vidro que foi anteriormente executada por meio de ar-combustível ou oxigênio-combustível incluindo, mas não exclusiva dos fornos que utilizam o reforço elétrico ou os processos de reforço de oxigênio convencionais, é substituída pelos queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno posicionados sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que são introduzidas no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e/ou aperfeiçoar a qualidade do vidro e/ou a produção do produto de vidro. Devido à habilidade em posicionar estes queimadores nas possíveis localizações, é conseguida uma maior transferência de calor para as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro não fundidas.

Em todos os casos, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno é posicionado sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que são introduzidas no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e aperfeiçoar a qualidade do vidro, e em todas as aplicações de ar-combustível de múltiplas portas e múltiplos queimadores pelo menos um par de portas ou par de queimadores é isolado. Em todas as aplicações de porta única e de queimador único, o combustível e o ar de combustão são reduzidos a uma porção abaixo do desenho máximo. Os queimadores montados no topo mais eficientes fornecem energia para substituir a energia convencional removida do processo e a energia adicional exigida para alcançar as exigências de processo desejadas. O posicionamento dos queimadores sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno aperfeiçoa a velocidade de fusão. As relações de oxigênio e combustível estequiométricas e as características de fluxo dos

queimadores montados no topo do forno e os queimadores de ar-combustível remanescentes podem ser controladas de modo a minimizarem a emissão de óxido nitroso e dióxido de enxofre originária do forno de vidro.

Uma concretização adicional desta invenção se refere ao uso de 5 pelo menos um queimador de oxigênio-combustível que utiliza o desdobramento em etapas da combustão interna ou externa, posicionado no topo de um forno de fusão de vidro. Esta concretização se aplica tanto a fornos de fusão de vidro de 100% de oxigênio como a fornos aquecidos por meio de combustível elétrico ou por meio de não oxigênio (tal como o queimador de 10 ar-combustível). A aplicação em fornos carregados de oxigênio-combustível apresenta uma maior velocidade de fusão, resultando pelo menos em um aperfeiçoamento da qualidade do vidro, na capacidade de produção de vidro ou na eficiência da energia (pela redução do combustível fóssil ou do reforço elétrico) por saída unitária do vidro. A aplicação da presente invenção a fornos de não-oxigênio-combustível permite que a qualidade do vidro seja aperfeiçoada, que a capacidade de produção seja intensificada ou que a capacidade de produção corrente seja mantida com ou a redução do reforço elétrico ou apesar da deterioração do equipamento recuperativo de calor existente. Nas instalações de retroajuste, o processo envolve o suplemento ou a 15 substituição de uma porção da capacidade de energia elétrica, de oxigênio-combustível ou de ar-combustível anteriormente existente com a energia de oxigênio-combustível através de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível com desdobramento em etapas da combustão integral ou externa localizado no topo do forno.

20 Nas novas instalações de forno de vidro, a presente invenção permite o uso de queimadores de 100% de oxigênio-combustível, incluindo pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno para o qual a combustão é integralmente ou externamente executada em etapas. Opcionalmente, todos os queimadores são montados no topo do 25 forno.

A presente invenção apresenta, portanto, um processo de fundir a matéria-prima do vidro em um forno de fusão de vidro, o dito forno apre-

sentando uma parede traseira, altares acima das paredes laterais, e uma parede dianteira a jusante conectada ao topo de um forno, onde pelo menos um aparelho de carregar matéria-prima no forno de fusão para carregar a matéria-prima de formação do vidro é contido pelo menos ou na parede tra-

5 seira ou na parede lateral, que compreende:

a provisão de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível no topo do dito forno sobre a dita matéria-prima, onde pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível é adaptado para a combustão executada em etapas;

10 a provisão de um fluxo de combustível para pelo menos um queimador de oxigênio-combustível;

a provisão de um fluxo de oxidante gasoso em associação com pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível;

a injeção de combustível e de oxidante no forno; e

15 a combustão do dito combustível originário de pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível, de tal modo que pelo menos uma parte da combustão seja efetuada nas proximidades da dita matéria-prima de formação do vidro para intensificar a transferência convectiva e radioativa de calor para a dita matéria-prima de formação do vidro sem substancialmente perturbar o dita matéria-prima de formação do vidro.

Em uma concretização, a invenção apresenta um processo de fundir matéria-prima de formação do vidro em um forno de fusão de vidro, o dito forno apresentando uma parede traseira, altares acima das paredes laterais, e uma parede dianteira a jusante conectada ao topo de um forno, onde pelo menos um aparelho de carregar matéria-prima no forno de fusão para carregar a matéria-prima de formação do vidro é contido pelo menos ou na parede traseira ou na parede lateral, que compreende:

a provisão de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível no topo do dito forno sobre a dita matéria-prima;

30 a provisão de um fluxo de combustível líquido a pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível;

a provisão de um fluxo de oxidante gasoso em associação com

pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível;

- a injeção de combustível e oxidante gasoso no forno; e
- a combustão do dito combustível.

Nesta concretização, o queimador de oxigênio-combustível pode

- 5 ser adaptado para a combustão executada em etapas, que inclui
  - a combustão do dito combustível originária de pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível, de tal modo que pelo menos uma parte da combustão seja efetuada nas proximidades da dita matéria-prima de formação do vidro para intensificar a transferência convectiva e radioativa
  - 10 de calor para a dita matéria-prima de formação do vidro sem substancialmente perturbar a dita matéria-prima de formação do vidro.

- 15 Em outra concretização, a invenção apresenta um processo de fundir matéria-prima de formação do vidro em um forno de fusão de vidro, o dito forno apresentando uma parede traseira, altares acima de paredes laterais, e uma parede dianteira de extremidade a jusante conectada a um topo, onde pelo menos um aparelho de carregar matéria-prima no forno de fusão para carregar a matéria-prima de formação do vidro é contido pelo menos ou na parede traseira ou na parede lateral, que compreende:

- 20 a provisão de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível no topo do dito forno sobre a dita matéria-prima, onde pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível é adaptado para a combustão executada em etapas de combustível e contém pelo menos um injetor de oxidante externo e dois injetores de combustível internos, o injetor de combustível mais interno sendo adaptado para a injeção de combustível de alta
- 25 velocidade e o outro injetor de combustível, disposto entre o injetor de combustível mais interno e o injetor de oxidante externo, sendo adaptado para a injeção de combustível de velocidade mais baixa;

- 30 a provisão de um fluxo de combustível para pelo menos um dito queimador de oxigênio-combustível, onde o fluxo de combustível através do injetor de combustível mais interno apresenta um momento mais elevado do que o fluxo de combustível através do outro injetor de combustível;

a provisão de um fluxo de oxidante gasoso para o injetor de oxi-

dante externo, que apresenta um momento mais baixo do que o fluxo de combustível através do injetor de combustível mais interno;

- a combustão do dito combustível originária de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível, de tal modo que pelo menos uma parte 5 da combustão seja efetuada nas proximidades da dita matéria-prima de formação do vidro para intensificar a transferência convectiva e radioativa de calor para a dita matéria-prima de formação do vidro sem substancialmente perturbar a dita matéria-prima de formação do vidro.

Em outra concretização, a presente invenção apresenta um 10 queimador de oxigênio-combustível que compreende pelo menos um injetor de oxidante externo e dois injetores de combustível internos, o injetor de combustível mais interno sendo adaptado para a injeção de combustível de alta velocidade e o outro injetor de combustível sendo adaptado para a injeção de combustível de velocidade mais baixa.

15 Em uma concretização adicional, a presente invenção apresenta um processo de fundir matéria-prima em um forno de vidro que apresenta regeneradores, recuperadores e/ou reforço elétrico, o dito forno apresentando paredes laterais, uma parede traseira, uma parede dianteira e um topo, que compreende:

20 a provisão de pelo menos um queimador no topo do dito forno sobre a dita matéria-prima;

a provisão de um fluxo de oxidante gasoso para pelo menos um dito queimador;

25 a provisão de um fluxo de combustível gasoso para pelo menos um dito queimador;

a geração de uma chama originária de pelo menos um dito queimador,

a dita chama apresentando uma velocidade suficiente para maximizar a transferência de calor originária da dita chama para a dita matéria-prima sem substancialmente perturbar a dita matéria-prima, e

30 a provisão de oxigênio adicional para completar a combustão na superfície ou próximo desta da dita matéria-prima originária de pelo menos

um injetor de oxigênio no topo do dito forno.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Características adicionais e outros objetivos e vantagens desta invenção se tornarão evidentes a partir da seguinte descrição detalhada feita

5 com referência aos desenhos, nos quais:

A Figura 1 é uma vista longitudinal em seção transversal de um forno de fusão de vidro, de acordo com a presente invenção.

A Figura 2A é uma vista plana em seção transversal de uma concretização regenerativa carregada transversalmente do forno de fundição  
10 de vidro da Figura 1 ao longo da linha 2-2.

A Figura 2B é uma vista plana em seção transversal de uma concretização regenerativa carregada pelo fundo do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo da linha 2-2.

A Figura 2C é uma vista plana em seção transversal de uma concretização recuperativa carregada transversalmente do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo da linha 2-2.

A Figura 2D é uma vista plana em seção transversal de uma concretização recuperativa carregada pelo fundo do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo das linhas 2-2.

A Figura 2E é uma vista plana em seção transversal de uma concretização de fundidor unitário do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo das linhas 2-2.

A Figura 3 é uma vista em seção transversal do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo da linha 3-3, que ilustra dois queimadores de  
25 oxigênio-combustível adjacentes à parede de extremidade a montante do forno.

A Figura 4 é uma vista em seção transversal alternativa do forno de fusão de vidro da Figura 1 ao longo da linha 3-3 que ilustra um queimador de oxigênio-combustível adjacente à parede de extremidade a montante do  
30 forno.

A Figura 5 é uma vista em seção transversal de um queimador de oxigênio-combustível e uma representação esquemática de uma chama

de queimador originária do queimador de oxigênio.

A Figura 6 é uma vista em elevação em seção transversal de um forno de fusão de vidro que apresenta um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno de combustão integralmente executada em etapas.

A Figura 7 é uma vista em elevação em seção transversal de um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno com um meio de desdobramento em etapas da combustão externa associado.

A Figura 8 é uma vista plana esquemática de um forno de fusão de vidro que apresenta um agrupamento de queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno que operam em diferentes relações estequiométricas para alcançar o desdobramento em etapas entre queimadores.

A Figura 9 é uma vista em elevação em seção transversal de um forno de fusão de vidro que apresenta um topo montado em um queimador de oxigênio-combustível e um borbulhador de oxigênio associado para proporcionar o oxigênio em etapas à superfície da matéria-prima do vidro, através da fusão.

A Figura 10 é uma vista em elevação em seção transversal de um queimador de oxigênio-óleo montado no topo do forno com injetores de oxigênio em etapas, de acordo com a presente invenção.

A Figura 11 é uma vista recortada esquemática de um queimador de oxigênio-combustível em etapas por combustível.

#### DESCRÍÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Nos fornos de vidro para os quais se destina a presente invenção, um queimador típico descarrega uma mistura de combustível e ou ar ou oxigênio em uma relação específica de combustível-oxidante, para produzir uma mistura combustível. Uma vez carregada, esta mistura combustível é queimada para produzir uma chama que é usada para aquecer e fundir as matérias-primas do vidro. O processo da presente invenção difere daquele utilizado em fornos de oxigênio-combustível e de ar-combustível carregados de combustível fóssil convencional, onde a transferência de calor é efetuada

principalmente pela radiação diretamente das paredes e do topo do forno e da radiação direta originária das chamas. O processo que utiliza pelo menos um queimador(es) de oxigênio-combustível montado(s) no topo de um forno, além de um componente de transferência de calor de radiação, apresenta

5 uma transferência convectiva significativa de calor devido ao incidência e à reação final de espécies intermediárias reativas, tais como monóxido de carbono, hidrogênio, e radicais de hidroxila, aos produtos de combustão estável, tais como o dióxido de carbono e o vapor de água na superfície da matéria-prima do vidro. Este tipo de transferência de calor será intensificada, quando

10 o queimador de oxigênio-combustível for executado em etapas, seja integralmente (dentro do bloco de queimador), seja externamente, de modo a retardar uma parte da combustão, diminuindo assim a temperatura da chama e as perdas de calor radiante até que a superfície do vidro seja alcançada. Como resultado, é reduzida a transferência de calor para a superestrutura do forno.

15

Combustíveis adequados para a combustão incluem, embora não se limitem ao metano, ao gás natural, ao gás natural liquefeito, ao propano, ao gás propano liquefeito, ao butano, aos gases BTU inferiores, tais como o gás de carvão, o gás de gasogênio ou semelhante, o óleo vaporizado ou atomizado, o querosene ou diesel, ou misturas dos mesmos, seja na temperatura ambiente, seja na forma preaquecida. Os oxidantes preferidos incluem o ar enriquecido de oxigênio, contendo uma quantidade maior do que 20,9 por cento em volume de oxigênio a cerca de 80 por cento em volume, preferivelmente maior do que 50 por cento em volume, tal como produzido por filtração, absorção, separação de membrana, ou semelhante; oxigênio impuro, tal como aquele produzido, por exemplo, por um processo de absorção por oscilação de vácuo e contendo cerca de 80 por cento em volume a cerca de 95 por cento em volume de oxigênio; e oxigênio "industrialmente" puro contendo 90 por cento em volume a cerca de 100 por cento em volume de oxigênio, tal como é produzido por uma instalação de separação de ar criogênico. O oxidante pode ser introduzido ou na temperatura ambiente ou na forma preaquecida. O combustível e o oxidante são, em geral, in-

20

25

30

troduzidos no forno através de uma montagem de queimador.

A montagem de queimador geralmente inclui um bloco de queimador formado para incluir uma câmara de chama que apresenta aberturas de entrada e saída, um meio de queimador para descarregar combustível em uma câmara de chama formada no bloco de queimador e um meio para descarregar oxigênio na câmara de chama. Na operação, o oxigênio descarregado mistura-se com o combustível provido pelo meio de queimador de descarga dentro da câmara de chama. Esta mistura inflamável de combustível e oxigênio pode ser queimada para definir uma chama que apresenta uma porção de raiz na câmara de chama e uma porção de ponta do lado de fora da câmara de chama. Se a montagem de queimador a ser usada compreender um queimador "internamente em etapas" para fins de combustão secundária, o bloco de queimador poderá adicionalmente incluir um meio para conduzir o oxigênio do lado de fora da câmara de chama, tal como para as portas de descarga de oxigênio em torno da abertura de saída da câmara de chama. Na operação, o oxigênio pode passar através do meio de derivação formado no bloco de queimador para as portas de descarga de oxigênio, e ser ejetado a partir do bloco de queimador para uma região de "segundo estágio" a jusante contendo uma porção de chama e que permanece no lado de fora da câmara de chama no forno, para aquecer as matérias-primas e o material de fornada do vidro.

Em certas concretizações preferidas, o bloco de queimador integralmente em etapas é formado de um material refratário e inclui uma parede externa formada para incluir a abertura de entrada da câmara de chama e uma pluralidade de portas de admissão de oxigênio em torno da abertura de entrada. O bloco de queimador também inclui uma parede de forno configurada para permanecer em um forno e formada para incluir a abertura de saída da câmara de chama e a pluralidade de portas de descarga de oxigênio em torno da abertura de saída. Nas concretizações alternativas, um ou mais meios de entrada de oxidante podem ser providos externamente ao bloco de queimador, conforme descrito abaixo, para permitir a combustão executada em etapas a ser efetuada no forno.

Materiais adequados para o bloco de queimador refratário incluem, embora não se limitem à sílica, à mulita, a zircônia ( $ZrO_2$ ), à alumina-zircônia-sílica (AZS) vítreo ou fundida, à AZS reaglutinada, ou alumina aglutinada ( $Al_2O_3$ ). O material específico escolhido é determinado, em parte, pelo tipo de vidro a ser fundido no forno de vidro.

A combustão executada em etapas foi proposta para queimadores de forno de vidro, tais como aqueles nos quais uma mistura de oxigênio-combustível rica em combustível é injetada no forno a partir de um queimador, e o oxigênio adicional é injetado por meio externo ao bloco de queimador a fim de proporcionar a completa combustão deslocada a partir da saída de queimador. No exemplo de queimadores montados no topo do forno, a combustão preferivelmente completa ocorreria nas proximidades da superfície dos materiais de matérias-primas sem casca. Preferivelmente, injetores de oxigênio adicionais seriam posicionados para retardar a completa combustão até depois que a chama tenha incidido sobre a superfície do material de matéria-prima sem casca. A localização dos injetores adicionais é dependente das condições de operação desejadas do(s) queimador(es), bem como a localização e o número do queimador. De acordo com a presente invenção, a combustão externamente executada em etapas é preferivelmente provida através da instalação de pelo menos um meio injetor de oxigênio no topo ou coroa do forno, embora os injetores de oxigênio possam ser posicionados em algum outro lugar, a fim de se obter os efeitos de combustão retardada desejados.

De acordo com a presente invenção, pelo menos um queimador(es) de oxigênio-combustível é(são) preferivelmente posicionado(s) no topo (ou coroa) do forno acima dos materiais de matérias-primas sem casca (e, opcionalmente, a sucata de vidro), e direcionado(s) para a superfície da matéria-prima. Os queimadores podem ser posicionados tão próximos quanto possível dos aparelhos de carregar matéria-prima nos fornos de fusão, onde estão as matérias-primas mais frias, perto da parede traseira do forno, onde a matéria-prima de formação do vidro é carregada, para a obtenção de uma rápida fusão devido à diferença térmica mais alta. Os queimadores de

oxigênio-combustível ou de ar-combustível convencionais podem ser posicionados através da parede do forno a jusante a partir dos queimadores montados no topo para proporcionar uma zona de refino e assegurar uma completa combustão de restantes. Alternativamente, os queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno podem proporcionar a transferência de calor a jusante dos aparelhos de carregar matéria-prima nos fornos de fusão próximo à parede de extremidade a jusante do forno, isto é, a parede dianteira do forno.

O queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno tem êxito, de acordo com a presente invenção, porque uma parte da combustão ocorre na superfície da matéria-prima do fundidor de vidro, o que acrescenta a transferência de calor convectiva à transferência de calor radioativa tradicional. Adicionalmente, de acordo com a concretização preferida desta invenção, o uso de queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno providos com combustão integralmente ou externamente executada em etapas, retarda a mistura de oxigênio e combustível para projetar a zona de combustão para mais longe do topo. Isto resulta na localização de uma quantidade maior de combustão sobre ou na superfície dos materiais fundidos ou do material de matéria-prima sem casca para aumentar a transferência convectiva de calor e a transferência radioativa de calor. A chama de alta temperatura é movida para longe do topo para impedir danos à estrutura, e para mais perto do vidro para proporcionar a transferência de calor. Uma vantagem adicional é a de que a concretização de combustão executada em etapas montada no topo de um forno da invenção permite que o processo opere em construções de forno que apresenta céus mais altos. O retardamento é criado com a separação de dois fluxos de gás (seja oxigênio apenas/combustível apenas, ou uma mistura pobre em combustível/rica em combustível) por uma quantidade suficiente, e, em uma concretização, com a angulação dos mesmos, um na direção do outro, para que suas linhas centrais de fluxo converjam sobre a superfície da matéria-prima ou material de fornada.

Os queimadores de oxigênio/gás natural operam em uma rela-

ção estequiométrica de 2:1, quando o gás natural for metano puro e o oxidante for oxigênio puro. O queimador de oxigênio/gás de chama cônica convencional usa um tubo concêntrico na construção do tubo com o tubo interno suprindo o gás e o tubo externo suprindo o oxigênio. O comprimento da 5 chama se torna então uma função da velocidade dos dois fluxos e as relativas diferenças de velocidade entre os dois fluxos, o que irá afetar a velocidade de mistura na interface entre os dois fluxos e, portanto, a velocidade de combustão. Devido ao fato de ambos os fluxos se expandirem à medida que eles saem dos tubos, eles irão começar a se misturar imediatamente e a 10 combustão será iniciada muito próxima do ponto de descarga do queimador.

A presente invenção separa os dois fluxos (combustível e oxidante) em dois ou mais fluxos separados. Em uma concretização, um fluxo de gás combustível pode ser operado como um combustível gasoso apenas ou como um queimador de tubo concêntrico com oxigênio com uma relação 15 estequiométrica menor. O oxigênio restante exigido para a completa combustão, opcionalmente até 100% do oxigênio exigido, é introduzido através de um ou mais tubos adicionais que são localizados longe do tubo de gás distante o suficiente de modo que os dois fluxos não se misturem até que eles tenham percorrido uma distância substancial para a superfícies de materiais de vidro alvo. O ângulo que separa os dois fluxos pode ser tão inferior 20 quanto 0° (paralelo), ou tão elevado quanto 90°, se projetado através das paredes do forno, e até 180°, caso borbulhado a partir de baixo da superfície do material de fornada, enquanto a mistura ocorre além do ponto de descarga do queimador.

25 Conforme afirmado acima, uma vantagem do processo da presente invenção é a habilidade de operar o queimador montado no topo do forno mais afastado do alvo, isto é, tendo uma distância maior do que o topo para a superfície da matéria-prima do vidro. Isto permite que o(s) queimador(es) de oxigênio-combustível montado(s) no topo do forno operem nos 30 desenhos de forno existentes, onde o topo fica, na verdade, longe demais da matéria-prima para um queimador montado no topo do forno que não é executado em etapas para atingir qualquer velocidade significativa de transfe-

rência convectiva.

Com referência às figuras, é mostrado um forno de fusão de vidro 10 para proporcionar vidro fundido a um alimentador ou refinador de vidro 12, onde o vidro fundido é adicionalmente refinado e subsequentemente 5 alimentado em uma ou mais máquinas de formação de vidro, tais como recipientes, dispositivo formador de fibras, banhos flutuantes e semelhantes (não mostrados). Em se considerando as figuras, será apreciado que, para fins de clareza, certos detalhes de construção não são providos, pelo fato de 10 tais detalhes serem convencionais e bem conhecidos daqueles versados na técnica, uma vez que a invenção é descrita e explicada. Os itens específicos excluídos são as portas de regenerador, os queimadores de ar-combustível e as descargas, uma vez que estes são diferentes para cada tipo de forno.

O forno de fusão de vidro 10 tipicamente inclui um canal alongado que apresenta uma parede de extremidade a montante 14 e uma parede 15 de extremidade a jusante 16, paredes laterais 18, um piso 20 e um topo 22, todos feitos a partir de materiais refratários apropriados, tais como alumina, sílica, alumina-sílica, zircônio, óxido de zircônio-alumina-sílica, óxido de cromo, e semelhantes. O topo 22 é mostrado geralmente como apresentando uma forma arqueada transversal ao eixo longitudinal do canal; entretanto, 20 o topo pode ser, na grande maioria, de qualquer desenho adequado. O topo 22 do forno de fusão de vidro típico 10 é posicionado entre cerca de 0,9 - 4,5 m (3 - 15 pés) acima da superfície da matéria-prima de formação do vidro. Como é bem conhecido na técnica, o forno de fusão de vidro 10 pode opcionalmente incluir um ou mais borbulhadores 24 e/ou pares de eletrodos de 25 reforço elétrico (não mostrados). Os borbulhadores e/ou os eletrodos de reforço elétrico aumentam a temperatura do vidro em bruto e aumentam a circulação do vidro fundido sob a cobertura de matéria-prima.

O forno de fusão de vidro 10 inclui duas zonas sucessivas, uma zona de fusão 27 e uma zona de queima a jusante 28. A zona de fusão 27 é 30 considerada a zona a montante do forno de fusão de vidro 10, onde a matéria-prima de formação do vidro é carregada no forno com o uso do dispositivo de carregamento 32 de um tipo bem conhecido na técnica. A matéria-

prima de formação do vidro 30 pode ser uma mistura de matérias-primas tipicamente usadas na fabricação de vidro. Será apreciado que a composição da matéria-prima de formação de vidro (ou fornada) 30 depende do tipo de vidro que é produzido. Normalmente, o material compreende, entre outras 5 coisas, materiais contendo sílica que incluem vidro refugado comumente denominado de sucata de vidro. Outros materiais de formação de vidro que incluem, embora não se limitem ao feldspato, à nefelina, ao calcário, à dolomita, à soda calcinada, à potassa, ao bórax, à argila de caulim e à alumina podem também ser usados. Para alterar as propriedades do vidro, uma 10 quantidade menor de arsênico, antimônio, sulfatos, sulfetos, carbonos, fluoretos e/ou outros componentes podem também ser acrescentados. Além disso, os óxidos de bário, estrôncio, zircônio e chumbo podem ser acrescentados ao vidro de fins especiais, e outros óxidos de metal de formação de cor podem ser acrescentados para se obter a cor desejada.

15 A matéria-prima de formação do vidro 30 forma uma camada de matéria-prima de partículas sólidas sobre a superfície do vidro fundido na zona de fusão 27 do forno de fusão de vidro 10. As partículas de matérias-primas sólidas flutuantes da matéria-prima de formação do vidro 30 são fundidas principalmente por pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 20 34 que apresenta uma forma de incidência controlada e um comprimento montado dentro do topo 22 do forno de fusão de vidro 10. Será apreciado que foi descoberto que a instalação e o controle adequado de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 34 no topo 22 do forno de fusão de vidro 10 sobre a matéria-prima de formação do vidro 30, de acordo com a 25 presente invenção, aumentam a velocidade de fusão da matéria-prima de formação do vidro sólida, mantendo, ao mesmo tempo, a temperatura de operação do material refratário circundante dentro dos limites de operação aceitáveis.

Conforme usado aqui, a locução "pelo menos um queimador de 30 oxigênio-combustível" indica um ou mais queimadores de oxigênio-combustível. Também, conforme usado aqui, o termo 100% de oxigênio-combustível significa que todos os queimadores são adaptados para utiliza-

rem oxigênio ou ar enriquecido de oxigênio, conforme em contraste com o ar sozinho, como o oxidante. Adicionalmente, conforme usado aqui, a locução "principalmente por pelo menos um queimador de oxigênio-combustível" se refere à instalações de retroajuste, à condição onde a capacidade de produção de vidro adicional ou recuperado e a energia de reforço elétrico/de oxigênio e de ar-combustível substituída para fundir a matéria-prima de formação do vidro se origina pelo menos de um queimador de oxigênio-combustível. Em uma concretização específica, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2A, o forno de fusão de vidro 10 inclui três queimadores de oxigênio-combustível 34. Um queimador único de oxigênio-combustível 34 é posicionado a montante de dois queimadores de oxigênio-combustível a jusante posicionados em adjacência. Entretanto, será apreciado que qualquer número de queimadores de oxigênio-combustível 34 pode ser posicionado em quase que qualquer localização adequada no topo 22 do forno 10 sobre a matéria-prima para fundir a matéria-prima do vidro 30. Por exemplo, os dois queimadores de oxigênio-combustível 34 podem ser posicionados em uma relação lado a lado, conforme descrito na Figura 3, ou pode ser usado um queimador único de oxigênio-combustível, conforme descrito na Figura 4. Contudo, de acordo com a presente invenção, a orientação angular de cada queimador de oxigênio-combustível 34 no topo 22 do forno de fusão de vidro pode ser tal que a chama 36 produzida seja direcionada substancialmente perpendicular à superfície da matéria-prima do vidro para produzir uma chama que incida sobre a superfície de vidro para formar uma área de incidência 26. Em uma concretização preferida, os queimadores de oxigênio-combustível 34 são posicionados substancialmente perpendiculares à matéria-prima em um ângulo de cerca de 90 graus com relação à matéria-prima de formação do vidro 30. O ângulo pode se desviar da perpendicular na direção da parede de extremidade a jusante (isto é, a parede dianteira) em algumas concretizações, tal como tanto quanto 45 graus, mas preferivelmente menos do que 10 graus. Foi descoberto que a velocidade de produção de vidro e a qualidade do vidro produzido podem ser aperfeiçoadas pela fusão da matéria-prima de formação do vidro 30 com pelo menos um queimador

de oxigênio-combustível de queima descendente 34 que tem uma forma e um comprimento de chama incidente controlados, de acordo com a presente invenção.

- Pelo menos um queimador de oxigênio-combustível exige combustível e um oxidante. O combustível pode ser gasoso ou líquido, ou combinações de ambos. Os combustíveis gasosos incluem aqueles listados acima, bem como misturas dos gases acima mencionados. Os combustíveis líquidos incluem óleos combustíveis pesados, médios e leves, querosene e diesel. Os combustíveis líquidos têm que ser atomizados e/ou vaporizados.
- A atomização pode se dar ou por meio mecânico ou por meios de atomização secundários que incluem o ar, o vapor, o oxigênio, qualquer dos combustíveis gasosos acima mencionados e, em alguns casos, um gás inerte. A vaporização conta com o calor dos produtos circundantes de gases de combustão para evaporar o óleo. O oxidante pode ser 100% de oxigênio puro ou uma mistura de oxigênio e gás inerte com uma concentração de oxigênio de preferivelmente 50-100%, conforme descrito acima.

Com referência à Figura 5, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 34 dentro do topo 22 do forno de fusão de vidro 10 apresenta pelo menos um conduto de combustível 40 para proporcionar o combustível e pelo menos um conduto de oxigênio 42 para proporcionar o fluxo de oxigênio. O queimador de oxigênio-combustível 34 pode ter uma capacidade que varia de cerca de 0,5 a cerca de 15 MM Btu/hr dependendo do tamanho e da velocidade de tração desejada do forno de fusão de vidro 10. O queimador de oxigênio-combustível 34 é projetado para usar uma porcentagem mais alta de oxigênio do que se encontra presente no ar, ficando assim a temperatura acima da área de incidência da chama 36 originária do queimador de oxigênio-combustível 34 substancialmente mais alta do que em um forno de fusão de vidro convencional que utiliza queimadores de ar-combustível. Não obstante, conforme é bem conhecido daqueles versados na técnica, a temperatura da chama 36 conferida por um queimador de oxigênio-combustível 34 é dependente da qualidade do combustível e da relação de oxigênio/combustível. Em uma concretização preferida, a concentra-

ção de oxigênio do queimador de oxigênio-combustível 34 se encontra tipicamente em um nível de cerca de 95 - 125 por cento da quantidade estequiométrica de oxigênio exigida para a queima do combustível. A relação de combustível-oxigênio pode ser variada; contudo, para produzir uma faixa de condições de operação no forno de fusão de vidro 10 para efetuar uma ou mais propriedades desejadas, incluindo, por exemplo, o nível de óxido salino, a cor do vidro, o nível das bolhas gasosas, conhecidas como inclusões gasosas bem pequenas e ampolas no comércio, e outras propriedades do vidro.

O queimador de oxigênio-combustível 34 se estende para baixo a partir de um bloco queimador 38 localizado no topo 22 do forno de fusão de vidro 10. Cada bloco de queimador principal 38 inclui uma abertura que tem um diâmetro interno (id) que é pelo menos tão grande quanto o diâmetro externo do maior conduto 42 ou 40 dependendo da configuração. O diâmetro interno (id) da abertura do bloco de queimador 38 pode variar entre cerca de 5,08 - 20,32 cm (2 - 8 polegadas). A extremidade da zona de combustão principal do queimador de oxigênio-combustível 34 está localizada a partir da extremidade do bloco de queimador 38 à uma distância (LBb) entre cerca de 0 - 45,72 cm (0 - 18 polegadas). A zona de combustão secundária e, em alguns casos, a zona de combustão terciária é externa ao bloco de queimador 38. Será apreciado que a abertura do bloco de queimador 38 entre a extremidade do queimador de oxigênio-combustível 34 e a extremidade do bloco de queimador, em alguns exemplos, atua para focalizar a chama de queimador e impedir que a chama do queimador se espalhe para fora, embora, adicionalmente, para proteger os condutos do queimador. O bloco de queimador 38 é formado de um material refratário bem conhecido na técnica e pode ser, em sua grande maioria, de qualquer forma externa adequada, tal como retangular ou semelhante.

A superfície inferior do bloco de queimador 38 pode ser nivelada com a superfície interna do topo 22 ou a superfície inferior pode se projetar abaixo da superfície interna do topo em uma distância de cerca de 5,08 cm (2 polegadas) para proteger o bloco de queimador 38 e os refratários de co-

roa adjacentes do desgaste. Adicionalmente, conforme mostrado na Figura 5, os condutos de combustível 40 e os condutos de oxigênio 42 do queimador de oxigênio-combustível 34 se estendem para baixo dentro do bloco de queimador 38 e terminam ou substancialmente na mesma altura vertical ou 5 em alturas verticais totalmente diferentes a partir da saída do bloco de queimador 38.

Dependendo da altura do bloco de queimador 38 a partir do material de matéria-prima sem casca e das condições de operação desejadas do queimador, mais irá variar a fração do desdobramento em etapas do 10 combustível e do desdobramento em etapas do oxigênio interno e externo com relação ao bloco de queimador 38. Injetores de oxigênio adicionais 60 são posicionados para retardar a completa combustão até depois que a chama tenha incidido na carga de matéria-prima livre de sucata de vidro. A localização destes injetores adicionais 60 é dependente do número e da posição dos queimadores montados no topo do forno; entretanto, eles podem 15 ser localizados em praticamente qualquer ponto no topo e nas paredes.

De acordo com a presente invenção, a chama incidente direcionada para baixo 36 produzida por pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 34 é precisamente controlada para dar uma comprimento de 20 chama maior ou igual à distância a partir da saída do bloco de queimador 38 com relação à superfície dos ingredientes brutos de formação do vidro 30 ou à superfície do vidro fundido, e longe do refratário circundante, reduzindo assim o risco de superaquecimento do topo 22 e das paredes laterais 18 do forno de fusão de vidro 10. A chama incidente 36 pode ser controlada por 25 tais dispositivos de controle, à medida que são convencionais e padrão no processamento químico. Por exemplo, as válvulas, os termoelementos, os termistores acoplados com os servocircuitos adequados, os controladores de aquecedor e semelhantes são prontamente disponíveis e convencionalmente usados para controlar a quantidade e a velocidade do combustível e do 30 oxigênio originário do queimador de oxigênio-combustível 34.

A chama incidente 36 é controlada com precisão através do controle tanto da velocidade relativa como das velocidades máxima e mínima do

combustível dos fluxos de oxigênio e do desdobramento em etapas interno e externo originário de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 34.

A velocidade máxima e mínima do fluxo de combustível e oxigênio que incide sobre a superfície da matéria-prima de formação do vidro 30  
 5 tem que ser controlada para impedir a perturbação da matéria-prima e o arrasto ou o deslocamento da matéria-prima do vidro contra as paredes laterais 18 e o topo 22 do forno, enquanto mantém a transferência de calor convectiva ótima para a superfície da matéria-prima de formação do vidro. Será apreciado que o deslocamento da matéria-prima do vidro contra as paredes 10 laterais 18 e o topo 22 irá contrariamente afetar o material refratário e possivelmente encurtar a vida operacional do forno de fusão de vidro 10.

A fim de determinar a velocidade máxima adequada para o fluxo de combustível e oxigênio, um queimador foi verticalmente montado e queimado descendente para um assento de areia de vidro através do qual 15 tinham sido feitas ranhuras. Enquanto o queimador foi ajustado em diferentes alturas originárias das retrações da areia e do queimador no bloco (LBb), foram observadas as velocidades de queima nas quais o movimento da areia foi percebido. Os dados originários destes experimentos foram comparados contra as simulações que foram executadas em um código de dinâmica 20 de fluido computacional comercialmente disponível, produzindo assim uma velocidade máxima através da superfície acima da qual a areia seria perturbada nos experimentos acima mencionados.

Tabela 1 - Velocidades de Queima Máximas do Queimador (MMBtu/Hora)

Altura (metros (pés))

(LBb)	1,5 m (5 pés)	1,8 m (6 pés)	2,1 m (7 pés)	2,4 m (8 pés)
13	3,9	4,4	5,4	6,2
11,5	4,9	5,0	6,2	6,8
9	5,5	6,1	6,4	7,1
6,5	6,4	7,2	7,4	8,1
4	6,9	8,8	8,3	9,1

25 A partir destes experimentos, a velocidade de superfície máxima foi verificada pela comparação com os modelos CFD como sendo de apro-

ximadamente 21m/s. Devido às variações na matéria-prima, na vitrificação da matéria-prima e na coesão das partículas da matéria-prima, o máximo exato pode diferir do máximo acima calculado; portanto, aquele versado na técnica pode variar a velocidade máxima até aproximadamente 25 m/seg.

- 5 Para minimizar o distúrbio e o arrasto da matéria-prima, contudo, a velocidade máxima deve ser mantida abaixo de 30 m/seg.

As velocidades máxima e mínima do combustível e do oxigênio do queimador de oxigênio-combustível 34 são também controladas para aproveitar a energia máxima originária da chama incidente 36 sem danificar o

- 10 material refratário circundante. A energia máxima originária da chama incidente 36 é alcançada com a minimização da quantidade de calor liberada para o espaço de combustão do forno de fusão de vidro 10 e com a maximização da transferência de calor para a matéria-prima de formação do vidro 30. A faixa de velocidade operacional máxima e mínima para o queimador
- 15 de oxigênio-combustível 34 para gerar uma velocidade de transferência de calor aceitável para a matéria-prima de formação do vidro 30 sem danificar as paredes e a superestrutura do forno de material refratário é uma função do desenho e da localização do queimador de oxigênio-combustível, da geometria de abertura do bloco de queimador, das velocidades do combustível
- 20 e do oxigênio originários do queimador de oxigênio-combustível 34, do desdobramento em etapas do queimador, da interação dos queimadores adjacentes de oxigênio-combustível, dos queimadores de combustível e da descarga do forno.

- A região de estagnação 56 é a região onde a chama 36 penetra
- 25 na camada limítrofe térmica e incide sobre a superfície da matéria-prima de formação do vidro 30. Dentro desta região 56, a chama 36 penetra na camada limítrofe térmica e incide sobre a superfície da matéria-prima de formação do vidro que constrói um gradiente de pressão preciso na superfície que acelera o fluxo horizontal da chama deflectida que faz com que a chama se
  - 30 espalhe para fora radialmente ao longo da superfície incidida. A extremidade da região de estagnação 56 é definida como a localização sobre a superfície da matéria-prima de formação do vidro, onde o gradiente de pressão gerado

pela chama incidente 36 cai para zero. Dentro da região de estagnação 56, com o controle cuidadoso do momento da chama 36, a camada limítrofe térmica que naturalmente existe na superfície da matéria-prima de formação do vidro 30 é penetrada e eliminada, sendo assim atenuadas suas características resistivas ao calor resistentes. Conseqüentemente, o calor gerado pela chama incidente 36 penetra mais facilmente na matéria-prima de formação do vidro parcialmente fundida 30. Adicionalmente, dentro da região de estagnação 56, a luminosidade da chama significativamente aumenta, o que intensifica a transferência de calor de radiação para a matéria-prima de formação do vidro relativamente mais fria 30.

A região do jato de parede 58 tem início nos limites radiais da região de estagnação 56. Nesta região, a chama 36 flui essencialmente paralela à superfície incidente e a camada limítrofe térmica cresce ao longo da superfície de incidência e para fora da região de estagnação 56; assim, a camada limítrofe térmica começa a ser construída com a restauração da resistência de superfície com relação ao fluxo de calor para a superfície da matéria-prima de formação do vidro.

A geração de calor de chama controlada na região de jato livre 54 é o resultado do desenho do queimador de oxigênio-combustível 34, do diâmetro interno da abertura do bloco de queimador 38 e tanto das relativas velocidades como das velocidades máxima e mínima dos fluxos de oxigênio e combustível. Com o controle seletivo do desenho do queimador de oxigênio-combustível 34, o desenho geométrico do bloco de queimador 38 e as velocidades dos fluxos de oxigênio e combustível é produzido um esforço de separação reduzido entre os fluxos de oxigênio e gás com a provisão da combustão parcial controlada e as emissões de radiação térmica reduzidas. Será apreciado que, com a otimização do desenho do queimador e a operação do queimador de oxigênio-combustível 34, o calor de chama gerado na região de jato livre 54 e a resistência de transferência de calor na superfície de vidro bruto na região de estagnação 56 são minimizados, maximizando assim o calor gerado na região de estagnação.

O calor gerado na região de jato livre 54 é o resultado dos se-

guintes processos. Primeiro, a combustão parcial controlada na região de jato livre 54 permite a combustão controlada na superfície da matéria-prima de formação do vidro 30, trazendo assim o processo de combustão para perto da superfície da matéria-prima de formação do vidro. A aproximação do 5 processo de combustão para a superfície da matéria-prima de formação do vidro 30 gera um gradiente de temperatura elevado na superfície da matéria-prima de formação do vidro, aperfeiçoando assim a transferência de calor de convecção. Em segundo lugar, a combustão parcial controlada na região de jato livre 54 gera uma temperatura aceitável para a dissociação química dos 10 gases de combustão e os produtos de combustão. Estas espécies dissociadas, uma vez incididas sobre a superfície relativamente mais fria da matéria-prima de formação do vidro 30, são parcialmente recombinaadas, exotermicamente, gerando calor significativo na superfície da matéria-prima de formação do vidro. O calor originário das reações exotérmicas adicionalmente 15 aumenta o processo de transferência de calor convectivo. A minimização da resistência de calor na região de estagnação 56 da superfície da matéria-prima de formação do vidro 30 é o resultado dos seguintes fatores.

Primeiro, a camada limítrofe térmica é eliminada através do momento da chama controlada 36 e da turbulência gerada pelas características 20 de combustão cuidadosamente controladas na superfície da matéria-prima de formação do vidro 30. Em segundo lugar, a geração de calor da superfície localizada permite a conversão da matéria-prima de formação do vidro condutiva térmica inferior 30 para um material de vidro derretido condutivo 25 significativamente melhor. Esta conversão permite que o calor gerado na superfície penetre mais eficientemente na profundidade da matéria-prima de formação do vidro.

No forno regenerativo carregado transversalmente da Figura 2A com regeneradores 81, a concretização preferida da presente invenção utiliza pelo menos um queimador montado em uma coroa 34 posicionado sobre 30 as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e o aperfeiçoamento na qualidade para recuperar ou intensificar a capacidade de produção ou reduzir a capa-

cidade de reforço elétrico. O queimador montado em uma coroa 34 incide sobre a superfície da matéria-prima 30 na área de incidência 26. Em todas as aplicações de forno regenerativo carregado transversalmente desta invenção, pelo menos um par de portas opostas 71 será totalmente ou parcialmente bloqueado ou isolado. Isto será tipicamente a primeira porta e talvez a segunda porta dependente da quantidade de reforço exigido. Queimadores montados no topo do forno adicionais podem ser localizados no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída a partir dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia removida das portas de queima anterior, o reforço de oxigênio ou o reforço elétrico convencional removido.

O forno regenerativo carregado pelo fundo da Figura 2B com regeneradores 81 da concretização preferida da presente invenção utiliza pelo menos queimadores montados em uma coroa 34 posicionados sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro e que incidem sobre as matérias-primas na área de incidência 26. Queimadores adicionais montados no topo de um forno podem ser localizados no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída a partir dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia reduzida originária da porta de queima, do reforço elétrico ou de oxigênio convencional removido.

No forno recuperativo carregado transversalmente da Figura 2C com o recuperador 82, a concretização preferida da presente invenção utiliza pelo menos um queimador montado no topo do forno 34 posicionado sobre os materiais carga de matéria-prima livre de sucata de vidro que entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e o aperfeiçoamento na qualidade para recuperar ou intensificar a capacidade de produção ou reduzir a capacidade de reforço elétrico. Em aplicações de forno recuperativo carregado transversalmente desta invenção, pelo menos um par de queimadores opostos 73 será completamente ou parcialmente bloqueado ou isolado com o uso de um bloco 74. Esta será tipicamente a primeira zona de queimado-

res e talvez a segunda zona dependente da quantidade de reforço exigido. Queimadores adicionais montados no topo do forno podem ser localizados no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída 5 originária dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia removida das portas de queima anterior, do reforço elétrico ou de oxigênio convencional removido.

No forno regenerativo carregado pelo fundo da Figura 2D com o recuperador 82, a concretização preferida da presente invenção utiliza pelo 10 menos um queimador montado em uma coroa 34 posicionado sobre os cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e o aperfeiçoamento na qualidade para recuperar ou intensificar a capacidade de produção ou reduzir a capacidade de reforço elétrico. Em todas as aplicações de forno recuperativo carregado 15 pelo fundo desta invenção, as exigências do ar de combustão e do combustível convencional serão reduzidas a partir do desenho anterior e substituídas pela energia originária de pelo menos um queimador montado em uma coroa 34 posicionado sobre os cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro. Queimadores adicionais montados no topo do forno podem ser localizados 20 no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída a partir dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia reduzida originária da porta de queima, do reforço elétrico e de oxigênio convencional removido.

25 No forno de carregamento direto da Figura 2E, a concretização preferida da presente invenção utiliza pelo menos queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e o aperfeiçoamento na qualidade para recuperar ou intensificar a capacidade 30 de produção ou reduzir a capacidade de reforço elétrico. Em todas as aplicações de forno de carregamento direto desta invenção, as exigências de ar de combustão e de combustível convencional serão reduzidas a partir do

desenho anterior e substituídas pela energia originária de pelo menos queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro. Nas aplicações de queimador múltiplo de ar-combustível 73, pelo menos um queimador 74 será isolado. Queimadores adicionais montados no topo do forno podem ser localizados no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída a partir dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia reduzida originária da porta de queima, do reforço elétrico ou de oxigênio convencional removido.

Em um forno de topo quente elétrico, a concretização preferida da presente invenção utiliza pelo menos queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro que entram no forno para aperfeiçoar a velocidade de fusão e o aperfeiçoamento na qualidade de recuperar ou intensificar a capacidade de produção ou reduzir a capacidade de reforço elétrico. Queimadores adicionais montados no topo do forno podem ser localizados no tanque de vidro, uma vez que haja queimadores montados em uma coroa posicionados sobre as matérias-primas não fundidas. A energia distribuída a partir dos queimadores montados em uma coroa substitui a energia reduzida originária da porta de queima, do reforço elétrico ou de oxigênio convencional removido.

Em todos os casos os óxidos de nitrogênio e o dióxido de enxofre podem ser reduzidos pela seleção cuidadosa da relação estequiométrica de diferentes queimadores montados no topo de um forno e queimadores de ar-combustível restantes. Com referência à Figura 2 A, como um exemplo na aplicação de forno carregado transversalmente, os queimadores 34 montados nas posições AL ou AR são operados com um excesso de oxigênio estequiométrico para criar uma zona pobre em combustível (oxidante) no forno. Com a operação do queimador 34 na posição BC e/ou os queimadores na segunda porta 71 com uma quantidade menor de oxigênio estequiométrico ou ar é criada uma zona rica em combustível (redução) no forno. As portas restantes são operadas com um excesso de oxigênio estequiométrico para

criar uma zona pobre em combustível (oxidante) no forno. Esta configuração rica-pobre-rica eficazmente escala as zonas de combustão do forno para otimizar a transferência de calor e minimizar a formação de óxido de nitrogênio com a criação de uma tela de monóxido de carbono.

- 5 Pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno 34 pode ser colocado em um novo forno fundidor de vidro de ar-combustível 10 ou retroajustado em um forno fundidor de vidro de ar-combustível existente para aumentar a qualidade do vidro relativa para o forno carregado apenas de ar-combustível. Será apreciado que a presente 10 invenção facilita um substancial aumento da velocidade de tração, a redução na temperatura da parede do forno de fusão de vidro 10 e a qualidade aperfeiçoada do vidro, conforme comparada ao mesmo forno de ar-combustível que não é retroajustado com pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno, conforme descrito aqui. Adicionalmente, conforme será prontamente apreciado por aquele versado na técnica, 15 o uso de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível, em oposição a um sistema total de ar-combustível pode apreciavelmente reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>, dependente da estioquiométria das chamas de oxigênio-combustível e das chamas de ar-combustível.
- 20 Exemplo 1: Retroajuste com queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno.

Uma demonstração desta invenção foi o reforço de oxigênio, a conversão de 100% de oxigênio, a reconversão para reforço de oxigênio e finalmente a queima de ar-combustível convencional de um forno regenerativo quente existente carregado transversalmente de 3 portas. O forno inicialmente queimou todo o ar - combustível. A queima da porta nº 1 foi substituída por pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno. O forno convencionalmente queimou o ar - combustível regenerativo nas duas portas restantes. Na segunda fase, a queima da porta nº 2 foi 25 então substituída por pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno e o forno convencionalmente queimou o ar e o combustível regenerativos na terceira porta. Na terceira fase, a queima da

porta #3 foi substituída pela energia nos queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno já instalados. A capacidade do forno foi aumentada de 55 para 85 toneladas por dia com a entrada de energia reduzida de 23,5 mm BTU/h para 18 mm BTU/h. O forno foi reconvertido em 5 uma queima de ar-combustível nos estágios incrementais. Este exemplo demonstra a habilidade de seletivamente intensificar um forno de ar-combustível existente, bem como proporcionar a entrada de calor total para um forno de vidro a partir dos queimadores de oxigênio-combustível montados no topo do forno. O processo não exige queimadores resfriados por água.  
10

Exemplo 2: Queimador e bloco de queimador com desdobramento em etapas do oxigênio integral.

Um queimador de oxigênio-combustível provido com desdobramento em etapas integral do oxigênio, por meio da configuração de queimador ou do queimador em combinação com o bloco de queimador, foi mostrado como provendo uma maior transferência de calor e uma quantidade reduzida de NOx. De acordo com a presente invenção, pelo menos um deste tipo de queimador integralmente em etapas 103 é provido no topo 111 de um forno de fusão de vidro 110. O queimador 103 é idealmente posicionado sobre as cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro 130 e é preferivelmente angulado, de tal forma que o ângulo alfa ( $\alpha$  na Figura 6) seja igual a cerca de 91° até cerca de 135° na direção do fluxo de vidro 104 no forno.  
20

Exemplo 3: Um queimador e bloco de queimador com desdobramento em etapas do oxigênio externo.

Com referência à Figura 7, foi mostrado que um queimador 122 com um bloco de queimador 121 montado no topo de um forno de fusão de vidro 111 com 2-8 injetores de oxigênio 112 externos ao queimador 122 e bloco 121 pode produzir uma maior transferência de calor do que um queimador que não é executado em etapas. O queimador 122 é preferivelmente angulado a partir de cerca de 91° a cerca de 135° com relação à superfície do vidro na direção do fluxo de vidro no forno. De acordo com este exemplo, 30 0% a cerca de 90% do oxigênio de combustão estequiométrico são injetados

através do queimador de oxigênio principal 133, e os 100% a cerca de 10% restantes do oxigênio de combustão secundário 134 são injetados através dos injetores de oxigênio 112, que são angulados a partir de cerca de 0° a cerca de 90° com relação à superfície do vidro. Conforme pode ser apreciado por aquele versado na técnica, o número, o ângulo e a quantidade de portas de desdobramento em etapas são designados especificamente para cada forno, a fim de retardar a combustão do combustível 145 até que ela incida sobre a superfície das matérias-primas do vidro ou próximo desta.

5           Exemplo 4: Desdobramento em etapas entre queimadores entre pelo menos  
10          dois queimadores montados no topo do forno.

O desdobramento em etapas da combustão que utiliza queimadores de oxigênio-combustível pode ser conseguido, de acordo com a invenção, por meio do desdobramento em etapas entre queimadores, entre pelo menos dois queimadores montados no topo do forno. Um dos queimadores é operado em níveis subestequiométricos, isto é, em um modo rico em combustível, e o segundo ou queimador(es) adicional(nais) é(são) executado(s) com o equilíbrio do oxigênio exigido para a completa combustão, isto é, em um modo pobre em combustível. A experimentação foi conduzida no reforço de um forno de vidro regenerativo de ar-combustível convencional 110, onde dois dos queimadores traseiros 162 foram operados em um modo pobre em combustível, enquanto o queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno a montante 161 foi operado em um modo rico em combustível. (Figura 8). Este modo de operação produziu uma zona pobre em ar-combustível, adjacente a uma zona rica em oxigênio-combustível, seguida por uma zona pobre em oxigênio-combustível. O resultado de operação do forno de vidro, de acordo com este processo, foi o de aumentar a capacidade do forno, enquanto reduz as emissões de óxidos de nitrogênio em uma base por tonelada. Este processo de desdobramento em etapas entre queimadores pode também ser aplicado em conjunção com as duas concretizações de combustão executada em etapas anteriormente detalhadas.

30           Exemplo 5: Combustão executada em etapas em um forno de fusão de vidro

com borbulhadores de oxigênio.

Um processo de combustão executado em etapas, de acordo com a invenção, envolve o uso de borbulhadores de oxigênio em conjunção com pelo menos um queimador montado no topo do forno (Figura 9). O borbulhador de oxigênio foi usado para diversas aplicações de fabricação de vidro, tal como para mecanicamente promover as correntes de convecção dentro do vidro fundido. O oxigênio é solúvel em vidro, e sob condições de operação normais, apenas uma pequena quantidade (menos do que 5% da quantidade estequiométrica) de oxigênio é injetada no vidro. Com o posicionamento de pelo menos um queimador de oxigênio-combustível montado no topo do forno 105 acima de um único borbulhador de oxigênio 108, ou uma fileira ou feixe de borbulhadores, é possível operar o(s) queimador(es) do oxigênio-combustível montado(s) em um topo 105 sob as condições estequiométricas ou subestequiométricas, e suprir o restante do oxigênio de combustão 134 através dos borbulhadores 108 localizados no piso 107 do fundidor de vidro 110. Isto intensifica a disponibilidade de oxigênio na superfície do vidro 131 para a combustão secundária de produtos de combustível ou de combustão parcialmente oxidada ou intermediários reativos.

#### Exemplo 6: Queimadores de Oxigênio-Óleo.

Os queimadores de óleo e oxigênio-óleo convencionais para os fornos de fusão de vidro contam com a combustão das gotas de óleo que foram atomizadas ou por atomizadores de fluido gêmeos (que usam vapor ou gás comprimido) ou por atomizadores mecânicos (que usam pressão ou energia rotacional). A forma da chama é governada pelo empuxo do spray e pelo tamanho das gotículas. Os queimadores de oxigênio-óleo convencionais liberariam uma alta proporção de calor na posição próxima do topo.

Conforme mostrado na Figura 10, neste desenho de queimador de oxigênio-óleo, a maior parte do oxigênio de combustão (maior do que cerca de 60%) é injetada por pelo menos 2 bocais 136, ou uma pluralidade de bocais até um anel concêntrico separados entre si, ainda substancialmente circundando o fluxo de óleo 137, para um ponto além da zona de combustão não visível inicial do spray de óleo. A linha de centro destes bocais é pre-

ferivelmente angular a cerca de 45° até cerca de 101° a partir da horizontal. Este desdobramento em etapas do oxigênio produz espécies intermediárias reativas, tal como descrito acima, e retarda a completa combustão até que ela incida sobre ou próximo das cargas de matéria-prima livre de sucata de vidro. O oxigênio restante pode ser injetado imediatamente adjacente e concêntrico ao fluxo de óleo 137, tal como através do meio de atomização 138, através de um tubo de oxigênio concêntrico adicional (não mostrado), ou por injeção terciária no forno, tal como por uma lança de oxigênio (não mostrada), para alcançar a completa combustão. Este queimador montado no topo do forno de oxigênio-óleo que não é executado em etapas minimiza a liberação de calor para o topo, enquanto maximiza a transferência de calor para a carga de matéria-prima livre de sucata de vidro, devido à transferência de calor convectiva adicional sobre a superfície. O queimador pode ser resfriado por uma jaqueta de água que tem uma entrada 139 e uma saída 140.

Um atomizador de óleo comumente usado na indústria do vidro para a fusão convencional foi mostrado, por meio de medições feitas do tamanho de partícula de gotícula de óleo originário deste atomizador que usa a Anemometria Doppler de Laser para produzir um diâmetro de partícula médio de cerca de 50 micrões ( $50 \times 10^{-6}$ m), quando atomizado com o ar comprimido.

Foi descoberto que nesta e em outra série de queimadores, a combustão do spray de óleo é retardada até que o óleo encontre o fluxo de oxigênio. Uma "não chama" visível pode ser reconhecida em até 45,72 cm (18 polegadas) a partir da ponta do atomizador. Durante esta fase de combustão não visível no forno de fusão de vidro quente, o tamanho da partícula de óleo é reduzido devido à evaporação endotérmica. Quando utilizada em um queimador montado no topo do forno, esta reação endotérmica absorve a energia de calor radioativa originária do ambiente circundante, e, vantajosamente, reduz a transferência de calor radioativo líquido para o topo do forno.

A presente invenção inclui o uso de um atomizador que produz um tamanho de partícula significativamente maior, de mais do que cerca de

100 mícrons ( $100 \times 10^{-6}$ m). Uma quantidade menor de energia é exigida para produzir esta partícula maior, e como resultado, o empuxo da chama é reduzido. As gotículas de óleo grandes parcialmente atomizadas caem livremente do queimador montado no topo do forno e evaporam pelo menos 5 parcialmente na zona de combustão não visível endotérmica adjacente ao topo.

A velocidade máxima dos reagentes e produtos de combustão na superfície da carga de matéria-prima livre de sucata de vidro, entretanto, deve ser menor do que 30 m/s para impedir o movimento aerotransportado 10 das cargas de matéria-prima livres de sucata de vidro.

Devido ao fato de um jato isento de gás (tal como oxigênio) se expandir em torno de  $11^\circ$ , uma saída de oxigênio posicionada próximo de uma saída de combustível irá fazer com que o oxigênio incida sobre o jato de combustível próximo do ponto de saída. Por isso, é preferido que o des- 15 dobramento em etapas do oxigênio e, consequentemente, a combustão, sejam conseguidos pela angulação das saídas de oxigênio de cerca de  $45^\circ$  convergentes para o eixo do fluxo de combustível a cerca de  $11^\circ$  divergentes a partir do eixo do fluxo de combustível. Isto é conseguido com queimadores externamente em etapas, bem como com queimadores integralmente em 20 etapas, onde as saídas do oxigênio são providas no bloco de queimador.

É possível adicionalmente reduzir as perdas radioativas originárias das chamas de oxigênio-óleo com a alteração dos mecanismos que podem levar a espécies carbonáceas extremamente radioativas na chama. Dois processos comuns que levam à formação destas espécies são a separação da fase líquida e a reformulação dos componentes menos voláteis nas gotículas de óleo e nas reações de condensação de fase gasosa que leva à formação de fuligem. O mecanismo anterior é exacerbado por grandes 25 tamanhos de gotículas e a presença de compostos aromáticos, por exemplo, asfaltitas. O segundo mecanismo é promovido em regiões de altas temperaturas e ricas em combustível, onde os reagentes de fase gasosa parcialmente saturados, por exemplo, acetileno, podem reagir através de uma multitudde 30 de percursos de reação para eventualmente formar redes aromáticas e fuli-

gem eventualmente sólida.

Em uma concretização, a presente invenção preferivelmente utiliza um alto grau de atomização para produzir pequenas gotículas de óleo, na ordem de cerca de 5 a 50 micrões, preferivelmente de cerca de 10 a cerca de 50 micrões, de modo que o tempo gasto na fase líquida seja curto. Assim, a separação da fase líquida é minimizada e qualquer resíduo carbonáceo sólido resultante é dividido com precisão e será assim oxidado mais prontamente por sua área de superfície aumentada. A rápida mistura com um meio de atomização na região de queimador inicial, tal como com a indução de uma relativa diferença de velocidade entre o fluxo de atomização de combustível e oxidante para aumentar a velocidade de separação na fase gasosa, rapidamente dilui as regiões ricas em combustível que circunda cada gotícula de óleo, criando assim uma mistura substancialmente mais homogênea total das gotículas de combustível vaporizado, de oxidante, de um meio de atomização e de produtos de combustão parcial. As reações do vapor de combustível com um meio de atomização oxidante cria uma mistura parcialmente pré-queimada que é menos propensa à fuligem. A quantidade de meio de atomização introduzida na região inicial da chama depende em muito da natureza da fuligem do próprio combustível que é uma função clara de sua preparação química.

É sabido que, como uma regra geral, o grau de fuligem que ocorre se refere à relação de C:H de óleo, com uma tendência muito reduzida de fuligem em concentrações H maiores. Entretanto, a tendência se torna extremamente errática, à medida que a aromaticidade do combustível aumenta, por exemplo, naftas são extremamente propensas à fuligem. Assim, o próprio meio de atomização pode ser vantajosamente escolhido para reduzir a tendência de formação de fuligem através da alteração da relação de C:H. Os meios de atomização úteis em neutralizar a tendência de formação de fuligem incluem o ar, o oxigênio, o vapor, o gás natural e o hidrogênio, ou uma mistura dos mesmos. Os dois primeiros apresentam um efeito puramente oxidante, os dois últimos apresentam o efeito de alterar a relação de C:H na mistura do meio de vapor de combustível/atomização na região de

queimador próxima, de modo que sejam evitadas as condições de formação de fuligem. O vapor apresenta um efeito combinado, e acoplado com o aquecimento radioativo originário da chama principal e/ou forno, faz com que as reações de gaseificação ocorram, produzindo CO e H<sub>2</sub> para a reação adicional.

5

Depois da região de queimador próxima inicial, o fluxo de combustível líquido original se torna essencialmente um fluxo de combustível gasoso, interagindo com os fluxos de oxigênio secundários circundantes da mesma maneira que experimentado com o uso de queimadores de gás executados em etapas discutidos acima.

10

Exemplo 7: Queimador de Oxigênio-Combustível Executados em Etapas de Combustível.

Um queimador de oxigênio-combustível 150, mostrado esquematicamente na Figura 11, foi destinado ao uso nas aplicações de forno de fusão de vidro montadas no topo de um forno, com o uso de princípios dispostos em etapas do combustível, de um injetor de oxidante externo (oxigênio) e dois injetores de combustível internos; um injetor de combustível central sendo adaptado para a injeção de alta velocidade e um injetor de combustível anular sendo adaptado para a injeção de baixa velocidade. Os injetores preferivelmente compreendem pelo menos três tubos concêntricos. O comprimento de chama de queimador e a mistura de oxidante-combustível são controlados por um jato de combustível de alta pressão central 142 que é suprido através das paredes de tubo 152 a partir da primeira alimentação de combustível 147, utilizando cerca de 10-90% do fluxo de combustível.

15

Este fluxo de alta velocidade e de momento elevado governa a forma da chama e a mistura, ao invés do revestimento de gás combustível de momento mais baixo 143. Este fluxo de gás é também mais alto do que o fluxo de oxigênio, a fim de controlar a mistura. O combustível restante 143 (cerca de 90-10%) é suprido a partir da segunda alimentação de combustível 148 concentricamente através de pelo menos um injetor de combustível anular formado pelas paredes 152 e pelas paredes do tubo 153, com o oxigênio de combustão 141 sendo suprido a partir da alimentação de oxigênio 146 atra-

20

25

30

vés de um injetor anular externo formado pelas paredes do tubo 151 e pelas paredes do tubo 153. O dimensionamento do injetor de alta pressão central governa a velocidade de mistura devido ao momento elevado do jato. O jato central se dá por etapas devido ao revestimento dos fluxos de gás secundários. Esta disposição apresenta um meio para impelir o gás combustível, tal como o gás natural, e de permitir que o gás combustível interaja com a carga de matéria-prima livre de sucata de vidro e o oxigênio fornecido em etapas perto da superfície da matéria-prima em uma aplicação de forno de vidro. Opcionalmente, o jato de alta velocidade central pode ter uma massa mais baixa do que o jato de combustível de baixa velocidade, enquanto o momento do jato central é mais alto.

Em uma concretização, o jato central de alta velocidade pode compreender um combustível líquido suprido por um queimador de combustível líquido, tal como um queimador de óleo, do que um combustível gasoso, e o revestimento de combustível de velocidade mais baixa pode compreender um combustível gasoso.

As patentes e documentos descritos aqui são incorporados por referência.

Embora a invenção tenha sido descrita em detalhes com referência a certas concretizações específicas, aqueles versados na técnica irão reconhecer que existem outras concretizações dentro do espírito e escopo das reivindicações. Deve, portanto, ser apreciado que presente a invenção não é limitada às concretizações específicas descritas aqui, mas incluem variações, modificações e concretizações equivalentes definidas pelas reivindicações a seguir.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para fundir material de formação do vidro (30) em um forno de fusão de vidro (10, 110), o forno tendo uma parede traseira (14), altares acima das paredes laterais (18), e uma parede dianteira a jusante 5 conectada a um topo (22, 111), compreendendo as etapas de:
  - carregar material de matéria-prima de formação do vidro (30) a partir de pelo menos um carregador (32) de matéria-prima proporcionado em pelo menos uma dentre a parede traseira e a parede lateral;
  - proporcionar pelo menos um queimador de oxigênio-combustível 10 (34, 103, 105, 161) no topo (22, 111) do forno, sobre o material de matéria-prima;
  - proporcionar um fluxo de combustível para pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) para injeção de um jato de combustível dentro do forno;
  - 15 proporcionar um fluxo de oxidante gasoso em associação com pelo menos um queimador de oxigênio-combustível para injeção de um jato de oxidante dentro do forno;
  - injetar o jato de combustível e o jato de oxidante dentro do forno, em que o jato de combustível é somente de combustível ou é de uma mistura 20 de combustível-oxidante rica em combustível, e em que o jato de oxidante é substancialmente somente de oxidante ou é de uma mistura de combustível-oxidante pobre em combustível; e a combustão do jato de combustível de modo que pelo menos uma porção da combustão é efetuada na proximidade do material de formação do vidro (30) para intensificar a transferência 25 convectiva e radiante de calor para o material de formação de vidro (30) sem substancialmente perturbar o material de formação do vidro (30);
    - em que a mistura do jato de combustível e do jato de oxidante é retardada para localizar a combustão próxima da superfície ou na superfície do material de formação do vidro (30), **caracterizado pelo fato de que a** 30 combustão é executada em etapas para efetuar o retardamento da combustão e para efetuar a combustão da porção do jato de combustível na proximidade do material de formação do vidro (30), o jato de combustível injetado

e o jato de oxidante injetado são separados, e opcionalmente angulados entre si, por uma quantidade suficiente para provocar que os respectivos fluxos convirjam próximo a superfície ou na superfície do material de formação do vidro (30).

5           2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o oxidante é selecionado a partir do grupo que consiste em ar enriquecido em oxigênio, oxigênio impuro e oxigênio "industrialmente" puro.

10          3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que** o combustível é um gás selecionado a partir do grupo que consiste em metano, gás natural, gás natural liquefeito, propano, gás de propano liquefeito, butano, gases BTU inferiores, gás de carvão, gás de gassogênio e misturas dos mesmos.

15          4. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que** o combustível é um líquido.

15          5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** o combustível líquido injetado apresenta um tamanho de gotícula maior do que cerca de 100 mícrons.

20          6. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** inclui ainda a etapa de atomizar o combustível líquido para produzir gotículas tendo um tamanho no intervalo de 5 mícrons a 50 mícrons.

25          7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato de que** o queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) é contido em um bloco de queimador (38, 121), proporcionando a separação integral das fases do oxidante através da injeção a partir do mesmo bloco de queimador de oxigênio-combustível;

30          8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato de que** o queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) é contido em um bloco de queimador (38, 121), proporcionando a separação externa das fases do oxidante através da injeção separada a partir do bloco de queimador de oxigênio-combustível;

             9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** a injeção separada a partir do bloco de queimador de oxigênio

combustível é proporcionada através de pelo menos um injetor de oxidante secundário no topo (22, 111) do forno.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado pelo fato de que** ainda inclui oxidante borbulhando por 5 debaixo da superfície do material de formação do vidro (30).

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizado pelo fato de que** o material de formação do vidro (30) entra no forno através de pelo menos um carregador (32), incluindo proporcionar pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 10 161) no topo (22, 111) do forno próximo ao pelo menos um carregador (32) acima do material de formação do vidro (30).

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado pelo fato de que** o queimador é montado a partir de uma orientação substancialmente perpendicular à superfície do material de formação do vidro (30) para uma orientação até 45 graus longe da perpendicular e na direção da parede dianteira a jusante do forno.

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado pelo fato de que** pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) é proporcionado no topo (22, 111) próximo 20 da parede dianteira a jusante.

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **caracterizado pelo fato de que** ainda inclui proporcionar todos os queimadores de forno como queimadores montados no topo (22, 111).

15. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** ainda inclui operar pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) montado no topo (22, 111) em um modo rico em combustível e pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) montado no topo (22, 111) em um modo pobre em combustível, e executar em etapas a combustão entre os dois queimadores.

30 16. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) contém pelo menos um injetor de oxidante externo e dois in-

- jetores de combustível internos, o injetor de combustível mais interno sendo adaptado para injeção de combustível de alta velocidade e o outro injetor de combustível, disposto entre o injetor de combustível mais interno e o injetor de oxidante externo, sendo adaptado para a injeção de combustível de velocidade mais baixa;
- 5                   o fluxo de combustível através do injetor de combustível mais interno tem um momento mais alto do que o fluxo de combustível através do outro injetor de combustível; e
- 10                  o fluxo de oxidante gasoso para o injetor de oxidante externo, tendo um momento mais baixo do que o fluxo de combustível através do injetor de combustível mais interno.

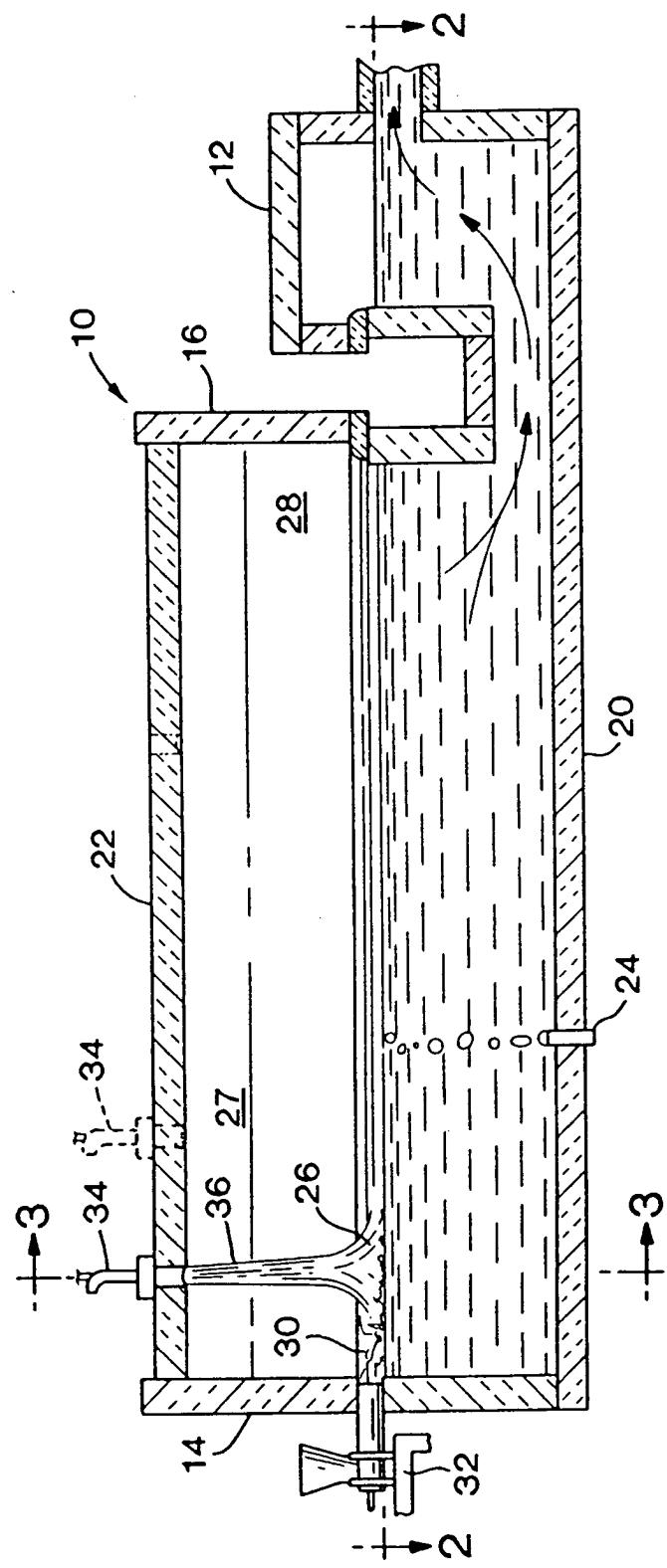


FIG. 1

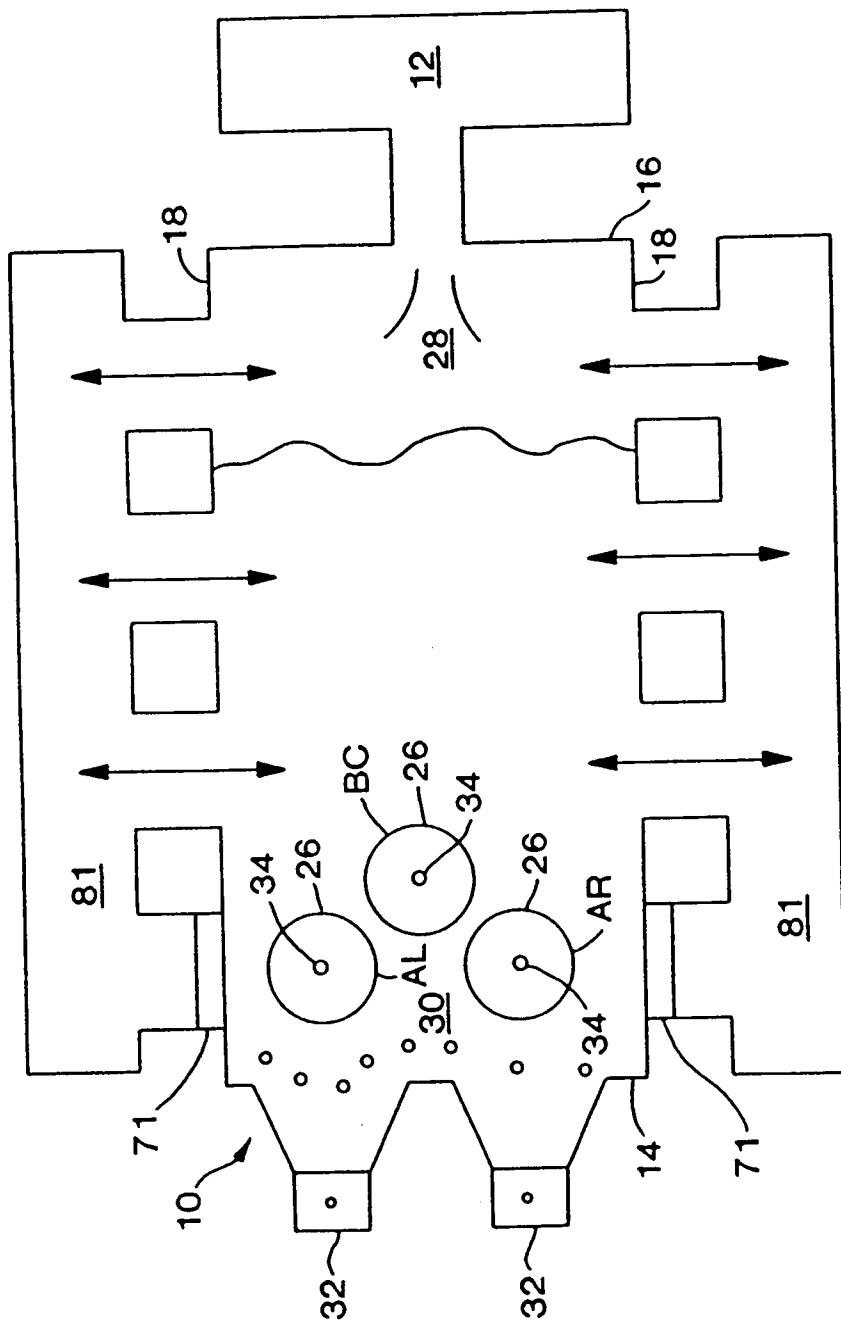


FIG. 2A

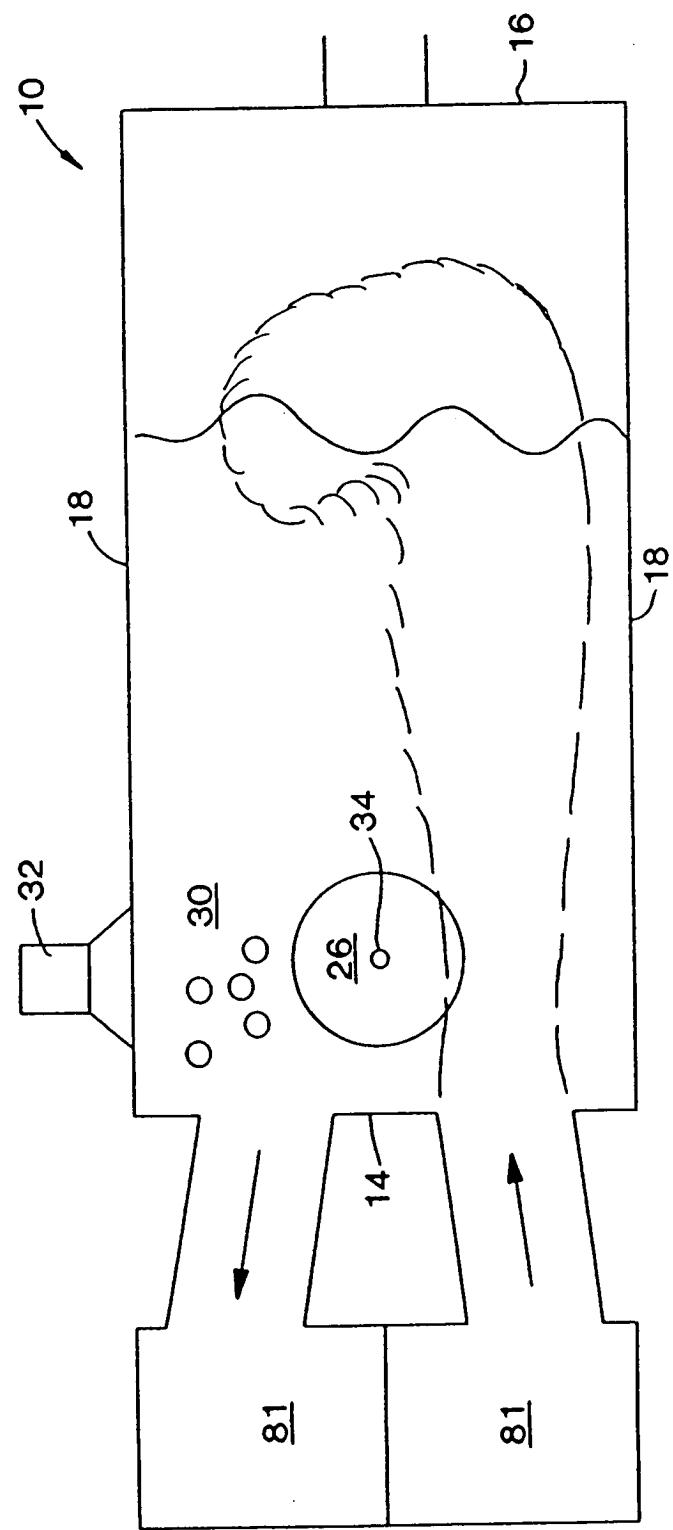


FIG. 2B

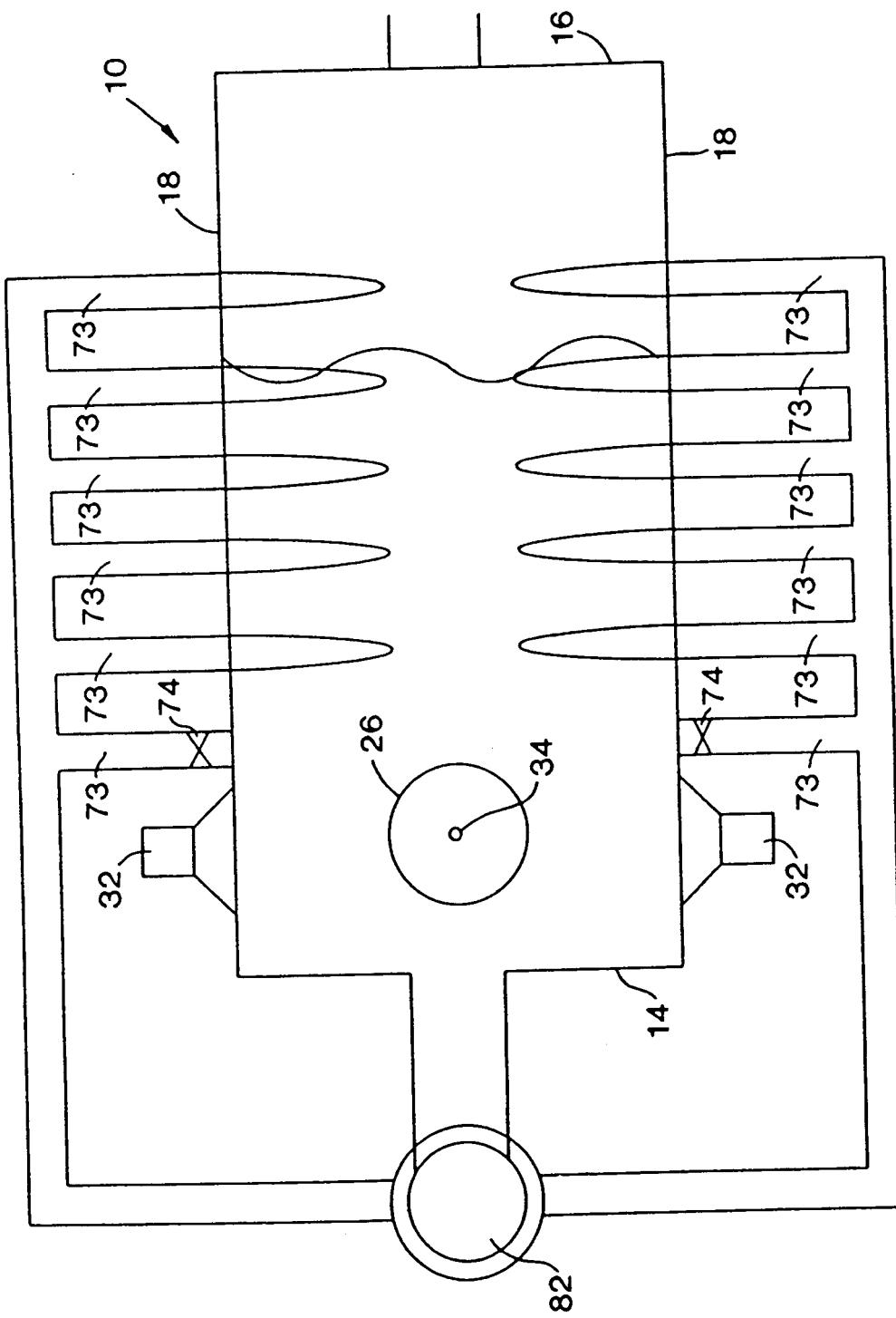


FIG. 2C

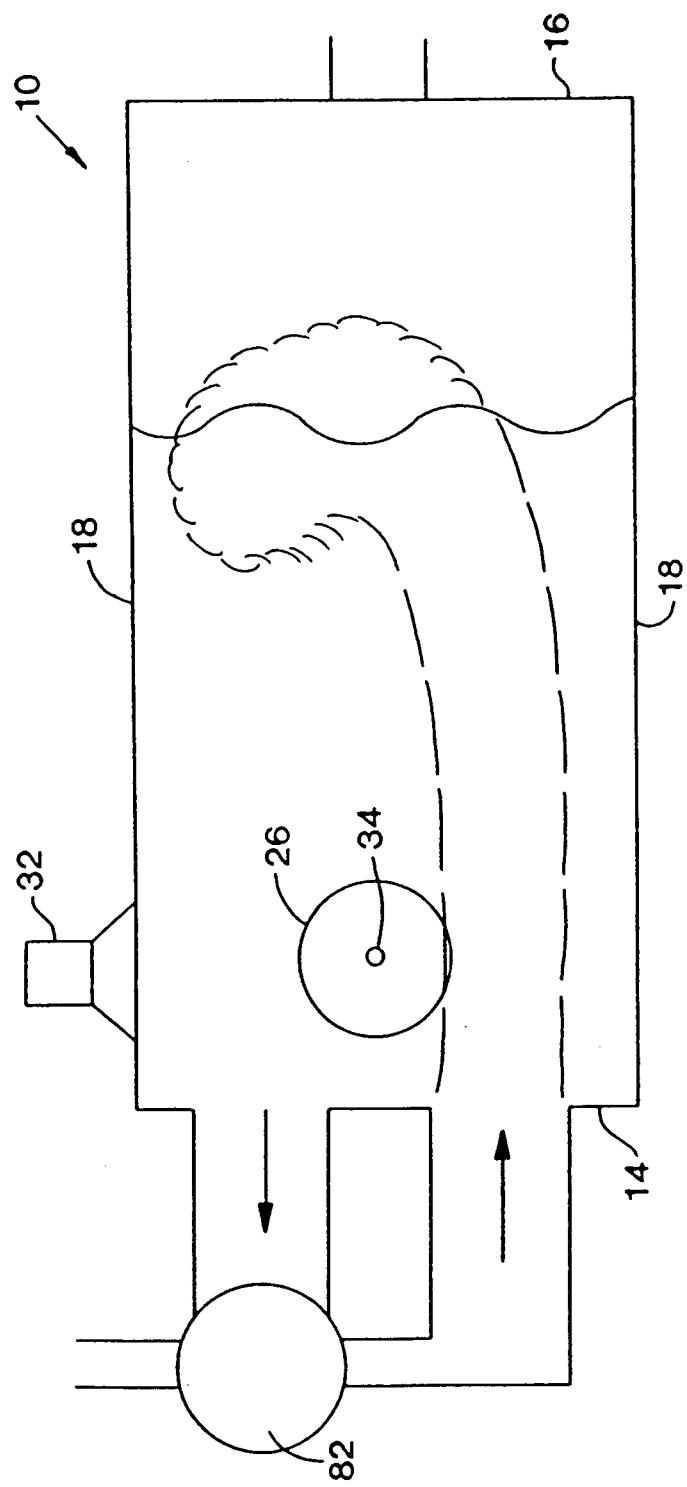


FIG. 2D

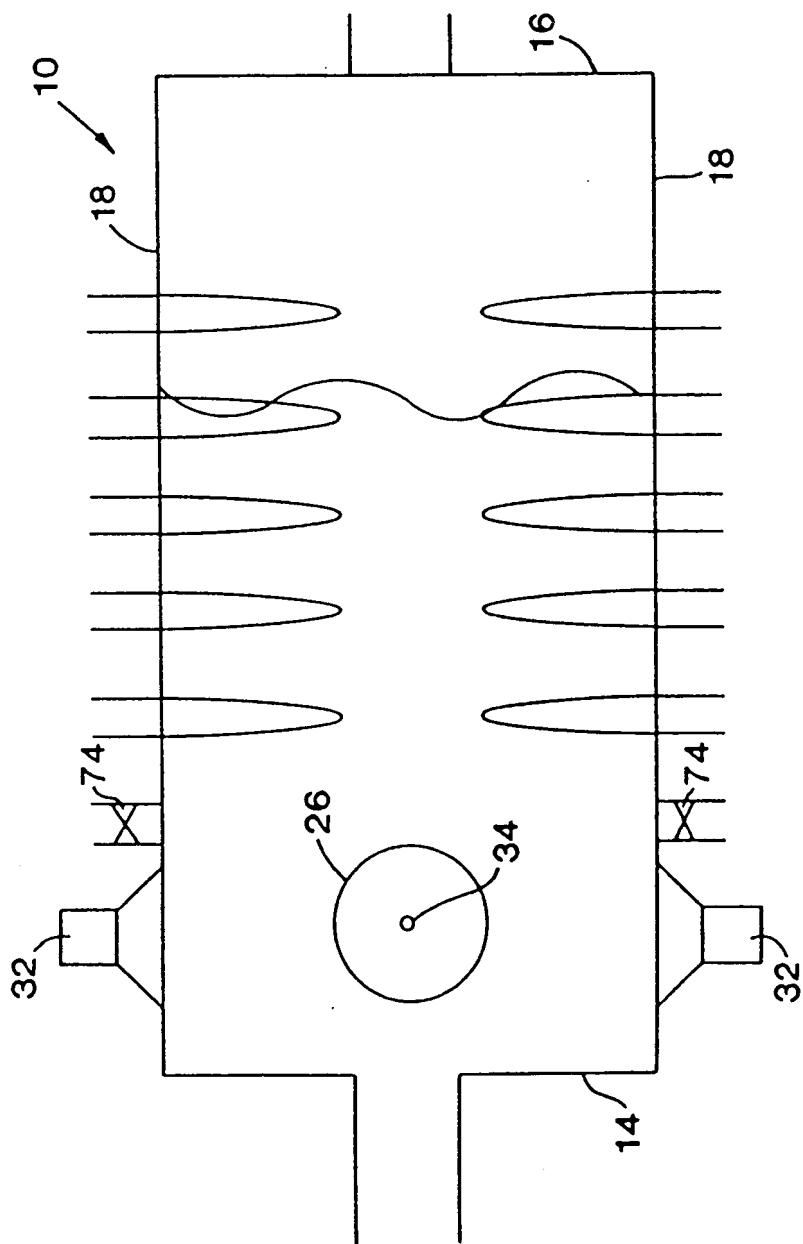


FIG. 2E

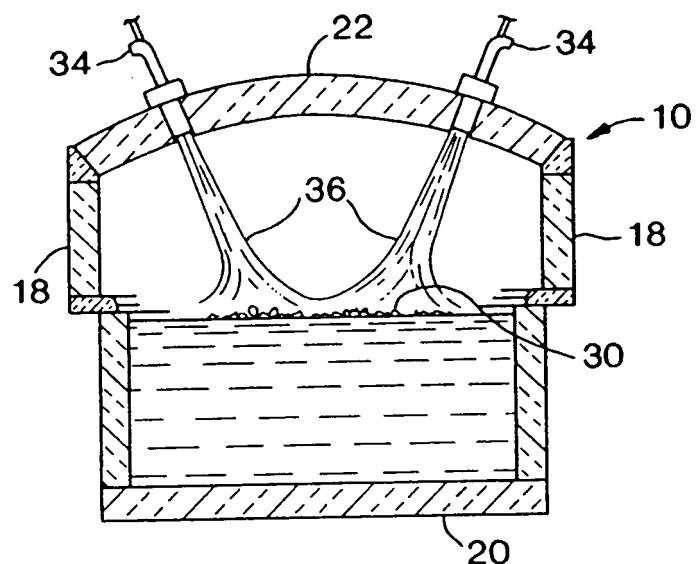


FIG. 3

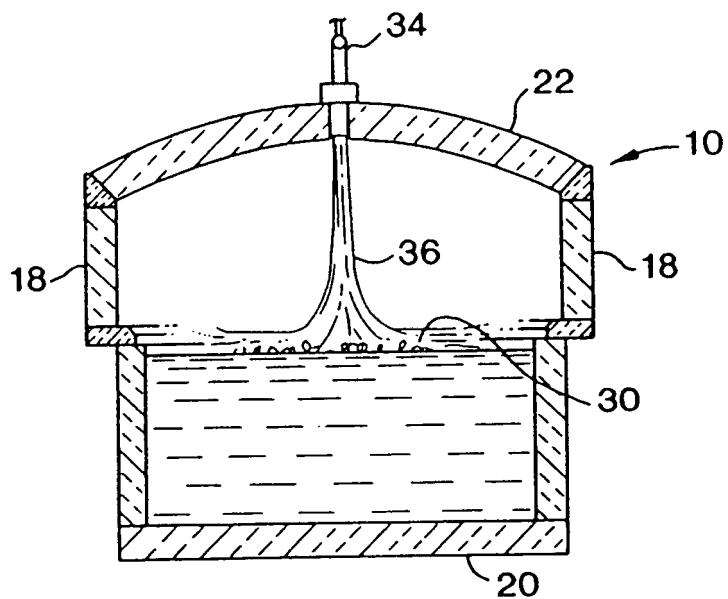


FIG. 4

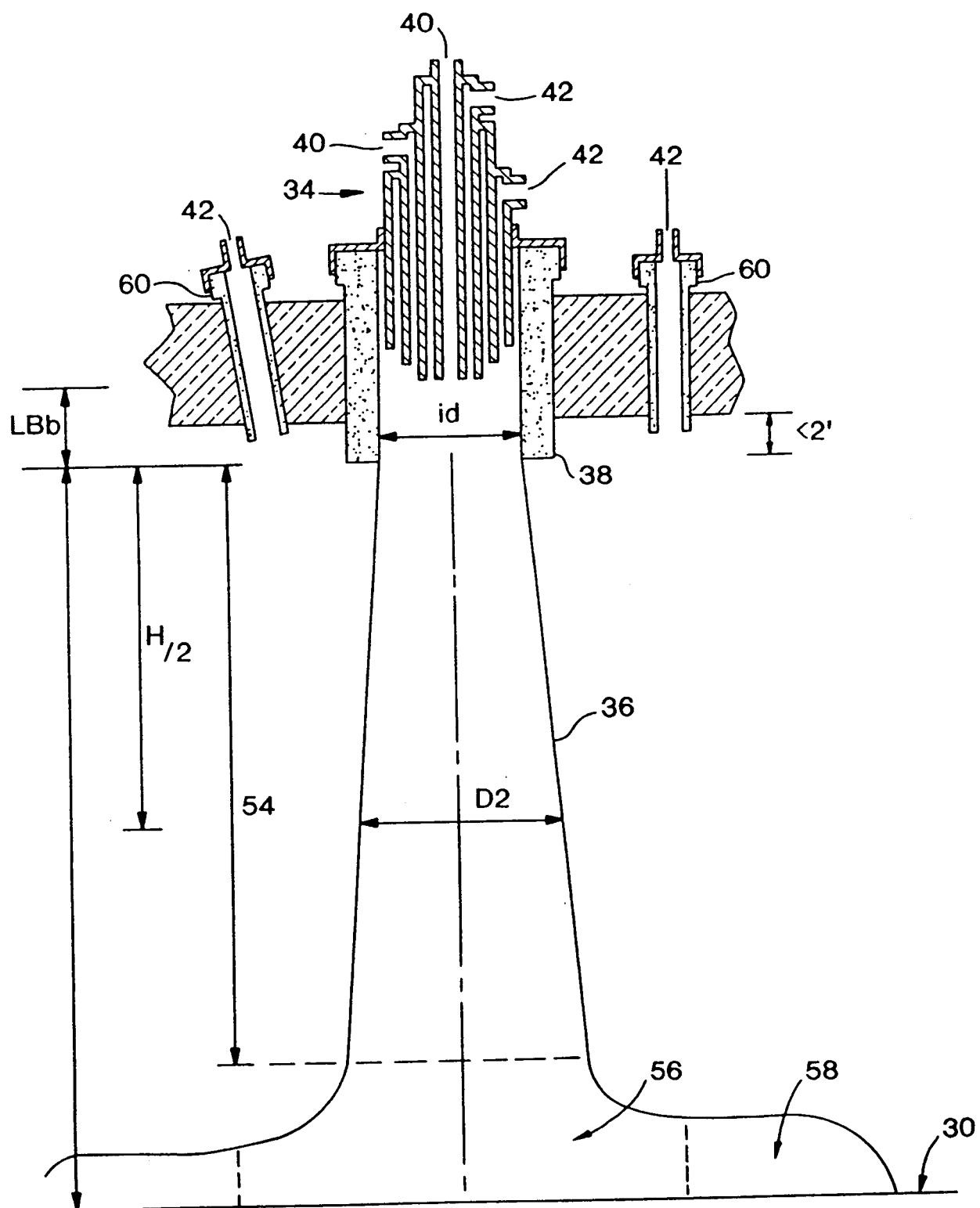
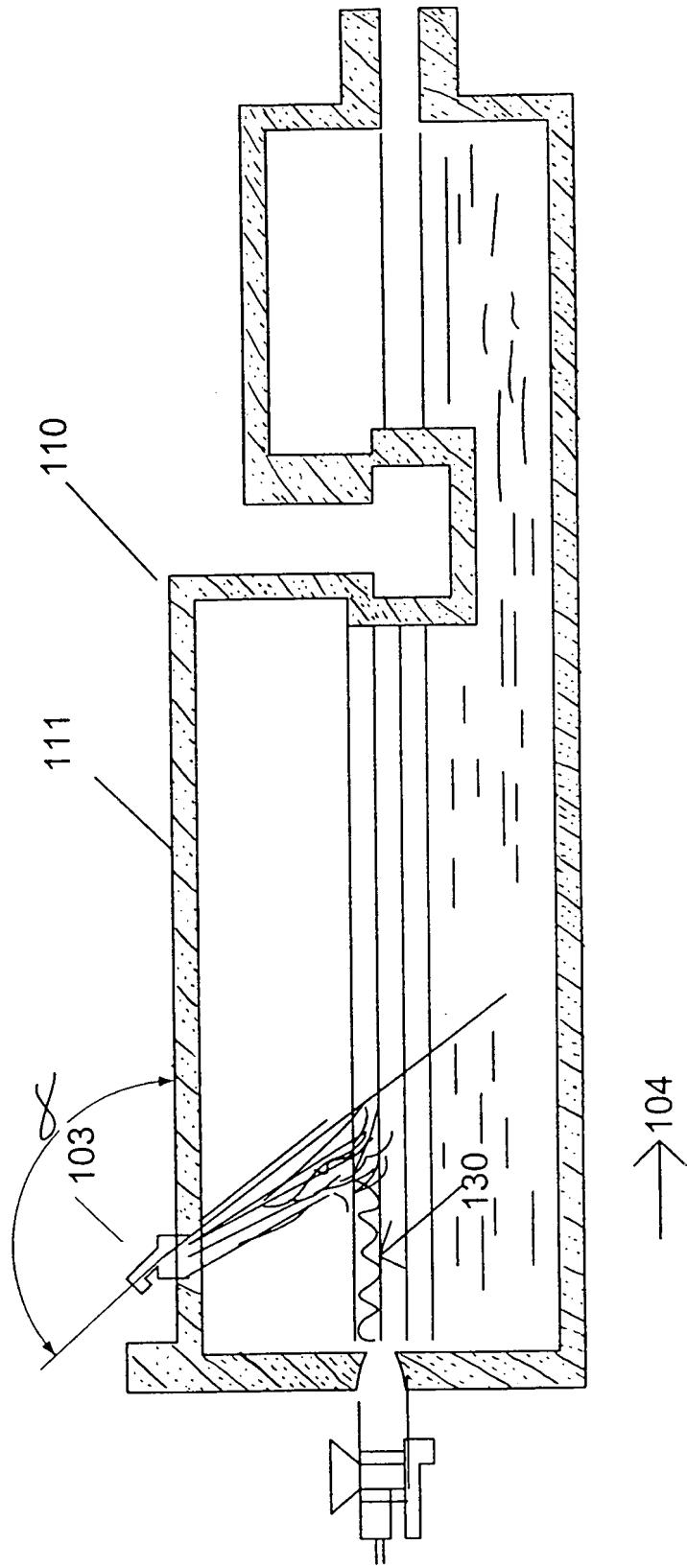


FIG. 5

FIG. 6



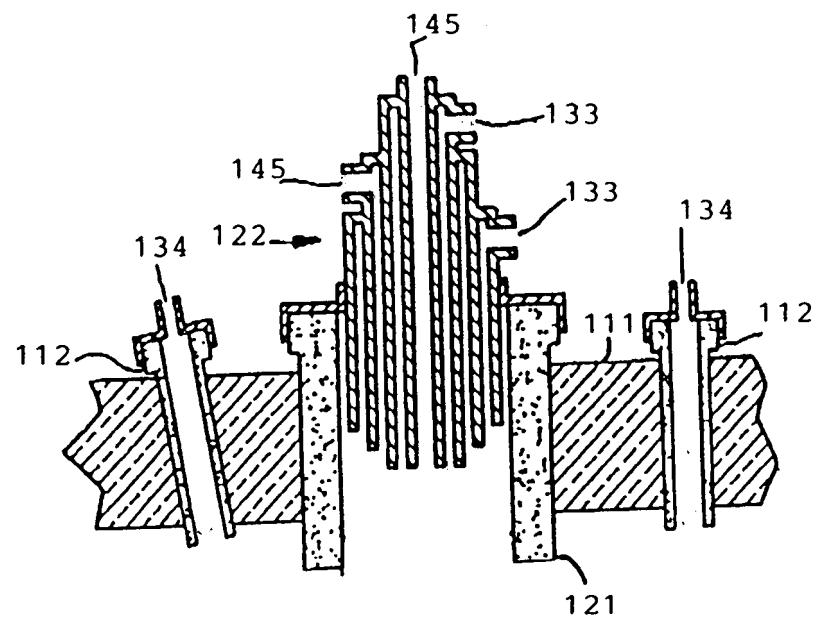


FIG. 7

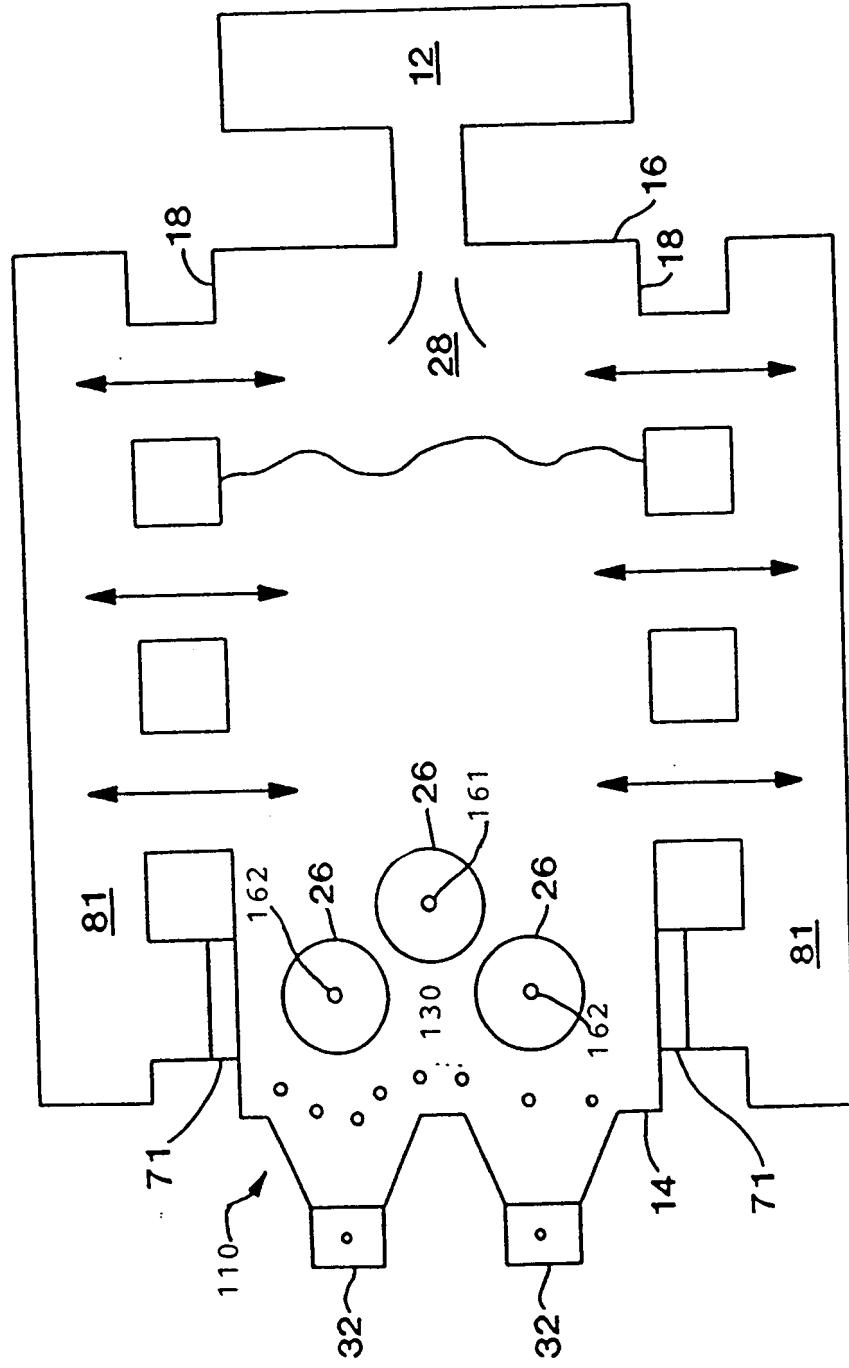
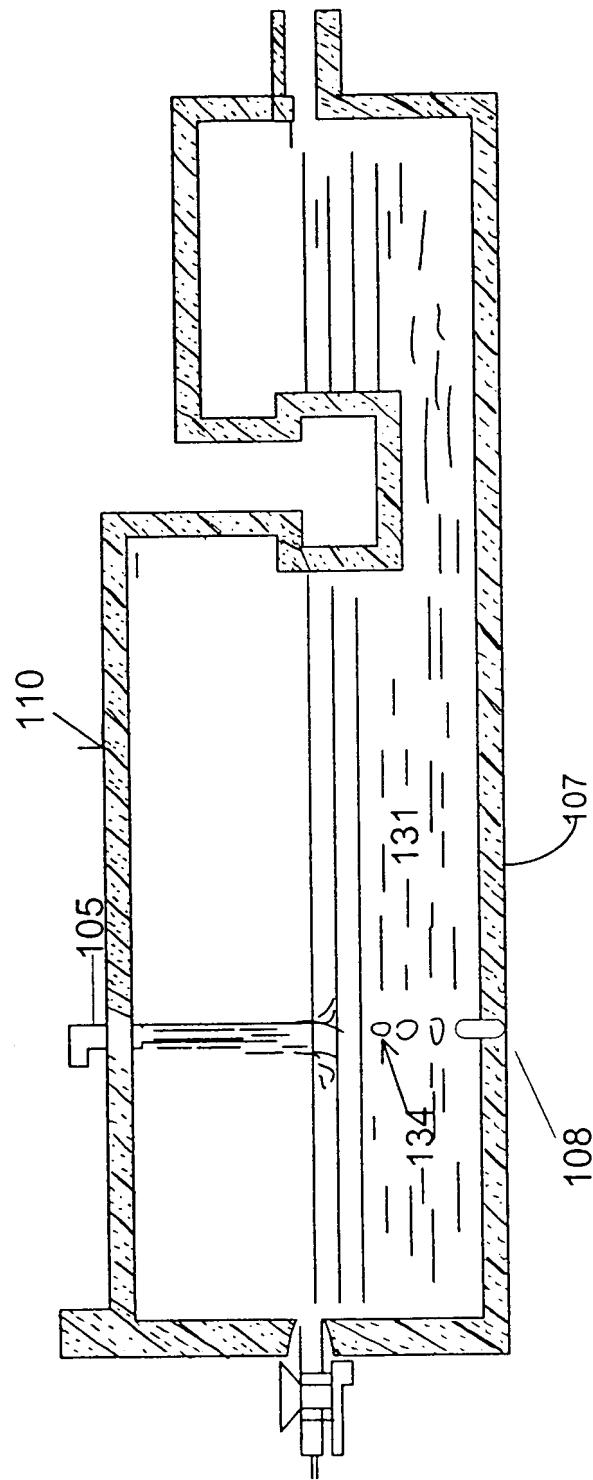
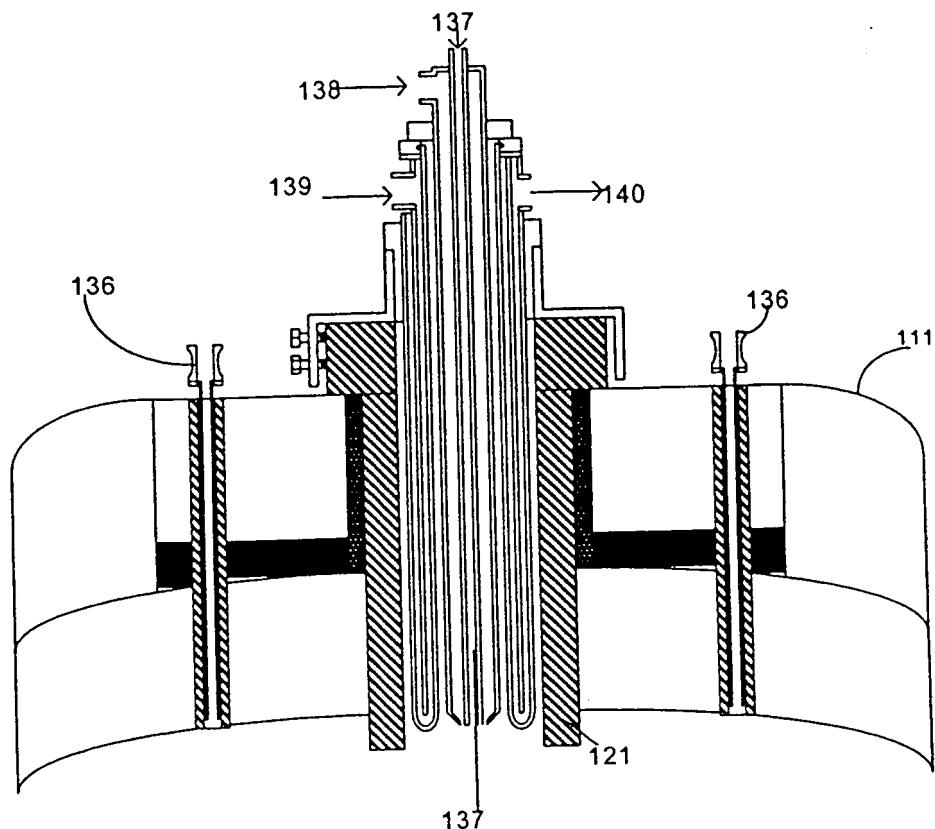


FIG. 8

FIG. 9



## FIG.10



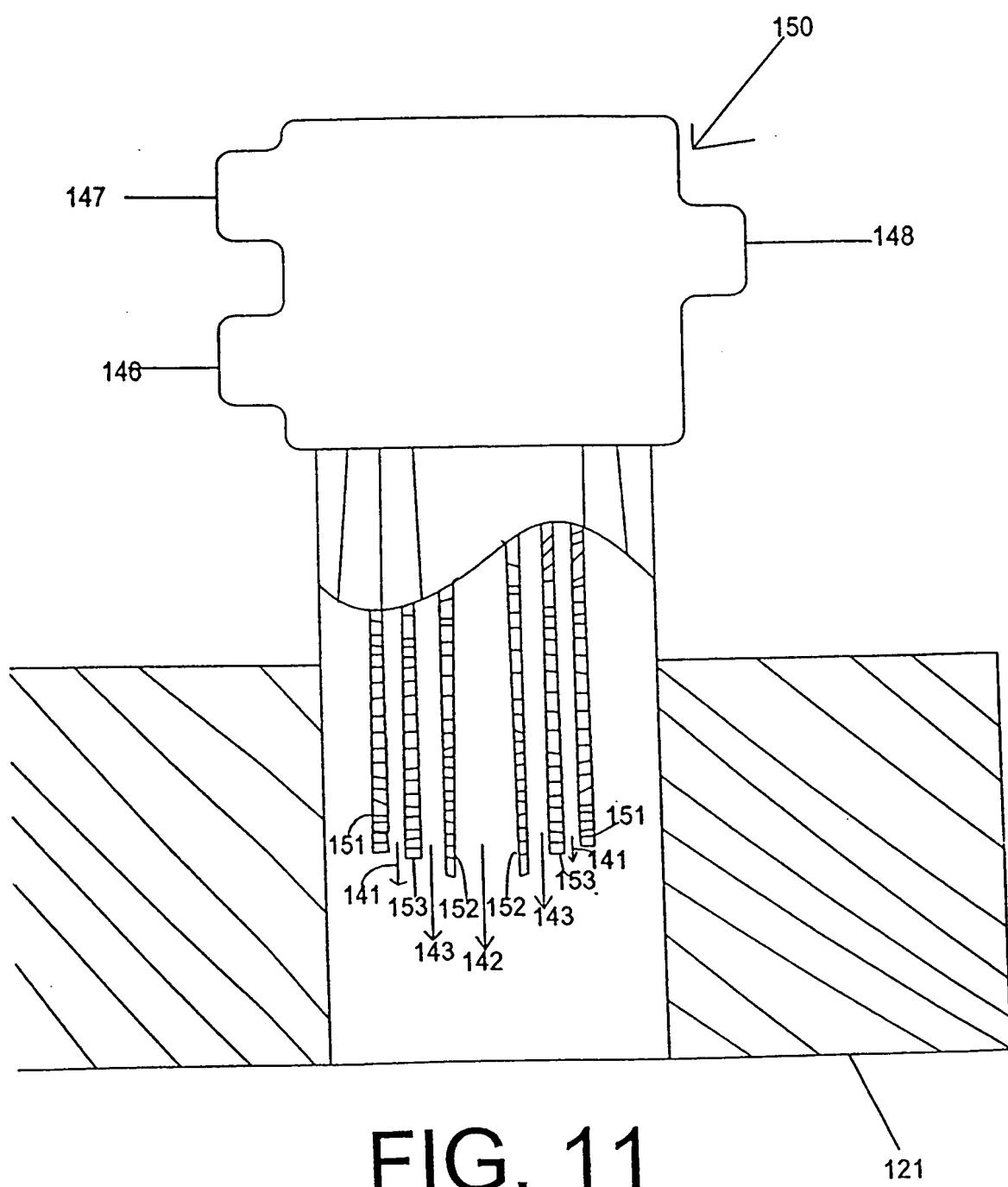


FIG. 11

121

## RESUMO

Patente de Invenção: "**MÉTODO PARA FUNDIR MATERIAL DE FORMAÇÃO DO VIDRO EM UM FORNO DE FUSÃO DE VIDRO**".

Em um forno de vidro industrial, que opcionalmente contém re-  
5 cuperadores (82), regeneradores (81), reforço elétrico ou outros dispositivos para proporcionar calor para a matéria-prima do vidro, pelo menos um queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161) de combustão executado em etapas é montado no topo (22, 111) do forno para proporcionar calor pa-  
ra fundir a matéria-prima do vidro através da provisão de um fluxo de com-  
10 bustível para o queimador de oxigênio-combustível (34, 103, 105, 161), para proporcionar um fluxo de oxidante gasoso em associação com o queimador de oxigênio-combustível, para injetar combustível e oxidante no forno e para queimar o combustível, de tal modo que pelo menos uma parte da combus-  
tão seja efetuada nas proximidades do material de formação do vidro (30)  
15 para intensificar a transferência convectiva e radioativa de calor para o mate-  
rial de formação do vidro (30) sem substancialmente perturbar o material de formação do vidro (30). Em uma concretização, o queimador de oxigênio-  
combustível (34, 103, 105, 161) é adaptado para injetar combustíveis líqui-  
dos. Em outra concretização, o queimador de oxigênio-combustível (34, 103,  
20 105, 161) é adaptado para a combustão do combustível executada em eta-  
pas e contém pelo menos um injetor de oxidante externo e dois injetores de combustível internos, o injetor de combustível mais interno sendo adaptado para a injeção de combustível de alta velocidade e o outro injetor de com-  
bustível, disposto entre o injetor de combustível mais interno e o injetor de  
25 oxidante externo, sendo adaptado para a injeção de combustível de veloci-  
dade mais baixa.