



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

(21) PI 0718352-6 A2



(22) Data de Depósito: 14/12/2007
(43) Data da Publicação: 19/11/2013
(RPI 2237)

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

(54) Título: FORNO PARA FUNDIÇÃO DE VIDRO

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 15/12/2007 FR 0655571

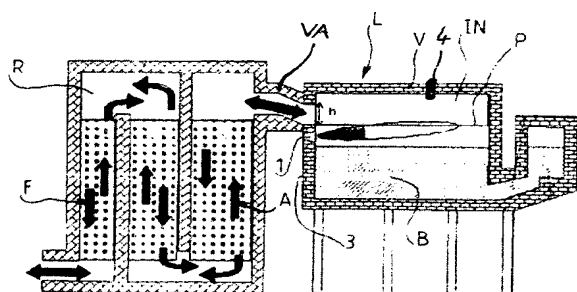
(73) Titular(es): GDF SUEZ

(72) Inventor(es): JOHN WARD, NEIL FRICKER, RICHARD STANLEY PONT, STÉPHANE MAUREL, THIERRY FERLIN

(74) Procurador(es): MAURICIO SERINO LIA

(86) Pedido Internacional: PCT FR2007052518 de 14/12/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/074961 de 26/06/2008



“FORNO PARA FUNDIÇÃO DE VIDRO”

A presente invenção diz respeito a um processo de combustão para fundir / derreter vidro, essencialmente uma fornalha de fundição de vidro para implementação deste processo, mas a invenção também pode ser aplicada a
5 outros tipos de fornalhas de alta temperatura.

A maioria dos tipos de vidro, e em particular vidro laminado e vidro para recipientes, são fabricados derretendo-se matérias-primas / produtos básicos em grandes fornalhas de fundição, produzindo algumas dezenas em poucas centenas de toneladas métricas de vidro por dia e por unidade. O combustível
10 usado em tais fornalhas é geralmente gás natural ou óleo combustível, embora outros combustíveis também possam ser usados. Certas fornalhas também usam eletricidade para aumentar a produção (estímulo elétrico). São necessárias fornalhas de alta temperatura (normalmente 1.500 °C, mas algumas vezes mais alta) para a fundição. Condições ideais de temperatura da fornalha são obtidas
15 pré aquecendo o ar de combustão (normalmente até 1.000 °C, mais algumas vezes mais alta). O calor requerido para pré aquecer o ar de combustão é transmitido pelos gases residuais, o que geralmente é conseguido usando regeneradores reversíveis. Esta abordagem permite a obtenção de um grau mais alto de eficiência térmica combinado com altos índices de fundição. Existem
20 vários tipos de fornalhas de fundição, incluindo:

- Fornalhas de fogo cruzado: nestas fornalhas, que possuem uma área de superfície de fundição geralmente superior a 70 m² e que operam com inversão da direção da chama aproximadamente a cada 20 30 min., o calor contido nos gases residuais é recuperado nos regeneradores feitos de uma
25 grande quantidade de tijolos refratários. O ar de combustão frio é pré-aquecido

durante a sua passagem pelos regeneradores (ar ascendente), enquanto os gases residuais quentes que saem da fornalha são usados para re aquecer outros regeneradores (gases residuais descendentes). Estas fornalhas, com um volume de produção por vezes superior a 600 t / dia e que são usadas para fabricar vidro laminado e vidro para recipientes, consomem muita energia. O diagrama de
5 operação da fornalha de fogo cruzado é apresentado na Figura 1.

- Fornalhas de fogo frontal: nestas fornalhas, a chama (algumas vezes chamada de chama "ferradura") faz um loop (volta). Estas fornalhas operam com a recuperação do calor dos gases residuais através de
10 regeneradores, que o repassam ao ar de combustão. O diagrama de operação deste tipo de fornalha é apresentado na Figura 2.

O combustível é injetado na fornalha em / próximo ao fluxo de ar que sai do regenerador. Os queimadores são projetados para produzir chamas de alta temperatura com boas qualidades de radiação, de forma a obter uma troca de
15 calor eficiente. Existe um certo número de opções para produzir a mistura comburente / combustível. Os nomes destas técnicas mostram como o combustível é introduzido. As configurações encontradas mais freqüentemente são as seguintes:

"Canal inferior": por baixo do fluxo de ar,

20 "Canal superior": por cima do fluxo de ar,

"Canal lateral": ao lado do fluxo de ar,

"Canal direto": dentro / através do fluxo de ar.

A escolha dentre estes diferentes métodos de injeção é feita de forma a se obter um resultado adequado para a configuração dos fluxos de ar e
25 do tipo de fornalha de fundição usada, e como uma função de reserva conectada

ao fornecimento de combustível (por exemplo: pressão de gás disponível para uma fornalha alimentada com gás natural) ou com a natureza do combustível.

Embora tais métodos de combustão sejam muito eficientes em termos de operação da fornalha, eles produzem efeitos adversos, tais como a produção de altos níveis de óxidos de nitrogênio (subseqüentemente chamados de NOx), um dos poluentes de ar mais controlados. Na maioria dos países industrializados, são impostos limites (em termos de concentração e taxa de fluxo) para as fornalhas de produção de vidro de alta capacidade, a fim de reduzir as emissões de NOx. Além disso, a regulação está se tornando mais enérgica a cada ano.

Em fornalhas de alta temperatura, como em fornalhas de fundição de vidro, a principal via de formação de NOx é a via "térmica" na qual o NOx é produzido em zonas da fornalha onde a temperatura das chamas é superior a 1.600 °C. Além deste limiar, a formação de NOx aumenta exponencialmente com a temperatura da chama. Infelizmente, as técnicas de combustão geralmente usadas em fornalhas de fundição para criação de chamas de alta radiação, como aquelas mencionadas anteriormente, produzem altas temperaturas de chama (com máxima superior a 2.000 °C) e têm a conseqüência de gerar emissões de NOx muito mais altas que aquelas aceitas em vários países no mundo.

Ademais, uma das conseqüências dos métodos de combustão convencionais é que há pouca liberação de calor pela combustão na maior parte do volume da fornalha, visto que os produtos da combustão que envolve a chama esfriam gradualmente, passando seu calor para o banho de vidro.

Com o passar do tempo, os gases residuais se tornam menos eficientes em transferir o calor ao banho de vidro por radiação. A transferência de

calor por radiação da chama para o banho de vidro pode ser aumentada a um grau significativo se houver uma maneira de aumentar a temperatura dos produtos da combustão ainda presentes na câmara de fundição.

Existem várias técnicas que permitem a redução de emissões de NOx em fornalhas regenerativas de fundição. Dentre estas, podemos distinguir métodos primários (nos quais a redução ocorre durante a combustão), métodos secundários (nos quais a redução ocorre por tratamento dos produtos da combustão na saída da fornalha) e métodos intermediários, nos quais o tratamento ocorre no local da saída da câmara de fundição para os regeneradores (processo Pilkington 3R ou re combustão).

Os métodos que podem ser usados são os seguintes:

Método primário – Queimadores de "Baixo NOx": Há vários tipos de queimadores de "baixo NOx" no mercado, isto é, queimadores que possibilitam a redução de emissões de NOx mesmo quando usados sozinhos. Entretanto, seu desempenho nem sempre permite a obtenção dos níveis de redução necessários para satisfazer as regulamentações europeias, ou as regulamentações em vigor em outros países no mundo. Mais particularmente, os seguintes tipos de queimadores são encontrados:

Queimadores de duplo impulso – Estes queimadores produzem uma velocidade de gás baixa na origem da chama, de forma a reduzir a temperatura da chama na zona onde a maioria do NOx é gerado. Os queimadores também aumentam a luminosidade da chama, o que promove a diminuição da temperatura da frente da chama, aumentando a troca de radiação de calor para o banho de vidro.

Injeção de gás envolvente ou "Injeção de Gás Encoberto" – Com

esta técnica, é injetado combustível em forma de gás em baixa velocidade acima dos queimadores "inferiores" a fim de bloquear os fluxos de comburente e de atrasar a mistura do gás em alta velocidade vindo dos queimadores "inferiores" com os fluxos de ar, reduzindo assim as temperaturas na origem da chama.

5 Injeção de gás em velocidade ultra baixa – Injeções de gás combustível em velocidades muito baixas (menos de 30 m / s) são usadas com queimadores especiais resfriados por circulação de água, a fim de minimizar a temperatura local da chama e de aumentar a sua luminosidade. A eficiência deste tipo de queimador em termos de redução de NOx depende muito do design da
10 fornalha.

 Método primário – Preparação: Esta técnica utiliza queimadores convencionais para injeção de combustível e redução de fluxo do ar de combustão através do fluxo de ar, a fim de criar condições de excesso de combustível e introduzir o resto do comburente em outro local da fornalha, a fim
15 de completar a oxidação do combustível. Este método, que pode reduzir drasticamente as emissões de NOx, é, todavia difícil de implementar e dispendioso de se usar, visto que requer oxigênio puro ou dutos para a introdução de ar a temperaturas superiores a 1.000 °C, para ser termicamente eficiente (a
20 preparação do comburente em ar frio induziria a uma redução de eficiência de energia). Alguns exemplos desta técnica de preparação são:

 Preparação do ar: Desviar o ar quente de combustão vindo dos regeneradores usando um ejetor em direção à câmara de combustão na direção dos gases residuais, de forma a produzir uma combustão completa. Este método requer o uso de dutos isolantes de calor e ar frio para direcionar o ejetor,
25 conseqüentemente, perda de eficiência térmica. Esta técnica foi usada somente

em fornalhas de fogo frontal, e principalmente na Alemanha.

Preparação de ar enriquecido com oxigênio, ou OEAS (sigla em Inglês para Preparação de Ar Enriquecido com Oxigênio): O ar de combustão que entra no fluxo de ar é introduzido com um fluxo insuficiente para completar a combustão, a fim de criar condições sub estequiométricas, e oxigênio puro ou ar enriquecido com oxigênio é injetado na parte traseira da fornalha, em direção ao fluxo de gases residuais, de forma a completar a combustão na zona de recirculação da fornalha. Os injetores OEAS são geralmente instalados na posição "canal inferior", separadamente dos queimadores. Esta técnica foi aplicada com sucesso em fornalhas de fogo frontal e em fornalhas de fogo cruzado, principalmente nos EUA.

Dentre as várias tecnologias de preparação, a patente WO 97 / 36134 expõe um dispositivo com queimadores em linha. Este dispositivo torna possível preparar o combustível dentro do fluxo de ar. O combustível fornecido à fornalha é dividido em dois, e uma porção é injetada contra a corrente do queimador, diretamente dentro do ar quente de combustão. Esta metodologia não utilize injeção de combustível diretamente na câmara de combustão, como na presente invenção. A técnica usa injeção de combustível, mas sempre junto com injeção de ar.

Método primário – condições de operação:

Esta técnica reduz as emissões de NOx injetando combustível adicional na câmara de combustão, de forma a criar uma "atmosfera de redução" na câmara de combustão. A atmosfera redutora converte o NOx formado na chama em nitrogênio e oxigênio. Nesta técnica, o NOx produzido na frente da chama de alta temperatura é reduzido em um segundo passo.

De fato, conforme demonstrado, por exemplo, pelo documento JP – A 08208240, combustível adicional introduzido por injetores situados na parede de suporte do queimador, na parede lateral, ou virados para o queimador, é adicionado ao combustível original que alimenta o queimador / queimadores.

5 Entretanto, de acordo com este método, ao mesmo passo que é possível conseguir reduções consideráveis de NOx na câmara de combustão, é necessário prover ar de combustão adicional após a saída da câmara de combustão. Este método não só requer consumo adicional de combustível, como o combustível adicional é queimado na câmara de combustão e, portanto, não participa do
10 derretimento do vidro.

Este processo um consume excedente de combustível, a fim de reduzir o NOx e sua aplicação pode levar a um aumento das temperaturas nos regeneradores e com o tempo à degradação dos regeneradores.

Método secundário – Tratamento de gases residuais: A maior parte
15 do NOx é tratada na saída da fomalha, por meio do uso de processos químicos de redução. Tais processos requerem o uso de agente redutores, como amônia, ou resíduos de combustão contendo hidrocarboneto, com ou sem a presença de catalisadores. Embora sejam capazes de alcançar os níveis de redução de NOx estabelecidos pelas regulamentações, estes processos são muito custosos de se
20 instalar e operar, e no case de processos baseados em hidrocarbonetos, como o processo 3R, ou o sistema explicado futuramente, um aumento de 5 a 15% do consumo de combustível é observado. Alguns exemplos desta técnica são dados abaixo:

Processo 3R (Reação e Redução em Regeneradores; processo
25 patenteado da empresa Pilkington) – Nesta técnica, o gás é injetado no topo da

câmara, de forma a consumir qualquer ar em excesso e produzir condições redutoras nos regeneradores situados na saída da fornalha, resultando na conversão do NOx em nitrogênio e oxigênio. Visto que deve ser utilizado um excesso de gás, ele é consumido na parte inferior dos regeneradores, onde o ar é infiltrado, ou injetado. O calor adicional gerado é geralmente recuperado pelos boilers. Para minimizar a quantidade de gás necessário para o sistema 3R, é comum operar a fornalha com menor excesso de ar possível. Esta tecnologia permite alcançar os níveis de redução de NOx impostos pelas regulamentações atuais e até mesmo excedê-las. Geralmente, de 5 a 15% do consumo total de combustível da fornalha é necessário para a implementação do processo 3R. A atmosfera redutora nos regeneradores normalmente é a causa dos problemas com o material refratário que os compõem.

Redução catalítica seletiva, ou SCR (sigla em Inglês para Redução Catalítica Seletiva) – Este método utiliza um catalisador de platina para reagir o NOx com amônia, ou uréia, de forma a reduzir o NOx no N2 e na água. O processo tem que ocorrer a uma temperatura específica e requer controle preciso da amônia, a fim de evitar descargas acidentais geradoras de poluição. Como esta reação ocorre na superfície, são necessárias áreas de grande superfície do catalisador, envolvendo instalações relativamente grandes. O processo químico é relativamente complexo e exigente em termos de controle e manutenção. São alcançados níveis bastante altos de redução de NOx; contudo, a contaminação dos catalisadores pelos gases residuais carregados com partículas vindas da fornalha de fundição do vidro apresenta problemas de entupimento e corrosão. Após um certo período de tempo, os catalisadores precisam ser substituídos, e o custo é considerável.

O objetivo da invenção é, portanto propor um processo, e meios de tornar isso possível, para remediar todas as desvantagens acima.

Mais particularmente, a invenção deve tornar possível reduzir as emissões de NOx ao passo em que se aumentam as temperaturas dos gases residuais adjacentes dentro da fornalha (as emissões de NOx produzidas nestas zonas são muito baixas). Além disso, a invenção deve tornar possível manter, ou até mesmo aumentar a transferência de calor para o banho de vidro, assim como o rendimento da fornalha.

O objetivo da invenção está ligado a um processo de combustão para derreter vidro de acordo com o qual dois combustíveis, da mesma natureza ou de diferentes naturezas, são introduzidos em uma câmara de fundição em dois locais e a uma distancia um do outro, a fim de distribuir o combustível na câmara de fundição com o propósito de limitar as emissões de NOx, com o ar de combustão sendo fornecido somente a um dos dois locais.

O objetivo da invenção também está ligado a uma fornalha para fundição de vidro que tenha um tanque para receber o vidro a ser derretido e que retenha o banho de vidro derretido, com, acima do vidro, com paredes formando respectivamente uma parede frontal, uma parede traseira, paredes laterais e uma cobertura / telhado, constituindo uma câmara de fundição, também chamada de câmara de combustão, assim como no mínimo um orifício de entrada para ar quente de combustão (a entrada para o ar de combustão também é chamada de "fluxo de ar"), por exemplo, na saída de um regenerador, no mínimo uma saída para gases residuais, e no mínimo um queimador para introduzir o primeiro combustível na câmara de fundição.

De acordo com a invenção, a fornalha de fundição tem, além disso,

no mínimo um injetor para injetar o segundo combustível na zona da câmara de fundição, que está a distancia do queimador e entre o "telhado" e um plano horizontal situado em um nível mais alto que ou igual a um plano horizontal passando através da extremidade mais baixa da entrada de ar de combustão. O

5 injetor é ajustável em termos de fluxo de maneira complementar com respeito ao queimador, de forma que seja possível injetar até 100% do total do primeiro e do segundo combustível usados pelo injetor e pelo queimador, independente do primeiro e do segundo combustíveis serem da mesma natureza ou de naturezas diferentes. Vantajosamente, o plano horizontal que delimita a zona de injeção do

10 segundo combustível está situado entre o "telhado" e um plano horizontal cuja distância do banho de vidro é maior que ou igual a altura mínima do fluxo de ar na câmara de fundição.

Em nenhuma hipótese o Segundo combustível é injetado diretamente no ar quente de combustão.

15 De acordo com a linguagem escolhida nos parágrafos antecedentes, em todo o presente texto, o termo "queimador" designa exclusivamente um meio de injetar e queimar o primeiro combustível, enquanto o termo "injetor" designa exclusivamente um meio de injetar e queimar o segundo combustível.

Tradicionalmente, e particularmente quando pensamos em fornalhas

20 existentes que podem ser modificadas para se implementar a invenção nelas, o queimador também pode ser chamado de um "queimador," e o injetor então deveria ser chamado de um "queimador auxiliar". Entretanto, tal linguagem sobrecarregaria o presente texto e seria uma fonte de erros.

Do mesmo modo, na descrição da fornalha de acordo com a

25 invenção e na descrição de outras fornalhas cujos queimadores estão situados

em uma dada parede ou que têm somente um queimador, a parede frontal é a que sustenta o queimador ou queimadores, a parede traseira é a parede de oposta, e as paredes laterais são as outras duas paredes. E no caso de uma fornalha com uma base não retangular, a presente definição se aplica de maneira
5 similar às seções correspondentes da parede.

Além disso, qualquer indicação do número de queimadores ou injetores em uma fornalha de fundição de acordo com a invenção é dada puramente como exemplo e não infere de forma alguma a incorporação particular de tal fornalha. De fato, o principio da presente invenção só é válido quando uma
10 fornalha de fundição de acordo com a invenção tiver um único queimador e um único injetor, assim como quando tem vários, e não necessariamente um número igual de queimadores e injetores.

De acordo com a presente invenção, os queimadores presentes em uma fornalha tradicional são mantidos. Eles são complementados por um ou mais
15 injetores, tornando possível introduzir na câmara de fundição, em uma ou mais zonas a distancia dos queimadores, tanto outro combustível como uma fração do mesmo combustível, como aquele introduzido pelos queimadores. Esta injeção algumas vezes é chamada de auxiliar — oposta a uma injeção adicional, por exemplo, em pós-combustão — porque seu propósito não é aumentar a
20 quantidade de combustível ou a taxa de fluxo, mas distribuir melhor ou espalhar a quantidade de combustível necessário para a quantidade e para o tipo de vidro a ser derretido e, portanto obter uma melhor transferência de calor em direção ao vidro a ser fundido, enquanto reduz ao mesmo tempo as emissões de NOx.

Este ajuste da invenção, que é ademais justo e válido quando o
25 primeiro e o segundo combustíveis são da mesma natureza, não quando são de

naturezas diferentes, é, além disso, a base do então chamado método "complementar" de ajuste da taxa de fluxo dos injetores indicados acima.

De fato, a taxa de fluxo do segundo combustível é variado como uma função da taxa de fluxo do primeiro combustível, de forma que quando o
5 queimador não introduz todo o combustível necessário para derreter o vidro, o resto é introduzido por um (ou mais) injetor(es) dispostos a distancia do queimador e, se necessário, a distancia um do outro, em regiões ou zonas da fornalha aonde o segundo combustível irá se misturar inicialmente com os produtos de combustão re circulados, isto é, vindos do queimador ou dos
10 queimadores e, portanto com um baixo teor de oxigênio, antes de inflamar-se em contato com o ar quente de combustão não consumido pela chama do queimador, ou queimadores.

Devemos observar expressamente que nas fornalhas de fundição de acordo com a presente invenção, não há entrada secundária de ar para
15 combustão do segundo combustível, visto que não há pós-combustão.

Geralmente, para obter uma redução de emissão de NO_x, o queimador opera em excesso de ar, isto é, o queimador introduz menos do primeiro combustível do que a taxa de fluxo do ar de combustão permite. Isto diminui a temperatura da chama do queimador com relação às temperaturas que
20 a chama teria sob condições estoiquiométricas, e reduz, portanto a emissão de NO_x.

No caso da nossa invenção, quando o primeiro combustível é queimado, os produtos da combustão enchem a câmara de combustão e estão, portanto presentes no local, ou em todos os locais onde um injetor estiver
25 posicionado para introduzir o segundo combustível. Durante a introdução do

segundo combustível, primeiro ele é diluído pelos produtos da combustão do primeiro combustível e então se inflama com a chegada do ar de combustão não consumido pela combustão do primeiro combustível.

Com relação ao ajuste de "distancia" dos injetores, a distancia das zonas (para arrumação dos injetores) para o queimador, ou queimadores depende, por exemplo, dos dados geométricos da fornalha e, portanto do tempo que leva para os gases residuais chegarem ao injetor: o injetor deve estar suficientemente longe do queimador, para permitir com que os gases residuais cheguem ao injetor e misturem-se com o segundo combustível antes que o ar de combustão não consumido da combustão do primeiro combustível chegue e inflame o segundo combustível.

A colocação de um ou mais injetores com relação ao(s) queimador(es) de uma fornalha de fundição de vidro de acordo com a presente invenção leva a uma combustão gradual do combustível introduzido nestas regiões ou zonas, produzindo um aumento da temperatura dos gases residuais nestas zonas ricas em combustível, assim como um aumento da transferência de calor para o banho de vidro.

O objetivo da invenção também está ligado a um processo para operar uma fornalha de fundição de vidro que possua um tanque de fundição para receber o vidro a ser derretido e que retenha o banho de vidro derretido, com, acima do vidro, com paredes formando uma câmara de fundição, no mínimo uma saída para gases residuais quentes, assim como no mínimo um queimador e um injetor para respectivamente injetar o primeiro combustível e o segundo combustível na câmara.

De acordo com este processo, o primeiro combustível e o segundo

combustível, de mesma natureza ou de diferentes naturezas, são injetados na fornalha pelo(s) queimador(es) e injetor(es), sendo o(s) injetor(es) dispostos em uma parede diferente, ou em paredes diferentes daquela na qual o(s) queimador(es) está(ão) posicionados e distantes do queimador, ou queimadores, e o(s) queimador(es) e injetor(es) são ajustados de maneira complementar, de forma que o total do primeiro e do segundo combustíveis utilizado pelo(s) injetor(es) (4) e queimador(es) (1) corresponda a maior parte do fluxo total utilizado normalmente na fornalha, independentemente se o primeiro e o segundo combustíveis são da mesma natureza ou de naturezas diferentes.

10 A fração do combustível que for introduzida como segundo combustível, ou a quantidade do Segundo combustível diferente do primeiro, é determinada por cada fornalha, e pode chegar à quantidade total de combustível.

Com esta técnica, de acordo com a qual o primeiro combustível é introduzido em uma fornalha de fundição com excesso de ar com relação ao fluxo estequiométrico do ar de combustão, desde que a fração de combustível introduzido pelos injetores não alimente mais o queimador, a porção de combustível queimado com uma chama frontal de alta temperatura é reduzida, gerando, portanto menos emissão de NO_x pela via térmica.

20 O ar de combustão não utilizado pelo queimador permanece disponível para combustão do segundo combustível introduzido pelo injetor.

Também é provável que o combustível introduzido nas zonas da fornalha com altas temperaturas, mas com um teor de oxigênio reduzido, romperá para produzir fuligem, aumentando, portanto a transferência de calor destas zonas para o banho de vidro.

25 Os pontos potenciais de injeção podem estar situados nas paredes

laterais e traseira da fornalha e na parede que forma o “telhado”. Em certos casos, o centro do “telhado”, que no caso das formas retangulares tradicionais das fornalhas de fundição de vidro, é uma linha transversal de simetria, ou uma linha longitudinal de simetria do “telhado” com relação a uma direção de referencia dada pela direção da chama do queimador, pode ser particularmente vantajoso para injeção do segundo combustível, porque ao escolher este local é possível reduzir por dois o número de injetores necessários para execução da invenção.

A escolha dos pontos de injeção, da direção dos jatos que saem do injetor e da velocidade destes jatos é essencial para o sucesso desta técnica de combustão. As posições mais adequadas, assim como a geometria dos injetores, devem ser identificadas para cada fornalha de fundição.

A velocidade e a direção de introdução do segundo combustível têm influencia no resultado obtido pela implementação dos vários arranjos da invenção. Contudo, estas duas características são determinadas durante o projeto (design) do dispositivo. Um erro na determinação posição dos injetores, ou em sua geometria, pode não só comprometer a eficiência da técnica de combustão, como também levar à diminuição do rendimento da fornalha, assim como ao aumento da temperatura dos regeneradores refratários. Em casos extremos, pode ocorrer o desligamento prematuro da fornalha.

Os locais mais favoráveis para os injetores e as direções e velocidades de injeção de combustível, mas também indicações claras para as geometrias do injetor, que arriscam ser contra-produtivas, são favoravelmente determinados usando modelos obtidos por computação e testes. Tais modelos são baseados em uma combinação de técnicas de modelagem física e

matemática e levam em consideração as restrições técnicas impostas pela construção de cada fornalha. A adoção da configuração de combustão auxiliar mais favorável sugerida pelos resultados da modelagem resulta em emissões de NOx muito menores do que aquelas geradas por métodos de combustão diferentes daqueles da invenção, e sem que para isso seja necessário diminuir o rendimento da fornalha. O quociente de combustível auxiliar é ajustado para obter uma conciliação entre a eficiência da fornalha e o nível de emissões de NOx. Ao prognosticar a temperatura dentro da câmara, o modelo torna possível ajustar o quociente de combustível auxiliar para evitar qualquer ponto quente, assim como qualquer ponto frio nas superfícies internas da fornalha. Deve se tomar cuidado em particular para evitar:

Condensação de materiais alcalinos no “telhado” ou nas paredes da fornalha (desgaste dos materiais refratários),

Condensação de hidrocarbonetos nas paredes internas da fornalha,

Assim como modificação da natureza do vidro pela adição de carbono à sua composição.

Isto se torna possível pela modelagem, que permite com que seja escolhido um local sensato.

Tais modelos tornam possível, para uma fornalha de fogo cruzado, por exemplo, determinar a posição de injeção situada no “telhado” e no centro para um queimador como sendo uma das mais favoráveis para a pretendida redução das emissões de NOx, com um quociente de combustível secundário injetado que pode variar como uma função dos limites do nível de emissão que precisam ser alcançados para este queimador. Uma grande vantagem da injeção simétrica no “telhado” com relação à injeção lateral é o uso dos mesmos injetores

para a chama na esquerda e a chama na direita.

O número de queimadores a serem equipados com um injetor pode variar como uma função do nível geral de redução de NOx a ser alcançado pela fornalha.

5 Com relação a fornalhas de fogo frontal que têm duas portas em uma extremidade da câmara de fundição e refinação, e dois regeneradores lacrados, cada um conectando-se respectivamente a uma porta, os injetores auxiliares no “telhado”, assim como os injetores nas paredes, devem encontrar-se preferencialmente em uma zona situada entre o “telhado” e um plano horizontal
10 cuja distancia do banho de vidro seja maior ou igual à altura mínima do fluxo de ar.

As injeções devem ocorrer, simetricamente ou não, em ambos os lados da fornalha. A localização ideal do(s) ponto(s) de injeção é feita através do uso de um modelo, uma vez que fornalhas de fogo frontal podem divergir uma das
15 outras, principalmente devido a proporção de largura / comprimento da fornalha.

Conseqüentemente, propõe-se implementar a técnica de combustão auxiliar desenvolvida aqui enquanto se adiciona a técnica de combustão já presente na fornalha. Isto é feito ajustando-se os fluxos de combustível entre os injetores e o queimador, de forma a produzir um equilíbrio entre a redução de
20 NOx, a natureza do vidro, e a eficiência térmica adequada para cada instalação sob consideração.

A incorporação de uma fornalha de fundição de acordo com a invenção, permitindo a obtenção da redução de NOx ao passo em que se mantém, ou até mesmo se aumentam as transferências de calor, descreve-se a
25 seguir.

Esta abordagem da invenção também torna possível a implementação gradual desta nova técnica de combustão, reduzindo ou eliminando, portanto os riscos de perda na produção devido a danos na fornalha. Finalmente, esta abordagem permite ao operador voltar à configuração de combustão inicial a qualquer momento.

Embora tenha sido desenvolvida para uso em fornalhas regenerativas de fundição de vidro, a técnica de combustão auxiliar da invenção pode também ser usada em outros tipos de fornalha de fundição de vidro (por exemplo, fornalhas Unit Melter, ou fornalhas recuperadoras), assim como em outras fornalhas além de fornalhas de fundição de vidro.

Embora seja antevisto que o combustível injetado por rotas auxiliares é gás natural para fornalhas alimentadas com gás natural ou óleo combustível, não se exclui o uso de vários combustíveis, tais como biogás, hidrogênio, LPG e óleo combustível.

Deste modo, a presente invenção correlaciona igualmente as seguintes características, considerada individualmente ou em uma combinação tecnicamente possível:

O injetor, ou cada injetor, é disposto em uma zona situada entre o “telhado” e um plano horizontal cuja distancia do banho de vidro é superior ou igual a altura mínima do fluxo de ar;

O injetor, ou cada injetor, pode ser ajustado em termos de taxa de fluxo, de forma que é possível injetar até 100% do total de combustível usado pelo(s) injetor(es) e queimador(es);

pelo menos alguns dos injetores são dispostos no “telhado” da fornalha;

pelo menos alguns dos injetores são dispostos nas paredes laterais da fornalha;

pelo menos alguns dos injetores são dispostos na parede traseira da fornalha;

5 pelo menos alguns dos injetores são dispostos na parede da fornalha na qual o queimador está situado;

os injetores são orientados pelo menos aproximadamente em uma direção oposta à direção principal das chamas dos queimadores da fornalha;

10 os injetores são orientados pelo menos aproximadamente na mesma direção das chamas dos queimadores da fornalha;

os injetores são orientados pelo menos aproximadamente em uma direção perpendicular a das chamas dos queimadores da fornalha;

os injetores são orientados pelo menos aproximadamente em uma direção transversal a das chamas dos queimadores da fornalha;

15 o primeiro combustível e o segundo combustível são da mesma natureza;

o primeiro combustível e o segundo combustível são de naturezas diferentes.

Os injetores podem ser equipados com um sistema de rotação (swirler) tornando possível controlar o formato da chama, independentemente da taxa de fluxo do combustível secundário, de forma que é possível injetar até 100% do total do combustível usado pelo(s) injetor(es) e queimador(es) sem afetar o banho de vidro.

25 Os injetores podem ser equipados com um dispositivo que torna possível ajustar o impulso do combustível (impulso duplo) independentemente da

taxa de fluxo do combustível secundário, de forma que é possível injetar até 100% do total do combustível usado pelo(s) injetor(es) e queimador(es) sem afetar o banho de vidro.

Os injetores podem ter uma forma não-circular, ou podem ter jatos múltiplos para ajustar o formato da chama sem afetar o banho de vidro.

Em uma fornalha de fundição modificada de acordo com a invenção, a redução dos óxidos de nitrogênio contidos nos produtos da combustão é obtida utilizando-se a combinação de queimadores já presentes na fornalha com injeções auxiliares de combustível nas zonas de recirculação de gases residuais de tal fornalha. As injeções são feitas de acordo com um ou mais jatos situados em locais ideais na fornalha, que são definidos usando uma metodologia baseada em simulação digital, a qual pode ser ligada ou não com a representação dos fluxos por uma maquete da fornalha. O plano das injeções pode ser paralelo, perpendicular, ou transversal à superfície do banho de vidro. A invenção pode ser aplicada no âmbito de redução dos óxidos de nitrogênio via método primário em fornalhas de fundição de vidro.

A invenção torna possível:

- Reduzir as emissões de NO_x;
- Reduzir ou eliminar os custos de pós-tratamento;
- Melhorar o rendimento da fornalha; e
- Reduzir as emissões de NO_x ao mesmo tempo em que aumenta o rendimento da fornalha.

Além disso, a invenção:

- pode ser aplicada independentemente do combustível que alimenta o queimador;

- pode ser aplicada com um combustível alimentando os injetores que seja de natureza diferente daquele que alimenta os queimadores da fornalha, se necessário o tipo de injetor sendo adaptado ao combustível escolhido;

5 - pode ser aplicada com um combustível alimentando os injetores que seja da mesma natureza que o que alimenta os queimadores da fornalha, sendo possível então para o tipo de injetor, corresponder com os queimadores com relação a sua adaptação ao combustível;

- é implementada diretamente na câmara de combustão, também chamada de câmara de fundição;

10 - torna possível distribuir o combustível entre os queimadores principais, já equipando a fornalha e os injetores de tal forma a viabilizar a redução das emissões de NOx combinado com um rendimento adequado para cada fornalha em particular;

15 - pode ser usada com queimadores de canal inferior, lateral, direto, ou com qualquer outro tipo de queimador originalmente equipando a fornalha;

- pode utilizar a injeção, pelos injetores, de uma fração do combustível injetado pelos queimadores; mas

- pode também utilizar todo o combustível pelos injetores.

A injeção auxiliar:

20 - não é implementada diretamente no fluxo de ar;

- pode ser feita do "telhado";

- pode ser feita das paredes situadas na frente ou na traseira da fornalha;

- pode ser feita das paredes laterais;

25 - utiliza posições, assim como ângulos e velocidades de injeção que

são determinados por um estudo paramétrico, usando modelagens da fornalha que se pretende transformar;

- pode ser feita com o mesmo combustível ou com um combustível diferente daquele injetado pelos queimadores;

5 - pode ser feita com gás natural;

- pode ser feita com LPG;

- pode ser feita com óleo combustível;

- pode ser feita com gás de coqueria;

- pode ser feita com gás de fornalha de detonação;

10 - pode ser feita com gás de reformação;

- pode ser feita com biogás;

- pode ser feita com hidrogênio;

- pode ser feita com qualquer outro combustível.

15 Outras características e vantagens da presente invenção surgirão na descrição futura da incorporação de uma fornalha de acordo com a invenção. Esta descrição é dada com referencia aos esboços nos quais:

As Figuras 1 e 2 representam dois tipos de fornalhas de fundição usadas antes da invenção (estado da técnica);

20 A Figura 3 representa uma fornalha de fundição de fogo cruzado de acordo com a invenção na forma uma seção horizontal, indicando a zona das injeções auxiliares;

A Figura 4 representa, em um diagrama, os níveis de NOx como uma função da distribuição de energia entre os queimadores e os injetores associados;

25 A Figura 5 representa uma visão diagramática de uma fornalha de

acordo com a invenção na forma de uma seção vertical, indicando um exemplo de zona de injeção auxiliar;

A Figura 6 representa, em um diagrama, uma comparação dos níveis de NOx e CO obtidos em uma fornalha com e sem o uso da invenção;

5 A Figura 7 representa, em um diagrama, os níveis de temperatura obtidos em uma fornalha com e sem o uso da invenção; e

A Figura 8 representa, em um diagrama, uma comparação das transferências de calor obtidas com e sem o uso da invenção.

As Figuras 1 e 2, cada uma de forma bastante diagramática,
10 representam dois tipos de fornalhas de fundição de vidro que são tradicionalmente usadas, isto é, uma fornalha regenerativa de fogo cruzado e uma fornalha de fogo frontal. Ambos os tipos de fornalhas possuem uma base retangular limitada por quatro paredes, das quais as duas paredes que se estendem na direção longitudinal da fornalha são neste caso chamadas de
15 paredes laterais e das quais as outras duas paredes são chamadas de paredes transversais. No topo, ambas as fornalhas são limitadas por um "telhado".

Em uma fornalha regenerativa de fogo cruzado (Figura 1), os queimadores (1) são dispostos nas paredes laterais (2) e operam alternadamente em um lado e depois no outro, por aproximadamente de 20 a 30 minutos por lado.
20 O ar frio de combustão A é pré-aquecido em dois recuperadores de calor (R), isto é, de maneira alternada, de acordo com o ritmo de operação dos queimadores em um dos dois recuperadores que está perto dos queimadores em operação. Os gases residuais resultantes (F) são então re-aquecidos em um dos dois recuperadores R que é remoto dos queimadores em operação.

25 Em uma fornalha de fundição de vidro de fogo frontal (Figura 2), na

qual o comprimento da fornalha não excede muito a sua largura, os queimadores (1) são dispostos na parede transversal (3). A extensão da chama de cada um dos queimadores (1) é tal que, sob a influencia localização oposta da parede transversa, a extremidade de cada uma das chamas descreve uma volta (loop). O ar frio de combustão é pré-aquecido em uma parte do regenerador (R) com várias câmaras antes de ser direcionado como ar de combustão quente (AC) (ver fig.3) em direção aos queimadores. Os gases residuais resultantes são então direcionados para o outro regenerador, para reaquecê-lo.

Em ambas as fornalhas, as chamas são direcionadas aproximadamente paralelas à superfície do banho de vidro (B).

A Figura 4 representa, em um diagrama indicando o nível de NOx alcançado como uma função da distribuição de energia entre o queimador (1) e os injetores (4), os resultados obtidos em uma fornalha de teste semi industrial (ou célula de teste). Deve se observar particularmente que o nível de emissão de NOx diminui com o aumento da porção de combustível injetado através dos injetores secundários.

A Figura 5 mais uma vez representa a fornalha de fogo frontal da Figura 2, mas neste caso com indicação da zona (IN) na qual, de acordo com a invenção: as injeções de combustível secundário devem ocorrer em um espaço definido acima das chamas, isto é, entre o “telhado” (V) e o plano horizontal (P), cuja distancia do banho de vidro (B) é maior ou igual à altura mínima do fluxo de ar (VA), isto é, em uma zona da câmara de fundição que está a distancia do queimador e situada entre o “telhado” e o plano horizontal (P) situado a um nível mais alto ou igual ao plano horizontal que passa através da extremidade mais baixa da entrada do ar quente de combustão.

As injeções auxiliares favoravelmente, mas não necessariamente, ocorrem simetricamente em ambos os lados da fornalha.

De acordo com uma incorporação que é particularmente econômica em termos do número de injetores (4), conforme representado diagramaticamente na Figura 3, os injetores são dispostos em uma zona correspondente a aproximadamente no mínimo a zona central com relação aos queimadores que estão dispostos nas paredes laterais da fornalha e que operam de maneira alternada ou simultaneamente.

Neste aspecto, também se vê a introdução do ar frio de combustão (A), sua passagem através dos recuperadores de calor (R) para ser pré-aquecido antes de entrar no tanque, ou câmara de fundição (L), a saída dos gases residuais quentes da câmara de fundição, e sua passagem pelos recuperadores de calor antes de deixar a fornalha de fundição. E um exemplo de um arranjo de injetor é visto mais particularmente. Lembre-se que a posição precisa de cada um dos injetores é determinada pela combinação de computações de acordo com um modelo e testes com a fornalha específica que deve ser equipada com tais injetores.

Foram feitos testes com uma fornalha com potência de unidade de queimadores de canal inferior de 1.03 MW com um ângulo de injeção para o queimador de 10°, um fator de ar de 1.1, temperatura de ar pré aquecido de 1.000 °C e temperatura da fornalha de 1.500 °C. Os resultados estão representados nas Figuras 4, 6, 7 e 8.

A Figura 6 representa, na forma de um diagrama, os níveis de CO e NOx com 8% de oxigênio para diferentes distribuições de energia entre um queimador e um ou mais injetores distribuídos, sendo o injetor, ou injetores

dispostos no “telhado” da fornalha.

A Figura 7 representa, na forma de um diagrama, os níveis de temperatura do “telhado” para diferentes métodos de operação da fornalha, isto é, no caso de um único queimador e no caso de um queimador com um injetor que
5 introduz entre 30 e 100% do combustível. É observado que o processo não produz nenhum super-aquecimento do “telhado”.

A Figura 8 representa, na forma de um diagrama, os fluxos de calor transmitidos à carga sem e com injeção secundária. Neste exemplo, o fluxo de calor é mais alto no caso das injeções secundárias entre 30 e 80% do
10 combustível.

A Figura 6 representa, na forma de um diagrama, os níveis de NOx e CO de uma fornalha sem e com injeção auxiliar, variando até 100% do combustível. É observado que os níveis de NOx diminuem quando a porção de combustível auxiliar aumenta. Quanto aos níveis de CO, eles aumentam
15 gradualmente com a porção de combustível auxiliar, mas em proporções completamente toleráveis.

Deve se alcançar, portanto um ajuste entre os níveis de NOx e CO e o rendimento. No exemplo apresentado, este ajuste é alcançado com uma taxa de fluxo de combustível entre 50 e 70% da taxa de fluxo total.

REIVINDICAÇÕES

1). Um processo de combustão para derretimento de vidro de acordo com o qual dois combustíveis, da mesma natureza ou de naturezas diferentes, são introduzidos em uma câmara de fundição em dois locais a distancia um do outro, a fim de distribuir o combustível na câmara de fundição com o propósito de limitar as emissões de NOx, com o fornecimento de ar de combustão ocorrendo somente em um dos dois locais.

2). Um processo de operação com o propósito de limitar a produção de NOx de uma fornalha de fundição de vidro que possui um tanque de fundição (L) para receber o vidro a ser fundido e reter o banho (B) de vidro derretido, com, acima do vidro, paredes formando uma câmara, no mínimo uma entrada (VA) para ar quente de combustão, no mínimo uma saída (F) para gases residuais quentes, assim como no mínimo um queimador (1) e no mínimo um injetor (4) para injetar respectivamente um primeiro combustível e um segundo combustível na câmara, de acordo com o qual o primeiro combustível e o segundo combustível, da mesma natureza ou não, são injetados na fornalha pelo(s) queimador(es) (1) e injetor(es) (4), sendo o(s) injetor(es) dispostos em uma parede diferente, ou em paredes diferentes daquelas nas quais o(s) queimador(es) está(ão) posicionados e de acordo com o qual o(s) queimador(es) e injetor(es) são ajustados de maneira complementar de forma que o total do primeiro e do segundo combustíveis utilizados pelo(s) injetor(es) (4) e queimador(es) (1) corresponde a uma taxa de fluxo total pré-determinada, independente se o primeiro e o segundo combustível são da mesma natureza ou de naturezas diferentes.

3). Fornalha para fundição de vidro, que possui um tanque de fundição (L) para receber o vidro a ser derretido e para acomodar o banho de vidro fundido (B),

com, acima do vidro, paredes formando respectivamente uma parede frontal (3), uma parede traseira, paredes laterais (2), um “telhado” (V) e constituindo uma câmara de fundição, assim como no mínimo uma entrada (VA) para ar quente de combustão, no mínimo uma saída (F) para gases residuais quentes e no mínimo um queimador (1) para introduzir o primeiro combustível na câmara e no mínimo um injetor (4) para introduzir o segundo combustível na câmara, caracterizado pelo fato de tal injetor (4) estar disposto em uma outra parede que não aquela na qual o queimador (1) está posicionado e estar a distancia do queimador, em uma zona situada entre o “telhado” (V) e o plano horizontal (P) situado em um nível mais alto ou igual ao plano horizontal, passando através de uma extremidade mais baixa de entrada de ar quente (VA), e pelo fato de que tal injetor (4) pode ser ajustado em termos de taxa de fluxo de maneira complementar com relação ao queimador (1), de forma que é possível injetar até 100% do total do primeiro e do segundo combustíveis pelo injetor (4) e pelo queimador (1), independente se o primeiro e o segundo combustível são da mesma natureza ou de naturezas diferentes.

4). Fornalha, de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de que no pelo menos alguns injetores (4) são dispostos em no mínimo um dos eixos de simetria do “telhado” (V) da fornalha.

5). Fornalha, de acordo com a reivindicação 3 ou 4, caracterizada pelo fato de que pelo menos alguns injetores (4) são dispostos em no mínimo uma das paredes laterais (2) da fornalha.

6). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 5, caracterizada pelo fato de que pelo menos alguns dos injetores (4) são dispostos na parede traseira da fornalha.

7). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 6, caracterizada pelo fato de que os injetores (4) são orientados no mínimo aproximadamente na direção oposta à direção da chama do queimador (1) da fornalha.

5 8). Fornalha, de acordo com qualquer umas das reivindicações de 3 a 6, caracterizada pelo fato de que os injetores (4) são orientados no mínimo aproximadamente na direção transversal da chama do queimador (1) da fornalha.

9). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 8, caracterizada pelo fato de que o(s) queimador(es) (1) e injetor(es) (4) são feitos
10 para primeiro e segundo combustíveis da mesma natureza.

10). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 8, caracterizada pelo fato de que o(s) queimador(es) (1) e injetor(es) (4) são feitos para primeiro e segundo combustíveis de naturezas diferentes.

11). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 10, caracterizada pelo fato de que o(s) queimador(es) (1) e injetor(es) (4) são feitos
15 para primeiro e segundo combustíveis pertencentes a um grupo de combustíveis que inclui gás natural, LPG, óleo combustível, gás de coqueria, gás de fornalha de detonação, gás de reformação, biogás, hidrogênio.

12). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 11, caracterizada pelo fato de que pelo menos um dos injetores (4) é equipado com
20 um dispositivo para colocar o combustível em rotação.

13). Fornalha, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 3 a 11, caracterizada pelo fato de que pelo menos um dos injetores (4) é equipado com um dispositivo que torna possível ajustar o impulso do combustível.

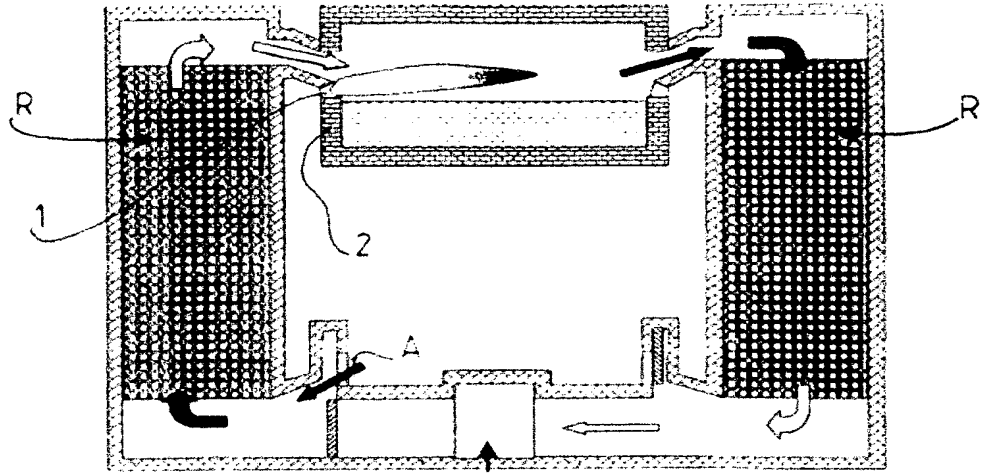


FIG. 1

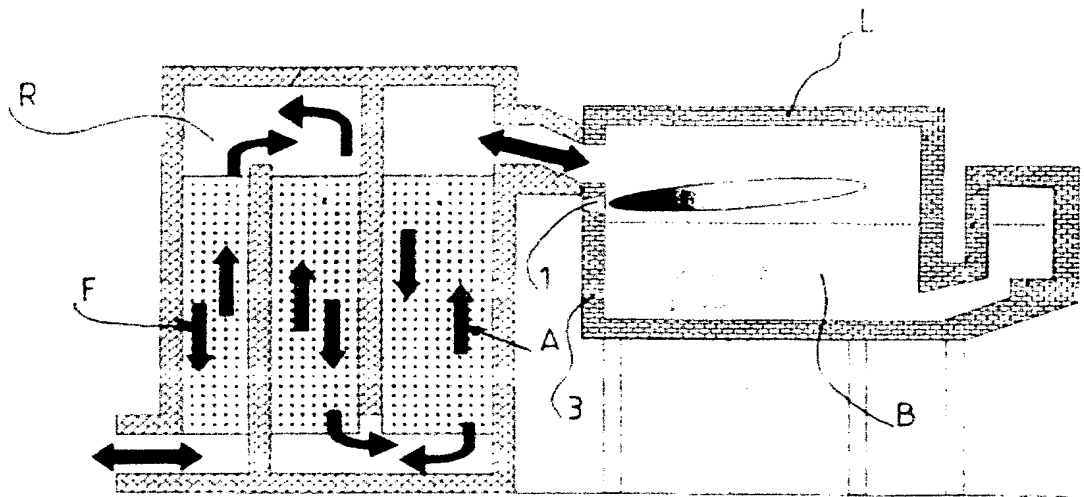


FIG. 2

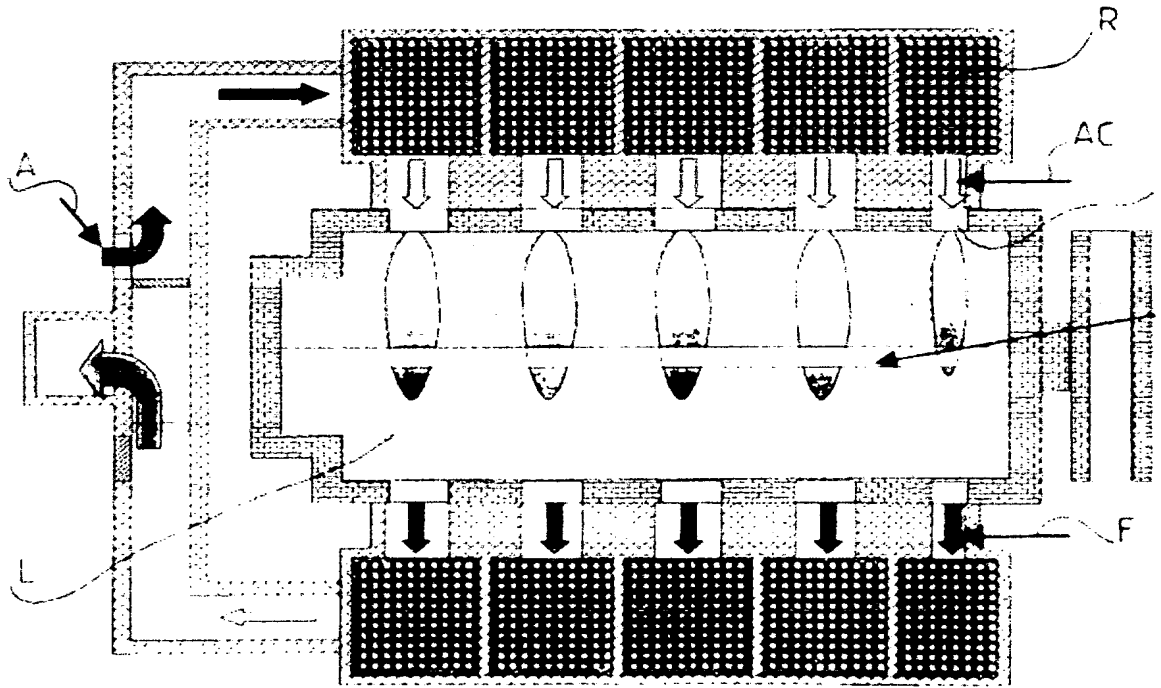


FIG. 3

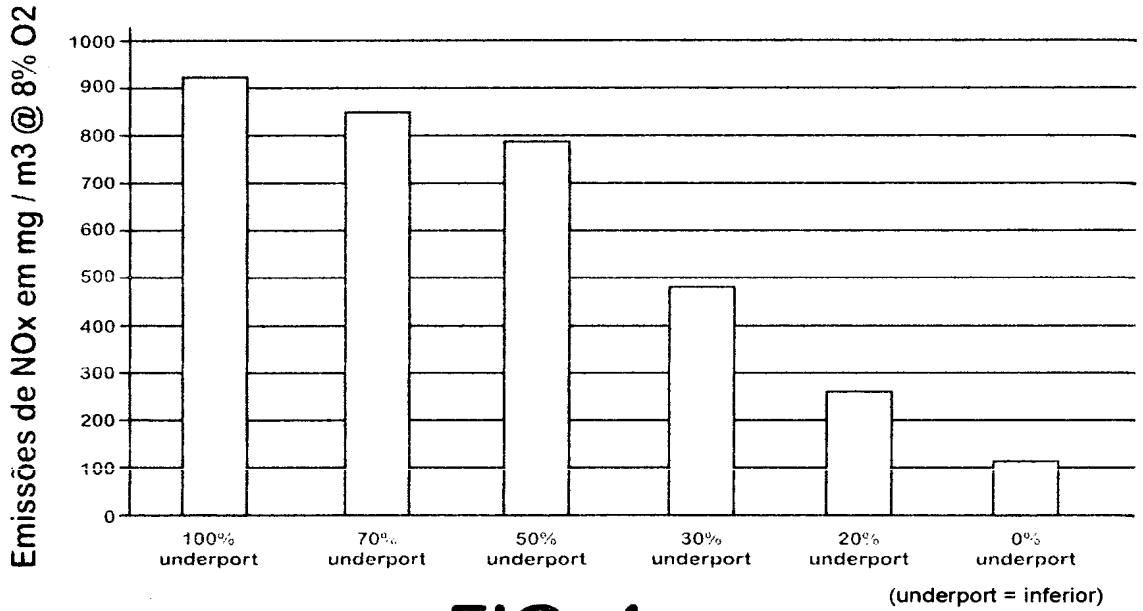


FIG. 4

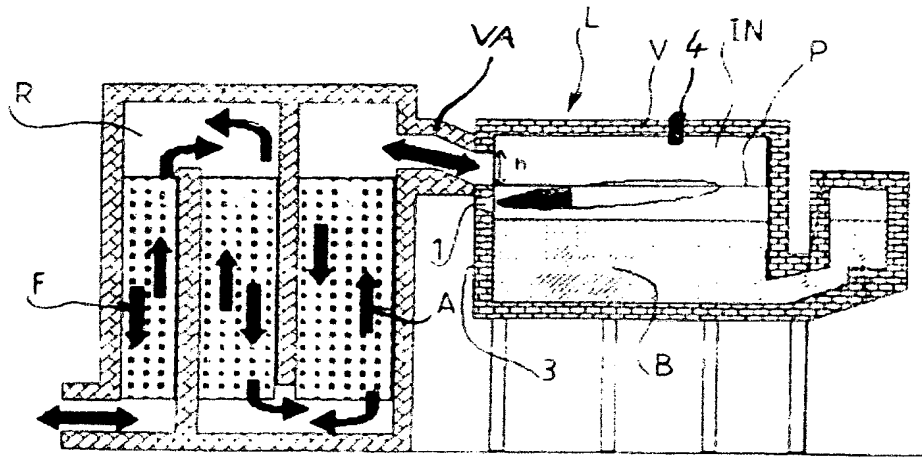


FIG. 5

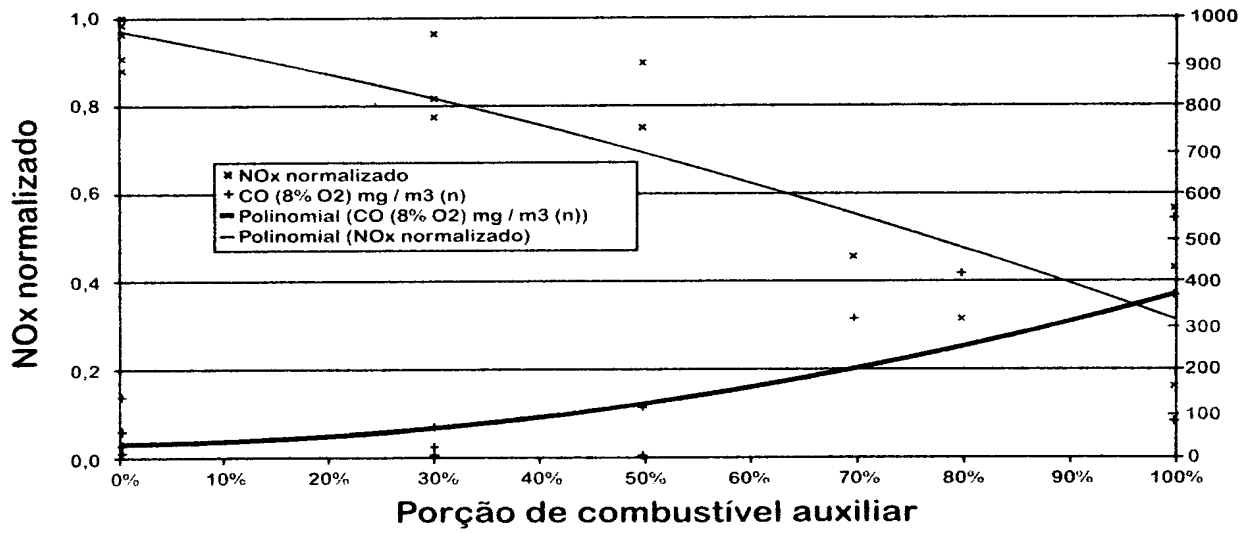


FIG. 6

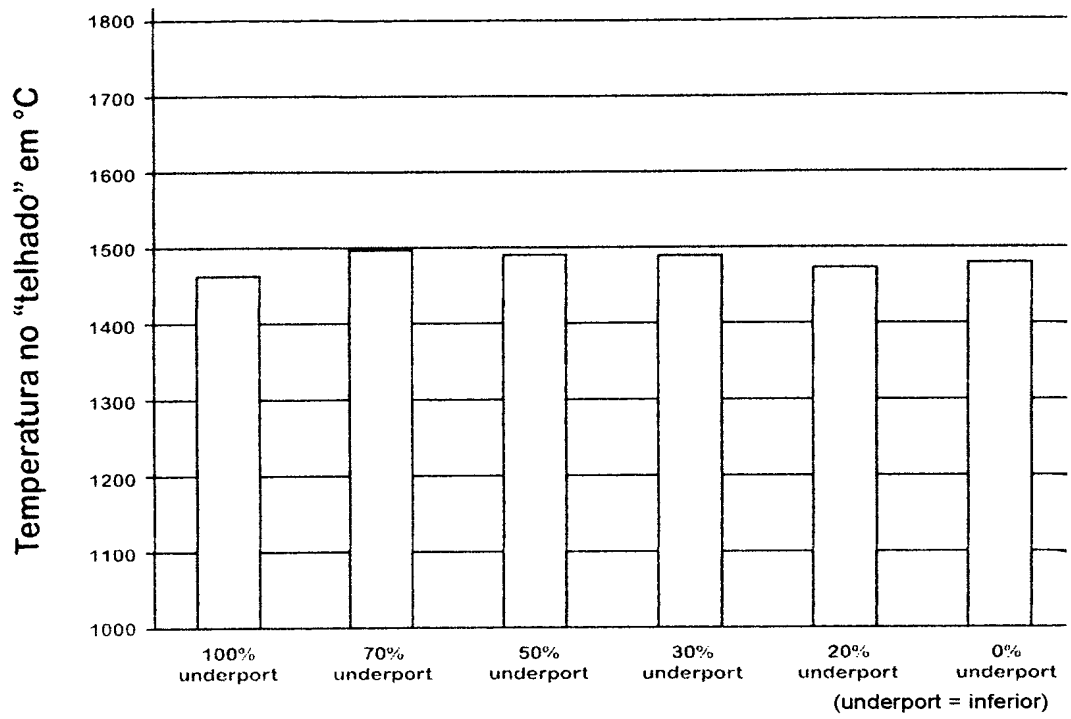


FIG. 7

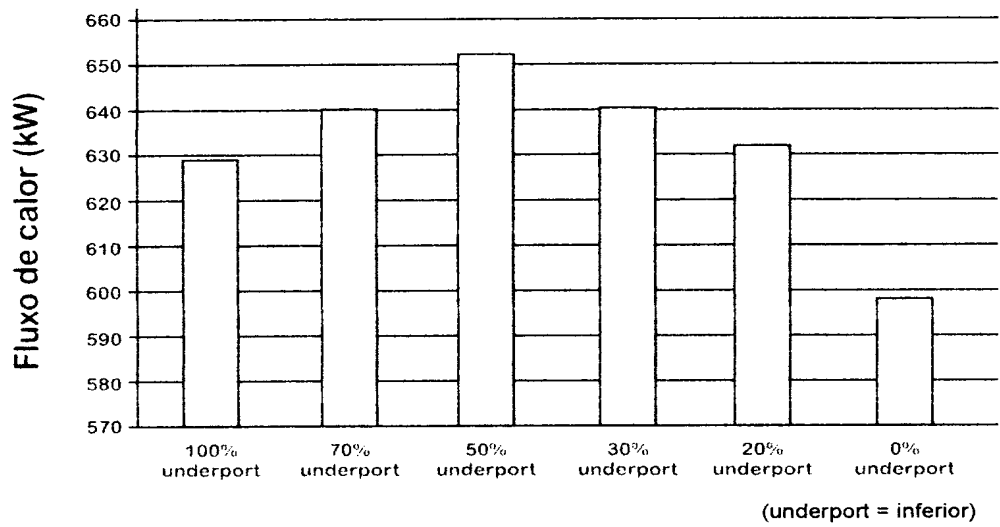


FIG. 8

RESUMO**“FORNO PARA FUNDIÇÃO DE VIDRO”**

A presente invenção diz respeito a um método de combustão para fundir derreter vidro no qual dois combustíveis da mesma natureza ou diferentes naturezas são alimentados em uma fusão de laboratório em dois locais afastados um do outro para distribuir o combustível no laboratório de fusão, a fim de reduzir as emissões de NOx, o ar de combustão sendo fornecido em apenas um desses locais. A invenção também diz respeito a um método para operar uma fornalha de fusão / derretimento de vidro em que a injeção de combustível é distribuída em uma fusão de laboratório, a fim de reduzir as emissões de NOx, bem como de um forno ou fornalha de vidro com a implantação desses métodos. Tal fornalha inclui um tanque de derretimento (L) para receber o vidro a ser derretido e para acomodar o banho de vidro fundido (B), bem como, nas paredes definindo o laboratório de fusão, uma entrada de ar quente de combustão(VA), uma saída de fumaça quente, pelo menos um queimador (1) para introduzir o primeiro combustível e no mínimo um injetor para uma primeira injeção de combustível e pelo menos um injetor (4) para introduzir o segundo combustível, o injetor (4), tendo um fluxo ajustável complementar relativo ao queimador (1) para que seja possível injetar até 100% da totalidade do primeiro e do segundo combustíveis utilizados.