



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

**(11) PI 0606599-6 B1**

**(22) Data do Depósito:** 10/01/2006

**(45) Data de Concessão:** 20/12/2016



---

**(54) Título:** MÉTODO DE FUSÃO DE VIDRO QUE REDUZ A CORROSÃO POR ÁLCALI EM UM FORNO DE FUSÃO DE VIDRO COM QUEIMADORES DE OXI-COMBUSTÍVEL

**(51) Int.Cl.:** C03B 5/225; C03B 5/435

**(30) Prioridade Unionista:** 12/01/2005 US 11/033514

**(73) Titular(es):** PRAXAIR TECHNOLOGY, INC

**(72) Inventor(es):** HISASHI KOBAYASHI

“MÉTODO DE FUSÃO DE VIDRO QUE REDUZ A CORROSÃO POR  
ÁLCALI EM UM FORNO DE FUSÃO DE VIDRO COM QUEIMADORES  
DE OXI-COMBUSTÍVEL”

Campo Da Invenção

5 A presente invenção refere-se à manufatura de vidro.

Fundamentos Da Invenção

Na manufatura de vidro, os materiais de produção de vidro são  
fornecidos dentro de um forno de fusão de vidro e fundidos em vidro em  
fusão, que é então vertido em moldes para produzir produtos tais como, por  
10 exemplo, frascos de vidro. Os materiais de produção de vidro para vidro de  
soda-cal-silicato incluem areia, carbonato de sódio, cal e oxidantes em  
bateladas, tais como sulfato de sódio (impuro) (sulfato de cálcio,  $\text{CaSO}_4$ ) e/ou  
nitro (nitrato de sódio,  $\text{NaNO}_3$ , e nitrato de potássio,  $\text{KNO}_3$ ), a fim de  
controlar o estado redox do vidro.

15 Os materiais de produção de vidro são fundidos no forno por  
calor fornecido pela combustão de combustível e oxidante. O vapor d'água  
resultante da combustão reage com óxidos alcalinos dentro do vidro em fusão,  
para formar hidróxidos alcalinos, que vaporizam para fora do vidro fundido.  
Estes hidróxidos alcalinos, tais como hidróxido de sódio,  $\text{NaOH}$ , reagem com  
20 as paredes refratárias do forno e provocam corrosão refratária e também  
reagem na(s) passagem(s) de chaminé do forno com dióxido de enxofre,  
( $\text{SO}_2$ ) e oxigênio, para formar sulfato de sódio,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e outros compostos de  
sulfato e sulfito, que formam particulados e com frequência requerem  
precipitadores eletrostáticos ou recintos de saco, para assegurar que eles não  
25 sejam emitidos para a atmosfera.

A corrosão acelerada é experimentada nos tijolos refratários de  
sílica da coroa dos fornos de fusão de vidro, que são convertidos em  
combustão de oxi-combustível (isto é, combustão em que o oxidante tem um  
teor de oxigênio mais elevado, com frequência muito mais elevada do que o

do ar). Em particular, severa perda de coroa de sílica é observada em alguns fornos de fusão de vidro, tais como em fusão de vidro para painéis de TV. Geralmente acredita-se que a causa principal da corrosão acelerada é a mais elevada concentração de espécies voláteis de álcali, tais como hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), associadas com combustão de oxi-combustível.

Na combustão de oxi-combustível o nitrogênio contido no ar de combustão está muito ausente, de modo que o volume dos produtos de combustão é tipicamente reduzido para  $1/3$  a  $1/4$  daquele dos produtos de combustão da queima do ar convencional. Assim, as concentrações das espécies alcalinas aumentariam três a quatro vezes se a mesma quantidade de espécies alcalinas voláteis fossem geradas na queima convencional de ar.

A corrosão acelerada encurta a vida do forno e resulta em reparos dispendiosos do forno. Além disso, a corrosão aumenta os defeitos do vidro em alguns tanques de vidro, devido ao gotejamento de escória dentro do banho de vidro. Os tijolos refratários resistentes à corrosão, tais como tijolos de alumina e alumina-zircônia-sílica (AZS) têm sido usados para aliviar esta corrosão. Por exemplo, AZS é com freqüência usado para as paredes laterais e paredes do orifício da chaminé dos fornos de vidro, para controlar os problemas de corrosão. Os tijolos de sílica são o material refratário mais largamente usado para a coroa dos fornos, porque eles são mais leves, menos condutivos de calor e substancialmente menos dispendiosos do que os tijolos de alumina e AZS. Há também preocupação de que os defeitos aumentados do vidro, causados por “pedras refratárias” de zircônia, poderiam ocorrer quando o AZS fosse usado para a coroa. Quando sílica é usada como o material que compõe a coroa do forno, a corrosão que provoca o gotejamento de escória dentro do banho de vidro não resulta necessariamente em defeitos do vidro. Isto ocorre porque a sílica é a principal composição do vidro.

Seria muito desejável prover-se um método de fusão de vidro,

em que os tijolos de sílica pudessem ser usados para revestir a coroa do forno sob combustão de oxi-combustível e em que a volatilização da espécie de álcali fosse reduzida, para minimizar a corrosão da coroa e emissões de particulados.

5

### BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

As vantagens da invenção são fornecidas em um método de fusão de vidro que reduz a corrosão por álcali em um forno de fusão de vidro com queimadores de oxi-combustível, compreendendo:

10 (A) fornecer ~~materiais de produção de vidro~~, incluindo espécie alcalina dentro do forno de fusão de vidro;

(B) fornecer combustível e oxidante dentro do forno, através dos queimadores de oxi-combustível, em que a relação atômica de hidrogênio para carbono, no combustível fornecido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, seja menor do que 0,9; e

15 (C) combustar o combustível e oxidante ali, para fornecer calor para os materiais de produção de vidro, para formar vidro fundido.

Como aqui usado, “materiais de fusão de vidro” compreende qualquer um dos seguintes materiais e suas misturas: areia (a maior parte  $\text{SiO}_2$ ), soda calcinada (a maior parte  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), calcário (a maior parte  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), feldspato, bórax (borato de sódio hidratado), outros óxidos, 20 hidróxidos e/ou silicatos de sódio e potássio e vidro (tal como pedaços de vidro sólidos reciclados) previamente produzidos por fusão e solidificação de qualquer um dos precedentes.

Como aqui usado, “queimador de oxi-combustível” significa 25 um queimador através do qual são alimentados combustível e oxidante tendo um teor de oxigênio maior do que o teor de oxigênio do ar e, preferivelmente, tendo um teor de oxigênio de pelo menos 50 por cento em volume e, mais preferivelmente, mais do que 90 por cento em volume.

Como aqui usado, “combustão de oxi-combustível” significa

combustão de combustível com oxidante, tendo um teor de oxigênio maior do que o teor de oxigênio do ar e, preferivelmente, tendo um teor de oxigênio de pelo menos 50 % em volume e, mais preferivelmente, maior do que 90 % em volume.

5

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A invenção é realizada em um forno de fusão de vidro de qualquer projeto eficaz. Tipicamente, o forno de fusão de vidro tem um fundo e lados que definem no interior do forno uma câmara para reter vidro fundido. O formato particular do fundo não é crítico, embora, na prática geral, seja  
10 preferido que pelo menos uma parte do fundo seja planar e seja horizontal ou inclinada na direção do fluxo do vidro fundido através do forno. Todo ou uma parte do fundo pode, em vez disso, ser curva. O formato particular tem uma entrada, comumente conhecida como “casa de cachorro”, tipicamente em uma parede em uma extremidade do forno, através da qual materiais de produção  
15 de vidro ou vidro fundido escoam para dentro do forno, e uma saída, comumente conhecida como “estrangulamento”, tipicamente em uma parede na extremidade do forno, oposta à parede contendo a entrada, através da qual vidro fundido pode escoar para fora do forno. O forno também terá um teto, também referido como coroa. Há também uma ou mais chaminés, através das  
20 quais os produtos da combustão do combustível e oxigênio podem fluir para fora do interior do forno. A chaminé ou chaminés são tipicamente localizadas na coroa, ou elevada(s) em uma ou mais paredes.

O fundo, lados e coroa do forno devem ser produzidos de material refratário, que possa reter sua integridade estrutural sólida nas  
25 temperaturas em que serão expostos, isto é, tipicamente 1300 a 1700 graus C. Tais materiais são largamente conhecidos no campo da construção de aparelhos de elevada temperatura. Exemplos incluem sílica, alumina fundida e AZS.

O forno de produção de vidro é também equipado com um ou

mais queimadores, um ou mais dos quais é/são queimadores de oxí-combustível. Preferivelmente, para facilidade de construção, facilidade de operação e controle satisfatório das operações, todos os queimadores são queimadores de oxí-combustível. Entretanto, se desejado, os queimadores comburidos no ar podem estar presentes também.

Os queimadores de oxí-combustível são dispostos de modo que as chamas que eles sustentam fiquem no interior do forno, acima da superfície do vidro fundido. Tipicamente, os queimadores podem ser localizados em uma ou mais paredes do forno (pelo que significam os lados, a  
10 parede adjacente ao ponto de entrada dos materiais de produção de vidro para dentro do forno e a parede adjacente ao ponto de saída do vidro fundido do forno). Os queimadores podem ser orientados de modo que o eixo geométrico das chamas que eles sustentam estenda-se para dentro, paralelo à superfície do vidro fundido, ou de modo que as chamas estendam-se do queimador em uma  
15 direção pra a superfície do vidro fundido. Combinações de diferentes orientações podem também ser empregadas. Exemplos preferidos incluem prover iguais números de queimadores em cada uma das paredes laterais de um forno, voltadas uma para a outra ou em ziguezague. Os queimadores podem todos ficar na mesma altura acima da superfície de topo do vidro  
20 fundido ou as alturas podem ser variadas para fornecer uma diferente distribuição do calor de combustão.

Cada queimador de oxí-combustível é disposto de modo que o oxidante e o combustível sejam alimentados de fontes adequadas fora do forno para dentro e através do queimador, de modo que o combustível e  
25 oxidante emerjam do queimador (separadamente ou misturados) no interior do forno, onde eles queimam e geram calor para fundir os materiais de produção de vidro e manter a fusão de vidro no estado fundido.

O oxidante alimentado para os queimadores de oxí-combustível é gasoso e deve ter um mais elevado teor de oxigênio do que o

ar, isto é, mais elevado do que 22 % em volume, porém o teor de oxigênio preferido do oxidante é de pelo menos 50 % em volume e, mais preferivelmente, pelo menos 90 % em volume. Assim, ar enriquecido com oxigênio pode ser empregado como o oxidante, como o pode o oxigênio de  
5 mais elevada pureza, produzido no local ou comprado de um fornecedor comercial.

O combustível deve conter carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo tanto hidrogênio como carbono, em uma relação atômica de hidrogênio para carbono (a “relação H/C”) de não mais do que 0,9, que  
10 distingue o combustível dos combustíveis convencionalmente usados para estas finalidades, tais como gás natural ou óleo combustível. Preferivelmente, a relação H/C é de 0,6 ou menos e, mais preferivelmente, 0,4 ou menos.

Os benefícios da invenção podem ser realizados em quaisquer queimadores em que a relação H/C do combustível alimentado ao queimador  
15 (incluindo qualquer gás de transporte, como examinado abaixo) não é mais do que 0,9. E uma forma de realização preferida, todos os queimadores que estão operando no forno de vidro são alimentados com combustível tendo uma relação H/C de não mais do que 0,9. Em outras formas de realização preferidas, os queimadores podem operar nas regiões relativamente mais  
20 quentes do forno de vidro são alimentados com combustível em uma relação H/C de não mais do que 0,9 e outros queimadores operando no mesmo forno de vidro são alimentados com combustível tendo uma relação H/C maior do que 0,9.

Entre os combustíveis gasosos, o CO (monóxido de carbono) é  
25 o mais preferido, porém não é prontamente disponível em quantidades e em locais, fazendo seu uso regular como um combustível não econômico para a maioria dos fornos de vidro. O singás com uma baixa relação em mol de  $H_2/CO$  é uma alternativa. Por exemplo, o singás pode ser produzido oxidando-se parcialmente o coque ou carvão de petróleo com oxigênio e  $CO_2$

ou vapor em uma planta no local, localizada em uma planta de vidro. Os gases subprodutos, que contêm monóxido de carbono, tais como gases de refinaria, gás desprendido de um forno de produção de aço de oxigênio básico, gás de alto forno e gás de forno de coque de usinas siderúrgicas integradas, podem ser empregados, se o teor de hidrogênio (incluindo  $H_2$  gasoso e hidrogênio atômico ligado em outras moléculas) for suficientemente baixo. Entretanto, encanar gases subprodutos de relativamente baixo Btu para plantas de vidro pode não ser econômico. O gás de combustão, isto é, os produtos gasosos da combustão dentro do forno de vidro, pode ser reciclado e usado como combustível em mistura com outras substâncias combustíveis.

Os combustíveis sólidos, adequados para uso nesta invenção, incluem coques de petróleo, hulha e carvões de baixa cinza e elevado carbono. Entre os diferentes carvões, os carvões de mais elevada classificação têm mais baixas relações H/C. As relações atômicas H/C dos antracitos, carvões betuminosos, carvões sub-betuminosos e lignitas são de cerca de 0,25-0,56, 0,64-0,85, 0,82-0,86 e 0,76-0,91, respectivamente. Os coques e hulhas são produtos residuais de processos térmicos (isto é, pirólise) de materiais carbonáceos e têm baixos teores de hidrogênio. O coque de petróleo é um material sólido com um elevado teor de carbono, que é produzido como um sub-produto do processo de refino de óleo e permanece após produtos tais como querosene, diesel e combustíveis de jato, gasolina, óleo combustível e asfalto serem recuperados do óleo bruto. O coque de petróleo é com freqüência disponível como um combustível de baixo custo e tipicamente tem relações H/C entre 0,3 e 0,7, dependendo do teor de matéria volátil. O coque de carvão e petróleo tipicamente têm teores de cinza de 5 – 20% e 0,1 – 1%, respectivamente em peso. Para uso nos fornos de fusão de vidro, os combustíveis com baixo teor de cinza são preferidos para diminuir o risco de que a cinza do combustível misture-se dentro da fusão de vidro e influencie a qualidade do vidro, bem como para diminuir o risco de corrosão refratária por

deposição de cinza. Assim, o coque de petróleo é um combustível preferido desta invenção.

Quando o combustível é gasoso, ele é simplesmente alimentado através de tubulação convencional de sua fonte para dentro e  
5 através do queimador de oxi-combustível. O combustível gasoso e o oxidante são alimentados através do queimador em taxas relativas entre si, de modo que a quantidade de oxigênio alimentado seja de 100% a 120% da quantidade estequiométrica necessária para completa combustão do combustível.

Quando o combustível for sólido, tal como coque de petróleo,  
10 ele deve ter um tamanho médio de partícula bastante pequeno para facilitar ser alimentado em transportadores mecânicos ou misturado e transportado em uma corrente escoando de gás de transporte e para facilitar sua combustão devido à elevada relação de área de superfície para massa. Assim, em geral, o combustível sólido deve ser pulverizado em um apropriado pulverizador  
15 convencional em um tamanho médio de partícula de, por exemplo, 70% menos malha 200. Equipamento de pulverização adequado para esta tarefa é familiar e prontamente disponível no campo de combustão de combustível sólido.

As partículas do combustível sólido são então alimentadas  
20 dentro e através do queimador de oxi-combustível. Preferivelmente, o combustível é alimentado em uma corrente fluindo de gás de transporte. O ar é um gás de transporte adequado e é, naturalmente, prontamente disponível. A quantidade de ar ou outro gás de transporte requerido para transportar coque ou carvão pulverizado é tipicamente de cerca de 0,3 a 1 libra (0,14 a 0,454 kg)  
25 de gás de transporte por libra (0,454 kg) de combustível. Entretanto, o uso de ar como o gás de transporte aumentaria a concentração de nitrogênio dentro do forno significativamente e resultaria em quantidades aumentadas de óxidos de nitrogênio nos gases de combustão. É assim preferido utilizar-se gás de transporte que contenha menos nitrogênio do que o ar. Preferivelmente, o gás

de transporte contém menos do que 10% de nitrogênio em volume. O oxigênio não é recomendado como um gás de transporte, visto que sua mistura com o combustível apresenta um potencial risco de explosão. O gás natural ou outro combustível gasoso, tal como singás contendo baixo nitrogênio, é um gás de transporte preferido para o combustível sólido. O gás residual reciclado do forno de fusão de vidro (que preferivelmente foi esfriado a uma temperatura abaixo de sua temperatura ao deixar o forno de vidro) é também um gás de transporte preferido para o combustível sólido. Vapor ou CO<sub>2</sub> ~~podem ser usados também.~~ Entretanto, o vapor não é um gás de transporte preferido, visto que aumentaria a concentração de H<sub>2</sub>O dentro do forno. Em casos em que uma parte do gás de transporte é combustível, a relação atômica H/C da combinação do combustível e do gás de transporte não deve ser mais do que 0,9.

O combustível sólido e o oxidante são tipicamente alimentados através de passagens separadas através do queimador, em taxas relativas entre si, de modo que a quantidade total de oxigênio alimentado seja de 100% a 120% da quantidade estequiométrica necessária para completa combustão do combustível sólido. Entretanto, se o combustível sólido for alimentado com gás de transporte, qualquer parte do mesmo sendo combustível, então o oxidante e o combustível de tal gás de transporte devem ser alimentados em taxas relativas entre si, de modo que a quantidade de oxigênio alimentado seja de 100% a 120% da quantidade estequiométrica necessária para completa combustão tanto do combustível como da parte combustível do gás de transporte. Contrariamente, se o combustível sólido for alimentado com oxigênio contendo gás de transporte tal como ar, então a quantidade de oxidante principal alimentado separadamente através do queimador deve ser reduzida, de modo que a quantidade de oxigênio total alimentado seja de 100% a 120% da quantidade estequiométrica necessária para completa combustão do combustível.

Como é bem sabido, o número de queimadores, seu local dentro do forno de fusão de vidro e a quantidade do combustível alimentado e comburido dentro do forno (que proveja a quantidade de calor de combustão) são determinados por projeto convencional pelo tamanho do forno e a

5 quantidade de material a ser fundido nele.

A presente invenção fornece numerosas vantagens.

Uma vantagem significativa é que a corrosão mediada por ~~álcali~~ das superfícies internas do forno, especialmente a coroa de sílica, é significativamente reduzida. Sem ~~pretendemos ficar presos~~ a qualquer teoria

10 particular de explicação, a corrosão das superfícies de sílica refratárias de um forno de vidro de oxi-combustível acredita-se ser causada principalmente pelo vapor de NaOH dentro do forno, que é formado pela volatilização reativa do Na<sub>2</sub>O do vidro e H<sub>2</sub>O da atmosfera do forno. A taxa de corrosão da coroa de sílica, desta maneira, seria reduzida reduzindo-se a concentração de NaOH

15 dentro da atmosfera do forno. A presente invenção reduz a concentração de H<sub>2</sub>O da atmosfera do forno, desse modo reduzindo a taxa de formação e a volatilização do NaOH.

Mais especificamente, a combustão de oxi-combustível de um combustível com uma baixa relação H/C resulta em uma concentração de

20 H<sub>2</sub>O muito mais baixa na atmosfera do forno, em comparação com o resultado da combustão de oxi-combustível do combustível com uma mais elevada relação H/C, tal como gás natural. Por exemplo, a concentração de H<sub>2</sub>O nos produtos de combustão de oxi-combustível de coque de petróleo com uma relação de H/C de 0,3 é de cerca de 13%, enquanto que em um

25 forno aquecido por oxigênio de gás natural, a concentração de H<sub>2</sub>O teórica com 2% de O<sub>2</sub> em excesso é de cerca de 65% (os efeitos do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O desprezíveis da decomposição dos materiais de produção de vidro é desprezível nestes cálculos). Assim, aplicando-se as apropriadas equações para equilíbrios de reação controlada por transferência de massa, a pressão de

vapor de equilíbrio de NaOH, na superfície da fusão de vidro, é reduzida na presente invenção em um fator de cerca de 2 (= a raiz quadrada de 65/17).

Outra vantagem significativa da presente invenção é que as emissões de particulados pelo forno são também reduzidas significativamente.

5 Tais particulados acredita-se compreenderem predominantemente  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e serem formados por reação de NaOH volatilizado dentro da atmosfera do forno com óxidos de enxofre. Assim, a redução na formação de NaOH dentro da atmosfera do forno, provida pela prática da presente invenção, também reduz este trajeto para formação de materiais particulados.

0 A presente invenção é também de fácil instalação nas existentes instalações de produção de vidro. Muitos fornos de fusão de vidro foram convertidos em aquecimento por oxi-gás durante os maiores reparos de forno, e a capacidade, número e colocação dos queimadores de oxi-combustível são bem conhecidos daqueles hábeis na arte. E o fornecimento de  
15 alimentações adequadas de combustível e oxigênio é também bem conhecido e convencional neste campo.

Não se espera que a presente invenção apresente problemas em operação ou na qualidade do produto de vidro. O teor típico de cinza do coque de petróleo é de 0,2 – 0,8% e as impurezas metálicas principais são  
20 tipicamente vanádio (5 a 5000 ppm), ferro (50 – 2000 ppm) e/ou níquel (10 – 3000 ppm). Não se espera que eles criem problemas de qualidade do vidro para a maior parte dos vidros, visto que a maioria destas espécies seria volatilizada e escaparia do forno com o gás residual. Além disso, com a presente invenção, a queima do oxigênio é usada sem regeneradores, de modo  
25 que as preocupações de corrosão relativas aos regeneradores são evitadas.

Visto que o coque de petróleo pode tipicamente conter 2 a 8% de enxofre, poder-se-ia ter que lidar com emissões de óxidos de enxofre gasosos ( $\text{SO}_x$ ) (embora, pelas razões citadas acima, não se espera que emissões de particulados de sulfato sejam um problema). Um sistema de

purificação pode ser necessário para capturar emissões de SO<sub>x</sub>. Uma maneira de limitar as emissões de SO<sub>x</sub> é empregar-se combustão de oxi-combustível em somente alguns dos queimadores do forno de fusão de vidro, enquanto usando-se queimadores comburidos com ar no resto dos queimadores do

5 forno. Em tais conversões parciais, prefere-se usar combustível com uma baixa relação H/C nas áreas do forno, enquanto a volatilização por álcali é mais severa. O ponto quente do forno ou a zona próxima da mais elevada temperatura da coroa é onde a volatilização por álcali é mais severa. Assim, ~~prefere-se usar um combustível de baixo teor~~ de hidrogênio na zona mais

10 quente do forno, enquanto aquecendo-se o resto do forno com um combustível convencional, tal como gás ou óleo natural. Nos fornos de vidro produzindo vidros de alta qualidade, entretanto, o uso de queima de combustível sólido próximo ou a jusante da zona de refinação poderia influenciar a cor do vidro, devido a reações da fusão de vidro, cinza e carvão

15 não-queimado. Em tal caso, prefere-se utilizar um combustível com uma relação atômica H/C de 0,9 ou menos na extremidade de carga do forno, enquanto aquecendo-se o resto do forno com um combustível convencional, tal como gás ou óleo natural.

O emprego de carvão de pedra na presente invenção, quando o

20 produto de vidro é destinado para uso como recipientes transparentes, pode requerer medidas adicionais para remover contaminantes dos produtos de combustão. Na queima de carvão de pedra, o teor de cinza típico é de cerca de 5 a 10% e as concentrações de metais de transição traço parecem significativas para vidro de recipiente, devido às especificações de cor do

25 vidro. Admitindo-se 100% de captura da cinza de carvão na fusão de vidro, os metais de transição poderiam ser ferro (100 a 1000 ppm), titânio (10 – 100 ppm), cobalto, níquel, vanádio, cromo, manganês, cobre (0,1 – 2 ppm). Para fornos de vidro de fibra de lã, entretanto, a descoloração não seria um problema.

Quaisquer preocupações de que a combustão de coque ou carvão no forno de vidro poderia afetar a carga redox do produto de vidro, devido a carvão não-queimado na cinza, podem ser facilmente tratadas (em combustão carvão-ar de caldeiras, 1 a 10% de carvão não-queimado da cinza (UBC) são comuns. Se o mesmo nível de UBC for encontrado em um forno de fusão de vidro, poder-se-ia teoricamente introduzir cerca de 0,2 a 2 lb (0,091 a 0,908 kg) de carvão por 0,907 t de vidro). Embora o redox do vidro possa ser compensado pela adição de oxidantes em batelada (tipicamente, nitro e sulfatos), ~~prefere-se ter~~ combustão quase completa do carvão do combustível. Combustão quase completa pode prontamente ser conseguida nesta invenção. Com combustão de oxi-combustível, espera-se que UBC seja reduzido significativamente, uma vez que a temperatura do forno de fusão de vidro é muito elevada e, especialmente, uma vez que a permanência típica do gás em um forno de vidro aquecido com oxi-combustível é de cerca de 30 segundos, em comparação com 2 segundos em uma caldeira aquecida por carvão-ar.

Mais melhorias de projeto de forno, para reduzir a volatilização por álcali da superfície da fusão de vidro, podem ser combinadas com a presente invenção. Por exemplo, a coroa pode ser elevada a uma altura tal como 5,5 a 9 pés (1,68 m a 2,74 m) acima da superfície superior do vidro fundido, ~~especialmente em conjunto com o posicionamento dos queimadores~~ das paredes do forno, em alturas de 1,5 a 3 pés (0,46 m a 0,93 m) acima da superfície superior do vidro fundido.

É também vantajoso empregarem-se queimadores de baixo momento, o que significa queimadores em que o oxidante é alimentado em uma velocidade menor do que 300 pés/seg (91 m/s), preferivelmente menor do que 150 pés/s (46 m/s), mais preferivelmente menor do que 75 pés/seg (23 m/s) e o combustível é alimentado em uma velocidade menor do que 600 pés/s (183 m/s), preferivelmente menor do que 300 pés/seg (91 m/s), mais

preferivelmente menor do que 150 pés/s (46 m/s).

5 A condição da atmosfera do forno preferida é ter-se uma concentração de H<sub>2</sub>O menor do que 40% próximo da superfície do vidro fundido, mais preferivelmente menor do que 25% e, muitíssimo preferivelmente, menor do que 15%. Isto pode ser conseguido com a presente invenção e, especialmente, em conjunto com outras técnicas para obterem-se baixas concentrações de H<sub>2</sub>O próximas da superfície da fusão de vidro.

10 Por exemplo, é também vantajoso injetarem-se uma ou mais camadas de gás próximo da superfície do vidro fundido, para proteger a superfície do vidro fundido de reação adversa com a atmosfera contígua. A atmosfera pode ser oxidante, obtida estabelecendo-se uma camada de oxigênio ou ar enriquecido por oxigênio entre a superfície de vidro fundido e as chamas que são suportadas pelos queimadores. A atmosfera pode ser redutora, obtida estabelecendo-se uma camada de hidrocarboneto(s) gasoso(s)  
15 no espaço entre a superfície de vidro fundido e as chamas que são sustentadas pelos queimadores.

As técnicas supracitadas são descritas na Patente U.S. No. 5.528.809, Patente U.S. No. 5.924.858 e Patente U.S. No. 6.253.578.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de fusão de vidro que reduz a corrosão por álcali em um forno de fusão de vidro com queimadores de oxi-combustível, caracterizado pelo fato de compreender:

5 (A) fornecer materiais de produção de vidro, incluindo espécie alcalina, dentro do forno de fusão de vidro;

(B) fornecer combustível e oxidante dentro do forno, através dos queimadores de oxi-combustível, em que o combustível fornecido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível contém carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono, e em  
10 que a relação atômica de hidrogênio para carbono, no combustível fornecido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, seja menor do que 0,9; e

(C) combustar o combustível e oxidante ali, para fornecer  
15 calor para os materiais de produção de vidro, para formar vidro fundido.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da relação atômica do hidrogênio para carbono, no dito combustível provido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, ser menor do que 0,6.

20 3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da relação atômica de hidrogênio para carbono, no dito combustível provido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, ser menor do que 0,4.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo  
25 fato de dito combustível compreender monóxido de carbono.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dito combustível contendo carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono compreender coque de petróleo.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo

fato de dito combustível contendo carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono ser sólido.

5 7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de dito combustível contendo carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono ser injetado dentro do forno em mistura com gás de transporte, que contém menos do que 10% de nitrogênio em volume.

10 8. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de dito combustível contendo carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono ser injetado dentro do forno com gás de transporte, pelo menos uma parte do qual é gás residual esfriado de dito forno de fusão de vidro.

15 9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a relação atômica de hidrogênio para carbono, no combustível provido através de todos os queimadores de oxi-combustível, ser menor do que 0,9 e dito combustível conter carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono.

20 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dito um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, fornecidos com dito combustível com a relação atômica de hidrogênio para carbono menor do que 0,9, serem colocados na área mais quente do forno e outros queimadores de oxi-combustível no dito forno de fusão de vidro serem comburidos com um combustível com a relação atômica de hidrogênio para carbono maior do que 0,9.

25 11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dito um ou mais dos queimadores de oxi-combustível, providos com dito combustível com uma relação atômica de hidrogênio para carbono menor do que 0,9, serem colocados na extremidade de carga do forno e outros queimadores de oxi-combustível no dito forno de fusão de vidro serem

comburidos com um combustível com uma relação atômica de hidrogênio para carbono maior do que 0,9.

5 12. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dito combustível contendo carbono, hidrocarbonetos ou outros compostos contendo hidrogênio e carbono ser provido através de um ou mais dos queimadores de oxi-combustível em mistura com o gás de transporte, pelo menos uma parte da qual é combustível, e a relação atômica do hidrogênio para carbono da mistura de dito combustível e gás de transporte ser menor do que 0,9.