



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

(11) PI 0923560-4 B1



(22) Data do Depósito: 21/12/2009

(45) Data de Concessão: 09/03/2021

(54) Título: PROCESSO PARA PRODUZIR FIBRAS DE VIDRO A PARTIR DE VIDRO BRUTO EM BATELADA EM TANQUE DE FUSÃO DE VIDRO COM REVESTIMENTO REFRATÁRIO, FIBRA DE VIDRO PRODUZIDA A PARTIR DE VIDRO BRUTO EM BATELADA E ARTIGO DE ALTA RESISTÊNCIA

(51) Int.Cl.: C03C 3/087; C03C 3/085; C03C 3/091; C03C 13/00; C03B 7/06; (...).

(30) Prioridade Unionista: 13/03/2009 US 12/403,955; 22/12/2008 US 12/341,985.

(73) Titular(es): OCV INTELLECTUAL CAPITAL, LLC.

(72) Inventor(es): PETER BERNARD MCGINNIS; DOUGLAS HOFMANN; DAVID BAKER; JOHN WINGERT; BYRON BEMIS.

(86) Pedido PCT: PCT US2009068965 de 21/12/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/075267 de 01/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/06/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA PRODUZIR FIBRAS DE VIDRO DE ALTA RESISTÊNCIA EM OPERAÇÃO DE FUSÃO DIRETA E PRODUTOS FORMADOS A PARTIR DESTAS FIBRAS A presente invenção descreve um método para formar fibras de vidro de alta resistência em tanque de fusão substancialmente livre de platina e de outros materiais de metal nobre, produtos feitos a partir destas fibras e composições em batelada adequadas para uso no método. Uma composição de vidro para uso na presente invenção inclui 50 a 75% em peso de SiO₂, 13 a 30% em peso de Al₂O₃, 5 a 20% em peso de MgO, 0 a 10 em peso de CaO e 0 a 5% em peso de R₂O, em que R₂O é a soma de Li₂O, Na₂O e K₂O, possui temperatura mais alta de fibrilação, por exemplo, 2400 - 2900 °F (1316 - 1593 °C) e/ou temperatura liquidus que é abaixo da temperatura de fibrilação em tão pouco como 45 °F (25 °C). Outra composição de vidro para uso no método da presente invenção é com até aproximadamente 64 a 75 por cento em peso de SiO₂, 16 a 24 por cento em peso de Al₂O₃, 8 a 12 por cento em peso de MgO e 0,25 a 3 por cento em peso de R₂O, em que R₂O é igual à soma (...).

“PROCESSO PARA PRODUZIR FIBRAS DE VIDRO A PARTIR DE VIDRO BRUTO EM BATELADA EM TANQUE DE FUSÃO DE VIDRO COM REVESTIMENTO REFRATÁRIO, FIBRA DE VIDRO PRODUZIDA A PARTIR DE VIDRO BRUTO EM BATELADA E ARTIGO DE ALTA RESISTÊNCIA”

Campo da técnica e aplicabilidade industrial da invenção

[001]A presente invenção é dirigida em geral a um método de fabricação contínua de fibras de vidro para uso em aplicações de alta resistência e produtos feitos a partir destas fibras, tais como blindagem balística, vasos de pressão, materiais estruturais aeroespaciais, materiais estruturas marítimos e materiais estruturais para energia eólica tais como hastes e lâminas de moinhos de vento.

Antecedentes da invenção

[002]Materiais compósitos de fibras de vidro reforçadas têm sido disponibilizados para uso, embora a custo substancialmente alto. Os itens da presente invenção podem utilizar qualquer método conhecido de fabricação, incluindo moldagem por compressão, laminação, moldagem por projeção, moldagem manual, moldagem de pré-fabricado (preg), moldagem por compressão, moldagem a vácuo, moldagem por pressão, moldagem com prensa, moldagem por transferência, moldagem por transferência de resina assistida por vácuo, moldagem por pultrusão, filamento contínuo, fundição, moldagem em autoclave, transferência de resina com fundição centrífuga e fundição contínua. As propriedades do compósito são controladas pelas fibras e a resina, e a sinergia entre as duas resulta em propriedades do material que não seriam possíveis individualmente a partir de cada material.

[003]Algumas resinas são úteis na fabricação de itens compósitos, incluindo resina de poliéster, resina de vinil éster e resina de epóxi. A resina de poliéster é adequada para algumas situações. A resina de vinil éster possui viscosidade mais baixa pré-cura e é mais flexível após a cura do que a resina de poliéster, sendo tipicamente mais resistente à degradação. A resina de epóxi é tipicamente transparente

quando curada. A resina de epóxi é uma resina de poliéter formada pela polimerização de bisfenol A, bisfenol F, bisfenol C e compostos de estrutura semelhante à epícloridrina, resultando na formação das ligações reativas oxirano. As resinas de epóxi podem reagir com uma variedade de agentes de cura, incluindo aminas, anidridos, mercaptanas, poliésteres, para formar um sólido que não pode ser fundido. A reação é tipicamente uma reação de condensação que não dá origem a subprodutos. Resinas curadas de epóxi exibem alta resistência e baixa contração durante a cura. São utilizadas como revestimentos, adesivos, peças fundidas, compósitos ou espuma. O uso de resinas de epóxi é também desejável em aplicações que requerem alta resistência, como em material de matriz estrutural ou em cola estrutural. Fenólicos são resinas termofixas formadas pela condensação de fenol, ou de um derivado de fenol, com aldeído, tipicamente formaldeído. Fenólicos são utilizados principalmente na fabricação de tintas e plásticos. Outras resinas específicas com módulo de alta resistência incluem bismaleimida, poliamida, fenólico de vinil éster, copolímeros de etileno-acrilato ou de metacrilato, termoplásticos com módulo médio de alta resistência, tais como ionômero (ou seja, copolímero reticulado de etileno-metil acrilato ou metil metacrilato), policarbonato, poliuretano, nylon, aramida, epóxios modificados.

[004]A composição de vidro de alta resistência mais comum para produção contínua de fios de fibra de vidro é a do tipo "*S-Glass*". *S-Glass* representa uma família de vidros compostos primariamente dos óxidos de magnésio, alumínio e silício com composição química que produz fibras de vidros com resistência mecânica mais alta do que fibras do tipo "*E-Glass*". Um membro comumente utilizado da família *S-Glass* é conhecido como *S2-Glass*. *S2-Glass* inclui aproximadamente 65% em peso de SiO_2 , 25% em peso de Al_2O_3 e 10% em peso de MgO . A composição de *S-glass* foi originalmente criada para uso em aplicações de alta resistência, tais como blindagem balística.

[005]*R-Glass* representa uma família de vidros que são compostos primari-

amente pelos óxidos de silicone, alumínio e cálcio, com composição química que produz fibras de vidro com resistência mecânica mais alta do que fibras de *E-Glass*. A composição de *R-Glass* contém aproximadamente 58 a 60% em peso de SiO_2 , 23,5 a 25,5% em peso de Al_2O_3 , 14 a 17% em peso de CaO mais MgO , 0% de B_2O_3 , 0% de F_2 e menos de 2% em peso de componentes diversos. *R-Glass* contém mais alumina e sílica do que *E-Glass* e requer temperaturas mais altas de fusão e de processamento durante a formação de fibras. Tipicamente, as temperaturas de fusão e de processamento para *R-Glass* são pelo menos 160°C mais altas do que aquelas para *E-Glass*. Esse aumento em temperatura de processamento requer tipicamente o uso de tanque de fusão revestido com platina de alto custo. Além disso, a grande proximidade com a temperatura *liquidus* da temperatura de formação, em *R-Glass*, requer que o vidro seja fibrilado em temperatura mais alta do que para *E-Glass*.

[006]Outras composições conhecidas de vidro de alta resistência podem ser encontradas no Pedido de Patente Série Nº 11/267,739, intitulado "*Compositions for High Performance Glass, High Performance Glass Fibers and Articles Therefrom*", na Publicação de Pedido de Patente U. S. Nº 2008/009403.

[007]Tanto o *R-Glass* como o *S-Glass* são produzidos por fusão dos constituintes das composições em tanque de fusão revestido com platina. Os custos para formar fibras de *R-Glass* e *S-Glass* são extraordinariamente mais altos do que para fibras de *E-Glass* devido ao custo de produção das fibras nestes tanques de fusão. Dessa forma, há necessidade no estado da técnica de métodos para se formar composições de vidro úteis na formação de fibras de vidro de alto desempenho a partir de um processo de fusão direta em fornalha substancialmente livre de platina e de outros materiais de metal nobre, e produtos formados a partir destas fibras.

Sumário da invenção

[008]A presente invenção inclui um processo para produzir vidro refinado a partir de vidro bruto em batelada com tanque de fusão de vidro substancialmente

livre de platina e de outros materiais de metal nobre. O processo inclui carregar vidro bruto em batelada a uma zona de fusão de um tanque de fusão, fundir o vidro bruto em batelada no interior da zona de fusão e formar fibras contínuas a partir da fusão. A presente invenção inclui também fibras formadas por tal método e produtos feitos com estas fibras.

[009]Em uma modalidade, a invenção compreende um método para formar fibras de vidro de alta resistência em sistema contínuo equipado com fornalha, canaleta e bucha. O método inclui prover uma fornalha de fusão de vidro para receber vidro em batelada e descarregar vidro fundido, revestida pelo menos em parte com material substancialmente livre de materiais de metal nobre para formar uma superfície de contato entre fornalha e vidro. O vidro é alimentado por batelada à fornalha, o vidro em batelada sendo capaz de formar um vidro fundido que pode ser fibrilado com ΔT de fibrilação acima de 45°F (25°C) e de produzir fibras de vidro com uma composição compreendendo em torno de 50 a 75 por cento em peso de SiO_2 ; em torno de 15 a 30 por cento em peso de Al_2O_3 ; em torno de 5 a 20 por cento em peso de MgO ; em torno de 0 a 10 por cento em peso de CaO ; e em torno de 0 a 5 por cento em peso de R_2O , em que R_2O equivale à soma de Li_2O , Na_2O e K_2O . O vidro em batelada é fundido na fornalha pelo calor suprido por uma fonte de calor da fornalha, tal como queimadores de oxi-combustível, formando um *pool* de vidro fundido em contato com a superfície de contato entre fornalha e vidro. Uma canaleta é provida para transportar vidro fundido da fornalha até a bucha, e pelo menos parte da canaleta é revestida com material substancialmente livre de materiais de metal nobre para formar uma superfície de contato entre fornalha e vidro. O vidro fundido é transportado na canaleta, enquanto calor é suprido a partir de uma fonte de calor da canaleta, e escoar através da canaleta ao longo substancialmente de um trajeto horizontal de escoamento formado pela superfície de contato entre fornalha e vidro. O vidro fundido é descarregado da canaleta na bucha em temperatura de aproxima-

damente 2400°F (1316°C) a aproximadamente 2900°F (1593°C) e viscosidade pré-determinada (por exemplo, aproximadamente 1000 poise), e é formado em fibras contínuas.

[010]A invenção inclui um método de fabricação de uma composição de vidro para a formação de fibras contínuas de vidro e produtos feitos com estas fibras que são adequados para uso em aplicações de alta resistência. Composições úteis na presente invenção podem ser formadas em modo pouco dispendioso em fibras de vidro, utilizando fusão direta a custo baixo em fornalha substancialmente livre de platina e de outros materiais de metal nobre, incluindo suas ligas.

[011]Uma composição útil na presente invenção inclui 64 a 75% em peso de SiO_2 , 16 a 26% em peso de Al_2O_3 , 8 a 12% em peso de MgO e 0 a 3,0% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O .

[012]Outra composição útil na presente invenção inclui 64 a 75% em peso de SiO_2 , 16 a 24% em peso de Al_2O_3 , 8 a 12% em peso de MgO e 0,25 a 3,0% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O . Em certas modalidades, a composição de vidro é composta por 64 a 70% em peso de SiO_2 , 17 a 22% em peso de Al_2O_3 , 9 a 12% em peso de MgO e 1,75 a 3,0% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O . Em outra modalidade, uma composição útil na presente invenção é composta por 64 a 70% em peso de SiO_2 , 17 a 22% em peso de Al_2O_3 , 9 a 12% em peso de MgO e 1,75 a 3,0% em peso de Li_2O .

[013]Ainda outra composição útil na presente invenção inclui 50 a 75% em peso de SiO_2 , 13 a 30% em peso de Al_2O_3 , 5 a 20% em peso de MgO , 0 a 10% em peso de CaO , 0 a 5% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O .

[014]Em certas modalidades exemplares, a composição não contém mais do que aproximadamente 5,0% em peso de compostos como CaO , P_2O_5 , ZnO , ZrO_2 , SrO , BaO , SO_3 , F , B_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CeO_2 e BeO_2 . Em outras modalidades exemplares, a composição não contém de preferência mais do que aproximadamente 4%

em peso de compostos ou halogênios tais como ZnO, SO₃, Flúor, B₂O₃, TiO₂, ZrO₂ e Fe₂O₃.

[015]Em algumas modalidades exemplares, as propriedades desejadas das fibras de alto desempenho, fabricadas pela invenção, incluem temperatura de fibrilação inferior a 2650°F (1454°C) e temperatura *liquidus* de preferência pelo menos 80°F (44°C), mais preferivelmente pelo menos aproximadamente 120°F (67°C) e, o mais preferível, pelo menos aproximadamente 150°F (83°C) abaixo da temperatura de fibrilação.

[016]Em outras modalidades exemplares, as propriedades desejadas das fibras de alto desempenho, fabricadas pela invenção, incluem temperatura de fibrilação de 2400 a 2900°F (1316 - 1593°C) e temperatura *liquidus* pelo menos 45°F (25°C) abaixo da temperatura de fibrilação.

[017]A presente invenção provê também uma peça estrutural exibindo melhores propriedades estruturais com custos diminuídos e manufaturabilidade melhorada. A temperatura relativamente baixa de fibrilação das fibras contínuas de vidro usa fusão de baixo custo em tanque de fusão substancialmente livre de platina e de outros materiais de metal nobre. A temperatura relativamente baixa das fibras de vidro utilizadas nas aplicações de alta resistência da presente invenção permite melhorar o processamento de fibras a custo diminuído. Os itens da presente invenção são formados tipicamente por moldagem por compressão, laminação, moldagem por projeção, moldagem manual, moldagem de pré-fabricado (pregreg), moldagem por compressão, moldagem a vácuo, moldagem por pressão, moldagem com prensa, moldagem por transferência, moldagem com transferência de resina assistida com vácuo, moldagem por pultrusão, filamento contínuo, fundição, moldagem em autoclave, transferência de resina com fundição centrífuga e fundição contínua

[018]As fibras produzidas e utilizadas na presente invenção são substancialmente menos dispendiosas em sua produção e exibem também boas propriedades

de resistência e densidade. A densidade das fibras utilizadas na presente invenção varia entre 2,434 - 5,520 g/cm³ e, mais preferivelmente, 2,434 – 2,486 g/cm³, e exibem medida de módulo acima de 12,7 MPsi e medida de resistência de fibra de prístina acima de 680 KPsi.

Descrição resumida dos desenhos

[019]A Figura 1 representa uma visão longitudinal em corte transversal de uma fornalha de fusão de vidro, útil com o método da presente invenção;

A Figura 2 representa uma visão plana em corte transversal da fornalha de fusão de vidro da Figura 1, considerada ao longo da linha 2--2;

A Figura 3 representa uma visão de corte transversal da fornalha de fusão de vidro da Figura 1, considerada ao longo da linha 3--3, ilustrando dois queimadores adjacentes à parede final em sentido ascendente da fornalha;

A Figura 4 representa uma visão projetada alternativa de corte transversal da fornalha de fusão de vidro da Figura 1, considerada ao longo da linha 3--3, ilustrando um queimador adjacente à parede final em sentido ascendente da fornalha; e

A Figura 5 representa uma visão lateral, parcialmente em corte transversal, de um arranjo de estrutura de apoio/montagem de bucha para produção de filamentos contínuos de vidro, útil no método da presente invenção.

[020]A Figura 6 representa uma disposição de corte transversal vista de cima de uma canaleta exemplar, útil no método da presente invenção, para transportar vidro fundido da fornalha de fusão de vidro para a montagem/apoio de bucha.

[021]A Figura 7 representa uma visão lateral de elevação em corte transversal de outra canaleta exemplar, útil no método da presente invenção.

Descrição detalhada e modalidades preferidas da invenção

[022]A presente invenção será descrita abaixo com referência ocasional às suas modalidades específicas. Esta invenção pode, no entanto, ser concretizada em diferentes formas, e as modalidades descritas neste relatório não devem ser inter-

pretadas como limitação à invenção. Ou melhor, estas modalidades têm como finalidade permitir a descrição minuciosa e completa da presente invenção, além de transmitir o âmbito da invenção àqueles versados no estado da técnica.

[023]A não ser se definidos de outra forma, todos os termos técnicos e científicos utilizados neste relatório descritivo possuem os mesmos significativos como habitualmente entendidos por qualquer técnico versado no assunto ao qual esta invenção pertence. A terminologia utilizada na descrição da invenção destina-se somente a descrever modalidades específicas e não tem a intenção de limitar a invenção. Na descrição da invenção e nas reivindicações anexadas, as formas no singular “um”, “uma”, “o” e “a” destinam-se também a incluir as formas no plural, a não ser se o contexto claramente indicar de outra forma.

[024]A não ser se indicado de outra forma, todos os números expressando quantidades de ingredientes, propriedades, tais como peso molecular, condições de reação e assim por diante, utilizados no relatório descritivo e nas reivindicações deverão ser entendidos como sendo modificados, em todas as situações, pelo termo “aproximadamente”. Dessa forma, a não ser se indicado de outra forma, as propriedades numéricas apresentadas no relatório descritivo e nas especificações representam aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas que se busca obter em modalidades da presente invenção. Não obstante os intervalos e parâmetros numéricos que descrevem em sentido amplo o alcance da invenção serem aproximações, os valores números apresentados nos exemplos específicos são relatados o mais precisamente possível. Qualquer valor numérico, no entanto, contém inerentemente erros necessariamente resultantes de erro encontrado em suas respectivas mensurações.

[025]As propriedades de fibrilação da composição de vidro utilizada para formar as fibras de vidro da presente invenção incluem a temperatura de fibrilação, a de *liquidus* e Delta-T. A não ser se definido de outra forma, a temperatura de fibrila-

ção é definida como a temperatura que corresponde a uma viscosidade de 1000 poise (temperatura em log de 3). Aquele versado no estado da técnica reconhecerá que outras temperaturas de fibrilação podem ser definidas, por exemplo, temperatura de fibrilação pode ser definida como a temperatura que corresponde a uma viscosidade de 316 poise (temperatura em log de 2,5).

[026]Como discutido mais detalhadamente abaixo, em certas modalidades, uma temperatura mais baixa de fibrilação reduz o custo de produção das fibras, prolonga a vida útil da bucha, aumenta o rendimento, permite que o vidro seja fundido em um tanque de fusão substancialmente livre de platina ou de outros materiais de metal nobre e reduz o consumo de energia. Por exemplo, em temperatura mais baixa de fibrilação, uma bucha opera em temperatura mais fria e não “perde a firmeza” tão rapidamente. Perda de firmeza é um fenômeno que ocorre em buchas que são mantidas em temperatura elevada por períodos extensos de tempo. Abaixar a temperatura de fibrilação permite que a taxa de perda de firmeza seja reduzida e que a vida útil da bucha possa ser aumentada. Adicionalmente, uma temperatura de mais baixa de fibrilação permite rendimento mais alto uma vez que mais vidro é capaz ser fundido em um determinado período com certo consumo de energia. Como resultado, o custo de produção é reduzido. Além disso, uma temperatura mais baixa de fibrilação permitirá também que vidro formado com o método da invenção e uma composição possam ser fundidos em tanque de fusão com revestimento refratário, ou tanque de fusão com paredes resfriadas externamente, visto que a sua temperatura de fusão e de fibrilação estão abaixo dos limites superiores utilizados de temperatura de muitos refratários disponíveis ou de outros materiais quando resfriamento externo é suprido.

[027]A temperatura *liquidus* é definida como a temperatura mais alta na qual existe equilíbrio entre vidro em estado líquido e sua fase cristalina primária. Em todas as temperaturas acima da *liquidus*, o vidro não contém cristais em sua fase pri-

mária. Em temperaturas abaixo da *liquidus*, cristais podem se formar.

[028] Outra propriedade de fibrilação é delta-T (ΔT), o qual é definido como a diferença entre a temperatura de fibrilação e a *liquidus*. ΔT maior oferece grau maior de flexibilidade durante a formação das fibras de vidro e ajuda a inibir a desvitrificação do vidro (ou seja, a formação de cristais dentro do fundido) durante a fusão e a fibrilação. O aumento do ΔT reduz também o custo de produção das fibras de vidro ao permitir que a vida útil da bucha seja mais longa e propiciar uma janela mais ampla para o processo de formação de fibras.

[029] Por outro lado, uma temperatura mais alta de fibrilação e/ou ΔT menor significa que o processo de formação de fibras é mais rigoroso, sendo mais sensível a variações de temperatura, manchas frias e com movimentação lenta do vidro.

[030] As composições de vidro empregadas na presente invenção são vantajosamente adequadas para fusão em fornalha ou tanque de fusão de vidro substancialmente livre de platina ou de outros materiais de metal nobre e de suas ligas, incluindo tanques de fusão de vidro tradicionais, comercialmente disponíveis com revestimento refratário e tanques de fusão de vidro comercialmente disponíveis revestidos com paredes resfriadas externamente, por exemplo, paredes resfriadas com água.

[031] Os componentes iniciais da batelada incluem tipicamente SiO_2 (areia moída de sílica) e Al_2O_3 (alumina calcinada), Li_2CO_3 (carbonato de lítio), H_3BO_3 (ácido bórico), $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (ulexita), $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (colemanita), bem como modificadores de cadeia de matérias-primas à base de MgCO_3 (magnesita), CaCO_3 (calcário), SrCO_3 (estroncianita), BaCO_3 (whiterita), ZrSiO_3 (zircônia) e Na_2CO_3 (natrita). Aquele versado no estado da técnica apreciará que outras matérias-primas podem ser utilizadas. Exemplos adicionais não limitantes de componentes iniciais da batelada incluem caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), pirofilita ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), bauxita ($\text{AlO}(\text{OH})$), wollastonita (CaSiO_3), espodumênio ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), feldspato ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$),

dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_2)_2$), cal (CaO), cal dolomítica (CaMgO_2) e cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Fornalha de fusão de vidro

[032]As Figuras 1 – 4 retratam uma fornalha de fusão de vidro (10) útil no método de formação de fibras de vidro descrito neste relatório e apresentado nos exemplos e reivindicações abaixo. Pode ser desejável utilizar aquecimento por combustão de oxigênio dentro da fornalha de fusão, como descrito na Patente U.S. Nº 7 509 819, intitulada “*Oxygen-fired Front End For Glass Forming Operation*”, dos inventores David J Baker *et al.*, cujo conteúdo é aqui incorporado em sua totalidade por referência neste pedido de patente. A fornalha de fusão de vidro (10) fornece vidro fundido a uma canaleta de vidro (12).

[033]Em uma modalidade exemplar, o vidro fundido é composto por 50 a 75% em peso de SiO_2 , 13 a 30% em peso de Al_2O_3 , 5 a 20% em peso de MgO , 0 a 10% em peso de CaO e 0 a 5% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O . Esta modalidade exemplar inclui composições de vidro com temperatura mais alta de fibrilação, por exemplo, 2400 – 2900°F (1316 – 1593°C) e/ou temperatura *liquidus* que é abaixo da temperatura de fibrilação em tão pouco como 45°F (25°C).

[034]Em outra modalidade exemplo, o vidro fundido é composto por 64 a 75% em peso de SiO_2 , 16 a 26% em peso de Al_2O_3 , 8 a 12% em peso de MgO e 0 a 3,0% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O .

[035]Em ainda outra modalidade exemplar, o vidro fundido é composto por aproximadamente 64 a 75% em peso de SiO_2 , 16 a 24% em peso de Al_2O_3 , 8 a 12% em peso de MgO e 0,25 a 3,0% em peso de R_2O , em que R_2O é a soma de Li_2O , Na_2O e K_2O . Uma fibra formada de acordo com o método desta modalidade exemplar terá temperatura de fibrilação inferior a 2650°F (1454°C) e, em certas modalidades, inferior a aproximadamente 2625°F (1458°C), em outras modalidades, inferior a

aproximadamente 2600°F (1427°C) e em certas modalidades inferior a aproximadamente 2575°F (1413°C), e temperatura *liquidus* que é abaixo da temperatura de fibrilação em pelo menos 80°F (44°C) e, em outras modalidades, em pelo menos aproximadamente 120°F (67°C) e ainda em outras modalidades em pelo menos aproximadamente 150°F (83°C).

[036]Em ainda outra modalidade exemplar, o vidro fundido é composto por 50 a 75% em peso de SiO₂, 13 a 30% em peso de Al₂O₃, 5 a 20% em peso de MgO, 0 a 10% em peso de CaO e 0 a 5% em peso de R₂O, em que R₂O é a soma de Li₂O, Na₂O e K₂O. Esta modalidade exemplar inclui composições de vidro com temperatura *liquidus* que é acima da temperatura de fibrilação em log3, ou seja, ΔT negativo tal como -122°F (-68°C). Tal composição pode ser convertida em fibra em temperatura mais alta, por exemplo, log 2,5 da temperatura de fibrilação, correspondente a viscosidade de 316 poise.

[037]Em certas modalidades exemplares, a composição não contém mais de aproximadamente 5,0% em peso de óxidos ou compostos como CaO, P₂O₅, ZnO, ZrO₂, SrO, BaO, SO₃, Flúor, B₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, K₂O, CeO₂ e BeO₂. Em outras modalidades exemplares, a composição é desprovida de CeO₂ e BeO₂ intencionalmente adicionados.

[038]As fibras produzidas e utilizadas na presente invenção são substancialmente menos dispendiosas para serem feitas e possuem também boas propriedades de resistência e densidade. A densidade das fibras utilizadas na presente invenção varia entre 2,434 - 4,520 g/cm³ e, mais preferivelmente, 2,434 - 2,486 g/cm³. Além disso, as fibras de vidro da presente invenção, em certas modalidades, exibirão resistência de fibras de pristina acima de 680 KPSI e, em certas outras modalidades, resistência acima de aproximadamente 700 KSPI e ainda em outras modalidades resistência acima de aproximadamente 730 KPSI. Adicionalmente, as fibras de vidro exibirão vantajosamente módulo maior de 12,0 MPSI e, em certas modali-

dades, maior de aproximadamente 12,18 MPa e em algumas modalidades maior de aproximadamente 12,7 MPa.

[039]O método da presente invenção é executado, de preferência, com a fornalha de fusão de vidro (10), a qual inclui um canal alongado com parede final em sentido ascendente (14), parede final em sentido descendente (16), paredes laterais (18), um piso (20) e um teto (22). Cada um dos componentes da fornalha de fusão de vidro (10) é feito de materiais refratários apropriados, tais como alumina, óxido crômico, sílica, alumina-sílica, zircônio, zircônia-alumina-sílica ou materiais refratários semelhantes à base de óxidos, especialmente as superfícies que estão em contato com o vidro fundido. O teto (22) é apresentado como tendo geralmente uma forma arqueada transversal ao eixo longitudinal que compõe o canal; no entanto, o teto pode ter qualquer desenho adequado. O teto (22) está posicionado tipicamente entre 3 – 10 pés acima da superfície da batelada de vidro (30). A batelada de vidro (30) é uma mistura de matérias-primas utilizadas na fabricação de vidro de acordo com a presente invenção.

[040]A fornalha de fusão de vidro (10) pode incluir opcionalmente um ou mais borbulhadores e/ou eletrodos de impulso elétrico (não mostrados). Os borbulhadores (24) e/ou eletrodos de impulso elétrico aumentam a temperatura do vidro a granel e aumentam a circulação de vidro fundido sob a cobertura da batelada.

[041]Borbulhadores (24) e/ou eletrodos de impulso elétrico podem ser especialmente úteis nas segundas e nas terceiras modalidades exemplares, as quais incluem composições de vidro com temperatura mais alta de fibrilação, por exemplo, 2400 – 2900°F (1316 – 1593°C) e/ou ΔT baixo, por exemplo, de até 45°F (25°C) ou mesmo ΔT negativo como -122°F (-68°C), em que o potencial para desvitrificação é maior.

[042]Adicionalmente, a fornalha de fusão de vidro (10) pode incluir duas zonas sucessivas, uma zona de fusão em sentido ascendente (26) e uma zona de refi-

no em sentido descendente (28). Na zona de fusão (26), a composição de vidro em batelada (30) pode ser alimentada à fornalha usando um dispositivo para carregamento (32) de tipo bem-conhecido no estado da técnica.

[043]Em uma configuração adequada de tanque de fusão, o material de vidro em batelada (30) forma uma camada em batelada de partículas sólidas sobre a superfície do vidro fundido na zona de fusão (26) da fornalha de fusão de vidro (10). As partículas sólidas flutuantes da batelada da composição de vidro em batelada (30) são pelo menos parcialmente fundidas por pelo menos um queimador (34) com forma e comprimento de chama controlada, montado no teto (22) da fornalha de fusão de vidro (10).

[044]Em uma modalidade preferida, como mostrada na Figura 1, a fornalha de fusão de vidro (10) inclui três queimadores (34). Um único queimador (34) está posicionado em sentido ascendente de dois queimadores posicionados de forma adjacente em sentido descendente (34). No entanto, será apreciado que qualquer número de queimadores (34) pode estar posicionado em qualquer local adequado no teto (22) da fornalha (10) sobre a batelada para fundir o vidro em batelada (30). Por exemplo, dois queimadores (34) podem estar posicionados lado a lado (Figura 3) ou um único queimador pode ser utilizado (Figura 4).

[045]Cabo notar que os queimadores (34) da fornalha de fusão de vidro (10) podem ser dispostos na coroa (teto) da fornalha, nas paredes laterais, nas paredes finais, submersos dentro da batelada ou vidro fundido, ou em combinações destes.

[046]Outros tanques de fusão podem ser utilizados sem se distanciarem da presente invenção. Tanques de fusão adequados incluem tanques de fusão Ar-Gás, tanques de fusão Oxigênio-Gás, tanques de fusão aquecidos eletricamente ou qualquer tanque de fusão por queima de combustível fóssil. É possível adicionar impulso elétrico ou borbulhadores a qualquer um dos processos de fusão. É possível também incluir uma zona separada de refino (como mostrado na Figura 1) ou incorporar

a zona de refino no tanque principal do equipamento de fusão.

Arranjo de canaleta

[047]A canaleta recebe vidro fundido descarregado da fornalha de fusão de vidro e transporta o vidro fundido, descarregando o vidro fundido em condição adequada para posição de formação. Os componentes da canaleta podem ser revestidos com materiais refratários apropriados como, por exemplo, alumina, óxido crômico, sílica, alumina-sílica, zircônio, zircônia-alumina-sílica ou materiais refratários semelhantes à base de óxido, especialmente as superfícies que estão em contato com o vidro fundido. De preferência, estas superfícies de contato entre canaleta e vidro são revestidas com materiais à base de óxido crômico, zircônio ou combinações destes.

[048]Para composições com temperatura de fibrilação inferior a 2650°F (1454°C) e temperatura *liquidus* que é abaixo da temperatura de fibrilação em pelo menos 80°F (44°C), uma canaleta convencional pode ser utilizada.

[049]Para outras composições em que a temperatura de fibrilação é alta e/ou o ΔT é baixo, outros arranjos de canaleta podem ser úteis em promover uma condição isotérmica no vidro fundido, pela qual é prevenida desvitrificação. Por exemplo, o transporte do vidro fundido através da canaleta em profundidade rasa (D), por exemplo, menos de 8 polegadas (20,32 cm) ou, de preferência, menos de aproximadamente 3,5 polegadas (8,89 cm), melhorará o calor transmitido por radiação por todo o vidro fundido. Queimadores instalados de queima de oxigênio combustível são especialmente úteis como fonte de calor da canaleta nesse contexto. Um sistema típico de queima de oxigênio combustível é fornecido pela BH-F (Engineering) Ltd. of England. Neste relatório descritivo, queimadores de queima de oxigênio combustível são definidos como queimadores que usam oxigênio (por exemplo, tipicamente com 90 a 99 por cento de pureza com impureza sendo uma combinação de nitrogênio e argônio), em alta pureza como oxidante, em vez de ar ambiente utiliza-

do em queimadores de combustão a ar e combustível fóssil para suprimento de hidrocarboneto combustível, porém podem incluir queimadores utilizando ar enriquecido com oxigênio (por exemplo, 30 a 90 por cento de pureza). A temperatura da chama de um queimador de oxigênio-gás é de aproximadamente 4200 a aproximadamente 5200°F (aproximadamente 2315 a 2871°C). Nesta temperatura, a chama e produtos de combustão irradiam energia em comprimentos de onda que o vidro fundido é capaz de absorver. Como resultado, a temperatura do vidro é uniforme horizontalmente sobre a superfície do vidro fundido e verticalmente através do vidro fundido.

[050]Queimadores ar combustível podem ser utilizados também como fonte de calor da canaleta, especialmente quando instalados em distância muito estreita, por exemplo, de 4 polegadas (10,16 cm).

[051]Arranjos exemplares de canaleta, úteis na presente invenção, são mostrados nas Figuras 6 e 7. A canaleta (322A) é adaptada para liberar uma substância fundida (por exemplo, vidro G fundido), vinda da fornalha de fusão de vidro, para um ponto de produção (ou seja, uma posição de formação discutida abaixo). O vidro fundido (G) não entra em contato com uma parte superior da canaleta (322A). Consequentemente, esta parte pode ser construída com material refratário de custo relativamente baixo (ou seja, um material refratário para estrutura superior, tal como sílica, mulita ou outros materiais que não precisam suportar efeitos corrosivos de vidro fundido (G)).

[052]Uma parte inferior da canaleta (322A) está abaixo do nível do vidro (L) e forma, portanto, uma superfície de contato com vidro que entra em contato com o vidro fundido (G). Consequentemente, esta parte da canaleta (322A) é construída de material mais custoso de contato com vidro. Um material de cerâmica refratária (ou seja, zircônio, óxido crômico ou outro material adequado) é adequado como material refratário de contato com vidro por ser capaz de suportar os efeitos corrosivos de

vidro fundido (G).

[053]A canaleta (322A) pode compreender um topo ou coroa (não mostrado), um fundo (também não mostrado) e paredes laterais (328A). A canaleta (322A) possui uma extremidade em sentido ascendente, geralmente indicada em (330A), e uma extremidade em sentido descendente, geralmente indicada em (332A). Uma extremidade aberta (334) pode ser provida na extremidade em sentido descendente (332A) da canaleta (322A). Uma parede final (336A) pode ser provida na extremidade em sentido ascendente (330A) da canaleta (322A). Um ou mais orifícios de vidro (338) podem ser providos no fundo da canaleta (322A), próximos, adjacentes ou perto da parede final (336A). A canaleta da extremidade dianteira, como introduzida acima, é aquela parte da canaleta (322A) com parede final (336A) e orifícios de vidro (338) no fundo.

[054]Queimadores da canaleta (344), tais como queimadores de oxigênio combustível, estão posicionados acima do nível de vidro (L), mostrados na Figura 7. Os queimadores da canaleta (344) estão orientados em plano perpendicular (ou seja, plano substancialmente horizontal) às superfícies (340) e em ângulo agudo em relação às superfícies (340). Os queimadores da canaleta (344) estão apontados em direção à extremidade em sentido descendente (332A) da canaleta (322A), em ângulo entre em torno de 5 graus e em torno de 85 graus em relação às superfícies, como mostrado na Figura 6. Os queimadores da canaleta (344) podem ser repartidos ou alternativamente espaçados de modo que queimadores opostos da canaleta (344), nas paredes opostas (328A), estejam compensados lateralmente e não se alinhem lateralmente (não se alinhem verticalmente quando visualizados na Figura 6) entre si.

[055]A temperatura da chama de um queimador de oxigênio combustível é em torno de 4200 – 5200°F. No entanto, a chama é de preferência muito pequena. Consequentemente, a chama não entra em contato direto com as paredes laterais

(328A). No entanto, o calor irradiando da chama é, de fato, considerável. Embora a chama não entre em contato direto com as paredes laterais (328A), as paredes laterais (328A) são aquecidas suficientemente por convecção ou calor que de outra forma irradia da chama. Este calor radiante é suficiente para condicionar apropriadamente o vidro fundido (G) e manter o vidro fundido G em uma temperatura desejada sem comprometer a integridade da canaleta (322A) por exposição da canaleta (322A) a temperaturas excessivamente altas. Isso é válido mesmo se os queimadores (344) estiverem espaçados entre si a uma distância de aproximadamente 1 pé (30,48 cm) a aproximadamente 5 pés (152,4 cm).

[056]Deverá ser apreciado que outros arranjos para queimadores de canaleta são possíveis e se enquadram no âmbito da invenção. Por exemplo, outro arranjo exemplar de queimadores é ilustrado na Figura 7. Os queimadores da canaleta (344) estão orientados em plano perpendicular (ou seja, plano substancialmente vertical) à superfície e em ângulo reto em relação à superfície (346). Os queimadores da canaleta (344) podem estar apontando em direção à extremidade em sentido ascendente 330C do canal (322C) em ângulo entre em torno de 5 graus a em torno de 85 graus em relação à superfície 346, como mostrado na Figura 7. Alternativamente, os queimadores da canaleta (344) podem estar apontando em direção à extremidade em sentido descendente (332C) do canal (322C) em ângulo entre em torno de 95 graus a em torno de 175 graus em relação à superfície (346).

[057]Cabe notar que os queimadores podem ser dispostos na coroa (teto) da canaleta, nas paredes laterais, nas paredes finais, submersos dentro da batelada ou vidro fundido ou em combinações destes.

Montagem de bucha

[058]Como mostrado na Figura 5, uma montagem de bucha 100 inclui uma bucha (110) e uma estrutura de bucha 210. A bucha (110) inclui um corpo principal de bucha (120) com paredes laterais (122) e uma placa de ponta (124) estendendo-

se entre as paredes laterais (122). O corpo principal (120) está posicionado abaixo de um bloco de embuchamento (300), o qual, por sua vez, está posicionado abaixo de uma canaleta (310). Na prática do método da presente invenção, uma corrente de vidro fundido é recebida pelo corpo principal (120), proveniente da canaleta (310). A canaleta (310) recebe o vidro fundido de um tanque de fusão (10) (mostrado na Figura 1). Um canal de entrega (40) está posicionado entre o tanque de fusão (10) e a canaleta (310) para entregar a composição de vidro fundido em batelada (30), do tanque de fusão (10) para a canaleta (310). A canaleta (310) e o bloco de embuchamento (300) podem ser de construção convencional e podem ser formados de materiais refratários.

[059]A placa de ponta (124) contém uma pluralidade de bocais (124a) (também denominados orifícios), através dos quais uma pluralidade de correntes de vidro fundido pode ser descarregada. As correntes de material fundido podem ser recolhidas mecanicamente da placa de ponta (124) para formar filamentos contínuos (125) por meio de um dispositivo bobinador convencional (400), tal como bobinadeira, picador ou outros meios de atenuação. Os filamentos (125) podem ser reunidos em um único ou em múltiplos fios contínuos (125a) após terem recebido um revestimento protetor de composição de ensimagem (*sizing*) de um aplicador de ensimagem (410). Os filamentos contínuos (125a) podem ser enrolados sobre um aro rotativo (402) do dispositivo bobinador (400) para formar um pacote (125b). Os filamentos contínuos (125) podem também ser processados para outros materiais compósitos desejados de vidro, incluindo, entre outros, fibras de fio picado para uso úmido, fibras de fio picado para uso seco, esteiras de filamentos contínuos, esteiras de fio picado, esteiras formadas úmidas ou esteiras assentadas ao ar.

[060]Artigos de alta resistência da presente invenção usam as fibras formadas descritas acima como reforço de fibra de vidro dentro de um material de matriz polimérica. Materiais típicos de matriz incluem epóxis, resinas fenólicas, vinil ésteres

e poliésteres. Os itens podem ser formados por qualquer técnica adequada de fabricação, incluindo moldagem por compressão, laminação, pulverização, assentamento manual, pré-moldagem (preg), moldagem por compressão, moldagem a vácuo, moldagem por pressão, moldagem com prensa, moldagem por transferência, moldagem por transferência de resina assistida por vácuo, moldagem por pultrusão, filamento contínuo, fundição, moldagem em autoclave, transferência de resina com fundição centrífuga e fundição contínua.

[061]Após esta invenção ter sido descrita em modo geral, é possível obter entendimento adicional por referência a certos exemplos específicos ilustrados abaixo, os quais são fornecidos para fins ilustrativos somente e não se destinam a ser totalmente inclusivos ou limitações, a não ser se especificado de outra forma.

Exemplos

[062]Os vidros nos exemplos listados nas Tabelas IIA – IIC foram fundidos em cadinhos de platina ou em tanque de fusão contínua revestido com platina para determinar as propriedades mecânicas e físicas do vidro e das fibras produzidas deste vidro. As unidades de medida para as propriedades físicas são: Viscosidade ($^{\circ}\text{F}$), temperatura *liquidus* ($^{\circ}\text{F}$) e ΔT ($^{\circ}\text{F}$). Em alguns exemplos, os vidros foram fibrilados e a Resistência (KPsi), Densidade (g/cm^3) e Módulo (MPsi) foram medidos.

[063]A temperatura de fibrilação foi medida com viscosímetro de haste rotativa. A viscosidade de fibrilação é definida em 1000 Poise. A temperatura *liquidus* foi medida com um recipiente de platina cheio de vidro mantido em fornalha de gradiente térmico por 16 horas. O temperatura mais alta na qual cristais estavam presentes foi considerada a temperatura *liquidus*. O módulo foi medido por meio da técnica sônica sobre uma única fibra de vidro. A resistência à tração foi medida sobre uma única fibra de prístina.

Tabela II-A

Vidro	Exemplo 1	Exemplo 2	Exemplo 3	Exemplo 4	Exemplo 5	Exemplo 6
-------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

SiO ₂	67,2	69	67	70	70	65
Al ₂ O ₃	20	22	22	17	17	21
MgO	9,8	9	11	11	10	11
Li ₂ O	3	0	0	2	3	3
Viscosidade medida (°F)	2531 1388	2761 1561	2648 1453	2557 1403	2558 1403	2461 1349
1ª <i>liquidus</i> medida (°F)	2313 1267	2619 1437	2597 1425	2332 1278	2302 1261	2296 1258
2ª <i>liquidus</i> medida (°F)	2302 1261	2620 1438	2614 1434	2346 1286	2308 1264	2318 1270
ΔT (°F)	218 121,1	142 78,89	51 28,33	225 125	256 142,2	165 91,67
Densidade medida (g/cm ³)	2,459	2,452	2,481	2,450	2,441	2,482

Tabela II-B

Vidro	Exemplo 7	Exemplo 8	Exemplo 9	Exemplo 10	Exemplo 11	Exemplo 12
SiO ₂	70	69	70	65	66	65
Al ₂ O ₃	18	17	21	22	22	22
MgO	9	11	9	11	9	10
Li ₂ O	3	3	0	2	3	3
Viscosidade medida °F (°C)	2544 (1396)	2496 (1369)	2752 (1511)	2525 (1385)	2523 (1384)	2486 (1363)
1ª <i>liquidus</i> medida °F (°C)	2311 (1266)	2234 (1223)	2597 (1425)	2468 (1353)	2391 (1311)	2361 (1294)
2ª <i>liquidus</i> medida °F (°C)	2324 (1273)	2343 (1284)	2603 (1428)	2462 (1350)	2394 (1312)	2382 (1306)
ΔT °F (°C)	233 (129,44)	262 (145,56)	155 (86,11)	57 (31,67)	132 (73,33)	125 (69,44)
Densidade medida (g/cm ³)	2,434	2,455	2,443	2,486	2,460	2,474

Tabela II-C

Vidro	Exemplo 13	Exemplo 14	Exemplo 15	Exemplo 16	Exemplo 17	Exemplo 18
SiO ₂	70	67,32	67,57	68,27	68,02	67,76
Al ₂ O ₃	19	20,49	20,49	20,10	20,10	20,10
MgO	11	10,00	10,00	9,69	9,69	9,69
Li ₂ O	0	2,00	1,75	1,75	2,00	2,25
Viscosidade medida °F (°C)	2679 (1471)	2563 (1406)	2584 (1418)	2598 (1426)	2578 (1414)	2547 (1397)
1ª <i>liquidus</i> medida °F (°C)	2596 (1424)	2456 (1347)	2486 (1363)	2446 (1354)	2431 (1333)	2399 (1315)
2ª <i>liquidus</i> medida °F (°C)	2582 (1417)	2447 (1342)	2469 (1354)	2469 (1354)	2437 (1354)	2406 (1319)
ΔT °F (°C)	83 (46,11)	111,5 (61,94)	106,5 (59,17)	140,5 (78,06)	144 (80)	144,5 (80,28)
Densidade medida (g/cm ³)	2,453		2,461		2,452	

As composições úteis na presente invenção podem incluir também modificadores de cadeia, tais como Na₂O, CaO e B₂O₃. Estas composições são apresentadas na Tabela II-D (abaixo).

Tabela II-D

Vidro	Exemplo 19	Exemplo 21	Exemplo 22	Exemplo 22	Exemplo 23	Exemplo 24
SiO ₂	75	66	65	65	66	74
Al ₂ O ₃	15	20	20	24	19	15
MgO	8	9	8	8	9	8
Li ₂ O	1	1	2	0	0	0
Na ₂ O	1	2	1	1	2	3
CaO		2	4			
B ₂ O ₃				2	4	
Viscosidade medida °F	2765	2607	2469	2669		2809

(°C)	(1518)	(1431)	(1354)	(1465)		(1543)
1ª <i>liquidus</i> medida °F	2422	2729		2614	2630	2680
(°C)	(1328)	(1498)		(1434)	(1443)	(1471)
ΔT °F	343	-122		55		129
(°C)	(190,56)	(-67,78)		(30,56)		(71,67)

[064]As fibras produzidas pela presente invenção apresentam módulo e características de resistência superiores. As fibras do Exemplo 1 exibem Módulo Medido de 12,71 MPsi e Resistência Medida de 688 KPsi. As fibras do Exemplo 3 exibem Módulo Medido de 12,96 MPsi e Resistência Medida de 737 KPsi. As fibras do Exemplo 17 exibem Módulo Medido de 12,75 MPsi e Resistência Medida de 734 KPsi.

[065]Como entendido no estado da técnica, as composições exemplares acima da invenção nem sempre totalizam 100% dos componentes listados devido a convenções estatísticas (tais como arredondamento e nivelamento pela média), e o fato de que algumas composições podem incluir impurezas que não estão listadas. Evidentemente, as quantidades reais de todos os componentes, incluindo quaisquer impurezas, em uma composição sempre totalizam 100%. Adicionalmente, deve ser entendido que quando pequenas quantidades de componentes estiverem especificadas nas composições, por exemplo, quantidades na ordem de aproximadamente 0,05 por cento em peso ou menos, estes componentes podem estar presentes na forma de impurezas traço, presentes nas matérias-primas, em vez de intencionalmente adicionadas.

[066]Além disso, componentes podem ser adicionados à composição em batelada, por exemplo, para facilitar o processamento, que mais tarde são eliminadas, sendo formada pelo mesmo uma composição de vidro que é essencialmente livre de tais componentes. Portanto, por exemplo, quantidades diminutas de componentes, como flúor e sulfato, podem estar presentes em forma de impurezas traço nas matérias-primas que fornecem os componentes de silício, lítio, alumínio e magnésio na

prática comercial da invenção ou podem ser auxiliares de processamento que estão essencialmente perdidos durante a fabricação.

[067]Como é evidente a partir dos exemplos acima, certas composições de fibra de vidro, úteis na invenção, possuem propriedades vantajosas tais como baixas temperaturas de fibrilação e grandes diferenças entre as temperaturas de *liquidus* e as temperaturas de fibrilação (valores altos de ΔT). Outras vantagens e modificações óbvias da invenção serão evidentes para aquele versado no estado da técnica a partir da descrição acima e através da prática posterior da invenção.

[068]Em certas modalidades, o vidro de alto desempenho produzido pela presente invenção se funde e refina em temperaturas relativamente baixas, possui viscosidade viável sobre um amplo intervalo de temperaturas relativamente baixas e baixo intervalo de temperatura *liquidus*.

[069]Em outras modalidades, o vidro de alto desempenho produzido pela presente invenção se funde e refina em temperaturas relativamente altas, possui viscosidade viável sobre um intervalo de temperatura relativamente pequeno.

[070]A invenção deste pedido de patente foi descrita acima tanto genericamente como no contexto de modalidades específicas. Embora a invenção tenha sido apresentada no que se acredita serem as modalidades preferidas, uma grande variedade de alternativas conhecidas daqueles versados no estado da técnica pode ser selecionada dentro da descrição genérica. Outras vantagens e modificações óbvias da invenção serão evidentes para aquele versado no assunto a partir da descrição acima e através da prática adicional da invenção. A invenção não é de outra forma limitada, exceto pela récita das reivindicações apresentadas a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produzir fibras de vidro a partir de vidro bruto em batelada em tanque de fusão de vidro com revestimento refratário, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processo compreende as etapas de:

carregar vidro bruto em batelada na zona de fusão de um tanque de fusão de vidro com revestimento refratário, o vidro em batelada compreendendo:

64 a 75 por cento em peso de SiO_2 ;

16 a 24 por cento em peso de Al_2O_3 ;

menos de 1,0 por cento em peso de CaO ;

8 a 12 por cento em peso de MgO ; e

0,25 a 3 por cento em peso de R_2O , em que R_2O equivale à soma de Li_2O , Na_2O e K_2O ;

aquecer o vidro em batelada para formar uma temperatura acima da temperatura *liquidus* de um vidro resultante para formar um vidro fundido que pode ser fibrilado; em que o dito vidro fundido que pode ser fibrilado tem uma temperatura de fibrilamento menor que 1454 °C (2650 °F); e

fibrilar o referido vidro fundido para produzir fibras de vidro tendo uma resistência maior que 4826 kPa (700 kPsi) e uma densidade não maior que 2,486 g/cm³.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vidro em batelada compreende:

menos de 5 por cento em peso total de compostos selecionados do grupo consistindo em CaO , P_2O_5 , ZnO , ZrO_2 , SrO , BaO , SO_3 , flúor, B_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CeO_2 e BeO_2 .

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vidro produzido a partir da referida batelada tem um ΔT de pelo menos 44 °C (80 °F).

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato

de que o vidro produzido a partir da referida batelada tem um ΔT de pelo menos 49 °C (120 °F).

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o tanque de fusão de vidro é revestido com material refratário à base de óxido.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o tanque de fusão de vidro é revestido com um material refratário selecionado do grupo consistindo em alumina, sílica, óxido de cromo, sílica-alumina, zircônio, zircônia-alumina-sílica e combinações destes.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vidro produzido a partir da batelada é fibrilado em temperatura de formação inferior a cerca de 1427 °C (2600 °F).

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vidro produzido a partir da batelada tem um ΔT de pelo menos cerca de 60 °C (140 °F).

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vidro em batelada compreende:

68 a 69 por cento em peso de SiO_2 ;

20 a 22 por cento em peso de Al_2O_3 ;

9 a 10 por cento em peso de MgO ; e

1 a 3 por cento em peso de Li_2O .

10. Fibra de vidro **CARACTERIZADA** pelo fato de que é produzida a partir de vidro bruto em batelada em um tanque de fusão de vidro com revestimento refratário produzida de acordo com o processo, como definido na reivindicação 1.

11. Artigo de alta resistência **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

um material de matriz; e

uma pluralidade de fibras de vidro formadas a partir de uma composição de vidro em batelada compreendendo:

64 a 75 por cento em peso de SiO_2 ;

16 a 24 por cento em peso de Al_2O_3 ;

8 a 12 por cento em peso de MgO ; e

0,25 a 3 por cento em peso de R_2O , em que R_2O equivale à soma de Li_2O , Na_2O e K_2O , em que a referida composição de vidro em batelada tem uma temperatura de fibrilamento inferior a 1454°C (2650°F); e as fibras de vidro tem uma resistência maior que 4826 kPa (700 kPsi) e uma densidade não maior que $2,486\text{ g/cm}^3$.

12. Artigo de alta resistência, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as fibras de vidro tem um módulo medido de 87632,365 - 89356,055 MPa (12,71 – 12,96 MPsi).

13. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que inclui ainda:

formar fibras a partir da referida composição de vidro em batelada;

combinar as fibras com um material de matriz;

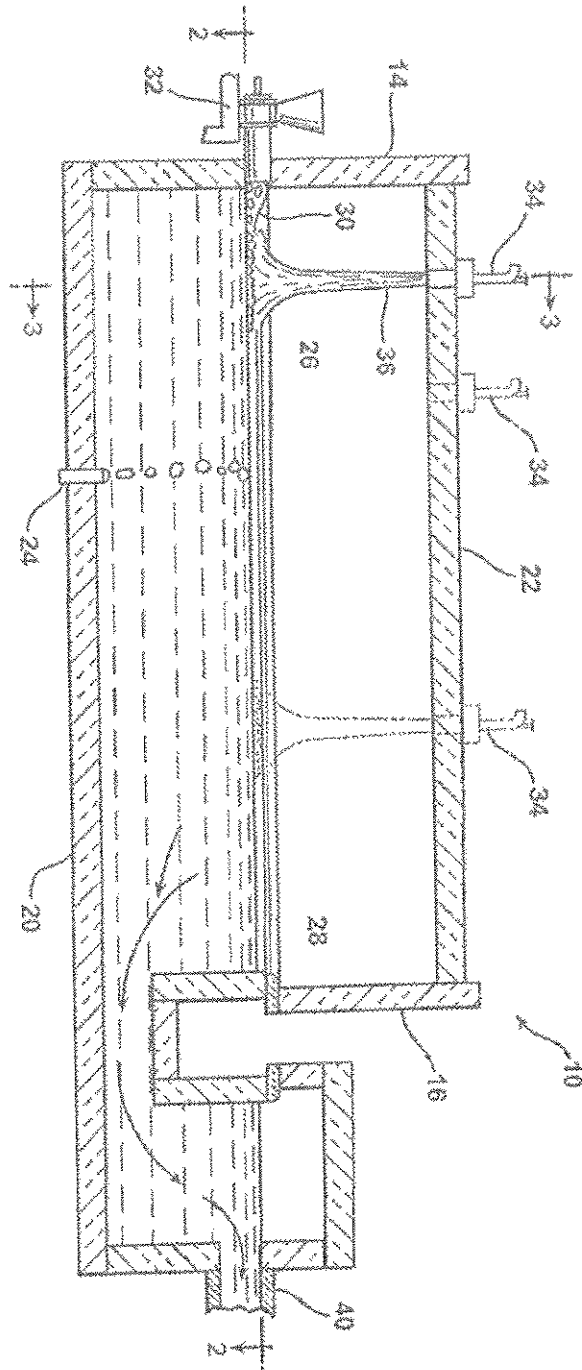
moldar um artigo; e

curar o material da matriz formando um artigo compósito de alta resistência.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 13, **CARACTERIZADO** pelo fato de que inclui a etapa de:

formar uma estrutura intermediária de vidro selecionada do grupo consistindo em fio picado de uso úmido, fio picado de uso seco, esteira de filamentos contínuos, esteira de fios picados, esteira formada a úmido e esteira assentada a ar.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o Li_2O está presente na referida composição em uma quantidade de cerca de 1,75 a 3,0 por cento em peso.



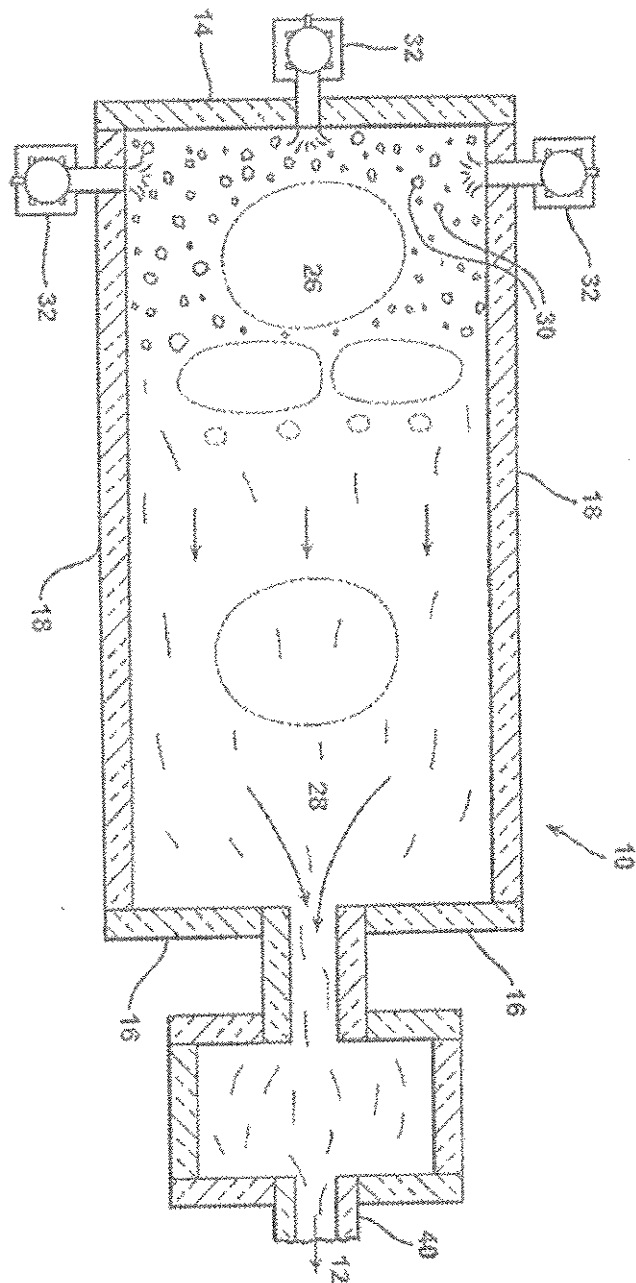


FIG. 2

FIG. 3

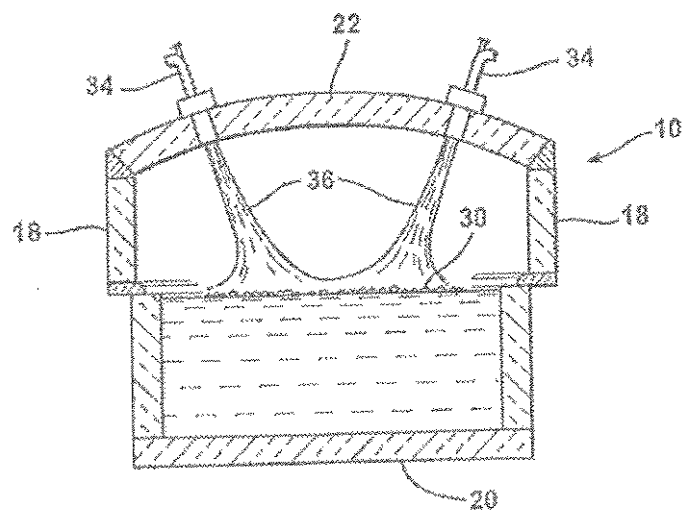


FIG. 4

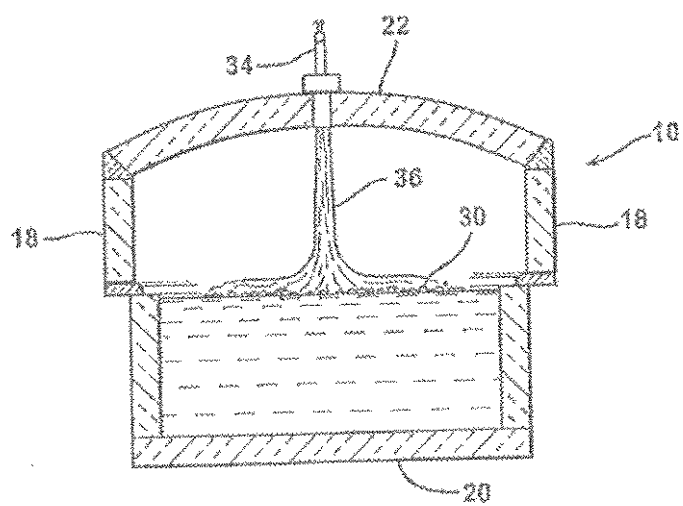


FIG. 5

