



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

(11) PI 0618123-6 B1

(22) Data do Depósito: 31/10/2006

(45) Data de Concessão: 01/08/2017



(54) Título: FIBRAS DE VIDRO DE ALTO DESEMPENHO FORMADAS A PARTIR DE UMA COMPOSIÇÃO DE BATELADA E ARTIGOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE VIDRO

(51) Int.Cl.: C03C 3/00; C03C 3/087

(30) Prioridade Unionista: 04/11/2005 US 11/267.739

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

(72) Inventor(es): DOUGLAS A. HOFMANN; PETER B. MCGINNIS

“FIBRAS DE VIDRO DE ALTO DESEMPENHO FORMADAS A PARTIR DE UMA COMPOSIÇÃO DE BATELADA E ARTIGOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE VIDRO”

CAMPO TÉCNICO E APLICABILIDADE INDUSTRIAL DA INVENÇÃO

[001] A invenção atual é geralmente direcionada para uma composição para a fabricação de fibras de vidro contínuas para uso em aplicações de alta resistência assim como fibras de vidro e artigos com alta resistência.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] A composição de vidro mais comum para a produção de segmentos de fibra de vidro é a "E-Glass". A temperatura do "liquidus" da E-Glass é de aproximadamente 2.100° F (1149° C) ou menor. Uma vantagem da E-Glass é que a sua temperatura do "liquidus" permite temperaturas de operação para a produção de fibras de vidro que são de aproximadamente 1900° F a 2400° F (1038° C a 1316° C). A classificação ASTM para os fios de fibra de vidro de E-Glass utilizados em placas de circuitos impressos e aplicações aeroespaciais define a composição como sendo de 52 a 56% em peso de SiO₂, 16 a 25% em peso de CaO, 12 a 16% em peso de Al₂O₃, 5 a 10% em peso de B₂O₃, 0 a 5% em peso de MgO, 0 a 2% em peso de Na₂O e K₂O, 0 a 0,8% em peso de TiO₂, 0,05 a 0,4% em peso de Fe₂O₃ e 0 a 1,0% em peso de flúor.

[003] As fibras isentas de boro são vendidas com a marca comercial ADVANTEX (Owens Corning, Toledo, Ohio, USA). As fibras isentas de boro, tais como aquelas apresentadas na patente americana de número 5.789.329 incorporada aqui como

referência na sua integridade, oferecem uma melhora significativa nas temperaturas de operação em relação ao E-Glass contendo boro. As fibras de vidro isentas de boro se enquadram na definição ASTM para fibras de E-Glass para uso em aplicações de uso geral.

[004] S-Glass é uma família de fibras de vidro composta principalmente de óxidos de magnésio, alumínio e silício, com uma composição química que produz fibras de vidro tendo uma resistência mecânica maior do que as fibras de vidro de E-Glass. A composição para a formação de S-Glass inclui aproximadamente 65% em peso de SiO_2 , 25% em peso de Al_2O_3 , e 10% em peso de MgO . A S-Glass tem uma composição que foi originalmente projetada para ser utilizada em aplicações de alta resistência, tais como armas balísticas.

[005] A R-Glass é uma família de fibras de vidro que são compostas principalmente de óxidos de silício, alumínio, magnésio e cálcio, com uma composição química que produz fibras de vidro com uma resistência mecânica maior do que as fibras de E-Glass. A R-Glass tem uma composição que contém aproximadamente 58 - 60% em peso de SiO_2 , 23,5 - 25,5% em peso de Al_2O_3 , 14 - 17% em peso de CaO mais MgO , 0% de B_2O_3 , 0% de F_2 e menos de 2% em peso de componentes de miscelânea. A R-Glass contém mais alumina e sílica do que a E-Glass e requer temperaturas de fusão e de processamento mais elevadas durante a formação da fibra. Tipicamente, as temperaturas de fusão e de processamento para a R-Glass são pelo menos 160°C maiores do que para a E-Glass. Este aumento na temperatura de processamento requer o uso de um forno de fu-

são revestido com platina, de custo elevado. Além disso, a proximidade estreita da temperatura do "liquidus" com a temperatura de formação na R-Glass requer que o vidro seja transformado em fibra em uma viscosidade menor do que a E-Glass, que costumeiramente é transformada em fibra com ou próximo de 1000 poise (100 Pa.s). A formação de fibras de R-Glass na viscosidade costumeira de 1000 poise (100 Pa.s) provavelmente resultaria em uma desvitrificação do vidro, que causa interrupções do processo e uma produtividade reduzida.

[006] As tabelas IA-IE apresentam as composições para uma quantidade de composições de fibra de vidro convencionais de alta resistência.

Tabela I-A

Constituinte	Vidro chinês de alta re- sistência	Aluminossilicato de magnésio de trefilação con- tínua russo	Tecido de vidro "B" NITTOBO "T"	Tecido de vidro (fio) "C " NITTOBO "T"
SiO ₂	55,08	55,81	64,58	64,64
CaO	0,33	0,38	0,44	0,40
Al ₂ O ₃	25,22	23,78	24,44	24,57
B ₂ O ₃	1,85		0,03	0,03
MgO	15,96	15,08	9,95	9,92
Na ₂ O	0,12	0,063	0,08	0,09
Flúor	0,03		0,034	0,037
TiO ₂	0,023	2,33	0,019	0,018
Fe ₂ O ₃	1,1	0,388	0,187	0,180

K ₂ O	0,039	0,56	0,007	0,010
ZrO ₂	0,007	0,15		
Cr ₂ O ₃		0,011	0,003	0,003
Li ₂ O		1,63		
CeO ₂				

Tabela I-B

Consti- tuinte	Fio A&P Nitto Boseki	Fio NT6030 Nitto Boseki	Vidro RST- 220PA- 535CS Nit- to Boseki TE	Vidro SR Stratifils SR CG 250 P 109 Vetrotex Saint Gobain	Vidro de alta resistência Polotsk STEKLOVOLOKNO
SiO ₂	65,51	64,60	64,20	63,90	58,64
CaO	0,44	0,58	0,63	0,26	0,61
Al ₂ O ₃	24,06	24,06	25,10	24,40	25,41
B ₂ O ₃					0,04
MgO	9,73	9,90	9,90	10,00	14,18
Na ₂ O	0,04	0,06	0,020	0,039	0,05
Flúor	0,07				0,02
TiO ₂	0,016	0,000	0,000	0,210	0,624
Fe ₂ O ₃	0,067	0,079	0,083	0,520	0,253
K ₂ O	0,020	0,020	0,020	0,540	0,35
ZrO ₂	0,079				
Cr ₂ O ₃	0,0010			0,001	0,023
Li ₂ O					
CeO ₂					

Tabela I-C

Constituinte	Fio de alta resistência	Produção de fibra de	Produção de fibra	Amostra de vi-	Fios de vidro desenvolvidos
--------------	----------------------------	-------------------------	----------------------	-------------------	--------------------------------

	chinês (8 micra)	vidro de alta resis- tência chi- nesa	de vidro Zentron S-2	dro SOLAIS	de R Glass
SiO ₂	55,22	55,49	64,74	64,81	58,46
CaO	0,73	0,29	0,14	0,55	9,39
Al ₂ O ₃	24,42	24,88	24,70	24,51	24,55
B ₂ O ₃	3,46	3,42		0,02	0,04
MgO	12,46	12,28	10,24	9,35	5,91
Na ₂ O	0,104	0,06	0,17	0,16	0,079
Flúor	0,07			0,02	0,054
TiO ₂	0,32	0,36	0,015	0,04	0,196
Fe ₂ O ₃	0,980	0,930	0,045	0,238	0,400
K ₂ O	0,240	0,150	0,005	0,03	0,67
ZrO ₂					
Cr ₂ O ₃	0,0050			0,007	0,005
Li ₂ O	0,59	0,63			
CeO ₂	1,23	1,25			

Tabela I-D

Constituinte	Fios de vi- dro desen- volvida S Glass	Formação de fi- bras de vidro Culimeta	Fio IVG Vertex B96 675	Formação de fibras de vidro IVG Ver- tex	Formação de fibras de vidro IVG Vertex Externo #1
SiO ₂	64,61	59,37	58,34	58,58	58,12
CaO	0,17	0,27	0,31	0,30	0,31
Al ₂ O ₃	24,84	25,49	23,81	24,26	24,09
B ₂ O ₃	0,04	0,05			

MgO	10,11	13,47	14,99	15,02	15,36
Na ₂ O	0,118	0,024	0,05	0,02	0,03
Flúor	0,03		0,04	0,04	0,04
TiO ₂	0,011	0,530	1,380	0,67	0,91
Fe ₂ O ₃	0,042	0,374	0,333	0,336	0,303
K ₂ O		0,48	0,42	0,28	0,29
ZrO ₂		0,152	0,129	0,165	0,157
Cr ₂ O ₃	0,0050	0,0120	0,0100	0,0120	0,0120
Li ₂ O					
CeO ₂					

Tabela I-E

Constituinte	Formação de fibras de vidro IVG Vertex Ex-terno #2	Segmento de fibra de vidro RH CG250 P109
SiO ₂	58,69	58,54
CaO	0,29	9,35
Al ₂ O ₃	24,3	25,39
B ₂ O ₃		
MgO	15,06	6,15
Na ₂ O	0,03	0,10
Flúor	0,04	0,16
TiO ₂	0,64	0,008
Fe ₂ O ₃	0,331	0,069
K ₂ O	0,36	0,14
ZrO ₂	0,187	0,006
Cr ₂ O ₃	0,0130	
Li ₂ O		
CeO ₂		

[007] R-Glass e S-Glass são produzidas fundido-se os constituintes das composições em um recipiente de fusão revestido com platina. Os custos de formação de fibras de R-Glass e S-Glass são dramaticamente mais elevados do que as fibras E-Glass, devido ao custo de produção das fibras em tais fornos de fusão. Assim sendo, existe uma necessidade na arte por métodos de formação de composições de vidro úteis na formação de fibras de vidro de alto desempenho a partir de um processo de fusão direta em um forno refratário revestido e as fibras formadas pelo método.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[008] A invenção, em parte, é uma composição de vidro para a formação de fibras de vidro contínuas que são adequadas para uso em aplicações de alta resistência. A composição da invenção atual poderá ser formada de forma não dispendiosa como fibras de vidro utilizando-se a fusão direta em fornos refratários revestidos de baixo custo, devido à temperatura de formação relativamente baixa das fibras de vidro. Tão logo seja transformada em fibras, a composição de vidro produz as características de resistência das fibras de vidro de preço mais elevado, tais como a S-Glass. A composição da invenção atual inclui cerca de 60,5 a cerca de 70,5% em peso de SiO_2 , cerca de 10,0 a cerca de 24,5% em peso de Al_2O_3 , cerca de 6,0 a cerca de 20,0% em peso de RO, onde RO é igual à soma de MgO, CaO, SrO e BaO, e cerca de 0,0 a cerca de 3,0% em peso de óxidos alcalino metálicos. Em uma realização preferida, a composição de vidro é composta de cerca de 61 a cerca de 68% em peso de SiO_2 , cerca de 15 a cerca de

19% em peso de Al_2O_3 , cerca de 15 a cerca de 20% em peso de RO, onde RO é igual à soma de MgO , CaO , SrO e BaO , e cerca de 0 a cerca de 3% em peso de óxidos alcalino metálicos. A composição, de preferência, não contém mais do que cerca de 4% em peso de óxidos ou halogênios escolhidos do grupo consistindo em ZnO , SO_3 , flúor, B_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 e Fe_2O_3 . As propriedades desejadas das fibras compostas de alto desempenho fabricadas pela invenção atual incluem uma temperatura de formação de fibras menor do que cerca de 2650°F ($1454,4^\circ \text{C}$) e uma temperatura de "liquidus" que, de preferência, está abaixo da temperatura de formação de fibras, pelo menos em cerca de 80°F (27°C), mais de preferência, pelo menos cerca de 120°F (49°C), e mais de preferência, pelo menos cerca de 150°F ($65,6^\circ \text{C}$).

DESCRIÇÃO DETALHADA E REALIZAÇÕES PREFERIDAS DA INVENÇÃO

[009] As propriedades de formação de fibras da composição de vidro utilizada para formar as fibras de vidro utilizadas no método da invenção atual incluem a temperatura de formação de fibras, o "liquidus", e o delta-T. A temperatura de formação de fibra é definida como a temperatura que corresponde a uma viscosidade em torno de 1000 Poise (100 Pa.s). Conforme discutido em mais detalhes abaixo, uma temperatura de formação de fibras reduzida reduz o custo de produção das fibras, permite uma vida mais longa do revestimento de alimentação do vidro, aumenta a produção, permite que o vidro seja fundido em um forno refratário revestido, e reduz a utilização de energia. Por exemplo, em uma tempera-

tura menor de formação de fibras, o revestimento de alimentação de vidro opera em uma temperatura mais fria e não "amolece" tão rapidamente. O amolecimento é um fenômeno que ocorre em revestimentos de alimentação de vidro que são mantidos em temperaturas elevadas durante períodos prolongados de tempo. Reduzindo-se a temperatura de formação de fibras, a velocidade de amolecimento do revestimento da alimentação de vidro poderá ser reduzida e a vida do revestimento pode ser aumentada. Além disso, uma temperatura de formação de fibra menor permite uma produção mais elevada, porque mais vidro pode ser fundido em um determinado período com uma determinada utilização de energia. Como resultado, o custo de produção é reduzido. Além disso, uma temperatura de formação de fibras menor também permitirá que o vidro formado com a composição da invenção seja fundido em um forno refratário revestido, porque tanto a temperatura de fusão como a de formação das fibras estão abaixo das temperaturas mais elevadas de utilização de vários refratários disponíveis comercialmente.

[010] O "liquidus" é definido como a temperatura mais elevada na qual existe equilíbrio entre o vidro líquido e a sua fase cristalina primária. Em todas as temperaturas acima do "liquidus", o vidro é isento de cristais na sua fase primária. Em temperaturas abaixo do "liquidus", poderão ser formados cristais.

[011] Outra propriedade de formação de fibras é o delta-T (ΔT), que é definido como a diferença entre a temperatura da formação das fibras e o "liquidus". Um delta-T maior ofe-

rece um grau maior de flexibilidade durante a formação das fibras de vidro e ajuda a inibir a desvitrificação do vidro (isto é, a formação de cristais dentro do fundido) durante a fusão e a formação das fibras. O aumento do delta-T também reduz o custo de produção das fibras de vidro, permitindo uma vida maior do revestimento de alimentação de vidro e fornecendo uma janela de processo mais ampla para a formação das fibras.

[012] Os vidros da invenção atual são adequados para fusão em fornos de fusão de vidro refratários revestidos tradicionais, disponíveis comercialmente, que são largamente utilizados na fabricação de fibras de reforço de vidro. Os componentes iniciais da batelada tipicamente incluem SiO_2 (areia moída de sílica), e Al_2O_3 (alumina calcinada), assim como modificadores de cadeia de materiais de fonte, tais como MgCO_3 (magnetita), CaCO_3 (calcário), SrCO_3 (estrontianita), BaCO_3 (viterita), ZrSiO_4 (zircônio) e Na_2CO_3 (natrita).

[013] A batelada de vidro, de preferência, é composta de cerca de 60,5 a cerca de 70,5% em peso de SiO_2 , cerca de 10,0 a cerca de 24,5% em peso de Al_2O_3 , cerca de 6,0 a cerca de 20,0% em peso de RO, onde RO é igual à soma de MgO, CaO, e SrO, e cerca de 0,0 a cerca de 3,0% em peso de óxidos alcalino metálicos. Uma fibra formada de acordo com a invenção atual tipicamente incluirá pequenas quantidades de ZnO, SO_3 , flúor, B_2O_3 , TiO_2 e Fe_2O_3 , de preferência, em uma quantidade de menos de cerca de 4% em peso. Além disso, uma fibra formada de acordo com a invenção atual, de preferência, terá uma temperatura de formação de fibras menor do que cerca de

2650° F (1454,4° C), um delta-T de pelo menos cerca de 80° F (44° C), de preferência, um delta-T de pelo menos cerca de 120° F (67° C), e mais de preferência, um delta-T de pelo menos cerca de 150° F (83,3° C), e um coeficiente de expansão térmica (CTE) de cerca de $2,28 \times 10^{-6}$ pol/pol/° F ($4,10 \times 10^{-6}$ cm/cm/° C) a cerca de $2,77 \times 10^{-6}$ pol/pol/° F ($4,99 \times 10^{-6}$ cm/cm/° C). Além disso, o vidro da invenção atual, de preferência tem uma resistência acima de cerca de 600 kpsi (4137 MPa), de preferência, uma resistência acima de cerca de 630 kpsi (4344 MPa), e mais de preferência, uma resistência acima de cerca de 695 kpsi (4792 MPa). Além disso, as fibras de vidro, desejavelmente, terão um módulo de elasticidade maior do que cerca de 12,0 Mpsi (82,7 GPa), de preferência, maior do que cerca de 12,18 Mpsi (84,1 GPa), e mais de preferência, maior do que cerca de 12,6 Mpsi (86,9 GPa). Será visto que certos detalhes de construção não são apresentados, porque tais detalhes são convencionais e estão bem dentro do conhecimento da arte.

[014] A invenção atual também inclui um material composto incluindo fibras de vidro, conforme descrito acima, em combinação com um material de matriz endurecível. O material composto é especialmente útil em aplicações onde são desejados resistência e rigidez elevados e baixo peso. Tais aplicações incluem aviões, automóveis e energia eólica (como laminas para turbinas eólicas), assim como qualquer outra aplicação onde são desejados um peso baixo e rigidez e alta resistência. Materiais endurecíveis adequados incluem as resinas termoplásticas e termo-curadas. Para fins de exemplo,

os materiais de matriz termo-curada incluem ésteres vinílicos, poliésteres, resinas epóxi e combinações ou copolímeros dos mesmos. Tipicamente, as pás de turbinas eólicas são formadas por qualquer técnica adequada de fabricação de compostos, tais como infusão de resina auxiliada por vácuo ou revestimento de reforço pré-impregnado.

[015] Tendo esta invenção sido descrita de uma forma geral, um entendimento adicional pode ser obtido através de referência a certos exemplos específicos ilustrados abaixo, os quais são apresentados para fins de ilustração somente e não se destinam a ser todos incluídos ou limitantes, a não ser que seja especificado de outra forma.

EXEMPLOS

[016] Os vidros nos exemplos listados nas tabelas IIA - IIC foram fundidos em cadinhos de platina ou em um forno de fusão contínua revestido com platina, para a determinação das propriedades mecânicas e físicas do vidro e das fibras produzidas a partir do mesmo. As unidades de medição para as propriedades físicas são: viscosidade ($^{\circ}$ C), temperatura do "liquidus" ($^{\circ}$ C) e ΔT ($^{\circ}$ C). Em alguns exemplos, os vidros foram transformados em fibras e foram medidos a resistência (MPa), densidade (g/cm^3), módulo de elasticidade (GPa), ponto de amolecimento ($^{\circ}$ C) e coeficiente de expansão térmica (CTE) ($\text{cm/cm}/^{\circ}$ C).

[017] A temperatura de produção de fibras foi medida utilizando-se um viscosímetro rotativo de fuso. A viscosidade de formação de fibras é definida como sendo de 1000 Poise (100 Pa.s). O "liquidus" foi medido colocando-se um recipi-

ente de platina cheio com vidro em um forno de gradiente térmico durante 16h. A temperatura mais elevada na qual os cristais estão presentes foi considerada a temperatura do “liquidus”. O módulo de elasticidade foi medido utilizando-se a técnica sônica em uma única fibra de vidro. A resistência à tração foi medida em uma única fibra de pristina. O CTE foi medido com um dilatômetro ao longo da faixa de temperatura de 25 a 600° C. A temperatura de ponto de amolecimento foi medida utilizando-se o método de alongamento de fibras ASTM C 338.

Tabela IIA

Vidro	Ex 1	Ex 2	Ex 3	Ex 4	Ex 5	Ex 6
SiO ₂	62,63	62,64	61,75	63,01	63,07	63,16
CaO	8,49	8,64	8,57	4,84	4,85	4,8
Al ₂ O ₃	18,50	18,54	18,82	19,99	20,03	19,76
MgO	9,47	9,64	9,65	11,26	11,28	11,33
Na ₂ O	0,70	0,69		0,70	0,70	
TiO ₂	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
Fe ₂ O ₃	0,20	0,05	0,045	0,20	0,05	0,037
Viscosidade medida (° C)	1366	na	na	1379	na	na
Liquidus medido (° C)	1238,3	1230,6	na	1279,4	na	na
DT medida (° C)	110	na	na	82	na	na
Resistência medida (MPa)	4633,3	na	na	4792	na	na
Densidade medida (g/cc)	2,556	na	na	2,530	na	na
Módulo de elasticidade medido (GPa)	85,5	86,9	na	86,9	87,6	na
Ponto de amolecimento (° C)	na	na	na	963	na	na

CTE (cm/cm/° C)	na	na	na	4,10 x 10 ⁻⁶	na	na
-----------------	----	----	----	----------------------------	----	----

Tabela IIB

Vidro	Ex 7	Ex 8	Ex 9	Ex 10	Ex 11	Ex 12
SiO ₂	62,32	63,89	63,14	61,39	61,39	65,00
CaO	11,56	11,21	11,96	11,96	8,71	13,00
Al ₂ O ₃	17,25	16,39	16,39	18,14	18,89	15,00
MgO	7,98	6,62	6,62	6,62	9,62	5,00
Na ₂ O	0,70	0,75	0,75	0,75	0,25	1,00
TiO ₂	0,00	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00
Fe ₂ O ₃	0,20	0,39	0,39	0,39	0,39	
Viscosidade medida (° C)	1348	1367	1335	1333	1334	1376
Liquidus medido (° C)	1260,6	1242	1257	1290	1238	1219
DT medida (° C)	69,4	107,2	60,6	25,6	78,3	139,4
Resistência medida (MPa)	4357,5	4385	4288,5	4240	4702	4220
Densidade medida (g/cc)	2,573	2,553	2,567	2,567	2,564	na
Módulo de elasticidade medido (GPa)	84,1	84,1	84,1	84,1	86,9	na
Ponto de amolecimento (° C)	943	na	na	na	na	na
CTE (cm/cm/° C)	4,99 x 10 ⁻⁶	na	na	na	na	na

Tabela IIC

Vidro	Ex 13	Ex 14	Ex 15	Ex 16	Ex 17	Ex 18
SiO ₂	63,89	65,00	64,00	63,89	65,00	65,00
CaO	6,96	14,00	4,00	8,96	14,00	12,50
Al ₂ O ₃	18,64	15,00	20,00	18,89	15,00	15,00
MgO	9,62	6,00	11,00	6,62	5,00	5,00

Na ₂ O	0,25	0,00	1,00	0,75	1,00	1,00
TiO ₂	0,25	0,00	0,00	0,75	1,00	1,00
Fe ₂ O ₃	0,39	0,00	0,00	0,14	0,00	0,50
Viscosidade medida (° C)	1378	1376	1398	1407	1361	1384
Liquidus medido (° C)	1281	1301	1316	1253	1317	1219
DT medida (° C)	80	57,2	64	136	25,6	147
Resistência medida (MPa)	4792	4302	na	na	4164,4	na
Densidade medida (g/cc)	2,480	2,554	na	na	2,546	na
Módulo de elasticidade medido (GPa)	84,8	82,7	na	na	82	na
Ponto de amolecimento (° C)	na	na	na	na	na	na
CTE (cm/cm/° C)	na	na	na	na	na	na

[018] Conforme é entendido na arte, as composições de exemplo da invenção nem sempre totalizam 100% dos compostos listados, devido às convenções estatísticas (tais como aproximações e médias) e o fato de que algumas composições poderão incluir impurezas que não estão listadas. É claro que as quantidades reais de todos os componentes, incluindo quaisquer impurezas, em uma composição, constituem sempre um total de 100%. Além disso, deve ser entendido que onde são especificadas pequenas quantidades de componentes nas composições, por exemplo, quantidades da ordem de cerca de 0,05% ou menos, aqueles componentes poderão estar presentes na forma de traços de impurezas presentes nas matérias-primas, ao invés de serem adicionados intencionalmente.

[019] Adicionalmente, os componentes poderão ser adicionados na composição de batelada, por exemplo, para facilitar

o processamento, que são eliminados mais tarde, dessa forma formando uma composição de vidro que é essencialmente isenta de tais componentes. Assim sendo, por exemplo, quantidades mínimas de componentes, tais como flúor e sulfato, poderão estar presentes como impurezas de traços nas matérias primas, produzindo os componentes de sílica, cálcio, alumina, e magnésia na prática comercial da invenção, ou eles poderão ser auxiliares de processamento que são essencialmente removidos durante a fabricação.

[020] Conforme fica aparente dos exemplos acima, as composições de fibra de vidro da invenção têm propriedades vantajosas, tais como temperaturas baixas de formação de fibras e largas diferenças entre as temperaturas do "liquidus" e as temperaturas de formação de fibras (valores de delta-T elevados). Outras vantagens e modificações óbvias da invenção ficarão aparentes para o artesão a partir da descrição acima, e além disso, através da prática da invenção. O vidro de alto desempenho da invenção atual é fundido e refinado em temperaturas relativamente baixas, tem uma viscosidade de trabalho ao longo de uma larga faixa de temperaturas relativamente baixas e uma faixa de temperatura do "liquidus" baixa.

REIVINDICAÇÕES

1. Fibra de vidro formada a partir de uma composição de batelada **CARACTERIZADA** pelo fato da dita composição de batelada compreender:

de 60,5 a 70,5% em peso de SiO_2 ;

de 10 a 24,5% em peso de Al_2O_3 ;

de 11,96 a 20,0% em peso de óxido alcalino terroso, em que o dito óxido alcalino terroso é a soma de MgO , CaO , SrO e BaO na composição de batelada, em que a quantidade de MgO no dito óxido alcalino terroso compreende pelo menos 5% em peso da dita composição de batelada e a quantidade de CaO no dito óxido alcalino terroso compreende pelo menos 6,96% em peso da dita composição de batelada; e

de 0 a 3% em peso de óxidos alcalinos metálicos, em que a dita fibra de vidro tem um delta-T de pelo menos 135° F ($57,2^\circ \text{ C}$).

2. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por compreender ainda menos de 4% em peso dos compostos selecionados a partir do grupo que consiste em ZnO , SO_3 , flúor, B_2O_3 , TiO_2 e Fe_2O_3 .

3. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por ter uma temperatura de formação de fibras menor do que 2650° F ($1454,4^\circ \text{ C}$).

4. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 3, **CARACTERIZADA** por ter um delta-T de pelo menos 150° F ($83,3^\circ \text{ C}$).

5. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por ter um ponto de amolecimento de pelo

menos 1756° F (958° C).

6. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADA** por compreender ainda:

menos do que 1% de TiO_2 ;

menos do que 4% em peso de compostos selecionados a partir do grupo que consiste em ZnO , SO_3 , flúor, B_2O_3 e Fe_2O_3 .

7. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter uma temperatura de formação de fibras menor do que 2650° F (1454,4° C).

8. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** pelo fato do delta-T para a fibra de vidro ser de pelo menos 150° F (83,3° C).

9. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter um coeficiente de expansão térmica (CTE) entre $2,28 \times 10^{-6}$ pol/pol/° F ($4,10 \times 10^{-6}$ cm/cm/° C) e $2,77 \times 10^{-6}$ pol/pol/° F ($4,99 \times 10^{-6}$ cm/cm/° C).

10. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter uma resistência acima de 600 kpsi (4137 MPa).

11. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter uma resistência acima de 630 kpsi (4344 MPa).

12. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter uma resistência acima de 695 kpsi (4792 MPa).

13. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter um módulo de elasticidade acima de

12,0 Mpsi (82,7 GPa).

14. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter um módulo de elasticidade acima de 12,2 Mpsi (84,1 GPa).

15. Fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **CARACTERIZADA** por ter um módulo de elasticidade acima de 12,6 Mpsi (86,9 GPa).

16. Artigo reforçado com fibra de vidro **CARACTERIZADO** por compreender:

a fibra de vidro conforme definida na reivindicação 6; e

um material de matriz curável.

17. Artigo reforçado com fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** por ser uma pá para uma turbina eólica.

18. Artigo reforçado com fibra de vidro, de acordo com a reivindicação 16, **CARACTERIZADO** pelo fato do material de matriz curável ser selecionado a partir do grupo que consiste em éster de vinila, poliéster, resina epóxi e combinações ou copolímeros destes.