

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 720**

51 Int. Cl.:

C03C 13/00 (2006.01)

C03C 3/04 (2006.01)

B32B 17/04 (2006.01)

C03C 3/087 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2015 PCT/CN2015/071153**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.09.2015 WO15131684**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2015 E 15757761 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018 EP 3093276**

54 Título: **Composición de fibra de vidrio y fibra de vidrio y materiales compuestos de la misma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2019

73 Titular/es:

**JUSHI GROUP CO., LTD. (100.0%)
669 Wenhua Rd. (South), Jushi Science &
Technology Building, Tongxiang Economic
Development Zone
Tongxiang, Zhejiang 314500, CN**

72 Inventor/es:

**CAO, GUORONG;
XING, WENZHONG;
ZHANG, LIN y
GU, GUIJIANG**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 702 720 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Composición de fibra de vidrio y fibra de vidrio y materiales compuestos de la misma

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un tipo de composición de fibra de vidrio, específicamente a una composición para una fibra de vidrio de alto rendimiento utilizada como material de base de refuerzo para materiales compuestos avanzados, y una fibra de vidrio y un material compuesto de los mismos.

Antecedentes de la invención

10 La fibra de vidrio es un material de fibra inorgánica y se puede usar para reforzar las resinas para producir materiales compuestos con buen rendimiento. Como material de base de refuerzo para materiales compuestos avanzados, las fibras de vidrio de alto rendimiento se utilizaron en origen principalmente en la industria aeroespacial o en la industria de defensa nacional. Con el progreso de la ciencia y la tecnología y el desarrollo de la economía, las fibras de vidrio de alto rendimiento se han utilizado ampliamente en campos civiles e industriales como motores, palas eólicas, recipientes a presión, tuberías de petróleo en alta mar, aparatos deportivos e industria automotriz.

15 Desde que una empresa estadounidense desarrollase la fibra de vidrio S-2, diferentes países han desarrollado fibras de vidrio de alto rendimiento con varias composiciones, por ejemplo, fibra de vidrio R desarrollada por una empresa francesa, fibra de vidrio HiPer-tex desarrollada por una empresa estadounidense y fibra de vidrio de alta resistencia #2 desarrollada por una empresa china. Las composiciones de vidrio de alto rendimiento originales se basaban en un sistema de $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ y una solución típica era el vidrio S-2 de una empresa estadounidense. Sin embargo, la producción de vidrio S-2 es excesivamente difícil, ya que su temperatura de formación es de aproximadamente 20 1571 °C y su temperatura de líquido de hasta 1470 °C, por lo que es difícil realizar una producción industrial a gran escala.

25 Posteriormente, para reducir la temperatura de fusión y la temperatura de formación del vidrio para satisfacer mejor las necesidades de producción a gran escala con hornos revestidos con material refractario, las grandes empresas desarrollaron sucesivamente vidrios de alto rendimiento basados en un sistema de $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$. Las soluciones típicas fueron el vidrio R de la empresa francesa y el vidrio HiPer-tex de la empresa estadounidense, que fueron un compromiso para la producción a escala sacrificando algunas de las propiedades del vidrio. Sin embargo, como estas soluciones diseñadas eran demasiado conservadoras, especialmente el contenido de Al_2O_3 se mantuvo por encima del 20 %, preferiblemente por encima del 25 %, la producción de vidrio siguió siendo muy difícil. Si bien se logró una producción a pequeña escala con horno revestido con material refractario, la eficiencia de producción fue baja y la relación coste-rendimiento de los productos no fue alta. El vidrio R tradicional es difícil de conformar en 30 fibras, ya que su temperatura de formación es de aproximadamente 1410 °C y su temperatura de líquido es de hasta 1330 °C, lo que dificulta la atenuación de la fibra de vidrio y, por consiguiente, la realización de una producción industrial a gran escala.

35 Además, hay otro tipo de vidrio R, cuyas propiedades mecánicas son ligeramente más bajas que las del vidrio R tradicional y sus propiedades de fusión y formación son significativamente superiores a las del vidrio R tradicional. Sin embargo, como su relación de calcio y magnesio es bastante alta, el vidrio tiene un alto riesgo de cristalización (desvitricación). Además, dado que se introduce demasiado Li_2O , no solo se ve afectada la estabilidad química del vidrio, sino que también aumenta el coste de la materia prima. Por lo tanto, tampoco es adecuado para la producción industrial a gran escala.

40 La fibra de vidrio de alta resistencia 2# comprende principalmente SiO_2 , Al_2O_3 y MgO , y también se introducen ciertas cantidades de Li_2O , B_2O_3 , CeO_2 y Fe_2O_3 . También tiene una alta resistencia y un alto módulo, y su temperatura de formación es de solo 1245 °C y su temperatura de líquido es de 1320 °C. Ambas temperaturas son mucho más bajas que las de la fibra de vidrio S. Sin embargo, debido a que su temperatura de formación es más baja que su temperatura de líquido, esto es desfavorable para el control de la atenuación de la fibra de vidrio. Se 45 debe aumentar su temperatura de formación y se deben usar puntas con formas especiales para evitar que ocurra un fenómeno de cristalización del vidrio en el procedimiento de atenuación de la fibra. Esto causa dificultades en el control de la temperatura y también dificulta la producción industrial a gran escala.

50 En resumen, encontramos que, en el estado actual, en la producción real de varias fibras de vidrio de alto rendimiento se encuentra un problema común, y es que la temperatura de líquido del vidrio es demasiado alta y el riesgo de cristalización es grande. La temperatura de líquido de la corriente principal del vidrio E generalmente es inferior a 1200 °C, mientras que la temperatura de líquido de los vidrios de alto rendimiento anteriormente mencionados generalmente es superior a 1300 °C, lo que hará que el fenómeno de cristalización del vidrio se produzca fácilmente durante el procedimiento de producción. Como resultado, la eficiencia de producción de las fibras de vidrio y la vida útil de los materiales refractarios y los bujes de platino se reducen considerablemente.

55 La patente CN 101580344 A describe una composición de vidrio de aluminosilicato alcalino que contiene óxidos de elementos alcalinotérreos. La composición se utiliza para fabricar fibras de vidrio de alta resistencia que se pueden usar como elemento de refuerzo.

Sumario de la invención

5 La presente invención tiene como objetivo resolver el problema descrito anteriormente. El propósito de la presente invención es proporcionar una composición de fibra de vidrio de alto rendimiento que no solo garantice que la fibra de vidrio tenga altas propiedades mecánicas y baja temperatura de formación, sino que también supere el problema de la alta temperatura de líquido y la tasa de cristalización demasiado alta en vidrios tradicionales de alto rendimiento que dan lugar a una alta tendencia a la cristalización y la dificultad para lograr una producción a gran escala de alta eficiencia, disminuyen significativamente la temperatura de líquido del vidrio de alto rendimiento, aumentan la temperatura máxima de cristalización del vidrio, disminuyen el grado de cristalización del vidrio bajo las mismas condiciones y, al tiempo, tienen un índice de refracción de vidrio excepcional que mejora considerablemente la transparencia de los artículos reforzados con fibra de vidrio.

10 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la presente invención proporciona una composición de fibra de vidrio en la que la composición de fibra de vidrio comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	58-64 %
Al ₂ O ₃	14-19 %
CaO	> 8,8 % y < 11,8 %
MgO	7,5-11 %
SrO	0,2-2,7 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

15 En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 ((MgO + SrO)/CaO es de 0,75-1,1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1.

En la que, el contenido de CaO en porcentaje en peso es superior al 10,5 % e inferior al 11,8 %.

En la que, la composición comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

20 En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es de 0,75-1,1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

En la que, la composición comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

ES 2 702 720 T3

En la que, la composición comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-61,5 %
Al ₂ O ₃	14,5-16,5 %
CaO	10,6-11,7 %
MgO	8-10 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-1 %
Li ₂ O	0,05-0,7 %
Fe ₂ O ₃	0,05-0,7 %
TiO ₂	0,05-0,8 %
F ₂	< 0,5 %

En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

5 Según otro aspecto de la invención, se proporciona una fibra de vidrio producida con dicha composición de fibra de vidrio.

Según aún otro aspecto de la invención, se proporciona un material compuesto que incorpora dicha fibra de vidrio.

10 Al introducir cantidades apropiadas de SrO y Li₂O, configurando razonablemente los intervalos de contenido de CaO, MgO y SrO y los intervalos de las relaciones (MgO + SrO)/CaO y CaO/MgO, y utilizando el efecto de la mezcla alcalinotérrica ternaria CaO, MgO y SrO, la composición de fibra de vidrio de la presente invención no solo garantiza
15 que la fibra de vidrio tenga altas propiedades mecánicas y baja temperatura de formación, sino que también supera el problema de la temperatura de líquido demasiado alta y la tasa de cristalización demasiado alta en los vidrios tradicionales de alto rendimiento. La alta tendencia a la cristalización y la dificultad para lograr una producción a gran escala y de alta eficiencia, disminuye significativamente la temperatura de líquido del vidrio de alto rendimiento, aumenta la temperatura máxima de cristalización del vidrio, disminuye el grado de cristalización del vidrio en las mismas condiciones y, al tiempo, tiene un índice de refracción del vidrio excelente que mejora en gran medida la
20 transparencia de los artículos reforzados con fibra de vidrio. Específicamente, la composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	58-64 %
Al ₂ O ₃	14-19 %
CaO	> 8,8 % y < 11,8 %
MgO	7,5-11 %
SrO	0,2-2,7 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es de 0,75-1,1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

20 El efecto y contenido de cada componente en dicha composición de fibra de vidrio se describe a continuación: El SiO₂ es un óxido principal que forma la red de vidrio y tiene el efecto de estabilizar todos los componentes. En la composición de fibra de vidrio de la presente invención, el intervalo de contenido restringido de SiO₂ es del 58-64 %. Un contenido demasiado bajo afectará las propiedades mecánicas del vidrio; un contenido demasiado alto provocará que la viscosidad del vidrio sea excesivamente alta, lo que resultará en problemas de fusión y afinado.
25 Preferiblemente, el intervalo de contenido de SiO₂ puede ser del 59-62 %. Más preferiblemente, el intervalo de contenido de SiO₂ puede ser del 59-61,5 %.

El Al₂O₃ es otro óxido principal que forma la red de vidrio. Cuando se combina con SiO₂, puede tener un efecto importante en las propiedades mecánicas del vidrio y un efecto significativo en la prevención de la separación de la fase del vidrio y en la resistencia al agua. El intervalo de contenido restringido de Al₂O₃ en esta invención es del 14-
30 19 %. Un contenido demasiado bajo hará imposible obtener propiedades mecánicas suficientemente altas, especialmente su módulo; un contenido demasiado alto provocará que la viscosidad del vidrio sea excesivamente alta, lo que resultará en problemas de fusión y afinado. Preferiblemente, el contenido de Al₂O₃ puede ser del 14,5-18 %. Más preferentemente, el contenido de Al₂O₃ puede ser del 14,5-16,5 %.

35 En la presente invención, el CaO, el MgO y el SrO tienen principalmente el efecto de controlar la cristalización del vidrio y regular la viscosidad del vidrio y la velocidad de endurecimiento del vidrio fundido. Particularmente en el control de la cristalización del vidrio, los inventores han obtenido efectos inesperados al controlar sus cantidades introducidas y las relaciones entre ellos. Generalmente, para un vidrio de alto rendimiento basado en el sistema MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂, las fases cristalinas que contiene después de la cristalización del vidrio incluyen

principalmente dióxido de silicio ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) y anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_3$). Con el fin de inhibir de manera efectiva la tendencia a que las dos fases cristalinas cristalicen y disminuyan la temperatura límite superior de la cristalización del vidrio (temperatura de líquidus) y el grado de cristalización, se pueden utilizar dos medios técnicos o una combinación de ellos en la presente invención: por un lado, añadiendo una cantidad apropiada de SrO y controlando racionalmente el intervalo de relación de $(\text{MgO} + \text{SrO})/\text{CaO}$ para formar una estructura de apilamiento más compacta a través del efecto de la mezcla alcalinotérrica ternaria, la temperatura de líquidus puede disminuirse y las temperaturas de cristalización máximas de las dos fases cristalinas pueden aumentarse de modo que se necesita más energía para que los núcleos cristalinos se formen y crezcan, logrando así el objetivo de inhibir simultáneamente la tendencia a que las dos fases cristalinas cristalicen; por otro lado, al controlar racionalmente el intervalo de relación de CaO/MgO y disminuir la relación molar de iones $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, se producirá una evidente escasez de iones Ca^{2+} durante el procedimiento de cristalización de las dos fases cristalinas, logrando así el objetivo de inhibir simultáneamente la tendencia de las dos fases cristalinas a cristalizar y disminuir la temperatura de líquidus. Además, lo que sorprende a los inventores es que el efecto técnico general producido cuando ambos medios técnicos se usan simultáneamente, es notablemente mayor que el efecto acumulativo producido cuando los dos medios técnicos se usan por separado.

En primer lugar, los primeros medios técnicos se explican a continuación. Una gran cantidad de experimentos e investigaciones han demostrado que, cuando sus relaciones son racionales, el efecto técnico de la mezcla alcalinotérrica ternaria de CaO , MgO y SrO es notablemente mejor que el efecto de la mezcla alcalinotérrica binaria de CaO y MgO . Esto se debe a que, a medida que participan más iones de metales alcalinotérricos con diferente radio en el procedimiento de reemplazo, se forma más fácilmente una estructura compacta de apilamiento y, por lo tanto, el vidrio tiene mejores propiedades de cristalización, mecánicas y ópticas. Además, nuestra investigación muestra que, desde la perspectiva del reemplazo simple, en comparación con el CaO , el SrO puede mejorar la resistencia a la compresión y el índice de refracción del vidrio y la diferencia en su efecto sobre la velocidad de endurecimiento del vidrio fundido es grande; comparado con el MgO , el SrO puede mejorar la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el índice de refracción del vidrio y la diferencia en su efecto sobre la velocidad de endurecimiento del vidrio fundido es pequeña. Además, en comparación con el CaO , el MgO puede mejorar aún más el módulo elástico del vidrio y la diferencia en su efecto sobre la velocidad de endurecimiento del vidrio fundido es grande. Al mismo tiempo, considerando la compatibilidad entre los tamaños de iones, es apropiado controlar la relación de la suma de SrO y MgO a CaO . Dado que los radios iónicos de Mg^{2+} , Ca^{2+} y Sr^{2+} aumentan secuencialmente y sus intensidades de campo iónico se reducen secuencialmente, para lograr una estructura de apilamiento compacta, la compatibilidad entre los números de tres tipos de iones se vuelve muy importante. Lo que es particularmente notable es que, una cantidad apropiada de SrO se introduce en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, y, por medio de una relación ajustada racionalmente de $(\text{MgO} + \text{SrO})/\text{CaO}$, se puede controlar efectivamente la tendencia y el grado de cristalización del vidrio.

En principio, la cristalización es un procedimiento de formación y crecimiento continuo de los núcleos cristalinos, es decir, un procedimiento de movimiento y reestructuración de varios átomos en el vidrio. El sistema alcalinotérrico ternario diseñado en la presente invención hace que sea más fácil lograr una estructura compacta de apilamiento del vidrio. Al mismo tiempo, dado que el radio iónico de Sr^{2+} es mayor, no solo es difícil que se muevan los iones de Sr^{2+} , sino que también pueden impedir el movimiento y la reestructuración de los iones de Mg^{2+} y Ca^{2+} en las mismas condiciones, logrando así el objetivo de inhibir la tendencia a la cristalización y reducir la tasa de cristalización. Por lo tanto, a partir de la composición de fibra de vidrio de la presente invención se puede obtener un rendimiento de cristalización aún mejor.

La presente invención considera exhaustivamente el efecto de la mezcla alcalinotérrica ternaria de CaO , MgO y SrO y selecciona un contenido apropiado de SrO para poder alcanzar un límite superior de temperatura más bajo y un menor grado de cristalización, propiedades mecánicas más altas y un mayor índice de refracción del vidrio. Sin embargo, como el peso molecular del óxido de estroncio es relativamente alto, una adición excesiva de óxido de estroncio dará lugar a un aumento de la densidad del vidrio, que tendrá un impacto negativo en la resistencia específica y el módulo específico de la fibra de vidrio. Por lo tanto, en la presente invención, el intervalo de contenido restringido de SrO es del 0,2-2,7 %, el intervalo de contenido de CaO es $\geq 8,8$ % y $< 11,8$ %, el intervalo de contenido de MgO es del 7,5-11 % y el intervalo de relación de porcentaje en peso $C1 = (\text{MgO} + \text{SrO})/\text{CaO}$ es del 0,75-1,1. Preferiblemente, el intervalo de contenido de SrO es del 0,5-2 %, el intervalo de contenido de CaO es $> 10,5$ % y $< 11,8$ %, el intervalo de contenido de MgO es del 8-10,5 % y el intervalo de relación de porcentaje en peso $C1 = (\text{MgO} + \text{SrO})/\text{CaO}$ es del 0,8-1. Más preferiblemente, el intervalo de contenido de CaO es del 10,6-11,7 % y el intervalo de contenido de MgO es del 8-10 %.

A continuación se explican los segundos medios técnicos. Para un vidrio de alto rendimiento basado en un sistema de $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, las fases cristalinas que contiene después de la cristalización del vidrio incluyen principalmente dióxido de silicio ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) y anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_3$). La relación molar de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en la fórmula molecular de dióxido de silicio es 1. Se necesitan cantidades suficientes de Ca^{2+} y Mg^{2+} para que los cristales de dióxido de silicio crezcan completa y rápidamente. Del mismo modo, los cristales de anortita necesitan un ambiente rico en Ca^{2+} para poder crecer rápidamente. En la presente invención, la relación de porcentaje en peso $C2 = \text{CaO}/\text{MgO}$ se introduce para medir y controlar la relación molar de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ para inhibir el crecimiento de las dos fases cristalinas simultáneamente. Los inventores han descubierto que la relación de CaO/MgO en los vidrios tradicionales de alto rendimiento suele ser relativamente alta, generalmente superior a 1,6 e incluso superior a 2, lo que se traduce aproximadamente en una relación molar de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ superior a 1,14 y 1,42 (precisión hasta dos decimales)

respectivamente. En tal caso, dado que la cantidad de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} es suficiente para el crecimiento completo y rápido de las fases cristalinas, el crecimiento de las dos fases cristalinas no se puede inhibir simultáneamente, aunque haya un cambio en la relación de las dos fases cristalinas en los productos de cristalización finales.

5 Con investigación adicional, los inventores han encontrado inesperadamente que, en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, cuando la relación de CaO/MgO se controla para que sea inferior a 1,4, especialmente inferior a 1,3, lo que se traduce aproximadamente en unas relaciones molares $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ inferiores a 1 y 0,92, respectivamente, comparadas con la relación de CaO/MgO de más de 1,6 o 2 en los vidrios tradicionales de alto rendimiento, la temperatura de líquido y el grado de cristalización del vidrio disminuyeron significativamente. La disminución significativa del grado de cristalización de las fases cristalinas se manifiesta por una disminución notable en la intensidad de los picos de difracción de rayos X. Al mismo tiempo, las imágenes de SEM muestran que los granos de cristal del dióxido cambian de una forma cilíndrica o en forma de varilla a una forma de aguja larga y delgada, y los granos de cristal se hacen más pequeños y su integridad disminuye. Los inventores creen que esto se debe principalmente a que, a medida que la relación de CaO/MgO disminuye, la relación molar $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en el vidrio se encuentra por debajo de la relación molar teórica de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ necesaria para la formación de dióxido, debido a la escasez de iones Ca^{2+} para la cristalización completa, los procedimientos de cristalización tanto del dióxido como de anortita se ven significativamente afectados, logrando así el efecto de inhibir simultáneamente la tendencia a la cristalización de las dos fases cristalinas. Al mismo tiempo, con la disminución de la relación de CaO/MgO , dado que el peso molecular de MgO es inferior al del CaO , cuando se utiliza MgO para reemplazar el CaO de la misma masa, el oxígeno proporcionado por el MgO es mucho mayor que el proporcionado por el CaO , que ayuda a que más iones de aluminio formen una coordinación tetraédrica, fortalecen la red del sistema de vidrio y reducen aún más la tendencia a la cristalización. Sin embargo, la relación de CaO/MgO no debe ser demasiado baja, de lo contrario habrá un gran excedente de iones de magnesio, lo que aumentará en cierta medida la tendencia a la cristalización de una nueva fase cristalina: la forsterita ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$). Por lo tanto, preferiblemente, la relación de CaO/MgO está por encima de 1 y por debajo de 1,3.

25 Los inventores creen que, en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, utilizando conjuntamente los dos medios técnicos anteriores, especialmente manteniendo el intervalo de contenido de SrO al 0,5-2 %, el intervalo de contenido de CaO a $> 10,5$ % y $< 11,8$ %, el intervalo de contenido de MgO al 8-10,5 %, el intervalo de relación de porcentaje en peso $\text{C1} = (\text{MgO} + \text{SrO})/\text{CaO}$ al 0,8-1 y el intervalo de relación de porcentaje en peso $\text{C2} = \text{CaO}/\text{MgO}$ a > 1 y $< 1,3$, el apilamiento de iones entre los óxidos alcalinotérreos ternarios se vuelve excepcionalmente compacto y la estructura de vidrio se vuelve particularmente estable; al tiempo, la impedancia de los iones Sr^{2+} y la falta de iones Ca^{2+} inhibirán aún más la tendencia a la cristalización de las dos fases cristalinas y, por lo tanto, el vidrio presenta una temperatura de líquido y un grado de cristalización significativamente reducidos. En comparación con los vidrios tradicionales de alto rendimiento, dichos efectos técnicos fueron inesperados.

35 Tanto el K_2O como el Na_2O pueden reducir la viscosidad del vidrio y son buenos agentes fundentes. Reemplazar Na_2O con K_2O mientras se mantiene sin cambios la cantidad total de óxidos de metales alcalinos puede reducir la tendencia a la cristalización del vidrio, mejorar el rendimiento de la formación de fibras; y también reduce la tensión superficial del vidrio fundido y mejora el rendimiento de fusión del vidrio. En la composición de fibra de vidrio de la presente invención, el intervalo de contenido restringido de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ es del 0,1-2 %. Preferiblemente, el intervalo de contenido de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ es del 0,1-1 %.

40 El Fe_2O_3 facilita la fusión del vidrio y también puede mejorar el rendimiento de cristalización del vidrio. Sin embargo, dado que los iones férricos y los iones ferrosos tienen un efecto colorante, la cantidad introducida debe ser limitada. Por lo tanto, en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, el intervalo de contenido restringido de Fe_2O_3 es del 0,05-1 %. Preferiblemente, el intervalo de contenido de Fe_2O_3 es del 0,05-0,7 %.

45 El TiO_2 no solo puede reducir la viscosidad del vidrio a alta temperatura, sino que también tiene un cierto efecto de fundente. Sin embargo, dado que los iones de titanio tienen un cierto efecto de coloración y dicho efecto de coloración se vuelve particularmente significativo cuando el contenido de TiO_2 supera el 1,1 %, esto afectará en cierta medida la apariencia de los artículos reforzados con fibra de vidrio. Por lo tanto, en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, el intervalo de contenido restringido de TiO_2 es del 0,05-1,1 %. Preferiblemente, el intervalo de contenido de TiO_2 es del 0,05-0,8 %.

50 En comparación con el Na_2O y el K_2O , el Li_2O no solo puede reducir significativamente la viscosidad del vidrio, lo que mejora el rendimiento de fusión del vidrio, sino que también ayuda a mejorar en gran medida las propiedades mecánicas del vidrio. Además, una pequeña cantidad de Li_2O ofrece considerable oxígeno libre, lo que ayuda a que más iones de aluminio formen coordinación tetraédrica, mejora la estructura reticular del sistema de vidrio y reduce aún más la tendencia a la cristalización del vidrio. Debido al alto coste del Li_2O , la cantidad introducida debe ser limitada. Por lo tanto, en la composición de fibra de vidrio de la presente invención, el intervalo de contenido restringido de Li_2O es del 0,05 al 0,9 %. Preferiblemente, el intervalo de contenido de Li_2O es del 0,05-0,7 %.

Además, la composición de fibra de vidrio de la presente invención permite la existencia de una pequeña cantidad de flúor (F_2). El intervalo de contenido restringido de F_2 es inferior al 0,5 %. Sin embargo, considerando el gran impacto negativo del flúor en el medio ambiente, normalmente no se añade intencionadamente.

En la composición de fibra de vidrio de la presente invención, los efectos beneficiosos producidos por los intervalos seleccionados de los componentes mencionados anteriormente se explicarán a través de los datos experimentales específicos proporcionados en los ejemplos proporcionados a continuación.

5 Los siguientes son ejemplos de intervalos de contenido preferidos de los componentes contenidos en la composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención.

Ejemplo preferido 1

La composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

10 En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,75-1,1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

Ejemplo preferido 2

La composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención contiene los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

15 En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

Ejemplo preferido 3

La composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención contiene los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	59-61,5 %
Al ₂ O ₃	14,5-16,5 %
CaO	10,6-11,7 %
MgO	8-10 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-1 %
Li ₂ O	0,05-0,7 %
Fe ₂ O ₃	0,05-0,7 %
TiO ₂	0,05-0,8 %
F ₂	< 0,5 %

20 En la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

Al mismo tiempo, el vidrio obtenido de acuerdo con la composición en el ejemplo preferido 3 tiene propiedades mecánicas sobresalientes. Generalmente, su módulo de Young es superior a 84 GPa e inferior a 91,5 GPa. Cuando se estima en base a la densidad del vidrio, generalmente su módulo específico de Young es superior a 32 MPa/(kg/m³) e inferior a 35,5 MPa/(kg/m³).

Descripción detallada y realizaciones de la invención

Para aclarar mejor los fines, las soluciones técnicas y las ventajas de los ejemplos de la presente invención, a continuación se describen clara y completamente las soluciones técnicas en los ejemplos de la presente invención. Obviamente, los ejemplos descritos en el presente documento son solo parte de los ejemplos de la presente invención y no son todos los ejemplos. Todas las demás formas de realización ejemplares obtenidas por un experto en la materia en base a los ejemplos de la presente invención sin realizar un trabajo creativo estarán todas dentro del alcance de protección de la presente invención.

El concepto básico de la presente invención es que los componentes de la composición de fibra de vidrio expresados como porcentaje en peso son: 58-64 % de SiO₂, 14-19 % de Al₂O₃, $\geq 8,8$ % y $< 11,8$ % de CaO, 7,5-11 % de MgO, 0,2-2,7 % de SrO, 0,1-2 % de Na₂O + K₂O, 0,05-0,9 % de Li₂O, 0,05-1 % de Fe₂O₃, 0,05-1,1 % de TiO₂ y $< 0,5$ % de F₂, en la que el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,75-1,1 y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4. Preferiblemente, el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO puede definirse adicionalmente como superior a 1 e inferior a 1,3. La composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención puede superar el problema de temperatura de líquido demasiado alta y tasa de cristalización demasiado alta en los vidrios tradicionales de alto rendimiento, lo que da lugar a una alta tendencia a la cristalización y a la dificultad de lograr una producción a gran escala de alta eficiencia, significativamente disminuye la temperatura de líquido del vidrio de alto rendimiento, aumenta la temperatura máxima de cristalización del vidrio, disminuye el grado de cristalización del vidrio en las mismas condiciones y, al tiempo, tiene un índice de refracción del vidrio excelente que mejora en gran medida la transparencia de los artículos reforzados con fibra de vidrio.

Los valores de contenido específico de SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, SrO, Na₂O, K₂O, Fe₂O₃, Li₂O y TiO₂ en la composición de fibra de vidrio de la presente invención se seleccionan para su uso en los ejemplos y se hacen comparaciones con vidrio E sin boro, vidrio R tradicional y vidrio R mejorado en términos de los siguientes seis parámetros de propiedades:

- (1) Temperatura de formación, la temperatura a la que se funde el vidrio tiene una viscosidad de 10³ poise.
- (2) Temperatura de líquido, la temperatura a la cual los núcleos de los cristales comienzan a formarse cuando la fusión del vidrio se enfría, es decir, la temperatura límite superior para la cristalización del vidrio.
- (3) El valor de ΔT , que es la diferencia entre la temperatura de formación y la temperatura de líquido e indica el intervalo de temperatura en la que se puede realizar la extracción de la fibra.
- (4) Temperatura máxima de cristalización, la temperatura que corresponde al pico más fuerte de cristalización del vidrio durante la prueba DTA. En general, cuanto más alta es esta temperatura, más energía necesitan los núcleos de los cristales para crecer y más baja es la tendencia a la cristalización del vidrio.
- (5) Índice de refracción, la relación de la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el vidrio.
- (6) Módulo de Young, el módulo elástico lineal que define la capacidad del vidrio para resistir la deformación elástica.

Los seis parámetros mencionados anteriormente y los procedimientos para medirlos son bien conocidos por los expertos en la técnica. Por lo tanto, los parámetros mencionados anteriormente se pueden usar eficazmente para explicar las propiedades de la composición de fibra de vidrio de la presente invención. Además, los inventores también emplean un difractómetro de rayos X y un microscopio electrónico de barrido para observar el tipo, la apariencia y el estado de cristalización de las fases cristalinas.

Los procedimientos específicos para los experimentos son los siguientes: Cada componente puede obtenerse a partir de las materias primas apropiadas. Mezcle las materias primas en las proporciones adecuadas para que cada componente alcance el porcentaje en peso final esperado. El lote mixto se funde y el vidrio fundido se refina. A continuación, el vidrio fundido se extrae a través de las puntas de los bujes, formando así la fibra de vidrio. La fibra de vidrio se atenúa en la pinza giratoria de un enrollador para formar tortas o paquetes. Naturalmente, se pueden usar procedimientos convencionales para procesar en profundidad estas fibras de vidrio para que cumplan con los requisitos esperados.

A continuación se proporcionan realizaciones ejemplares de la composición de fibra de vidrio de acuerdo con la presente invención.

Ejemplo 1

SiO ₂	60,5 %
Al ₂ O ₃	15,5 %
CaO	11,4 %
MgO	9,1 %
SrO	1,3 %
Li ₂ O	0,5 %
Na ₂ O	0,21 %
K ₂ O	0,62 %
Fe ₂ O ₃	0,42 %
TiO ₂	0,35 %

En la que, la relación de porcentaje en peso $C1 = (MgO + SrO)/CaO$ es de 0,91, y la relación de porcentaje en peso $C2 = CaO/MgO$ es de 1,25.

En el Ejemplo 1, los valores medidos de los seis parámetros son respectivamente:

Temperatura de formación	1274 °C
Temperatura de líquidus	1192 °C
ΔT	82 °C
Temperatura máxima de cristalización	1034 °C
Índice de refracción	1,569
Módulo de Young	89,3 GPa

5 **Ejemplo 2**

SiO ₂	61,0 %
Al ₂ O ₃	16,0 %
CaO	11,4 %
MgO	8,95 %
SrO	0,5 %
Li ₂ O	0,55 %
Na ₂ O	0,24 %
K ₂ O	0,54 %
Fe ₂ O ₃	0,42 %
TiO ₂	0,3 %

En la que, la relación de porcentaje en peso $C1 = (MgO + SrO)/CaO$ es de 0,82, y la relación de porcentaje en peso $C2 = CaO/MgO$ es de 1,27.

En el Ejemplo 2, los valores medidos de los seis parámetros son respectivamente:

Temperatura de formación	1276 °C
Temperatura de líquidus	1194 °C
ΔT	82 °C
Temperatura máxima de cristalización	1026 °C
Índice de refracción	1,568
Módulo de Young	90 GPa

Ejemplo 3

SiO ₂	60,2 %
Al ₂ O ₃	15,55 %
CaO	11,0 %
MgO	9,0 %
SrO	2,0 %
Li ₂ O	0,55 %
Na ₂ O	0,24 %
K ₂ O	0,54 %
Fe ₂ O ₃	0,42 %
TiO ₂	0,4 %

10 En la que, la relación de porcentaje en peso $C1 = (MgO + SrO)/CaO$ es de 1,0, y la relación de porcentaje en peso $C2 = CaO/MgO$ es de 1,22.

En el ejemplo 3, los valores medidos de los seis parámetros son respectivamente:

ES 2 702 720 T3

Temperatura de formación	1279 °C
Temperatura de líquidos	1190 °C
ΔT	89 °C
Temperatura máxima de cristalización	1039 °C
Índice de refracción	1,570
Módulo de Young	89,5 GPa

5 Las comparaciones de los parámetros de propiedades de los ejemplos mencionados anteriormente y otros ejemplos de la composición de fibra de vidrio de la presente invención con los del vidrio E libre de boro, el vidrio R tradicional y el vidrio R mejorado se realizan a continuación por medio de tablas, en las que los contenidos de la composición de fibra de vidrio se expresan como porcentaje en peso. Se debe aclarar que la cantidad total de los componentes en los ejemplos es ligeramente inferior al 100 %, y debe entenderse que la cantidad restante la forman impurezas residuales o una pequeña cantidad de componentes que no pueden analizarse.

Tabla 1

Componente	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
SiO ₂	60,5	61,0	60,2	59,5	61,5	60,5	59,8
Al ₂ O ₃	15,5	16,0	15,55	15,8	15,3	15,7	15,5
CaO	11,4	11,4	11,0	11,5	11,7	11,6	10,6
MgO	9,1	8,95	9,0	8,4	9,2	9,0	9,1
SiO	1,3	0,5	2,0	2,7	0,2	1,0	2,6
Na ₂ O	0,21	0,24	0,24	0,22	0,23	0,2	0,4
K ₂ O	0,62	0,54	0,54	0,56	0,55	0,6	0,4
Li ₂ O	0,5	0,55	0,55	0,5	0,5	0,48	0,48
Fe ₂ O ₃	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
TiO ₂	0,35	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6
Relación	0,91	0,82	1,0	0,96	0,80	0,86	1,1
C2	1,25	1,27	1,22	1,36	1,27	1,28	1,16
Temperatura de formación/°C	1274	1276	1279	1280	1278	1277	1278
Temperatura de liquidus/°C	1192	1194	1190	1196	1193	1194	1193
ΔT/°C	82	82	89	84	85	83	85
Temperatura máxima de cristalización/°C	1034	1026	1039	1023	1028	1025	1035
Índice de refracción	1,569	1,568	1,570	1,570	1,566	1,568	1,570

(continuación)

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	Módulo de Young/ GPa	89,3	90	89,5	88,7	88,9	89,1	89
Estado de cristalización	Tipo de fase cristalina y relación de la intensidad de difracción	Diópsido y anortita 1:0,45	Diópsido y anortita 1:0,5	Diópsido y anortita 1:0,45	Diópsido y anortita 1:0,55	Diópsido y anortita 1:0,5	Diópsido y anortita 1:0,5	Diópsido y anortita 1:0,4
	Aspecto de la fase cristalina principal.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran una cristalinidad baja, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.

Tabla 2

Componente	A8	A9	A10	A11	Vidrio E sin boro	Vidrio R tradicional	Vidrio R mejorado
SiO ₂	61,3	60,6	59,4	60,4	60	60	60,75
Al ₂ O ₃	15,4	15,4	17,0	15,6	13,57	25	15,80
CaO	11,3	11,0	11,2	11,5	22,46	9	13,90
MgO	8,7	9,5	9,05	8,95	2,81	6	7,90
SrO	1,0	1,3	1,05	1,25	0	0	0
Na ₂ O	0,21	0,25	0,4	0,24	0,27	cantidad residual	0,73
K ₂ O	0,36	0,47	0,43	0,53	0,32	cantidad residual	
Li ₂ O	0,81	0,46	0,55	0,51	0	0	0,48
Fe ₂ O ₃	0,42	0,42	0,42	0,42	0,29	cantidad residual	0,18
TiO ₂	0,4	0,5	0,4	0,5	0,2	cantidad residual	0,12
C1	0,85	1,0	0,9	0,88	0,12	0,66	0,57
C2	1,29	1,15	1,23	1,28	7,99	1,5	1,75
Temperatura de formación/°C	1268	1279	1280	1278	1270	1430	1278
Temperatura de líquidus/°C	1188	1191	1194	1191	1190	1350	1210
ΔT/°C	80	88	86	87	80	80	68
Temperatura máxima de cristalización/°C	1043	1033	1030	1036	/	1010	1016

(continuación)

	A8	A9	A10	A11	Vidrio E sin boro	Vidrio tradicional	Vidrio R mejorado
Índice de refracción	1,569	1,568	1,567	1,569	1,564	1,561	1,563
Módulo de Young/ GPa	89,4	88,7	89,3	89,1	81	91	87,5
Tipo de fase cristalina y relación de la intensidad de difracción	Diópsido y anortita 1:0,5	Diópsido y anortita 1:0,4	Diópsido y anortita 1:0,45	Diópsido y anortita 1:0,5	Wollastonita y anortita -	Diópsido y anortita 1:0,8	Diópsido y anortita 1:0,6
Estado de cristalización	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	Los granos de cristal muestran poca cristalinidad, formas en agujas, de pequeño tamaño y dispuestos desordenadamente.	/	Los granos de cristal muestran una cristalinidad completa, formas en varillas, tamaños más grandes y una disposición ordenada.	Los granos de cristal muestran una cristalinidad completa, formas en varillas, tamaños más grandes y una disposición ordenada.

Se puede ver en los valores de las tablas anteriores que, en comparación con el vidrio R tradicional y el vidrio R mejorado, la composición de fibra de vidrio de la presente invención tiene las siguientes ventajas: (1) una temperatura de líquido mucho más baja, lo que ayuda a reducir el riesgo de cristalización y un aumento de la eficiencia de extracción de la fibra; (2) temperatura máxima de cristalización relativamente alta, lo que indica que se necesita más energía para la formación y el crecimiento de los núcleos de cristal durante el procedimiento de cristalización del vidrio, es decir, el riesgo de cristalización del vidrio de la presente invención es menor en las mismas condiciones; (3) las fases cristalinas muestran una cristalinidad menos completa, un tamaño de grano de cristal relativamente pequeño y una disposición desordenada, lo que indica que el grado de cristalización del vidrio de la presente invención es menor, por tanto reduciendo aún más el riesgo de cristalización; además, los ejemplos que cumplen con los intervalos preferidos de ambas relaciones C1 y C2 tienen efectos mejorados más significativos, y (4) un índice de refracción del vidrio significativamente mejorado. Al mismo tiempo, en comparación con el vidrio R mejorado, la composición de fibra de vidrio de la presente invención tiene un módulo más alto, lo que indica que la estructura de apilamiento compacta lograda por el efecto alcalinotérreo ternario diseñado de la presente invención tiene un mayor efecto en la mejora de las propiedades mecánicas del vidrio. Además, en comparación con el vidrio E sin boro convencional, el rendimiento de cristalización y el rendimiento de formación de la composición de fibra de vidrio de la presente invención son similares y cumplen con los requisitos de producción a gran escala de alta eficiencia con hornos revestidos de material refractario.

Se puede ver por lo que antecede que la composición de fibra de vidrio de la presente invención supone un gran avance en la mejora del rendimiento de cristalización y en el índice de refracción de los vidrios de calidad de vidrio R, ha reducido considerablemente el riesgo de cristalización y ha aumentado significativamente el índice de refracción en las mismas condiciones. Además, el rendimiento de cristalización y el rendimiento de formación de fibras de la solución técnica general son similares a los del vidrio E sin boro convencional y permite la consecución fácil de producción a gran escala y alta eficiencia con un procedimiento de fusión directa en un horno revestido de material refractario.

La composición de fibra de vidrio según la presente invención se puede usar para fabricar fibras de vidrio que tienen las excelentes propiedades mencionadas anteriormente.

La composición de fibra de vidrio según la presente invención en combinación con uno o más materiales orgánicos y/o inorgánicos se puede usar para preparar materiales compuestos que tienen excelentes rendimientos, tales como materiales de base reforzados con fibra de vidrio.

Finalmente, lo que debe quedar claro es que, en este texto, los términos "contener", "comprender" o cualquier otra variante tienen la intención de significar "incluir no exclusivamente" de modo que cualquier procedimiento, procedimiento, artículo o equipo que contenga una serie de los factores deben incluir no solo dichos factores, sino también otros factores que no están enumerados explícitamente, o también incluyen factores intrínsecos de dicho procedimiento, procedimiento, objeto o equipo. Sin más limitaciones, los factores definidos por la frase "contienen un..." no descartan que haya otros factores en el procedimiento, procedimiento, artículo o equipo que incluyan dichos factores.

Los ejemplos anteriores se proporcionan solo con el propósito de ilustrar más que de limitar las soluciones técnicas de la presente invención. Aunque la presente invención se describe en detalle a través de los ejemplos mencionados anteriormente, un experto en la materia entenderá que también se pueden hacer modificaciones a las soluciones técnicas incorporadas en todos los ejemplos mencionados anteriormente o se puede hacer una sustitución equivalente de algunas de las características técnicas. Sin embargo, dichas modificaciones o sustituciones no provocarán que las soluciones técnicas resultantes se desvíen sustancialmente de la gama de soluciones técnicas representadas respectivamente por todos los ejemplos de la presente invención.

Aplicabilidad industrial de la invención

La composición de fibra de vidrio de la presente invención no solo garantiza que la fibra de vidrio tenga altas propiedades mecánicas y baja temperatura de formación, sino que también supera el problema de una temperatura de líquido demasiado alta y una tasa de cristalización demasiado alta en vidrios tradicionales de alto rendimiento, lo que da lugar a una tendencia a la cristalización y a la dificultad para lograr una producción de alta eficiencia a gran escala, disminuye significativamente la temperatura de líquido del vidrio de alto rendimiento, aumenta la temperatura máxima de cristalización del vidrio, disminuye el grado de cristalización del vidrio en las mismas condiciones y, al tiempo, tiene un índice de refracción del vidrio excepcional que mejora considerablemente la transparencia de los artículos reforzados con fibra de vidrio.

REIVINDICACIONES

1. Una composición de fibra de vidrio, **caracterizada porque** comprende los siguientes componentes expresados como porcentaje en peso:

SiO ₂	58-64 %
Al ₂ O ₃	14-19 %
CaO	> 8,8 % y < 11,8 %
MgO	7,5-11 %
SrO	0,2-2,7 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

5 en la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,75-1,1 y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

2. La composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

3. La composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es de 0,8-1.

10 4. La composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** el contenido de CaO expresado como porcentaje en peso es superior al 10,5 % e inferior al 11,8 %.

5. Composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1, **caracterizada porque** comprende los siguientes componentes expresados en porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

15 en la que, la relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es de 0,75-1,1, y el intervalo de la relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es inferior a 1,4.

6. La composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1, **caracterizada porque** comprende los siguientes componentes expresados en porcentaje en peso:

SiO ₂	59-62 %
Al ₂ O ₃	14,5-18 %
CaO	> 10,5 % y < 11,8 %
MgO	8-10,5 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-2 %
Li ₂ O	0,05-0,9 %
Fe ₂ O ₃	0,05-1 %
TiO ₂	0,05-1,1 %
F ₂	< 0,5 %

en la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso C1 = (MgO + SrO)/CaO es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso C2 = CaO/MgO es superior a 1 e inferior a 1,3.

20 7. La composición de fibra de vidrio según la reivindicación 1, **caracterizada porque** comprende los siguientes componentes expresados en porcentaje en peso:

SiO ₂	59-61,5 %
Al ₂ O ₃	14,5-16,5 %
CaO	10,6-11,7 %

ES 2 702 720 T3

MgO	8-10 %
SrO	0,5-2 %
Na ₂ O + K ₂ O	0,1-1 %
Li ₂ O	0,05-0,7 %
Fe ₂ O ₃	0,05-0,7 %
TiO ₂	0,05-0,8 %
F ₂	< 0,5 %

en la que, el intervalo de relación de porcentaje en peso $C1 = (MgO + SrO)/CaO$ es del 0,8-1, y el intervalo de relación de porcentaje en peso $C2 = CaO/MgO$ es superior a 1 e inferior a 1,3.

8. Una fibra de vidrio, **caracterizada porque** se produce a partir de cualquiera de las composiciones de fibra de vidrio descritas en las reivindicaciones 1 a 7.

5 9. Un material compuesto, **caracterizado porque** incorpora la fibra de vidrio descrita en la reivindicación 8.