

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202291871** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2022.09.14

(51) Int. Cl. *C03C 3/087* (2006.01)
C03C 13/00 (2006.01)
C08J 5/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.12.30

(54) **СТЕКЛОВОЛОКОННАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ**

(31) **62/956,422**

(32) **2020.01.02**

(33) **US**

(86) **PCT/US2020/067420**

(87) **WO 2021/138394 2021.07.08**

(71) Заявитель:
**ОУЭНС КОРНИНГ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛ КАПИТАЛ,
ЭЛЭЛСИ (US)**

(72) Изобретатель:

Корвин-Эдсон Мишель (US)

(74) Представитель:

**Строкова О.В., Гизатуллин Ш.Ф.,
Гизатуллина Е.М., Прищепный С.В.,
Джермакян Р.В., Христофоров А.А.,
Угрюмов В.М., Костюшенкова М.Ю.
(RU)**

(57) Предложена стеклянная композиция, которая содержит около от 57,0 до 62,0% по массе SiO₂, около от 20,0 до 25,0% по массе Al₂O₃, около от 8,0 до 12,5% по массе MgO, около от 7 до 9,0% по массе CaO, около от 0,4 до 1,0% по массе Li₂O, около от 0,0 до 1,0% по массе Na₂O, около от 0 до 0,5% по массе K₂O и около от 0,2 до 1,5% по массе TiO₂. Стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования, составляющую не более чем около 1300°C. Соответствующие приложения представляют собой тканые материалы, предназначенные для применения в изготовлении лопастей ветряных турбин и аэрокосмических конструкций.

A1

202291871

202291871

A1

СТЕКЛОВОЛОКОННАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Описание

Перекрестная ссылка на родственные заявки

[0001] По настоящей заявке испрашивается приоритет и все преимущество предварительной патентной заявки США № 62/956,422, поданной 02 января 2020 года, содержание которой во всей своей полноте включено в настоящий документ посредством ссылки.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

[0002] Стекланные волокна изготавливают, используя разнообразные исходные материалы, объединенные в определенных пропорциях для получения желательной композиции, обычно называемой термином «стекольная шихта». Эта стекольная шихта может быть расплавлена в плавильном устройстве, после чего расплавленное стекло вытягивают, получая волокна, через насадку или фильерную пластину с отверстиями (получаемые в результате волокна также называются непрерывными стекланными волокнами). Затем на нити может быть нанесена замасливающая композиция, содержащая смазочные вещества, связующие вещества и пленкообразующие связующие смолы. После нанесения замасливающей композиции волокна могут быть собраны в одну или несколько пряжей и смотаны в пучок, или, в качестве альтернативы, волокна могут быть измельчены во влажном состоянии и собраны. Собранные рубленые волокна могут затем быть подвергнуты высушиванию и отверждению и превращены в сухие рубленые волокна, или они могут быть упакованы во влажном состоянии как влажные рубленые волокна.

[0003] Композиция стекольной шихты, а также изготовленных из нее стекланных волокон часто выражается через содержащиеся в ней оксиды, которые обычно представляют собой SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , B_2O_3 , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 , Li_2O и т. д. Стекла многочисленных типов могут быть получены путем изменения количества указанных оксидов или исключения некоторых оксидов из стекольной шихты. Примеры таких стекол, которые могут быть получены, представляют собой R-стекло, E-стекло, S-стекло, A-стекло, C-стекло и ECR-стекло. Стекланная композиция определяет форму и свойства стекла. Другие характеристики стекланных композиций представляют собой стоимость исходных материалов и воздействие на окружающую среду.

[0004] Например, E-стекло представляет собой алюмоборосиликатное стекло, обычно не содержащее щелочных металлов и широко используемое в электротехнике. Одним из преимуществ E-стекла является то, что его температура ликвидуса позволяет использовать для производства стекловолокна рабочие температуры, составляющие приблизительно от 1900°F до 2400°F (от 1038°C до 1316°C). Классификация ASTM для E-стекловолоконных нитей, используемых в печатных платах и аэрокосмических приложениях, определяет композицию, содержащую от 52 до 56% по массе SiO₂, от 16 до 25% по массе CaO, от 12 до 16% по массе Al₂O₃, от 5 до 10% по массе B₂O₃, от 0 до 5% по массе MgO, от 0 до 2% по массе Na₂O и K₂O, от 0 до 0,8% по массе TiO₂, от 0,05 до 0,4% по массе Fe₂O₃ и от 0 до 1,0% по массе фтора

[0005] Волокна, в которых отсутствует бор, продаются под товарным знаком ADVANTECH® от компании Owens Corning (Тоledo, штат Огайо, США). Волокна, в которых отсутствует бор, такие как волокна, раскрытые в патенте США № 5,789,329, включенном во всей своей полноте в настоящий документ посредством ссылки, позволяют значительно снижать рабочие температуры по сравнению с содержащим бор E-стеклом. На стеклянные волокна, в которых отсутствует бор, распространяется определение ASTM для волокон из E-стекла, предназначенных для применения в изделиях общего назначения.

[0006] R-стекло представляет собой семейство стекол, которые состоят в основном из оксидов кремния, алюминия, магния и кальция с химическим составом, обеспечивающим получение стеклянных волокон с более высокой механической прочностью, чем E-стеклянные волокна. R-стекло характеризует композиция, которая содержит от около 58 до около 60% по массе SiO₂, от около 23,5 до около 25,5 % по массе Al₂O₃, от около 14 до около 17 % по массе CaO, а также MgO и другие компоненты, составляющие менее 2% по массе. R-стекло содержит больше оксида алюминия и диоксида кремния, чем E-стекло, и для него требуются более высокие температуры плавления и обработки в процессе изготовления волокон. Как правило, температуры плавления и обработки R-стекла выше, чем в случае E-стекла. Для повышенной температуры обработки должна быть использована дорогостоящая стекловаренная печь с платиновой футеровкой. Кроме того, непосредственная близость температуры ликвидуса к температуре изготовления R-стекла требует, чтобы стекло подвергалось волокнообразованию при более низкой вязкости, чем E-стекло, из которого обычно изготавливают волокна при вязкости, составляющей точно или около 1000 пуаз. Образование волокон из R-стекла при обычной вязкости, составляющей 1000 пуаз,

вероятно, приведет к расстекловыванию стекла, в результате чего произойдет прерывание процесса и снижение производительности.

[0007] Стекланные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками обладают более высокой прочностью и жесткостью по сравнению с традиционными волокнами из Е-стекла. В частности, для некоторых изделий жесткость имеет решающее значение в целях моделирования и производительности. Например, композиционные изделия, такие как лопасти ветряных турбин, изготовленные из стекланных волокон с соответствующими свойствами жесткости, позволят использовать более длинные лопасти ветряных электростанций, сохраняя при этом изгиб лопасти в допустимых пределах. Модуль упругости (также используется взаимозаменяемый термин «модуль Юнга») представляет собой меру жесткости волокна, которая определяет взаимосвязь между напряжением, приложенным к материалу, и деформацией, создаваемой в этом материале. Жесткий материал имеет высокий модуль упругости, и его форма незначительно изменяется при упругих нагрузках. Гибкий материал имеет низкий модуль упругости, и его форма изменяется в значительной степени.

[0008] Хотя были разработаны стекланные композиции различных типов с высокими эксплуатационными характеристиками, в таких стекланных композициях часто пытаются довести до максимума модуль упругости и прочность при растяжении. Однако по мере того, как модуль упругости стекланных волокон увеличивается и превышает определенный уровень, который составляет 92 ГПа, формы композиционных лопастей ветряных турбин могут быть удлинены, что требует изготовления новых форм. Было бы выгодным и рентабельным достижение умеренного модуля упругости, совместимого с современными композиционными формованными изделиями при сохранении низкой температуры волокнообразования. Температура волокнообразования, составляющая менее чем около 1300°C, позволяет использовать большинство современных материалов и технологий для производства стекланных волокон, что обеспечивает совместимость с уже существующим производственным оборудованием. Кроме того, температура волокнообразования, близкая к другим уже производимым стекланным композициям, позволяет проводить быстрые операции по переключению печи с производства одного стекла на другое без необходимости изменения производственной технологии. Снижение температуры волокнообразования является благоприятным в целях эффективного использования энергии, а также уменьшения испарения платины. При более высоких температурах платина испаряется быстрее, и сокращается срок службы производственного оборудования.

[0009] Производители лопастей ветряных турбин вкладывают значительные средства в создание форм, которые используются для изготовления лопастей ветряных турбин. Кроме того, лопасти ветряных турбин становятся настолько большими, что целые заводы строятся в целях производства лопастей определенного размера. Хотя цель, как правило, состоит в том, чтобы продолжать увеличивать модуль упругости стеклянного волокна, чтобы сделать возможным изготовление более длинных лопастей, также желательно наилучшим образом использовать уже существующие формы и оборудование. Для этого стеклянное волокно должно обладать свойствами в пределах диапазона эксплуатационных характеристик. Если эксплуатационные характеристики стекла являются слишком хорошими в отношении модуля упругости, то с этической точки зрения требуется изготовление новых форм, чтобы использовать более высокие эксплуатационные характеристики. Эти волокна обеспечивают повышенную устойчивость к производственным дефектам в указанных формах. Соответственно, существует стремление к оптимизации эксплуатационных характеристик без необходимости увеличения размера лопастей ветряных турбин.

[00010] В технике требуются стеклянные композиции с высокими эксплуатационными характеристиками, имеющие приемлемые свойства волокнообразования, в том числе достаточно низкую температуру волокнообразования, и при этом обеспечивающие умеренный, но не чрезмерно высокий модуль упругости, составляющий, например, между 90 и 92 ГПа.

Сущность настоящего изобретения

[00011] Разнообразные примерные варианты осуществления идей настоящего изобретения относятся к стеклянной композиции, содержащей SiO_2 в количестве от 57,0 до 62,0% по массе; Al_2O_3 в количестве от 20,0 до 25,0% по массе; CaO в количестве от 7,0 до 9,0% по массе; MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе; Na_2O в количестве от 0 до 1,0% по массе; K_2O в количестве от 0 до 0,5% по массе; Li_2O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и TiO_2 в количестве от 0,2 до 1,5% по массе, что выражено как массовое процентное содержание по отношению к полной массе композиции. Массовое процентное соотношение (R1) $(\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ составляет по меньшей мере 0,47, и массовое процентное соотношение (R3) $(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ составляет по меньшей мере 0,19. Стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования, составляющую не более чем 1300°C.

[00012] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления суммарное количество SiO_2 , Al_2O_3 , MgO и CaO может составлять по меньшей мере 98% по массе и менее чем 99,5% по массе.

[00013] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 57,1% по массе до менее чем 59% по массе SiO_2 .

[00014] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе CaO .

[00015] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от более чем 20% до 21% по массе Al_2O_3 .

[00016] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 0,45% до 0,8 мас.% Li_2O .

[00017] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления в стеклянной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

[00018] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления в композиции по существу отсутствует V_2O_5 .

[00019] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 0,1 до 0,8% по массе Na_2O .

[00020] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция имеет массовое процентное соотношение (R2) $(\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, которое составляет более чем 0,46.

[00021] Следующие примерные аспекты идей настоящего изобретения относятся к стеклянной композиции, содержащей SiO_2 в количестве от 58,0 до 62,0% по массе; Al_2O_3 в количестве от 20,0 до 25,0% по массе; CaO в количестве от 7,9 до 12,0% по массе; MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе; Na_2O в количестве от 0 до 1,0% по массе; K_2O в количестве от 0 до 0,5% по массе; Li_2O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и TiO_2 в количестве от 0,2 до 1,5% по массе. Согласно разнообразным примерным вариантам осуществления композиция имеет массовое процентное соотношение (R2) $(\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, которое составляет более чем 0,46 и массовое процентное соотношение (R3) $(\text{MgO} / \text{SiO}_2)$, которое составляет по меньшей мере 0,19. Согласно некоторым вариантам осуществления стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования, составляющую не более чем 1300°C.

[00022] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления суммарное количество SiO_2 , Al_2O_3 , MgO и CaO может составлять по меньшей мере 98% по массе и менее чем 99,5% по массе.

[00023] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 57,1% по массе до менее чем 59% по массе SiO_2 .

[00024] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе CaO .

[00025] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от более чем 20% до 21% по массе Al_2O_3 .

[00026] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 0,45% до 0,8 мас.% Li_2O .

[00027] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления в стеклянной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

[00028] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления в композиции по существу отсутствует B_2O_3 .

[00029] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция содержит от 0,1 до 0,8% по массе Na_2O .

[00030] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления композиция имеет массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$, которое составляет по меньшей мере 0,47.

[00031] Следующие примерные аспекты идей настоящего изобретения относятся к стеклянному волокну, изготовленному из стеклянной композиции, содержащей SiO_2 в количестве от 57,0 до 62,0% по массе; Al_2O_3 в количестве от 20,0 до 25,0% по массе; CaO в количестве от 7 до 9,0% по массе; MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе; Na_2O в количестве от 0 до 1,0% по массе; K_2O в количестве от 0 до 0,5% по массе; Li_2O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и TiO_2 в количестве от 0,2 до 1,5% по массе. Стеклянная композиция имеет массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$, которое составляет по меньшей мере 0,47, и массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) , которое составляет по меньшей мере 0,19. Стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования, составляющую не более чем $1300^{\circ}C$, и стеклянное волокно имеет модуль упругости, составляющий между 90 ГПа и 92 ГПа.

[00032] Согласно любому из разнообразных вариантов осуществления стеклянные волокна имеют плотность, которая составляет по меньшей мере $2,6 \text{ г/см}^3$.

[00033] Следующие примерные аспекты идей настоящего изобретения относятся к способу изготовления непрерывного стеклянного волокна, предусматривающему получение расплавленной композиции согласно любому из примерных вариантов осуществления, которые описаны в настоящем документе, и вытягивание расплавленной композиции через отверстие с образованием непрерывного стеклянного волокна.

[00034] Следующие примерные аспекты идей настоящего изобретения относятся к армированному композиционному изделию, содержащему полимерную матрицу и множество стеклянных волокон, изготовленных из стеклянной композиции, содержащей:

SiO₂ в количестве от 57,0 до 62,0% по массе; Al₂O₃ в количестве от 20,0 до 25,0% по массе; CaO в количестве от 7 до 9,0% по массе; MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе; Na₂O в количестве от 0 до 1,0% по массе; K₂O в количестве от 0 до 0,5% по массе; Li₂O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и TiO₂ в количестве от 0,2 до 1,5% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция имеет массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$, которое составляет по меньшей мере 0,47, и массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) , которое составляет по меньшей мере 0,19. Стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования, составляющую не более чем 1300°C, и стеклянное волокно имеет модуль упругости между 90 ГПа и 92 ГПа.

[00035] Перечисленные выше и другие объекты, признаки и преимущества настоящего изобретения более подробно представлены далее в настоящем документе в рамках следующего подробного описания.

Подробное описание настоящего изобретения

[00036] Если не определено иное условие, все технические и научные термины, которые используются в настоящем документе, имеют такие значения, которые, как правило, понимает обычный специалист в области техники, к которой принадлежат указанные примерные варианты осуществления. Терминология, используемая в описании в настоящем документе, предназначена только для представления примерных вариантов осуществления и не предназначена для ограничения примерных вариантов осуществления. Соответственно, общие идеи настоящего изобретения не предназначены для ограничения конкретными вариантами осуществления, которые проиллюстрированы в настоящем документе. Хотя другие способы и материалы, аналогичные или эквивалентные тем, которые описаны в настоящем документе, могут быть использованы для практического осуществления или испытания настоящего изобретения, предпочтительные способы и материалы описаны в настоящем документе.

[00037] При использовании в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения грамматические формы единственного числа предназначены также для распространения на множественное число, если иное условие четко не следует из контекста.

[00038] Термин «по существу отсутствует» означает, что композиция содержит менее чем 1,0 мас.%, в том числе не более чем 0,8 мас.%, не более чем 0,6 мас.%, не более чем 0,4 мас.%, не более чем 0,2 мас.%, не более чем 0,1 мас.%, и не более чем 0,05 мас.% указанного компонента. Согласно любому из примерных вариантов осуществления «по

существу отсутствует» означает, что композиция содержит не более чем 0,01 мас.% указанного компонента.

[00039] Если не указано иное условие, все числа, выражающие количества ингредиентов, химические и молекулярные свойства, условия реакция и другие параметры, используемые в описании и формуле настоящего изобретения, следует понимать как сопровождаемые во всех случаях термином «около». Соответственно, если не указано иное условие, численные параметры, которые приведены в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения, представляют собой приближения, которые могут варьироваться в зависимости от желательных свойств, которые должны быть получены согласно настоящим примерным вариантам осуществления. По меньшей мере каждый численный параметр следует истолковывать в свете числа значимых цифр и обычных правил округления.

[00040] Если не указано иное условие, любой элемент, свойство, признак или сочетание элементов, свойств и признаков могут быть использованы согласно любому варианту осуществления, который описан в настоящем документе, независимо от того, что элемент, свойство, признак или сочетание элементов, свойств и признаков были явно описано согласно варианту осуществления. Можно легко понять, что признаки, представленные в отношении любого конкретного аспекта, который описан в настоящем документе, могут быть применимыми и к другим аспектам, которые описаны в настоящем документе, при том условии, что признаки являются совместимыми с указанным аспектом. В частности, признаки, которые описаны в настоящем документе в отношении способа, могут быть применимыми к изделию из стеклянных волокон и наоборот; признаки, которые описаны в настоящем документе в отношении способа, могут быть применимыми к стеклянной композиции и наоборот; и признаки, которые описаны в настоящем документе в отношении стеклянного волокна, могут быть применимыми к стеклянной композиции и наоборот.

[00041] Несмотря на то, что числовые диапазоны и параметры, которые определяют широкий объем примерных вариантов осуществления, представляют собой приближения, числовые значения, которые приведены в конкретных примерах, представлены с максимально возможной точностью. Однако любое числовое значение естественным образом содержит некоторые ошибки, которые обязательно возникают в результате стандартного отклонения, которое обнаруживается в соответствующих измерениях в процессе исследования. Каждый числовой диапазон, который представлен в описании и формуле настоящего изобретения, будет включать каждый более узкий числовой диапазон, который находится в пределах такого более широкого числового

диапазона, как если бы все такие более узкие числовые диапазоны были определенно представлены в настоящем документе. Кроме того, любое числовое значение, которое приведено в примерах, может быть использовано для определения верхней или нижней конечной точки более широкого композиционного диапазона, описанного в настоящем документе.

[00042] Настоящее изобретение относится к стеклянной композиции с умеренно высоким модулем упругости и низкой температурой волокнообразования, которая при этом имеет меньшую стоимость, чем традиционные стеклянные композиции с высоким модулем упругости.

[00043] Стеклянные композиции, которые описаны в настоящем документе, являются подходящими для плавления в традиционных имеющихся в продаже стекловаренных печах с огнеупорной футеровкой, которые находят широкое применение в производстве армирующих стеклянных волокон.

[00044] Стеклянная композиция может присутствовать в расплавленной форме, получаемой в результате плавления компонентов стеклянной композиции в стекловаренной печи. Стеклянная композиция проявляет низкую температуру волокнообразования, которая определяется как температура, которая соответствует вязкости расплава, составляющей около 1000 пуаз, при определении согласно стандарту ASTM C965-96 (2007). Снижение температуры волокнообразования может сокращать стоимость производства стеклянных волокон, поскольку это обеспечивает более продолжительный период эксплуатации насадки и сокращение потребления энергии, необходимой для плавления компонентов стеклянной композиции. Таким образом, выделяющаяся энергия, как правило, составляет менее чем энергия, необходимая для плавления многих имеющихся в продаже стеклянных композиций. Такие низкие уровни энергопотребления также могут снижать суммарные расходы, связанные с производством стеклянной композиции.

[00045] Например, при снижении температуры волокнообразования насадка может работать при менее высокой температуре и, таким образом, в ней не возникает «прогиб» с такой скоростью, которая обычно наблюдается. «Прогиб» представляет собой явление, которое возникает, когда насадка, которую выдерживают при повышенной температуре в течение продолжительных периодов времени, в некоторой степени теряет свою устойчивость. Таким образом, посредством снижения температуры волокнообразования может быть уменьшена степень прогиба насадки, и может быть доведен до максимума период эксплуатации насадки. Кроме того, снижение температуры волокнообразования

является благоприятным с точки зрения энергопотребления, а также замедляет испарение платины.

[00046] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может иметь температуру волокнообразования, составляющую менее чем 2372°F (1300°C), в том числе температуру волокнообразования, составляющую не более чем 2363°F (1295°C), не более чем 2354°F (1290°C), не более чем 2345°F (1285°C) и не более чем 2336°F (1280°C). Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может иметь температуру волокнообразования, составляющую между 2330°F (1276,76°C) и 2366,6°F (1297°C) или между 2345°F (1285°C) и 2357,6°F (1292°C).

[00047] Другое волокнообразующее свойство стеклянной композиции представляет собой температуру ликвидуса. Температура ликвидуса определяется как наиболее высокая температура, при которой существует равновесие между жидким стеклом и соответствующей первичной кристаллической фазой. Температура ликвидуса в некоторых случаях может быть измерена посредством воздействия на стеклянную композицию температурного градиента в лодочке из платинового сплава в течение 16 часов согласно стандарту ASTM C829-81 (2005). При всех температурах выше температура ликвидуса стекло является полностью расплавленным, т. е. в нем отсутствуют кристаллы. При температурах ниже температуры ликвидуса могут образовываться кристаллы.

[00048] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может иметь температуру ликвидуса ниже 2350°F, в том числе температуру ликвидуса, составляющую не более чем 2300°F (1221,11°C), не более чем 2250°F (1232,22°C), не более чем 2232°F (1222,22°C), не более чем 2225°F (1218,33°C) и не более чем 2220°F (1215,56°C). Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может иметь температуру ликвидуса, составляющую между 2200°F (1204,44°C) и 2300°F (1221,11°C) или между 2210°F (1210°C) и 2235°F (1223,89°C).

[00049] Третье волокнообразующее свойство представляет собой значение «ΔT» или «дельта T», которое определяется как разность между температурой волокнообразования и температурой ликвидуса. Если значение ΔT является чрезмерно малым, то расплавленное стекло может кристаллизоваться внутри волокнообразующего устройства и вызывать нарушение производственного процесса. Желательное значение ΔT является максимально большим, насколько это возможно, для данной вязкости при волокнообразовании, потому что это обеспечивает более высокую степень гибкости в процессе волокнообразования и способствует предотвращению расстекловывания как в стеклораспределительной системе, так и в волокнообразующем устройстве. Кроме того,

большое значение ΔT сокращает стоимость производства стеклянных волокон посредством обеспечения более продолжительного периода эксплуатации насадка и менее чувствительного процесса волокнообразования.

[00050] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может иметь значение ΔT , составляющее по меньшей мере 40°C , в том числе по меньшей мере 55°C , по меньшей мере 60°C , по меньшей мере 70°C , по меньшей мере 75°C , по меньшей мере 80°C и по меньшей мере 90°C . Согласно разнообразным примерным вариантам осуществления стеклянная композиция имеет значение ΔT , составляющее между 40°C и 90°C , в том числе между 50°C и 85°C и между 70°C и 80°C .

[00051] Стеклянная композиция может содержать от около 56,0 до около 62,0% по массе SiO_2 , от около 17,0 до около 24,0% по массе Al_2O_3 , от около 9,0 до около 13,0% по массе MgO , от около 7,0 до около 11,0% по массе CaO , от около 0,0 до около 1,0% по массе Na_2O , от 0 до около 2,0% по массе TiO_2 , от 0 до около 1,5% по массе Fe_2O_3 и от около 0,2% до около 1,0 по массе Li_2O .

[00052] Преимущественно соотношение (R1) суммарного массового процентного содержания оксида алюминия и оксида магния и суммарного массового процентного содержания диоксида кремния и оксида кальция $(\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{SiO}_2+\text{CaO})$ составляет по меньшей мере 0,47, в том числе по меньшей мере 0,48, и по меньшей мере 0,49. Соотношение R1, составляющее по меньшей мере 0,47, обеспечивает, что получаемое в результате стекловолокно демонстрирует достаточно высокий модуль упругости.

[00053] Согласно некоторым примерным вариантам осуществления соотношение (R2) суммарного массового процентного содержания MgO , Al_2O_3 и Li_2O и суммарного массового процентного содержания CaO , SiO_2 , Na_2O и K_2O $(\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Li}_2\text{O})/(\text{CaO}+\text{SiO}_2+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ составляет более чем 0,46, в том числе по меньшей мере 0,47, по меньшей мере 0,48, по меньшей мере 0,49 и по меньшей мере 0,50.

[00054] Согласно любому из примерных вариантов осуществления соотношение (R3) массового процентного содержания MgO и массового процентного содержания SiO_2 составляет выше 0,175, в том числе выше 0,18, выше 0,19 или выше 0,20.

[00055] Стеклянная композиция согласно настоящему изобретению может иметь любое сочетание соотношений R1, R2 и R3, хотя стеклянная композиция, которая удовлетворяет каждому из представленных соотношений, имеет достаточно высокие значения модуля упругости, удельного модуля упругости и ΔT без увеличения температуры волокнообразования выше 1300°C . Указанные соотношения также обеспечивают значительное увеличение прочности при растяжении после изготовления.

[00056] Стеклянная композиция содержит по меньшей мере 57% по массе, но не более чем 62% по массе SiO_2 . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит по меньшей мере или более чем 57,1% по массе, в том числе по меньшей мере или более чем 57,25% по массе, по меньшей мере или более чем 57,3% по массе, по меньшей мере или более чем 57,5% по массе, по меньшей мере или более чем 57,7% по массе и по меньшей мере или более чем 58,0% по массе SiO_2 . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит не более чем 60,5% по массе, в том числе не более чем 60,3% по массе, не более чем 60,2% по массе, не более чем 60% по массе, не более чем 59,8% по массе и не более чем 59,5% по массе SiO_2 . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит от 57,15% по массе до менее чем 59% по массе SiO_2 .

[00057] Для одновременного достижения желательных механических и волокнообразующих свойств согласно одному важному аспекту стеклянная композиция содержит Al_2O_3 в концентрации, составляющей по меньшей мере 19,0% по массе и не более чем 25,0% по массе. Содержание менее чем 19,0% по массе Al_2O_3 способствует образованию стеклянного волокна, имеющего неблагоприятно низкий модуль упругости. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит по меньшей мере 19,5% по массе, в том числе по меньшей мере 19,7% по массе, по меньшей мере 20,0% по массе, по меньшей мере 20,05% по массе, по меньшей мере 20,1 и по меньшей мере 20,3% по массе Al_2O_3 . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит не более чем 22,0% по массе, в том числе не более чем 21,8% по массе, не более чем 21,6% по массе, не более чем 21,2% по массе, не более чем 21,1% по массе и не более чем 21,0% по массе Al_2O_3 . Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может содержать от 20,0% по массе до менее чем 21,0% по массе Al_2O_3 . Содержание Al_2O_3 в более высоких концентрациях усиливает склонность к кристаллизации.

[00058] Стеклянная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 8,0% по массе и не более чем 15,0% по массе MgO . Содержание более чем 15,0% по массе MgO будет приводить к повышению температуры ликвидуса, что также усиливает склонность к стеклу к кристаллизации. Содержание менее чем 8,0% по массе MgO приводит к образованию стеклянного волокна, имеющего неблагоприятно низкий модуль упругости, в случае замещения CaO и к неблагоприятному увеличению вязкости в случае замещения SiO_2 . Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянная композиция может содержать по меньшей мере 9,5% по массе MgO , в том числе по меньшей мере 10,0% по массе, по меньшей мере 10,5% по массе, по меньшей мере 11,0% по массе, по

меньшей мере 11,10% по массе и по меньшей мере 11,50% по массе MgO. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать не более чем 12,5% по массе, в том числе не более чем 12,0% по массе, не более чем 11,9% по массе или не более чем 11,8% по массе MgO. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать MgO в концентрации, составляющей между 10,5% по массе и менее чем 12,0% по массе.

[00059] стекланная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 7,0% по массе и не более чем 12,0% по массе CaO. Содержание более чем 12,0% по массе CaO приводит к образованию стекла, имеющего низкий модуль упругости. Содержание менее чем 7,0% по массе CaO будет приводить к неблагоприятному увеличению температуры ликвидуса или вязкости в зависимости от того, какой оксид будет замещать CaO. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать по меньшей мере 7,15% по массе, в том числе по меньшей мере 7,4% по массе, по меньшей мере 7,7% по массе, по меньшей мере 8,0% по массе и по меньшей мере 8,2% по массе CaO. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать не более чем 11,5% по массе, в том числе не более чем 10,0% по массе, не более чем 9,8% по массе, не более чем 9,5% по массе и не более чем 9,0% по массе CaO. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать CaO в концентрации, составляющей между 7,9% по массе и менее чем 9,0% по массе.

[00060] Согласно любому из примерных вариантов осуществления суммарное количество SiO₂, Al₂O₃, MgO и CaO может составлять по меньшей мере 98,0% по массе или по меньшей мере 99% по массе и не более чем 99,5% по массе. Согласно любому из примерных вариантов осуществления суммарное количество SiO₂, Al₂O₃, MgO и CaO может составлять между 97,5% по массе и менее чем 99,5% по массе, в том числе между 98,0% по массе и менее чем 99,0% по массе и между 98,05% по массе и 98,8% по массе.

[00061] Стекланная композиция содержит Li₂O в количестве от около 0,1% по массе вплоть до около 2,0% по массе. В присутствии Li₂O уменьшается температура волокнообразования стекланной композиции, и увеличивается модуль упругости изготовленных из нее стекланных волокон. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать от около 0,2% по массе до около 1,0% по массе, в том числе от около 0,4% по массе до около 0,8% по массе и от около 0,45 до около 0,7% по массе Li₂O. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стекланная композиция может содержать более чем 0,45% по массе и менее чем 0,8% по массе Li₂O.

[00062] Стеклоанная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе TiO_2 . Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклоанная композиция может содержать от около 0,05% по массе до около 1,5% по массе, в том числе от около 0,4% по массе до около 1,0% по массе и от около 0,5 до около 0,7% по массе TiO_2 .

[00063] Стеклоанная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе Fe_2O_3 . Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклоанная композиция может содержать около 0,05% по массе до около 1,0% по массе, в том числе от около 0,2% по массе до около 0,8% по массе и от около 0,3 до около 0,6% по массе Fe_2O_3 .

[00064] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклоанная композиция может содержать менее чем 2,0% по массе, в том числе между 0 и 1,5% по массе оксидов щелочных металлов (Na_2O и K_2O). Стеклоанная композиция может преимущественно содержать одновременно Na_2O и K_2O в количестве, составляющем более чем 0,01% по массе для каждого оксида. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклоанная композиция может содержать от около 0 до около 1,0% по массе, в том числе от около 0,01 до около 0,5% по массе, от около 0,03 до около 0,3% по массе и от около 0,04 до около 0,1% по массе Na_2O . Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклоанная композиция может содержать от около 0 до около 1% по массе, в том числе от около 0,01 до около 0,5% по массе, от около 0,03 до около 0,3% по массе, и от около 0,04 до около 0,2% по массе K_2O .

[00065] При упоминании в настоящем документе термины «массовое процентное содержание», «% по массе», «мас.%» и «процент по массе» могут быть использованы взаимозаменяемым образом и означают массовое процентное содержание (или процентное содержание по массе) по отношению к полной массе композиции.

[00066] В стеклоанных композициях согласно настоящему изобретению могут отсутствовать или практически отсутствовать B_2O_3 , SrO и фтор, хотя любой ингредиент может быть добавлен в небольшом количестве для регулирования волокнообразования и свойств конечного стекла, и он не будет производить неблагоприятного воздействия на свойства, если его содержание сохраняется на уровне ниже нескольких процентов. При упоминании в настоящем документе практическое отсутствие B_2O_3 , SrO и фтора означает, что суммарное содержание присутствующих B_2O_3 , SrO и фтора составляет менее чем 1,0% по массе по отношению к массе композиции. Суммарное содержание присутствующих B_2O_3 , SrO и фтора может составлять менее чем около 0,5% по массе, в том числе менее чем около 0,2% по массе, менее чем около 0,1% по массе и менее чем около 0,05% по массе по отношению к массе композиции.

[00067] Стекланные композиции могут дополнительно содержать примесные и/или следовые компоненты, которые не производят неблагоприятного воздействия на стекла или волокна. Указанные примеси могут поступать в стекло в качестве примесей, присутствующих в исходном материале, или они могут представлять собой продукты, которые образуются в результате химической реакции расплавленного стекла с материалами печи. Неограничительные примеры следовых компонентов представляют собой цинк, стронций, барий и их сочетания. Следовые компоненты могут присутствовать в соответствующих оксидных формах и могут дополнительно содержать фтор и/или хлор. Согласно любому из примерных вариантов осуществления настоящего изобретения стеклнная композиция может содержать менее чем 1,0% по массе, в том числе менее чем 0,5% по массе, менее чем 0,2% по массе и менее чем 0,1% по массе каждого из оксидов BaO, SrO, ZnO, ZrO₂, P₂O₅ и SO₃. В частности, стеклнная композиция может содержать менее чем около 5,0% по массе суммы оксидов BaO, SrO, ZnO, ZrO₂, P₂O₅ и/или SO₃, причем в случае своего присутствия каждый из оксидов BaO, SrO, ZnO, ZrO₂, P₂O₅ и SO₃ присутствует в количестве, составляющем менее чем 1,0% по массе.

[00068] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклнные композиции могут содержать менее чем 2,0% по массе следующих модифицирующих компонентов (в сумме): CeO₂, Li₂O, Fe₂O₃, TiO₂, WO₃ и Bi₂O₃. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклнные композиции могут содержать менее чем 1,5% по массе модифицирующих компонентов.

[00069] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклнная композиция может содержать менее чем 1,0% по массе, в том числе между 0 и 0,9% по массе или между 0 и 0,5% по массе оксидов редкоземельных элементов Y₂O₃, Ga₂O₃, Sm₂O₃, Nd₂O₃, La₂O₃, Ce₂O₃ и Sc₂O₃ («R₂O₃»), а также Ta₂O₅, Nb₂O₅ или V₂O₅ («R₂O₅»). Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклнной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

[00070] Как указано выше, стеклнные композиции согласно настоящему изобретению неожиданно демонстрируют баланс между низкой температурой волокнообразования и умеренными значениями модуля упругости (модуль Юнга) и прочности при растяжении, что позволяет получать стеклнные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками для применения в современных и композиционных материалах форм без необходимости изменения конфигурации таких форм на последующих стадиях процесса.

[00071] Прочность волокна при растяжении также упоминается в настоящем документе просто как «прочность». Согласно любому из примерных вариантов

осуществления прочность при растяжении измеряют, используя свежизготовленные волокна (т. е. не подвергнутые замасливанью или механической обработке изготовленные в лаборатории волокна) и прибор Instron для исследования при растяжении согласно стандарту ASTM D2343-09. Примерные стеклянные волокна, изготовленные из описанной выше стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, могут иметь прочность при растяжении волокон, составляющую по меньшей мере 4500 МПа, в том числе по меньшей мере 4600 МПа, по меньшей мере 4700 МПа, по меньшей мере 4800 МПа, по меньшей мере 4825 МПа и по меньшей мере 4850 МПа. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянные волокна, изготовленные из описанной в настоящем документе композиции, могут иметь прочность при растяжении волокон, составляющую от около 4000 до около 5000 МПа, в том числе от около 4350 МПа до около 4950 и от около 4400 до около 4900 МПа. Преимущественно сочетание параметров композиций, которые описаны в настоящем документе, делает возможным изготовление стеклянных волокон, имеющих прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа, в том числе по меньшей мере 4850 МПа, при сохранении желательных свойств волокнообразования и умеренного модуля упругости.

[00072] Модуль упругости стеклянного волокна может быть определен посредством получения средних результатов измерений пяти одиночных стеклянных волокон, измеряемых в соответствии с процедурой акустических измерений, описанной в отчете «Стеклянные волокна и средства их измерения в артиллерийско-технической лаборатории ВМФ США», отчет № NOLTR 65-87 от 23 июня 1965 г.

[00073] Примерные стеклянные волокна, изготовленные из стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, могут иметь умеренно высокий модуль упругости (модуль Юнга), составляющий между около 90 ГПа и около 92 ГПа. Важно поддерживать умеренный модуль упругости, который не превышает 92 ГПа, для обеспечения возможности применения стеклянных волокон в существующих композиционных формах, что способствует снижению стоимости стеклянной композиции согласно настоящему изобретению. Когда модуль упругости превышает 92 ГПа, новые композиционные формы оказываются желательными для увеличения размера и других параметров композиционного материала. Однако целевой модуль упругости, составляющий между 90 и 92 ГПа, обеспечивает улучшенные эксплуатационные характеристики композиционных материалов в пределах действующих технических условий для форм. Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянные волокна, изготовленные в соответствии с настоящей заявкой, могут иметь модуль упругости, составляющий по меньшей мере 90,5 ГПа, в том числе по меньшей мере 90,6 ГПа, по меньшей мере 90,8 ГПа, по меньшей мере

91,0 ГПа, по меньшей мере 91,2 ГПа. Согласно любому из примерных вариантов осуществления примерные стеклянные волокна, изготовленные из стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, могут иметь модуль упругости, составляющий между около 90,2 ГПа и около 92 ГПа, в том числе между около 90,5 ГПа и около 91,9 ГПа и между около 90,7 ГПа и около 91,8 ГПа.

[00074] После этого модуль упругости может быть использован для определения удельного модуля упругости. Оказывается желательным, чтобы удельный модуль упругости принимал наиболее высокое значение, насколько это возможно, для получения имеющего низкую плотность композиционного материала, который увеличивает жесткость конечного изделия. Удельный модуль упругости имеет большое значение в таких приложениях, в которых жесткость изделия представляет собой важный параметр, например, в ветряной энергетике и аэрокосмических приложениях. При использовании в настоящем документе удельный модуль упругости вычисляют по следующему уравнению:

удельный модуль упругости (МДж/кг) = модуль упругости (ГПа) / плотность (кг/куб. м)

[00075] Примерные стеклянные волокна, изготовленные из стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, могут иметь удельный модуль упругости, составляющий от около 32,0 МДж/кг до около 37,0 МДж/кг, в том числе от около 33 МДж/кг до около 36 МДж/кг и от около 34,0 МДж/кг до около 35,0 МДж/кг.

[00076] Плотность может быть измерена с применением любого метода, известного и общепринятого в технике, такого как метод Архимеда согласно стандарту ASTM C693-93 (2008), для стеклянной массы, не подвергнутой отжигу. Стеклянные волокна имеют плотность, составляющую от около 2,0 до около 3,0 г/см³. В частности, согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянные волокна могут иметь плотность, составляющую от около 2,45 до около 2,8 г/см³, в том числе от около 2,40 до около 2,75 г/см³, от около 2,50 до около 2,70 г/см³ и от около 2,60 до около 2,68 г/см³.

[00077] Согласно любому из примерных вариантов осуществления стеклянные волокна, изготовленные из стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, могут иметь повышенное сопротивление коррозии.

[00078] Согласно некоторым примерным вариантам осуществления предложен способ изготовления стеклянных волокон из стеклянной композиции, которая описана выше. Стеклянные волокна могут быть изготовлены с применением любых средств, которые известны и традиционно используются в технике. Стеклянные волокна изготавливают посредством получения исходных ингредиентов и смешивания ингредиентов в соответствующих количествах с достижением желательного массового

процентного содержания ингредиентов в конечной композиции. Способ может дополнительно включать получение стеклянной композиции согласно настоящему изобретению в расплавленной форме и вытягивание расплавленной композиции через отверстия в насадке с образованием стеклянного волокна.

[00079] После этого смешанная шихта может быть подвергнута плавлению в печи или стекловаренной печи, и получаемое в результате расплавленное стекло пропускают через канал питателя и выпускают через отверстия в насадке, расположенной в нижней части канала питателя с образованием индивидуальных стеклянных волокон. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления печь или стекловаренная печь представляет собой традиционную огнеупорную стекловаренную печь. В результате применения огнеупорного резервуара, изготовленного из огнеупорных блоков, могут быть сокращены производственные расходы, связанные с изготовлением стеклянных волокон, производимых из композиции согласно настоящему изобретению. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления насадка представляет собой насадку из сплава на основе платины. После этого нити из стеклянных волокон могут быть изготовлены посредством сбора друг с другом индивидуальных волокон. Волоконные нити можно наматывать и подвергать дополнительной обработке традиционным способом, подходящим для заданного применения.

[00080] Рабочие температуры стекла в стекловаренной печи, канале питателя и насадке могут быть выбраны в целях соответствующего регулирования вязкости стекла, и их можно поддерживать с применением подходящих способов, например, с применением регулирующих устройств. Температуру на переднем конце стекловаренной печи можно автоматически регулировать, чтобы сокращать или устранять расстекловывание. После этого расплавленное стекло можно пропускать (вытягивать) через отверстия или фильерные отверстия в нижней части или концевой пластины насадки с образованием стеклянных волокон. В соответствии с некоторыми примерными вариантами осуществления, потоки расплавленного стекла, которые проходят через отверстия насадки, превращают в волокна посредством наматывания нити, образованной из множества индивидуальных волокон на формовочную трубку, установленную на вращающийся фланец намоточной машины, или разрезают с регулируемой скоростью. Стеклянные волокна согласно настоящему изобретению могут быть получены любым из способов, которые описаны в настоящем документе, или любым известным способом изготовления стеклянных волокон.

[00081] Волокна могут быть подвергнуты дополнительной обработке традиционным способом, подходящим для заданного применения. Например, согласно

некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна замасливают с применением замасливающей композиции, известной специалистам в данной области техники. Замасливающая композиция не ограничивается никаким образом и может представлять собой любую замасливающую композицию, подходящую для нанесения на стеклянные волокна. После замасливания волокна могут быть использованы для армирования подложек, таких как разнообразные пластмассы, когда для конечного применения изделия требуются высокая прочность и жесткость и низкая плотность. Такие применения представляют собой, но не ограничиваются этим, тканые полотна для применения в изготовлении лопастей ветряных турбин; объекты инфраструктуры, такие как армированные бетонные конструкции, мосты и т. д.; а также аэрокосмические конструкции.

[00082] В данном отношении согласно любому из примерных вариантов осуществления настоящего изобретения может присутствовать композиционный материал, содержащий стеклянные волокна согласно настоящему изобретению, которые описаны выше, в сочетании с отверждающимся матричным материалом. Такое изделие также может упоминаться в настоящем документе как армированное композиционное изделие. В качестве матричного материала может присутствовать любая подходящая термопластическая или термореактивная смола, известную специалистам в данной области техники, такой как, но без ограничения, термопластический материал, такой как сложный полиэфир, полипропилен, полиамид, полиэтилентерефталат и полибутилен, а также термореактивная смола, такая как эпоксидная смола, ненасыщенный сложный полиэфир, фенольная смола, сложный эфир винилового спирта и эластомер. Указанная смола может быть использована индивидуально или в сочетании. Армированное композиционное изделие может находить применение в изготовлении композиционных изделий, таких как лопасти ветряных турбин, арматурный профиль, труба, волоконная обмотка, муфельный наполнитель, звукопоглощающий материал и т. д.

[00083] В соответствии со следующими примерными вариантами осуществления настоящего изобретения, предложен способ изготовления композиционного изделия, которое описано выше. Способ может включать объединение по меньшей мере одного полимерного матричного материала и множества стеклянных волокон. Как полимерный матричный материал, так и стеклянные волокна могут быть такими, как описано выше.

Примеры

[00084] Примерные стеклянные композиции согласно настоящему изобретению получали в результате смешивания компонентов шихты в пропорциональных количествах

с получением конечной стеклянной композиции, для которой массовое процентное содержание оксидов представлено ниже в таблицах 1-2.

[00085] Исходные материалы плавил в платиновом тигле в электрической нагревательной печи при температуре 1650°C в течение 3 часов.

[00086] Температуру волокнообразования измеряли с применением метода вращающегося цилиндра согласно описанию в стандарте ASTM C965-96 (2007), озаглавленном «Стандартная практика измерения вязкости стекла выше температуры размягчения», содержание которого включено посредством ссылки в настоящий документ. Температуру ликвидуса измеряли в результате воздействия на стекло температурного градиента в лодочке из сплава на основе платины в течение 16 часов согласно описанию в стандарте ASTM C829-81 (2005), озаглавленном «Стандартная практика измерения температуры ликвидуса стекла», содержание которого включено посредством ссылки в настоящий документ. Плотность измеряли методом Архимеда согласно подробному описанию в стандарте ASTM C693-93 (2008), озаглавленном «Стандартный метод измерения плотности стекла по выталкивающей силе», содержание которого включено посредством ссылки в настоящий документ.

[00087] Удельный модуль упругости вычисляли в результате деления измеренного модуля упругости (или модуля Юнга), выраженного в гигапаскалях, на плотность, выраженную в г/см³.

[00088] Прочность при растяжении измеряли для свежеизготовленных волокон с применением прибора Instron для измерения при растяжении согласно описанию в стандарте ASTM D2343-09, озаглавленном «Стандартный метод исследования свойств при растяжении стекловолоконных нитей, пряжей и ровниц, используемых в армированных пластмассах», содержание которого включено посредством ссылки в настоящий документ.

Таблица 1

Компонент	Пример 1 (% по массе)	Пример 2 (% по массе)	Пример 3 (% по массе)	Пример 4 (% по массе)	Пример 5 (% по массе)
SiO ₂	58,07	57,87	57,67	57,87	57,87
Al ₂ O ₃	20,00	20,20	20,40	20,20	20,20
MgO	11,3	11,3	11,3	11,6	11,1
CaO	8,5	8,5	8,5	8,2	8,7
Li ₂ O	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Fe ₂ O ₃	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
K ₂ O	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Na ₂ O	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
TiO ₂	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

R1: (MgO+Al ₂ O ₃) / (CaO+SiO ₂)	0,470	0,475	0,479	0,481	0,470
R2: (MgO+Al ₂ O ₃ +Li ₂ O) / (CaO+SiO ₂ +Na ₂ O+K ₂ O)	0,473	0,478	0,482	0,484	0,473
R3: MgO/SiO ₂	0,195	0,159	0,196	0,200	0,191
Свойство					
Температура волокнообразования (°C)	1277	1278	1278	1275	1278
Температура ликвидуса (°C)	1217	1223	1226	1224	1211
ΔT (°C)	59	56	52	51	66
Плотность (г/см ³)	2,6197	2,6203	2,623	2,6198	2,6221
Модуль упругости (ГПа)	91,0	91,1	91,2	91,0	91,1
Удельный модуль упругости (МДж/кг)	34,7	34,8	34,8	34,7	34,7
Прочность при растяжении (МПа)	4804	4813	4821	4823	4806

Таблица 2

Компонент	Пример 6 (% по массе)	Пример 7 (% по массе)	Пример 8 (% по массе)	Пример 9 (% по массе)	Пример 10 (% по массе)
SiO ₂	58,75	58,26	58,01	58,51	58,16
Al ₂ O ₃	20,00	20,30	20,50	20,30	20,50
MgO	11,3	11,2	11,5	11,2	11
CaO	8,4	8,5	8,25	8,25	8,6
Li ₂ O	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Fe ₂ O ₃	0,3	0,39	0,39	0,39	0,39
K ₂ O	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1
Na ₂ O	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
TiO ₂	0,6	0,55	0,55	0,55	0,55
R1: (MgO+Al ₂ O ₃) / (CaO+SiO ₂)	0,47	0,472	0,483	0,472	0,472
R2: (MgO+Al ₂ O ₃ +Li ₂ O) / (CaO+SiO ₂ +Na ₂ O+K ₂ O)	0,470	0,477	0,488	0,477	0,477
R3: MgO/SiO ₂	0,192	0,192	0,197	0,191	0,189
Свойство					
Температура волокнообразования (°C)	1286	----	----	1286	1283
Температура ликвидуса (°C)	1222	----	----	1214	1226
ΔT (°C)	64	----	----	71	58
Плотность (г/см ³)	2,6118	----	----	2,6131	2,6159
Модуль упругости (ГПа)	91,8	91,4	91,9	91,4	91,3
Удельный модуль упругости (МДж/кг)	34,5	34,9	35	34,9	34,9
Прочность при растяжении (МПа)	4857	4900	4888	4931	4922

[00089] В таблицах 1 и 2 проиллюстрирован определенный баланс умеренного модуля упругости (между 90 и 92 ГПа) и хорошей прочности при растяжении с одновременным сохранением температуры волокнообразования ниже 1300°C, что достигается в случае стеклянных волокон, изготовленных в соответствии с идеями настоящего изобретения. В частности, для каждой из стеклянных композиций в таблицах 1 и 2 продемонстрированы соотношения (R1) (MgO+Al₂O₃)/(CaO+SiO₂), составляющие по меньшей мере 0,47, соотношение (R2) (MgO+Al₂O₃+Li₂O)/(CaO+SiO₂+Na₂O+K₂O),

составляющее более чем 0,46, и соотношение (R3) (MgO/SiO_2), составляющее по меньшей мере 0,19.

[00090] В другой стороны, в приведенной ниже таблице 3 представлены сравнительные примеры из европейской заявки № 10860973.6. Как представлено, в примерных сравнительных композициях не обеспечено ни одно из соотношений R1, R2 и R3, в результате чего температуры волокнообразования превышают $1300^{\circ}C$, а значения модуля упругости превышают 92 ГПа. Стеклянная композиция согласно настоящему изобретению обеспечивает баланс умеренного модуля упругости (между 90 и менее чем 92 ГПа) и хорошей прочности при растяжении с низкой температурой волокнообразования.

Таблица 3

Компонент	Сравнительный пример 1 (% по массе)	Сравнительный пример 2 (% по массе)	Сравнительный пример 3 (% по массе)	Сравнительный пример 4 (% по массе)
SiO ₂	59,87	58,62	58,3	58,05
Al ₂ O ₃	21,53	21,2	21,08	20,99
MgO	9,08	10,14	10,14	7,83
CaO	7,8	8,74	8,74	10,92
Na ₂ O	1,5	1,07	1,5	1,07
TiO ₂	0,03	0,03	0,03	0,83
Fe ₂ O ₃	0,16	0,18	0,18	0,31
R1: $(MgO+Al_2O_3) / (CaO+SiO_2)$	0,452	0,463	0,465	0,417
R2: $(MgO+Al_2O_3+Li_2O) / (CaO+SiO_2+Na_2O+K_2O)$	0,443	0,458	0,456	0,411
R3: MgO/SiO_2	0,151	0,172	0,174	0,135
Свойство				
Температура волокнообразования ($^{\circ}C$)	1372	1333	1330	1341
Температура ликвидуса ($^{\circ}C$)	1260	1257	1265	1298
ΔT ($^{\circ}C$)	112	76	65	43
Плотность (г/см ³)	2,57	2,6	2,59	2,6
Модуль упругости (ГПа)	92,4	94,9	94,2	93,0
Прочность при растяжении (МПа)	4780	4773	4685	---
Удельный модуль упругости (МДж/кг)	34,2	34,2	34,2	35,76

[00091] Настоящее изобретение согласно данной заявке описано выше как в общем плане, так и в отношении конкретных вариантов осуществления. Хотя настоящее изобретение представлено в таком виде, который считается предпочтительным вариантом осуществления, широкое разнообразие альтернатив, известных специалистам в данной области техники, можно выбирать в пределах объема общего раскрытия. Настоящее изобретение не ограничено ничем, за исключением представленной ниже формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стеклянная композиция, содержащая:

SiO₂ в количестве от 57,0 до 62,0% по массе;

Al₂O₃ в количестве от 20,0 до 25,0% по массе;

CaO в количестве от 7,0 до 9,0% по массе;

MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе;

Na₂O в количестве от 0 до 1,0% по массе;

K₂O в количестве от 0 до 0,5% по массе;

Li₂O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и

TiO₂ в количестве от 0,2 до 1,5% по массе,

причем массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$ составляет по меньшей мере 0,47, массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) составляет по меньшей мере 0,19, и стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования не более чем 1300°C.

2. Стеклянная композиция по п. 1, причем указанная композиция содержит от 57,1% по массе до менее чем 59% по массе SiO₂.

3. Стеклянная композиция по п. 1, причем указанная композиция содержит от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе CaO.

4. Стеклянная композиция по п. 1, в которой суммарное количество SiO₂, Al₂O₃, MgO и CaO составляет по меньшей мере 98% по массе и менее чем 99,5% по массе.

5. Стеклянная композиция по п. 1, причем в стеклянной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

6. Стеклянная композиция по п. 1, причем указанная композиция содержит от более чем 20% до 21% по массе Al₂O₃.

7. Стеклянная композиция по п. 1, причем композиция содержит от 0,45% до 0,8 мас.% Li₂O.

8. Стеклянная композиция по любому из пп. 1-6, причем в указанной композиции по существу отсутствует B₂O₃.

9. Стеклянная композиция по п. 1, причем композиция содержит от 0,1 до 0,8% по массе Na₂O.

10. Стеклянная композиция по п. 1, причем композиция имеет массовое процентное соотношение (R2) $(MgO+Al_2O_3+Li_2O)/(CaO+SiO_2+Na_2O+K_2O)$, которое составляет более чем 0,46.

11. Стеклянная композиция, содержащая:

SiO₂ в количестве от более чем 58,0 до 62,0% по массе;

Al₂O₃ в количестве от 20,0 до 25,0% по массе;

CaO в количестве от 7,9 до 12,0% по массе;

MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе;

Na₂O в количестве от 0 до 1,0% по массе;

K₂O в количестве от 0 до 0,5% по массе;

Li₂O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и

TiO₂ в количестве от 0,2 до 1,5% по массе,

причем массовое процентное соотношение (R2)

$(MgO+Al_2O_3+Li_2O)/(CaO+SiO_2+Na_2O+K_2O)$ составляет более чем 0,46, массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) составляет по меньшей мере 0,19, и стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования не более чем 1300°C.

12. Стеклянная композиция по п. 11, причем указанная композиция содержит от 57,1% по массе до менее чем 59% по массе SiO₂.

13. Стеклянная композиция по п. 11, причем указанная композиция содержит от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе CaO.

14. Стеклянная композиция по п. 11, в которой суммарное количество SiO₂, Al₂O₃, MgO и CaO составляет по меньшей мере 98% по массе и менее чем 99,5% по массе.

15. Стеклянная композиция по п. 11, причем в стеклянной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

16. Стеклянная композиция по п. 11, причем указанная композиция содержит от более чем 20% до 21% по массе Al₂O₃.

17. Стеклянная композиция по п. 11, причем композиция содержит от 0,45% до 0,8 мас.% Li₂O.

18. Стеклянная композиция по п. 1, причем композиция содержит от 0,1 до 0,8% по массе Na₂O.

19. Стеклянная композиция по п. 11, причем композиция имеет массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$, которое составляет по меньшей мере 0,47.

20. Стеклянное волокно, изготовленное из стеклянной композиции, содержащей:

SiO₂ в количестве от 57,0 до 62,0% по массе;

Al₂O₃ в количестве от 20,0 до 25,0% по массе;

CaO в количестве от 7,0 до 9,0% по массе;

MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе;

Na₂O в количестве от 0 до 1,0% по массе;

K_2O в количестве от 0 до 0,5% по массе;

Li_2O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и

TiO_2 в количестве от 0,2 до 1,5% по массе,

причем массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$ составляет по меньшей мере 0,47, массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) составляет по меньшей мере 0,19, стеклянная композиция имеет температуру волокнообразования не более чем $1300^{\circ}C$, и указанное стеклянное волокно имеет модуль упругости между 90 ГПа и 92 ГПа.

21. Стеклянное волокно по п. 20, причем указанное стеклянное волокно имеет плотность, которая составляет по меньшей мере $2,6 \text{ г/см}^3$.

22. Стеклянное волокно по п. 20, в котором указанная композиция содержит от 57,1% по массе до менее чем 59% по массе SiO_2 .

23. Стеклянное волокно по п. 20, в котором указанная композиция содержит от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе CaO .

24. Стеклянное волокно по п. 20, в котором суммарное количество SiO_2 , Al_2O_3 , MgO и CaO составляет по меньшей мере 98% по массе и менее чем 99,5% по массе.

25. Способ изготовления непрерывного стеклянного волокна, включающий:
получение расплавленной композиции по п. 1; и
вытягивание указанной расплавленной композиции через отверстие с образованием непрерывного стеклянного волокна.

26. Армированное композиционное изделие, содержащее;
полимерную матрицу; и
множество стеклянных волокон, изготовленных из стеклянной композиции, содержащей:

SiO_2 в количестве от 57,0 до 62,0% по массе;

Al_2O_3 в количестве от 20,0 до 25,0% по массе;

CaO в количестве от 7,0 до 9,0% по массе;

MgO в количестве от 8,0 до 12,5% по массе;

Na_2O в количестве от 0 до 1,0% по массе;

K_2O в количестве от 0 до 0,5% по массе;

Li_2O в количестве от 0,4 до 1,0% по массе; и

TiO_2 в количестве от 0,2 до 1,5% по массе,

причем массовое процентное соотношение (R1) $(MgO+Al_2O_3)/(SiO_2+CaO)$ составляет по меньшей мере 0,47, массовое процентное соотношение (R3) (MgO/SiO_2) составляет по меньшей мере 0,19, стеклянная композиция имеет температуру

волокнообразования не более чем 1300°C , и указанное стеклянное волокно имеет модуль упругости между 90 ГПа и 92 ГПа.

27. Армированное композиционное изделие по п. 26, причем указанное армированное композиционное изделие изготовлено в форме лопасти ветряной турбины.