

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046187**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

- |  |   |
|--|---|
| (45) Дата публикации и выдачи патента<br><b>2024.02.14</b> | (51) Int. Cl. <i>E04C 5/07</i> (2006.01)<br><i>B29C 70/52</i> (2006.01)<br><i>B29D 99/00</i> (2010.01)<br><i>B44C 3/00</i> (2006.01)<br><i>C03C 13/00</i> (2006.01)<br><i>C04B 14/42</i> (2006.01)<br><i>B29C 59/02</i> (2006.01) |
| (21) Номер заявки<br><b>202292200</b>                      |   |
| (22) Дата подачи заявки<br><b>2021.02.25</b>               |   |

---

**(54) ИЗДЕЛИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА**


---

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| (31) <b>62/981,760</b>  | (56) <b>WO-A1-2019209763</b> |
| (32) <b>2020.02.26</b>  |                              |
| (33) <b>US</b>  |                              |
| (43) <b>2022.11.14</b>  |                              |
| (86) <b>PCT/US2021/019571</b>   |                              |
| (87) <b>WO 2021/173776 2021.09.02</b>   |                              |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:<br><b>ОУЭНС КОРНИНГ<br/>ИНТЕЛЛЕКТУАЛ КАПИТАЛ,<br/>ЭЛЭЛСИ (US)</b>     |                              |
| (72) Изобретатель:<br><b>Прист Джэймс, Харгман Дэвид,<br/>Корвин-Эдсон Мишель, Нагараджан<br/>Мала (US)</b> |                              |
| (74) Представитель:<br><b>Нагорных И.М. (RU)</b>  |                              |

- 
- (57) Раскрыто изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости для армирования бетона, содержащее полимерную смолу и множество однонаправленных стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками. Однонаправленные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4000 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09. Изделие из композиционного материала имеет массовое содержание волокон (FWF), составляющее не более чем 88%, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205. Волокна содержат, по массе, от 55,0 до 65,0% SiO<sub>2</sub>, от 17,0 до 27,0% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, от 8,0 до 15,0% MgO, от 7,0 до 12,0% CaO, от 0,0 до 1,0% Na<sub>2</sub>O, от 0 до 2,0% TiO<sub>2</sub>, от 0 до 2,0% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и не более чем 0,5% Li<sub>2</sub>O. Также, раскрыт способ получения указанного изделия. Технический результат заключается в улучшении физических свойств изделий из композиционных материалов.
- 

**046187**  
**B1**

**046187**  
**B1**

### **Перекрестная ссылка на родственные заявки**

По настоящей заявке испрашивается приоритет и все преимущество предварительной патентной заявки США № 62/981,760, поданной 26 февраля 2020 года, содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

### **Область техники настоящего изобретения**

Настоящее изобретение относится, в общем, к изделиям из композиционных материалов и, более конкретно, к имеющим высокий модуль упругости изделиям из композиционных материалов, таким как арматурные стержни ("арматура") для бетона, которые содержат стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками.

### **Предшествующий уровень техники настоящего изобретения**

Бетон представляет собой один из наиболее распространенных строительных материалов. Он находит применение в широком разнообразии конструкций, таких как мосты, стены, полы, опоры зданий, дороги и взлетно-посадочные полосы и многие другие. Бетон обладает превосходной прочностью при сжатии, но имеет очень низкую прочность при растяжении. В результате почти всегда оказывается необходимым армирование бетонной конструкции, если эта конструкция будет подвергаться растягивающим напряжениям, например, создаваемым изгибающей нагрузкой. Традиционно это армирование обеспечивается за счет введения в бетон металла, обычно в виде стальных стержней, для повышения прочности бетонной конструкции при растяжении.

Стальная арматура в бетонных конструкциях имеет ряд недостатков по меньшей мере в определенных приложениях. Например, стальная арматура со временем подвергается коррозии под воздействием воды и солей. В процессе коррозии сталь проявляет тенденцию к расширению из-за образования слоев ржавчины, что вызывает растрескивание бетона и разрушение бетонной конструкции. Поэтому были предприняты попытки заменить стальную арматуру стержнями, хотя бы частично изготовленными из неметаллических материалов. Например, были разработаны пултрузионные композиционные армирующие материалы, содержащие термореактивную смолу, в которую встроены непрерывные волокна.

Армированные волокнами композиционные материалы, такие как композиционные арматурные стержни, как правило, содержат волокнистый армирующий материал (например, стеклянные, полимерные или углеродные волокна), внедренные в матрицу из смолы, которая представляет собой, например, полимер, такой как ненасыщенный сложный полиэфир или эпоксивиниловый сложный полиэфир. Волокнистый армирующий материал, как правило, содержит как нити или жгуты (каждый из которых содержит многочисленные волокна или нити, так и один или несколько матов или полотен из волокон.

Такие армированные волокном композиты часто получены способом пултрузии и имеют линейный или равномерный профиль. Традиционные способы пултрузии включают вытягивание пучка армирующего материала из соответствующего источника, смачивание и пропитывание волокон (предпочтительно термоотверждаемой полимерной смолой) посредством пропускания армирующего материала через ванну со смолой в открытом резервуаре, вытягивание смоченного и пропитанного смолой пучок через формовочный мундштук для выравнивания пучка волокон и придания ему надлежащей конфигурации поперечного сечения, а также отверждение смолы в форме при сохранении натяжения волокон.

Для некоторых армированных волокном композиционных материалов, таких как арматурные стержни, требуется коррозионная стойкость, и поэтому их традиционно изготавливают с использованием устойчивых к коррозии стеклянных волокон (или стеклянных волокон типа E-CR). Стеклянные волокна типа E-CR представляют собой семейство алюмосиликатных стекол, обладающих высокой устойчивостью к воде, кислотам и щелочам. Стекла типа E-CR представляют собой не содержащие бор модифицированные композиции стекла типа E с более высокой устойчивостью к кислотной коррозии, содержащие алюмосиликаты кальция и около 1% оксидов щелочных металлов. Как правило, стекла типа E-CR находят применение в тех случаях, когда необходимы прочность, электропроводность и стойкость к кислотной коррозии.

Один из примеров представляет собой не содержащие бора стеклянных волокон типа E-CR, которые продают под товарным знаком ADVANTECH® компания Owens Corning (Тоledo, штат Огайо, США). Такие не содержащие бора волокна, раскрытые в патенте США № 5,789,329, который во всей своей полноте включен в настоящий документ посредством ссылки, обеспечивают значительное улучшение рабочих температур по сравнению с борсодержащим стеклом типа E. На стеклянные волокна типа E-CR распространяется определение стандарта ASTM для стеклянных волокон типа E, предназначенных для применения в приложениях общего назначения.

Для того, чтобы изделия из композиционных материалов смогли представлять собой конкурентоспособную замену существующих стальных изделий, эти изделия из композиционных материалов должны проявлять повышенный модуль упругости и превосходную устойчивость к щелочной коррозии.

В последнее время была разработана категория стеклянных волокон, известных как стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками, в целях улучшения механических свойств стекла. Стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками обладают более высокой прочностью и жесткостью по сравнению с традиционными волокнами из стекла типа E. Термин "модуль

упругости (взаимозаменяемый с термином "модуль Юнга" означает меру жесткости волокна, которая определяет взаимосвязь между напряжением, приложенным к материалу, и деформацией, производимой в указанном 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. В частности, для некоторых изделий жесткость имеет решающее значение в целях моделирования и эксплуатационные характеристики.

Хотя стекла с высокими эксплуатационными характеристиками являются общеизвестными, такие улучшения свойств достигаются за счет эксплуатационных характеристик коррозионной стойкости. В традиционных стеклах с высокими эксплуатационными характеристиками находят применение флюсы для снижения температуры плавления и улучшения диапазона формования или значения дельта Т ("ΔT"). Известно, что эти флюсы, такие как литий, бор и фтор, производят неблагоприятное воздействие на эксплуатационные характеристики щелочной коррозии. В результате этого традиционные стекла с высокими эксплуатационными характеристиками находили ограниченное применение в арматурных стержнях. Фактически, еще не создано стекло с высокими эксплуатационными характеристиками, которое можно было бы использовать в армированных волокном композиционных материалах, для которых требуется коррозионная стойкость. Таким образом, оказывается желательной разработка армированных волокнами композиционных материалов с использованием стекла с высокими эксплуатационными характеристиками при одновременном сохранении стойкости к щелочной коррозии в целях улучшения физических свойств изделий из композиционных материалов композитных деталей, таких как арматурные стержни и лестничные перила.

#### **Сущность настоящего изобретения**

Перечисленные выше и другие задачи, признаки и преимущества настоящего изобретения становятся более понятными при рассмотрении подробного описания, которое представлено далее в настоящем документе.

Разнообразные аспекты концепций настоящего изобретения относятся к изделию из композиционного материала с высоким модулем упругости, содержащему полимерную смолу и множество однонаправленных стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками. Однонаправленные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4500 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09. Изделие из композиционного материала имеет массовое содержание волокон (FWF), составляющее не более чем 88%, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, при измерении в соответствии со стандартом ASTM D7205.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления полимерная смола выбрана из группы, которую составляют уретановые, акриловые, сложнополиэфирные, винилсложноэфирные и эпоксидные полимеры.

Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости может представлять собой арматурные стержни, перильные ограждения, столбы, трубы, поперечные балки, инженерные коммуникации, кабели, телекоммуникационные устройства, лестничные перила и подобные изделия.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления имеющий высокий модуль упругости композиционный материал содержит стеклянные волокна, которые изготовлены из композиции, в которой по существу отсутствуют  $B_2O_3$  и фтор. Согласно этим или другим вариантам осуществления в композиции отсутствует  $Li_2O$ .

Стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 90 ГПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют удельный модуль упругости (т.е. модуль упругости, нормированный на плотность), составляющий от около 32,0 МДж/кг до около 37,0 МДж/кг.

Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости, изготовленное с использованием таких стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками, имеет модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205, и может иметь одну или несколько характеристик, представляющих собой модуль упругости при изгибе, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, и модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205, в зависимости от содержания волокон и плотности.

Кроме того, разнообразные аспекты концепций настоящего изобретения относятся к способу получения изделия из композиционного материала с высоким модулем упругости, включающему вытягивание пучка однонаправленных стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками из источника исходного материала. Волокна имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4500 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09. Способ дополнительно включает пропускание пучка через ванну, содержащую полимерную смолу, получение покрытого смолой пучка; протягивание покрытого смолой пучка через формовочный мундштук; и отверждение покрытого смолой пучка, получение изделия из композиционного материала с высоким модулем упругости, имеющего массовое содержание волокон (FWF), состав-

ляющее не более чем 88%, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления полимерная смола выбрана из группы, которую составляют сложнополиэфирные, винилсложноэфирные и эпоксидные полимеры.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками изготовлены из композиции, в которой по существу отсутствуют  $B_2O_3$  и фтор. Согласно этим или другим вариантам осуществления в композиции может отсутствовать  $Li_2O$ .

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 90 ГПа.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют удельный модуль упругости, составляющий от около 32,0 МДж/кг до около 37,0 МДж/кг.

Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости, изготовленное с использованием таких стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками, имеет модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, и может проявлять одну или несколько характеристик, представляющих собой модуль упругости при изгибе, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, и модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере 50 ГПа.

#### **Краткое описание фигур**

Общие концепции настоящего изобретения, а также соответствующие варианты осуществления и преимущества более подробно описаны ниже в качестве примера со ссылкой на следующие фигуры.

На фиг. 1А и 1В проиллюстрированы диаграммы пултрузионной линии для изготовления стержней из композиционного материала согласно примерному варианту осуществления.

На фиг. 2 графически проиллюстрирован эффективный модуль упругости арматурных стержней в зависимости от массового содержания волокон из композиционных материалов, изготовленных с использованием традиционного стекла типа E-CR и стекла с высокими эксплуатационными характеристиками.

На фиг. 3А и 3В проиллюстрирован модуль упругости при изгибе для изделий из композиционных материалов, изготовленных с использованием традиционного стекла типа E-CR и стекла с высокими эксплуатационными характеристиками в ненасыщенной сложнополиэфирной и полиуретановой смолы.

На фиг. 4А и 4В иллюстрируют прочность при изгибе для изделий из композиционных материалов, изготовленных с использованием традиционного стекла типа E-CR и стекла с высокими эксплуатационными характеристиками в ненасыщенной сложнополиэфирной и полиуретановой смолы.

На фиг. 5А и 5В иллюстрируют модуль упругости при растяжении для изделий из композиционных материалов, изготовленных с использованием традиционного стекла типа E-CR и стекла с высокими эксплуатационными характеристиками в ненасыщенной сложнополиэфирной и полиуретановой смолы.

На фиг. 6А и 6В иллюстрируют прочность при межслойном сдвиге для изделий из композиционных материалов, изготовленных с использованием традиционного стекла типа E-CR и стекла с высокими эксплуатационными характеристиками в ненасыщенной сложнополиэфирной и полиуретановой смолы.

#### **Подробное описание настоящего изобретения**

Хотя общие концепции настоящего изобретения могут быть реализованы согласно вариантам осуществления в многочисленных различных формах, на фигурах проиллюстрированы и в настоящем документе подробно описаны соответствующие конкретные варианты осуществления с пониманием того, что настоящее изобретение следует рассматривать в качестве примерной реализации принципов согласно общим концепциям настоящего изобретения.

Если не определены иные условия, все технические и научные термины, используемые в настоящем документе, имеют такие значения, которые, как правило, понимает обычный специалист в области техники, к которой относятся указанные примерные варианты осуществления. Терминология, используемая в описании в настоящем документе, предназначена исключительно для представления примерных вариантов осуществления и не предназначена для ограничения примерных вариантов осуществления. Соответственно, общие концепции 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 в целях практического осуществления или испытания настоящего изобретения, предпочтительные способы и материалы описаны в настоящем документе.

При использовании в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения грамматические формы единственного числа также могут обозначать множественное число, если иные условия четко не указаны в соответствии с контекстом.

Если не указаны иные условия, все числа, выражающие количества ингредиентов, химические и молекулярные свойства, условия реакции и другие параметры, которые используются в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения, следует понимать как сопровождающиеся во всех случаях термином "приблизительно". Соответственно, если не указаны иные условия, числовые параметры, кото-

рые приведены в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения, представляют собой приближенные значения, которые могут варьироваться в зависимости от желательных свойства, которые должны быть получены согласно примерным вариантам осуществления настоящего изобретения. По меньшей мере каждый числовой параметр следует истолковывать в свете числа значащих цифр и обычных правил округления.

Несмотря на то, что числовые диапазоны и параметры, которые определяют широкий объем примерных вариантов осуществления, представляют собой приближенные значения, числовые значения, которые приведены в конкретных примерах, представлены с максимально возможной точностью. Однако любое числовое значение естественным образом содержит определенные ошибки, которые обязательно возникают в результате стандартного отклонения, обнаруживаемого в соответствующих испытательных измерениях. Каждый числовой диапазон, приведенный в описании и прилагаемой формуле настоящего изобретения, включает каждый менее широкий числовой диапазон, который находится в пределах указанного более широкого числового диапазона, как если бы все такие менее широкие числовые диапазоны были определенным образом представлены в настоящем документе. Кроме того, любое числовое значение, представленное в примерах, может быть использовано для определения верхней или нижней конечной точки более широкого композиционного диапазона, описанного в настоящем документе.

Согласно настоящему изобретению предложены армированные волокнами изделия из имеющего высокий модуль упругости композиционного материала ("композиционный материал с высоким модулем упругости"), в которых содержатся полимерная матрица и коррозионностойкое стекло с высокими эксплуатационными характеристиками для повышения эксплуатационных характеристик и экономичности, а также системы и способы получения такого композиционного материала с высоким модулем упругости. Композиционный материал с высоким модулем упругости имеет модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, при измерении в соответствии со стандартом ASTM D7205 и имеющий содержание стекла (массовое содержание волокон ("FWF")), которое составляет не более чем 85%.

Композиционный материал с высоким модулем упругости изготавливают, используя описанный ниже способ пултрузии, в котором непрерывные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками пропускают через мундштук, чтобы получить стержень, брусок или другой линейный армирующий элемент, имеющий желательное поперечное сечение. Композиционный материал с высоким модулем упругости может представлять собой подвергнутый пултрузии композиционный материал любого типа, который известен, из которого могут быть изготовлены, в частности, но без ограничения ими, арматурные стержни, перильные ограждения, столбы, трубы, поперечные балки, инженерные коммуникации, кабели, телекоммуникационные устройства, лестничные перила и подобные изделия.

Как правило, армирующий элемент присутствует в форме стержня, имеющего круглое поперечное сечение. Указанные стержни можно изготавливать в виде отрезков любой желательной длины. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стержни могут быть подвергнуты формованию (например, изогнуты) и/или соединены с другими стержнями с получением более сложных форм и конструкций.

Композиционный материал с высоким модулем упругости содержит в качестве исходного материала непрерывные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками. Термин "стеклянное волокно с высокими эксплуатационными характеристиками" означает стеклянное волокно, которое является коррозионностойким и проявляет прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4000 МПа и в некоторых случаях по меньшей мере 4500 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа. Модуль упругости стеклянного волокна может быть определен посредством вычисления среднего значения результатов измерений пяти одиночных стеклянных волокон, измеряемых в соответствии с процедурой акустического измерения, которую представляет отчет "Стеклянные волокна и измерительные устройства в артиллерийско-технической лаборатории ВМФ США (NOLTR)", номер 65-87 от 23 июня 1965 г.

В традиционных стеклах с высокими эксплуатационными характеристиками находят применение флюсы, содержащие, например литий, бор и фтор, которые, как известно, производят неблагоприятное воздействие на антикоррозионную стойкость. Напротив, в стеклянной композиции с высокими эксплуатационными характеристиками согласно настоящему изобретению  $B_2O_3$ ,  $Li_2O$  и фтор присутствуют в низком содержании или по меньшей мере по существу отсутствуют. При использовании в настоящем документе, практическое отсутствие  $B_2O_3$ ,  $Li_2O$  и фтора означает, что суммарное содержание присутствующих в композиции  $B_2O_3$ ,  $Li_2O$  и фтора составляет менее чем 1,0% по массе. Суммарное содержание присутствующих в композиции  $B_2O_3$ ,  $Li_2O$  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. Однако согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание лития может находиться на низком уровне, составляющем, например, от 0,1 до 2,0% по массе.

Неожиданно было обнаружено, что могут быть разработаны исходные материалы, представляющие собой стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками, которые имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и недостаточную антикоррозионную стойкость (проявление потери менее чем 12% гравиметрической массы после выдерживания в течение 24 часов в вызы-

вающих коррозию средах или сохранение более чем 75% прочности после выдерживания в течение 32 суток вызывающих коррозию средах) для использования в изготовлении таких изделий, как арматурные стержни из композиционного материала, в которых традиционно находят применение имеющие худшие эксплуатационные характеристики традиционные стеклянные волокна типа E-CR.

Прочность волокна при растяжении также называется в настоящем документе просто термином "прочность". Согласно некоторым примерным вариантам осуществления прочность при растяжении измеряют, используя необработанные волокна, представляющие собой нешлихтованные и необработанные волокна, изготовленные в лабораторных условиях, с применением прибора Instron для исследования при растяжении согласно стандарту ASTM D2343-09. Примерные стеклянные волокна могут иметь прочность при растяжении волокно, составляющую по меньшей мере 4500 МПа, по меньшей мере 4800 МПа, по меньшей мере 4900 МПа, по меньшей мере 4950 МПа, по меньшей мере 5000 МПа, по меньшей мере 5100 МПа, по меньшей мере 5150 МПа и по меньшей мере 5200 МПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна, изготовленные из описанной выше композиции, имеют прочность при растяжении волокна, составляющую от около 3500 до около 5500 МПа, в том числе от около 4000 МПа до около 5300 и от около 4600 до около 5250 МПа. Преимущественно стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа, в том числе по меньшей мере 4900 МПа и по меньшей мере 5000 МПа.

Стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками могут иметь модуль упругости, составляющий по меньшей мере около 85 ГПа, в том числе по меньшей мере около 88 ГПа, по меньшей мере около 88,5 ГПа, по меньшей мере около 89 ГПа и по меньшей мере около 89,5 ГПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления примерные стеклянные волокна имеют модуль упругости, составляющий от около 85 ГПа до около 95 ГПа, в том числе от около 87 ГПа до около 92 ГПа и от около 88 ГПа до около 91 ГПа. Как упомянуто выше, модуль упругости стеклянного волокна может быть определен посредством вычисления среднего значения результатов измерений пяти одиночных стеклянных волокон, измеряемых в соответствии с процедурой акустического измерения, которую представляет отчет "Стеклянные волокна и измерительные устройства в артиллерийско-технической лаборатории ВМФ США (NOLTR)", номер 65-87 от 23 июня 1965 г.

Согласно одному или нескольким примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют умеренно высокий модуль упругости, составляющий между около 90 ГПа и около 92 ГПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют 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 некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют модуль упругости, составляющий от около 90,2 ГПа до около 92 ГПа, в том числе от около 90,5 ГПа до около 91,9 ГПа и от около 90,7 ГПа до около 91,8 ГПа.

Модуль упругости затем может быть использован для определения удельного модуля упругости. Оказывается желательным, чтобы удельный модуль упругости был максимально высоким, насколько это возможно, в целях 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, таких как армирующие стержни для бетона. При использовании в настоящем документе удельный модуль упругости вычисляют согласно следующему уравнению: удельный модуль упругости (МДж/кг)=модуль упругости (ГПа)/плотность (кг/куб, м).

Стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками 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 33,5 МДж/кг до около 35,5 МДж/кг.

Плотность может быть измерена любым способом, который является известным и общепринятым в технике, такой как способ Архимеда согласно стандарту ASTM C693-93 (2008), для не подвергнутого отжигу объемного стекла. Стеклянные волокна имеют плотность, составляющую от около 2,0 до около 3,0 г/куб, см. Согласно другим примерным вариантам осуществления стеклянные волокна имеют плотность, составляющую от около 2,3 до около 2,8 г/куб, см, в том числе от около 2,4 до около 2,7 г/куб, см и от около 2,5 до около 2,65 г/куб, см.

Кроме того, стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют повышенную стойкость к щелочной коррозии. Антикоррозионная стойкость может быть количественно определена любым способом, который является известным и общепринятым в технике, в технике, такой как измерение процентной потери гравиметрической массы стеклянных волокон после выдерживания в течение 24 часов в одной из следующих сред: pH 12,88 NaOH, 10% HCl или 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Стеклянные волокна, у которых потеря гравиметрической массы составляет менее чем 12% после выдерживания в течение 24 часов, считаются обладающими повышенной антикоррозионной стойкостью. Кроме того, антикоррозионная стойкость может быть количественно определена посредством измерения процентного сохранения прочности после выдерживания в течение 32 суток в одной из следующих сред: pH 12,88 NaOH,

10% HCl или 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Стекланные волокна, сохраняющие по меньшей мере 75% прочности в сухом состоянии после выдерживания в течение 32 суток, считаются обладающими антикоррозионной стойкостью.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления диаметр исходных стекланных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками находится в пределах диапазона от 13 мкм до 35 мкм. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления диаметр исходных стекланных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками находится в пределах диапазона от 17 мкм до 32 мкм. Как правило, на исходный материал (например, стекланные волокна или углеродные волокна) нанесена шликту, которая является совместимой с матричной смолой, которая применяется для получения стержня из композиционного материала.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание стекла составляет не более чем 88 мас.% изготовленного пултрузией стержня. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание стеклнного или гибридного волокна находится в пределах диапазона от 50 мас.% до 88 мас.% изготовленного пултрузией стержня. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание стекла находится в пределах диапазона от 55 мас.% до 86 мас.%, в том числе от 58 мас.% до 85 мас.% и от 60 мас.% и 80 мас.%. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание стекла находится в диапазоне от 80 мас.% до 86 мас.% изготовленного пултрузией изделия.

Стекланные композиции.

Примерная стеклнная композиция I.

Стеклнная композиция с высокими эксплуатационными характеристиками может содержать от около 55,0 до около 65,0% по массе SiO<sub>2</sub>, от около 17,0 до около 27,0% по массе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, от около 8,0 до около 15,0% по массе MgO, от около 7,0 до около 12,0% по массе CaO, от около 0,0 до около 1,0% по массе Na<sub>2</sub>O, от 0 до около 2,0% по массе TiO<sub>2</sub>, от 0 до около 2,0% по массе Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и не более чем 0,5% по массе Li<sub>2</sub>O.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция может содержать от около 57,0 до около 62,0% по массе SiO<sub>2</sub>, от около 19,0 до около 25,0% по массе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, от около 10,5 до около 14,0% по массе MgO, от около 7,5 до около 10,0% по массе CaO, от около 0,0 до около 0,5% по массе Na<sub>2</sub>O, от 0,2 до около 1,5% по массе TiO<sub>2</sub>, от 0 до около 1,0% по массе Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и не более чем 0,1% по массе Li<sub>2</sub>O. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция имеет соотношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO, составляющее менее чем 2, и соотношение MgO/CaO, составляющее по меньшей мере 1,25.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция может содержать от около 57,5 до около 60,0% по массе SiO<sub>2</sub>, от около 19,5 до около 21,0% по массе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, от около 11,0 до около 13,0% по массе MgO, от около 8,0 до около 9,5% по массе CaO, от около 0,02 до около 0,25% по массе Na<sub>2</sub>O, от 0,5 до около 1,2% по массе TiO<sub>2</sub>, от 0 до около 0,5% по массе Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и не более чем 0,05% по массе Li<sub>2</sub>O. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция имеет соотношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO, составляющее не более чем 1,8, и соотношение MgO/CaO, составляющее по меньшей мере 1,25.

Стеклнная композиция содержит по меньшей мере 55% по массе, но не более чем 65% по массе SiO<sub>2</sub>. Содержание SiO<sub>2</sub>, составляющее более чем 65% по массе, приводит к тому, что вязкость стеклнной композиции увеличивается до неблагоприятного уровня. Кроме того, содержание SiO<sub>2</sub>, составляющее менее чем 55% по массе, увеличивает температуру ликвидуса и усиливает склонность к кристаллизации. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция содержит по меньшей мере 57% по массе SiO<sub>2</sub>, в том числе по меньшей мере 57,5% по массе, по меньшей мере 58% по массе, по меньшей мере 58,5% по массе и по меньшей мере 59% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция содержит не более чем 60,5% по массе SiO<sub>2</sub>, 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.

Для одновременного достижения желательных механических и волокнообразующих свойств один важный аспект стеклнной композиции представляет собой содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющее по меньшей мере 19,0% по массе и не более чем 27% по массе. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющее более чем 27% по массе, вызывает увеличение температуры ликвидуса стекла до уровня, превышающего температуру волокнообразования, и в результате этого получается отрицательное значение АТ. При содержании Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющем менее чем 19% по массе, образуется стеклнное волокно, имеющее неблагоприятно низкий модуль упругости. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклнная композиция имеет содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющее по меньшей мере 19,5% по массе, в том числе по меньшей мере 19,7% по массе, по меньшей мере 20% по массе, по меньшей мере 20,25% по массе и по меньшей мере 20,5% по массе.

Стеклнная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 8,0% по массе и не более чем 15% по массе MgO. Содержание MgO, составляющее более чем 15% по массе будет приводить к увеличению температуры ликвидуса, в результате чего будет также увеличиваться склонность стекла к кристаллизации. При содержании MgO, составляющем менее чем 8,0% по массе, образуется стеклнное во-

локно, имеющее неблагоприятно низкий модуль упругости в том случае, если MgO замещается CaO, и происходит неблагоприятное увеличение вязкости в том случае, если MgO замещается SiO<sub>2</sub>. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит по меньшей мере 9,5% по массе MgO, в том числе по меньшей мере 10% по массе, по меньшей мере 10,5% по массе, по меньшей мере 11% по массе, по меньшей мере 11,10% по массе, по меньшей мере 11,25% по массе, по меньшей мере 12,5% по массе, и по меньшей мере 13% по массе MgO.

Другой важный аспект стеклянной композиции согласно настоящему изобретению, который делает возможным достижение желательных механических и волокнообразующих свойств, заключается в том, что соотношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO составляет не более чем 2,0. Было обнаружено, что для стеклянных волокон, состав которых в остальных отношениях находится в аналогичных композиционных диапазонах, но у которых соотношение Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO составляет более чем 2,0, оказывается невозможным достижение прочности при растяжении, составляющей по меньшей мере 4800 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09. Согласно определенным примерным аспектам сочетание содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, составляющего по меньшей мере 19% по массе, и соотношения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO, составляющего не более чем 2, в том числе не более чем 1,9, и не более чем 1,85, делает возможным получение стеклянных волокон, имеющих желательные волокнообразующие свойства и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09.

Стеклянная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 7,0% по массе и не более чем 12% по массе CaO. При содержании CaO, составляющем более чем 12% по массе, образуется стекло, имеющее низкий модуль упругости. При содержании CaO, составляющем менее чем 7% по массе, будет происходить неблагоприятное увеличение температура ликвидуса или вязкость в зависимости от того, чем замещается CaO. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание CaO составляет по меньшей мере 8,0% по массе, в том числе по меньшей мере 8,3% по массе, по меньшей мере 8,5% по массе, по меньшей мере 8,7% по массе и по меньшей мере 9,0% по массе.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и CaO составляет по меньшей мере 98% по массе или по меньшей мере 99% по массе и не более чем 99,5% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и CaO составляет от 98,3% по массе до 99,5% по массе, в том числе от 98,5% по массе до 99,4% по массе и от 98,7% по массе и 99,3% по массе.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание MgO и CaO составляет по меньшей мере 10% по массе и не более чем 22% по массе, в том числе от 13% по массе до 21,8% по массе и от 14% по массе до 21,5% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание MgO и CaO составляет по меньшей мере 20% по массе.

Стеклянная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе TiO<sub>2</sub>. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание TiO<sub>2</sub> составляет от около 0,01% по массе до около 1,0% по массе, в том числе от около 0,1% по массе до около 0,8% по массе и от около 0,2 до около 0,7% по массе.

Стеклянная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет от около 0,01% по массе до около 1,0% по массе, в том числе от около 0,05% по массе до около 0,6% по массе и от около 0,1 до около 0,5% по массе.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание оксидов щелочных металлов Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O составляет менее чем 2,0% по массе, в том числе от 0 до 1,5% по массе. Стеклянная композиция может преимущественно содержать одновременно Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O в количестве, составляющем более чем 0,01% по массе для каждого оксида. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание Na<sub>2</sub>O составляет 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 0,1% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание K<sub>2</sub>O составляет 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 0,1% по массе.

#### Примерная стеклянная композиция II.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками изготовлены из стеклянной композиции, которая содержит по меньшей мере 57% по массе, но не более чем 62% по массе SiO<sub>2</sub>. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание SiO<sub>2</sub> составляет по меньшей мере или более чем 57,25% по массе, в том числе по меньшей мере или более чем 57,5% по массе, по меньшей мере или более чем 58% по массе, и по меньшей мере или более чем 58,25% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание SiO<sub>2</sub> составляет 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. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит от 57,5% по массе до менее чем 59% по массе SiO<sub>2</sub>.

Согласно этим или другим примерным вариантам осуществления для одновременного достижения



желательных механических и волокнообразующих свойств один важный аспект стеклянной композиции заключается в том, что содержание  $Al_2O_3$  составляет по меньшей мере 19,0% по массе и не более чем 25,0% по массе. Содержание  $Al_2O_3$ , которое составляет менее чем 19,0% по массе, способствует образованию стеклянного волокна, имеющего неблагоприятно низкий модуль упругости. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Al_2O_3$  составляет 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 и по меньшей мере 20,10% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Al_2O_3$  составляет 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% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Al_2O_3$  составляет от 20,0% по массе до менее чем 21% по массе. При более высоком содержании  $Al_2O_3$  происходит увеличение склонности к кристаллизации.

Стеклянная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 8,0% по массе и не более чем 15% по массе  $MgO$ . Содержание  $MgO$ , составляющее более чем 15% по массе будет приводить к увеличению температуры ликвидуса, и при этом также будет увеличиваться склонность стекла к кристаллизации. Содержание  $MgO$ , составляющее менее чем 8,0% по массе, приводит к образованию стеклянного волокна, имеющего неблагоприятно низкий модуль упругости, в том случае, если  $MgO$  замещается  $CaO$ , и к неблагоприятному увеличению вязкости, в том случае, если  $MgO$  замещается  $SiO_2$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянная композиция содержит по меньшей мере 9,5% по массе  $MgO$ , в том числе по меньшей мере 10% по массе, по меньшей мере 10,5% по массе, по меньшей мере 11% по массе, по меньшей мере 11,10% по массе и по меньшей мере 11,20% по массе  $MgO$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $MgO$  составляет 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. Согласно разнообразным примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $MgO$  составляет от 10,5% по массе до менее чем 12,0% по массе.

Стеклянная композиция преимущественно содержит по меньшей мере 7,0% по массе и не более чем 12% по массе  $CaO$ . Содержание  $CaO$ , составляющее более чем 12% по массе, приводит к образованию стекла, имеющего низкий модуль упругости. При содержании  $CaO$ , составляющем менее чем 7% по массе, будет неблагоприятно увеличиваться температура ликвидуса или вязкость в зависимости от того, чем замещается оксид  $CaO$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $CaO$  составляет по меньшей мере 8,0% по массе, в том числе по меньшей мере 8,1% по массе и по меньшей мере 8,2% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $CaO$  составляет 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. Согласно разнообразным примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $CaO$  составляет от 7,9% по массе до менее чем 9,0% по массе.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  и  $CaO$  составляет по меньшей мере 98% по массе или по меньшей мере 99% по массе и не более чем 99,5% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления суммарное содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  и  $CaO$  составляет от между 97,5% по массе до менее чем 99,5% по массе, в том числе от 98,0% по массе до менее чем 99,0% по массе и от 98,05% по массе до 98,8% по массе.

Стеклянная композиция может содержать  $Li_2O$  в количестве, составляющем от 0 вплоть до около 2,0% по массе. В присутствии  $Li_2O$  уменьшается температура волокнообразования стеклянной композиции, и увеличивается модуль упругости изготавливаемых из нее стеклянных волокон. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Li_2O$  составляет 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 0,5 до около 0,7% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Li_2O$  составляет от более чем 0,45% по массе до менее чем 0,8% по массе.

Стеклянная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе  $TiO_2$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $TiO_2$  составляет 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.

Стеклянная композиция может содержать вплоть до около 2,0% по массе  $Fe_2O_3$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $Fe_2O_3$  составляет от 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.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание оксидов щелочных металлов  $Na_2O$  и  $K_2O$  составляет менее чем 2,0% по массе, в том числе от 0 до 1,5% по массе. Стеклянная композиция может преимущественно содержать одновременно  $Na_2O$  и  $K_2O$  в количестве, составляющем более чем 0,01% по массе для каждого оксида. Согласно некоторым примерным

вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  составляет 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 0,1% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции содержание  $\text{K}_2\text{O}$  составляет 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.

Необязательные добавки.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные композиции, из которых изготовлены стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками, могут дополнительно содержать примеси и/или следовые материалы, которые не производят неблагоприятное воздействие на стекла или волокна. Указанные примеси могут содержаться в стекле в виде примесей в составе исходных материалов, или они могут представлять собой продукты, образующиеся в результате химической реакции расплавленного стекла с компонентами печи. Неограничительные примеры следовых материалов представляют собой цинк, стронций, барий и их сочетания. Следовые материалы могут присутствовать в соответствующих оксидных формах и могут дополнительно содержать фтор и/или хлор. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные композиции согласно настоящему изобретению содержат каждый оксид из  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{SO}_3$  в количестве, составляющем 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. В частности, стеклянная композиция может иметь суммарное содержание  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и/или  $\text{SO}_3$  в количестве, составляющем менее чем около 5,0% по массе, причем каждый из оксидов  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{SO}_3$  в случае своего присутствия содержится в количестве, составляющем менее чем 1,0% по массе.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные композиции, из которых изготовлены стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками содержат в суммарном количестве, составляющем менее чем 2,0 мас.%, следующие модифицирующие компоненты:  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные композиции содержат менее чем 1,5 мас.% модифицирующих компонентов.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стеклянные композиции, из которых изготовлены стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками содержат менее чем 1,0% по массе оксидов редкоземельных элементов:  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  и  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (" $\text{R}_2\text{O}_3$ "), а также оксидов  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  или  $\text{V}_2\text{O}_5$  (" $\text{R}_2\text{O}_5$ "), в том числе от 0 до 0,9% по массе или от 0 до 0,5% по массе. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления в стеклянной композиции отсутствуют оксиды редкоземельных элементов.

При упоминании в настоящем документе термины "массовое процентное содержание", "% по массе", "мас.%" и "проценты по массе" могут быть использованы взаимозаменяемым образом и означают массовое процентное содержание (или проценты по массе) по отношению к полной массе композиции.

Смоляное связующее вещество.

Исходные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками удерживаются друг с другом посредством смоляного связующего вещества (также называемого термином "матричная смола), которое после отверждения, как описано ниже, фиксирует волокна по отношению друг к другу, и образуется композиционный материал с высоким модулем упругости. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления смоляное связующее вещество содержит одну или несколько из сложнополиэфирных (PE) смол, винилсложноэфирных (VE) смол, акриловых смол, уретановых смол и эпоксидных (EP) смол, которые представляют собой традиционно используемые матричные смолы или связующие вещества для образования полимерных композиционных материалов. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления смоляное связующее вещество содержит одну из винилсложноэфирной смолы и эпоксидной смолы. Поскольку композиционные материалы часто находят применение в качестве армирования в агрессивных или иных вызывающих коррозию средах, таких как прибрежная морская вода, выбор смолы, которая может сохраняться в такой среде, представляет собой важный фактор в проектировании.

Было обнаружено, что имеет большое значение надлежащая рецептура или модификация винилсложноэфирной смолы. Например, в небольших количествах добавки уретана или новолака или взаимопроницающая сетка акриловой или другой реакционноспособной мономерной модификации стирола может дополнительно повышать антикоррозионную стойкость. Высокая антикоррозионная стойкость может быть дополнительно повышена посредством удаления смолы с обогащенной смолой поверхностью стержня и/или нанесения гидратированного ингибитора, такого как акрилат, винилхлорид, октилсилан и/или силилированный полиазамида. Такие добавки взаимодействуют с бетоном, например, в качестве защиты для дополнительного повышения антикоррозионной стойкости композиционного материала и границы раздела с бетоном.

Кроме того, могут присутствовать и другие добавки, такие как, например, соли каприловой кислоты и N,N-диметилаэтанолamina, морфолина или родственных аминов, которые представляют собой эффективные ингибиторы поверхностной коррозии, которые могут быть нанесены в качестве покрытия на арматурные стержни в целях создания на бетоне улучшенной связующей границы раздела. Кроме того,

могут быть нанесены и другие мигрирующие вещества, которые проявляют свое действие в течение инициирования трещин в бетоне на границе раздела арматурных стержней в целях блокирования дальнейшей коррозии. Кроме того, определенные компоненты шликты на границе раздела стеклянных волокон, такие как одно или несколько веществ из солей акриловой кислоты, тетрафторбората натрия или аммония, или сшивающие вещества, такие как пентаэритрит или итаконовая кислота, или сильные сшивающие вещества, такие как силан/силанол, например, октилсилан, образуют устойчивый пассивирующий слой или способны взаимодействовать с поликонденсированными силикатами на поверхности стекла в целях блокирования или ингибирования воды и поступления щелочи в модифицированный слой на границе раздела. Граница раздела между стеклом и модифицированным слоем является более эффективной, чем немодифицированное стекло в предотвращении поступления воды. На подвижность воды в немодифицированном и модифицированном стекле оказывают значительное влияние химические взаимодействия с твердой фазой. В условиях насыщения диоксида кремния перестроенный модифицированный слой достигает равновесия с растворами в объеме и порах, и скорость остаточной коррозии уменьшается в значительной степени вследствие ограничивающего транспорт эффектов вблизи поверхности стекла. Идеальные условия для устойчивого пассивирующего слоя, как правило, представляют собой температура, составляющая менее чем 90°C, значение pH в диапазоне от 7 до 9,5 и насыщенный диоксидом кремния раствор, что является оптимальным для гидратации бетона на границе раздела между связующим веществом и арматурным стержнем.

Дополнительные добавки могут представлять собой многофункциональные наполнители для разнообразных целей, такие как обеспечение привлекательного цвета и внешнего вида поверхности, улучшение характеристик адгезии/когезии для прочности и жесткости, уменьшение усадки, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, антикоррозионная стойкость и однородность консолидации с соответствующими допусками деталей. Примерные наполнители могут представлять собой технический углерод, черный пигмент на основе оксидов железа, тригидроксид алюминия, карбонат кальция, соли металлов и жирных кислот, в том числе стеараты цинка и кальция, а также глина, такая как каолиновая глина. Конкретные физические и функциональные свойства наполнителя, а также количество наполнителя в изделии из композиционного материала можно регулировать для достижения желательной характеристики или функциональной цели.

Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости может содержать наполнитель в количестве, составляющем от около 0 до 20 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции, в том числе от около 3 до около 16 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции, от около 5 до около 13 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции и от около 6 до около 10 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости содержит наполнитель в количестве, составляющем от 10 до 16 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления содержание наполнителя на основе глины в количестве, составляющем около 5-10 мас.ч. на 100 мас.ч. композиции, в изделии из винилсложноэфирного композиционного материала с высоким модулем упругости и содержанием стекла, составляющим 71% по объему, обеспечивает повышенную однородность консолидации и уменьшение усадки при одновременном сохранении прочности при растяжении, измеряемой согласно стандарту ASTM-D7205 и составляющей более чем 1000 МПа и в некоторых случаях более чем 1200 МПа.

Способ пултрузии.

Композиционный материал с высоким модулем упругости согласно настоящему изобретению изготавливают, используя способ пултрузии. Способ пултрузии осуществляют с применением пултрузионной линии, системы и т.д. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления способ пултрузии используют, чтобы изготавливать арматурный стержень из композиционного материала. Как представлено на фиг. 1А и 1В, пултрузионную линию 400 согласно примерному варианту осуществления может быть использована, чтобы изготавливать арматурный стержень 490 из композиционного материала. Пултрузионную линию 400 составляют питающий модуль 410, полимерная ванна 420, необязательное поточное намоточное устройство 430, одно или несколько предварительных формовочных приспособлений 440, один или несколько мундштуков 450, управляющая станция 460, вытягивающая секция 470 и режущая секция 480. Как подробно описано ниже, также может присутствовать станция поверхностной обработки (не проиллюстрированная). Поверхность обработки может происходить до и/или после разрезания изготовленных пултрузией стержней в режущей секции 480.

Пултрузионная линия 400 обеспечивает, что исходный материал (например, стеклянное волокно) и его соответствующая обработка тщательно регулируются в отношении содержания волокна, состава смолы, пропитывания смолой, структуры волокна, выравнивания посредством предварительного формовочного приспособления, высушивания и нагревания, смачивания, пропитывания, консолидации и отверждения с получением непрерывного стержня.

Питающий модуль 410 направляет в процесс пултрузии исходный материал, например, собранные ровинги 402 из стеклянных волокон 404, например, ровинги Type 30®, которые поставляет компания Owens Corning (Толедо, штат Огайо, США), находящиеся на катушечной раме 406 или аналогичном уст-

ройстве. Ровинги 402 могут представлять собой одноволоконные ровинги и/или многоволоконные ровинги.

Согласно одному примерному варианту осуществления в питающем модуле 410, как представлено на фиг. 1А и 1В, используются многоволоконные ровинги 402 в зависимости от желательного диаметра стержня. Конец каждого ровинга 402 поступает в полимерную ванну 420 в направлении пултрузии, которое обозначено стрелкой 408.

Согласно этому варианту осуществления волокна 404 поступают через клетка 412 или другая конструкция, таким образом, что волокна 404 зацепляют находящиеся в ней балки 414. Балки 414 придают первоначальное натяжение волокнам 404 в процессе их пропускания через клетку 412. Кроме того, клетка 412 своим действием инициирует расположение концов волокон 404 и приближает их друг к другу перед пропусканием концов через направляющее приспособление 416.

Направляющее приспособление 416 содержит множество отверстий. Конец каждого из волокон 404 пропускается через одно из отверстий в направляющем приспособлении 416. В результате этого волокна 404 располагаются ближе друг к другу и становятся параллельными по отношению друг к другу, когда волокна 404 вытягиваются в технологическом направлении 408. Таким образом, когда волокна 404 выходят из направляющего приспособления 416, они начинают образовывать шнуроподобный элемент 418 (далее называется термином "шнур").

Шнур 418 затем пропускают через полимерную ванну 420, таким образом, что смола в полимерной ванне 420 окружает шнур 418 и проникает в пространства между волокнами 404, которые образуют шнур 418. Шнур 418 выходит из полимерной ванны 420 в виде пропитанного шнура 422.

Полимерная ванна 420 содержит винилсложноэфирную или модифицированную термореактивную смолу, у которой удлинение при разрыве составляет более чем 4%. Важно, что смола проявляет небольшую усадку при отверждении, которая составляет, например, 3-7% в зависимости от состава, без значительных остаточных напряжений, в результате которых могут образовываться пустоты, микротрещины или расщепления, вызывая преждевременное разрушение под воздействием окружающей среды или проблемы долговечности. Согласно одному примерному варианту осуществления смола композиция представляет собой модифицированную смолу на основе винилсложноэфирной матричной смолы Ashland 1398, которую поставляет компания Ashland, Inc. (Ковингтон, штат Кентукки, США), или Interplastic 692 или 433, которую поставляет компания Interplastic Corporation (Сент-Пол, штат Миннесота, США), в которой плотность сшивания определяется соотношением добавленного стирольного мономера для свободнорадикального автокаталитического отверждения и достижения температуры стеклования  $T_g$  в пределах диапазона от 100°C до 130°C. Акриловый, новолачный или дициклопентадиеновый (DCPD) мономер, который замещает часть (например, от 10% до 30%) стирола, может улучшать жесткость и влагостойкость, а также обеспечивать выполнение стандартов в отношении огня, дыма и токсичности (FST). Выбор смолы для конструкции должен обеспечивать баланс стоимости и влияния на значение  $T_g$ , модуль упругости и предотвращение образования трещин/микротрещин в стержне, у которого поперечное сечение составляет более чем 0,8 мм, при чрезмерно высокой скорости отверждения.

Характеристики винилсложноэфирной смолы	Стандарт для исследования	Свойство
Долговечность без сложного полиэфира	ASTM D7957 5.2	Обеспечение физических свойств и выполнение требований долговечности
Стеклование (или температура начала термической деформации HDT)	ASTM E1356	$T_g > 120^\circ\text{C}$
Удлинение при растяжении или разрыве	ASTM D638	> 4,5%
Модуль упругости при растяжении	ASTM D638	> 3200 МПа
Объемная усадка		< 7%

Как отмечено выше, стеклянные волокна 404 из питающего модуля 410 проходят через полимерную ванну 420 таким образом, что стеклянные волокна 404 покрываются смолой (т.е. смачиваются), и пространства между прилегающими волокнами заполняются достаточным количеством смолы (т.е. происходит сквозное смачивание или пропитывание). Более конкретно, на пултрузионной линии 400 используется многоступенчатое предварительное формование, в результате которого стеклянные волокна 404 ориентируются в вертикальном и горизонтальном направлениях для расположения в одном или нескольких предварительных формовочных приспособлениях 440 после того, как они проходят через полимерную ванну 420. В результате этого на каждой отдельной ступени пултрузионной линии 400 соответствующие волоконные пучки консолидируются и приобретают содержания стекла, составляющее 70% или более, 80% или более или 83% или более по массе, или 68% или более по объему когда волокна 404 проходят через один или несколько мундштуков 450.

Одно или несколько предварительных формовочных приспособлений 440 способствуют располо-

жению и выравниванию исходного материала, содержащего смолу. Кроме того, одно или несколько предварительных формовочных приспособлений 440 способствуют совместной упаковке волокон таким способом, который предотвращает связывание, переплетение и другие нежелательные проблемы в отношении исходного материала.

Использование многоступенчатого предварительного формования также обеспечивает селективное расположение волокон различных типов (например, стеклянных и углеродных волокон, сочетаний стеклянных волокон различных типов, сочетаний волокон различных диаметров), в результате чего образуется гибридный стержень, имеющий повышенный модуль упругости или другие характеристики. Использование волокон различных диаметров в исходном материале также может упрощать достижение повышенного содержания исходного материала.

Поточное намоточное устройство 430, содержащее, например, один или несколько приводимых в движение роликов, может быть использовано на пултрузионной линии 400 в качестве регулирующего натяжения приспособления. Намоточное устройство 430 может быть использовано, например, если требуется более значительное вытягивающее усилие на ранней стадии способа пултрузии (например, для протягивания стеклянных волокон 404 через полимерную ванну 420). Кроме того, способность регулирования натяжения стеклянных волокон 404 может упрощать консолидацию/упаковку стеклянных волокон 404 перед их поступлением в одно или несколько предварительных формовочных приспособлений 440.

Пултрузионная линия 400 осуществляет предварительное формование, предварительное нагревание и предварительное смачивание непрерывного коллимированного ровинга для консолидации содержания стекла, составляющего более чем 85% по массе, с высокой степенью выравнивания, представляющего собой отклонение от однородной ориентации в пределах поперечного сечения, составляющее менее чем 5 градусов.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления один или несколько стрипперных мундштуков 450 используют перед одним или несколькими пултрузионными мундштуками 452. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления один или несколько стрипперных мундштуков 450 и один или несколько пултрузионных мундштуков 452 представляют собой один и тот же набор мундштуков. Когда используют множество стрипперных мундштуков 450, отверстие в каждом стрипперном мундштуке 450, как правило, является меньше, чем отверстие в предшествующем стрипперном мундштуке 450. Стрипперные мундштуки 450 удаляют избыточную смолу с пропитанных волокон и дополнительно консолидируют волокна 404 в процессе формования стержня 454.

Предварительное нагревание стекла удаляет остаточную влагу и обеспечивает снижение вязкости смолы на поверхности стекла, что улучшает смачивание и пропитывание. Может быть использовано любое подходящее приспособление для обеспечения нагревания стекла. Такое предварительное нагревание может происходить во множестве точек на протяжении пултрузионной линии 400.

Предварительное смачивание стеклянных волокон упрощается посредством прямого нагревания смолы или иного регулирования вязкости смолы в полимерной ванне 420 для выдерживания или помещения в заданное положение в предварительном формовочном приспособлении 440 в целях обеспечения лучшего смачивания смолы для более плотной консолидации посредством удерживания и/или натяжения перед гелеобразованием винилсложноэфирной смолы. В качестве альтернативы, нагревание может быть осуществлено как косвенное (например, радиочастотное) нагревание, что может обеспечивать более равномерное нагревание изнутри наружу. Различные сочетания линейной плотности и диаметра стеклянных волокон могут быть использованы для дополнительного улучшения однородности стеклянной упаковки, в результате чего обеспечивается увеличение объема стеклянных волокон.

После поступления в один или несколько мундштуков 450, 452, что представляет собой конечную точку консолидации, под действием тепла от одного или нескольких мундштуков 450 и/или 452 происходит сшивание терморезактивной смолы, в результате чего выделяется тепло внутри консолидированных волокон 422, и образуется стержнеподобный элемент 454 (далее называется термином "стержень"). Согласно некоторым примерным вариантам осуществления спиральная обмотка (например, из стеклянного волокна) наносится на стержень 454 для обеспечения консолидации и размещения волокон 404 на стержне.

На пултрузионной линии 400 часто присутствует управляющая станция 460, которая представляет собой часть пултрузионной линии 400 или располагается вблизи нее (например, на площадке). Управляющая станция 460, которая может представлять собой распределенную систему управления (DCS), обеспечивает компьютеризованное и/или ручное управление и содержание пултрузионной линии 400, а также соответствующие технологические параметры и условия.

Стержень 454 выходит из одного или нескольких пултрузионных мундштуков 452 и продвигается в направлении вытягивающей секции 470. Стержень 454 охлаждается, когда он достигает вытягивающей секции 470, таким образом, что он не деформируется в точках контакта с вытягивающим устройством. Вытягивающая секция 470 способствует созданию вытягивающего усилия, которое необходимо в процессе пултрузии, т.е. поддерживает необходимое натяжение стержня 454 в процессе его изготовления.

Наконец, стержень 454 поступает в режущую секцию 480, в которой его разделяют на отрезки и направляют на последующую технологическую операцию, такую как операция поверхностной обработки. Стержень 454 может быть разделен на отрезки любой подходящей длины, причем эту длину часто опре-

деляет заданное применение. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стержень 454 разделяют на отрезки длиной от 10 футов до 75 футов. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления стержень 454 разделяют на отрезки длиной от 20 футов до 60 футов. После разрезания с применением или без применения какой-либо дополнительной обработки стержень 454 представляет собой арматурный стержень 490 из композиционного материала.

Таким образом, пултрузионная линия 400 осуществляет предварительное формование, предварительное нагревание и предварительное смачивание непрерывного коллимированного ровинга для консолидации содержания стекла, составляющего более чем 85% по массе, с высокой степенью выравнивания, представляющего собой отклонение от однородной ориентации в пределах поперечного сечения, составляющее менее чем 5 градусов, а также использует стеклянное волокно с высокими эксплуатационными характеристиками для получения композиционного материала с высоким модулем упругости, причем этот высокий модуль упругости составляет по меньшей мере 60 ГПа.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления по меньшей мере в части поперечное сечение стержень может быть полым, или сердцевина может быть пористой, а не сплошной, например, посредством использования мундштуков подходящих конструкций и/или конфигураций или других технологий обработки.

Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости.

Могут быть изготовлены композиционные материалы с высоким модулем упругости, содержащие армирующие волокна при различных значениях массового содержания волокон ("FWF"). Хотя значение FWF может варьироваться и составлять от более чем 1% до около 90%, согласно определенным примерным вариантам осуществления значение FWF составляет по меньшей мере 70%, в том числе по меньшей мере 72%, по меньшей мере 75%, по меньшей мере 77%, и по меньшей мере 80%. Согласно любому из примерных вариантов осуществления композиционный материал с высоким модулем упругости может иметь значение FWF, составляющее от 75% до 90%, в том числе от 77% до 88% и от 80% до 86%.

Композиционные материалы с высоким модулем упругости, которые изготовлены в соответствии с концепциями настоящего изобретения, проявляют улучшенные физические свойства и антикоррозионную стойкость по сравнению с армированными композиционными материалами, которые изготовлены с использованием традиционных стеклянных волокон типа ECR. Как упомянуто выше, изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости проявляет повышенный модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, в том числе по меньшей мере 64 ГПа, по меньшей мере 65 ГПа, по меньшей мере 66 ГПа и по меньшей мере 68 ГПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости проявляет модуль упругости, составляющий 60 ГПа до 75 ГПа, в том числе от 64 ГПа до 73 ГПа и от 65 ГПа до 70 ГПа. Модуль упругости изделия из композиционного материала измеряют в соответствии со стандартом ASTM D7205.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления композиционные материалы с высоким модулем упругости, которые изготовлены в соответствии с концепциями настоящего изобретения, проявляют модуль упругости при изгибе, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, в том числе по меньшей мере 52 ГПа, по меньшей мере 55 ГПа и по меньшей мере 56 ГПа. Композиционные материалы с высоким модулем упругости, которые изготовлены в соответствии с концепциями настоящего изобретения, проявляют повышенную прочность при изгибе, составляющий по меньшей мере 1220 МПа, в том числе по меньшей мере 1250 МПа, по меньшей мере 1285 МПа, по меньшей мере 1300 МПа, по меньшей мере 1350 МПа, по меньшей мере 1400 МПа, по меньшей мере 1450 МПа, по меньшей мере 1500 МПа и по меньшей мере 1550 МПа. Как модуль упругости при изгибе, так и прочность при изгибе измеряют в соответствии со стандартом ASTM D790.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления композиционные материалы с высоким модулем упругости, которые изготовлены в соответствии с концепциями настоящего изобретения, проявляют модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, в том числе по меньшей мере 62 ГПа, по меньшей мере 65 ГПа, по меньшей мере 67 ГПа и по меньшей мере 70 ГПа. Согласно некоторым примерным вариантам осуществления композиционные материалы с высоким модулем упругости проявляют модуль упругости при растяжении, составляющий от около 60 до около 75 ГПа. Модуль упругости при растяжении изделия из композиционного материала измеряют в соответствии со стандартом ASTM D7205.

Согласно некоторым примерным вариантам осуществления композиционные материалы с высоким модулем упругости, которые изготовлены в соответствии с концепциями настоящего изобретения, проявляют высокую антикоррозионную стойкость, которая увеличивает продолжительность эксплуатации изделия из композиционного материала.

### Примеры

Следует понимать, что объем общих концепций настоящего изобретения не ограничивается конкретными примерными вариантами осуществления, которые представлены и описаны в настоящем документе. На основании данного раскрытия специалисты в данной области техники смогут не только понять общие концепции настоящего изобретения и присущие им преимущества, но также обнаружить очевидные разнообразные изменения и модификации описанных способов и систем. Таким образом, на-

стоящее описание предназначено для распространения на все такие изменения и модификации, которые находятся в пределах идеи и объема общих концепций настоящего изобретения, которые описаны и заявлены в настоящем документе, а также на любые соответствующие эквиваленты.

Пример 1.

Были получены примерные армированные волокнами и изготовленные пултрузией арматурные стержневые изделия, содержащие волоконное армирование, с различными значениями массового содержания волокон ("FWF"). Были изготовлены образцы, содержащие стекло с высокими эксплуатационными характеристиками, имеющее модуль упругости, составляющий 89,5 ГПа ("стекло типа HP"), и образцы, содержащие традиционное стекло типа E-CR, имеющее модуль упругости, составляющий 82 ГПа. На фиг. 2 проиллюстрированы модули упругости образцов арматурных стержней при переменных уровнях содержания волокон. Как проиллюстрировано на данной фигуре, для образцов арматурных стержней, которые содержали стекло типа HP были достигнуты более высокие значения модуля упругости, чем для образцов, содержащих стекло типа E-CR, при одинаковых уровнях содержания стекла. Например, для содержащего стекло типа E-CR армированного арматурного стержня при массовом содержании волокон, составляющим 0,843, был достигнут модуль упругости, составляющий 64,6 ГПа согласно стандарту ASTM-D7205 (арматурный стержень #6, имеющий площадь поперечного сечения 283,9 мм<sup>2</sup>), в то время как для содержащего стекло типа HP армированного арматурного стержня был достигнут модуль упругости, составляющий 70,4 ГПа, при содержании волокон на таком же уровне.

Пример 2.

Были получены примерные армированные волокнами изготовленные пултрузией плоские пластины, содержащие: (1) стеклянные волокна типа HP и (2) традиционные стеклянные волокна типа E-CR. Изготовленные пултрузией плоские пластины содержали однонаправленные волокна, содержание (значение FWF) которых находилось на уровне 80%. В исследованиях были использованы две различные смолы: сложнополиэфирная и полиуретановая. Изготовленные пултрузией изделия затем были исследованы в отношении эксплуатационных характеристик и свойств, включая модуль упругости при изгибе и прочность при изгибе, в соответствии со стандартом ASTM-D790; модуль упругости при растяжении в соответствии со стандартом ASTM D7205 и прочность при межслойном сдвиге ("LLSS") в соответствии со стандартом ASTM D2344. Результаты этих исследований проиллюстрированы на фиг. 3-6.

На фиг. 3А и 3В проиллюстрирован модуль упругости при изгибе изготовленных пултрузией плоских пластин, содержащих однонаправленные волокна типа E-CR, по сравнению с изготовленными пултрузией плоскими пластинами, содержащими волокна типа HP, как для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы, так и для полиуретановой смолы. Как проиллюстрировано на этих фигурах, пластины, армированные волокнами типа HP, демонстрируют увеличение модуля упругости при изгибе, составляющее 14% в случае сложнополиэфирной смолы и 10% в случае полиуретановой смолы, по сравнению с пластинами, армированными волокнами типа E-CR. Для примерных пластин, армированных волокнами типа HP, был достигнут модуль упругости при изгибе, составляющий 56 ГПа в случае ненасыщенной сложнополиэфирной смолы и 59 ГПа в случае полиуретановой смолы.

На фиг. 4А и 4В проиллюстрирована прочность при изгибе изготовленных пултрузией плоских пластин, содержащих однонаправленные волокна типа E-CR, по сравнению с изготовленными пултрузией плоскими пластинами, содержащими волокна типа HP, как для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы, так и для полиуретановой смолы. Как проиллюстрировано на этих фигурах, пластины, армированные волокнами типа HP, демонстрируют увеличение прочности при изгибе, составляющее 8% в случае сложнополиэфирной смолы и 4% в случае полиуретановой смолы, по сравнению с пластинами, армированными волокнами типа E-CR. Для примерных пластин, армированных волокнами типа HP, была достигнута прочность при изгибе, составляющая 1296 МПа в случае ненасыщенной сложнополиэфирной смолы и 1572 МПа в случае полиуретановой смолы.

На фиг. 5А и 5В проиллюстрирован модуль упругости при растяжении изготовленных пултрузией плоских пластин, содержащих однонаправленные волокна типа E-CR, по сравнению с изготовленными пултрузией плоскими пластинами, содержащими волокна типа HP, как для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы, так и для полиуретановой смолы. Как проиллюстрировано на этих фигурах, пластины, армированные волокнами типа HP, демонстрируют увеличение модуля упругости при растяжении, составляющее 13% в случае сложнополиэфирной смолы и 8% в случае полиуретановой смолы, по сравнению с пластинами, армированными волокнами типа E-CR. Для примерных пластин, армированных волокнами типа HP, был достигнут модуль упругости при растяжении, составляющий 70 ГПа в случае ненасыщенной сложнополиэфирной смолы и 62 ГПа в случае полиуретановой смолы.

На фиг. 6А и 6В проиллюстрирована прочность при межслойном сдвиге (ILSS) изготовленных пултрузией плоских пластин, содержащих однонаправленные волокна типа E-CR, по сравнению с изготовленными пултрузией плоскими пластинами, содержащими волокна типа HP, как для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы, так и для полиуретановой смолы. Поскольку значение ILSS зависит, главным образом, от смолы, результаты показывают совместимость на границе раздела стекла и смолы. Для примерных пластин, армированных волокнами типа HP, было достигнуто значение ILSS, составляющее 50 МПа в случае ненасыщенной сложнополиэфирной смолы и 81 МПа в случае полиуретановой смолы,

что соответствует (с фактическим незначительным превышением) значению, полученному для пластин, изготовленных с использованием стекла типа E-CR.

Выше представлено общее описание изобретения согласно настоящей заявке в отношении конкретных вариантов осуществления. Хотя настоящее изобретение представлено в отношении вариантов осуществления, которые считаются предпочтительными, в пределах общего раскрытия может быть сделан выбор из широкого разнообразия альтернатив, известных специалистам в данной области техники. Настоящее изобретение не является ограниченным в иных отношениях, за исключением ограничения формулой изобретения, которая представлена ниже.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости для армирования бетона, содержащее:

полимерную смолу, и

множество однонаправленных стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками, имеющих модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4000 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09, причем указанное изделие из композиционного материала имеет массовое содержание волокон (FWF), составляющее не более чем 88%, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205,

причем однонаправленные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками содержат от 55,0 до 65,0% по массе  $\text{SiO}_2$ , от 17,0 до 27,0% по массе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , от 8,0 до 15,0% по массе  $\text{MgO}$ , от 7,0 до 12,0% по массе  $\text{CaO}$ , от 0,0 до 1,0% по массе  $\text{Na}_2\text{O}$ , от 0 до 2,0% по массе  $\text{TiO}_2$ , от 0 до 2,0% по массе  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и не более чем 0,5% по массе  $\text{Li}_2\text{O}$ .

2. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, в котором указанная полимерная смола выбрана из группы, состоящей из уретановой, акриловой, сложнополиэфирной, винилсложноэфирной и эпоксидной смолы.

3. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, причем указанное изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости представляет собой арматурные стержни, перильные ограждения, столбы, трубы, поперечные балки, инженерные коммуникации, кабели, телекоммуникационные устройства, лестничные перила.

4. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками изготовлены из композиции, в которой по существу отсутствуют  $\text{V}_2\text{O}_5$  и фтор.

5. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа согласно стандарту ASTM D2343-09.

6. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 90 ГПа.

7. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют удельный модуль упругости, составляющий от 32,0 до 37,0 МДж/кг.

8. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, причем изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости имеет модуль упругости при изгибе, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, согласно стандарту ASTM D790.

9. Изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости по п.1, причем изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости имеет модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205.

10. Способ получения изделия из композиционного материала с высоким модулем упругости, включающий:

вытягивание пучка однонаправленных стеклянных волокон с высокими эксплуатационными характеристиками из источника исходного материала, причем указанные волокна имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 89 ГПа, и прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4500 МПа, согласно стандарту ASTM D2343-09;

пропускание пучка через ванну, содержащую материал полимерной смолы, получение покрытого смолой пучка;

протягивание покрытого смолой пучка через формовочный мундштук; и

отверждение покрытого смолой пучка, получение изделия из композиционного материала с высоким модулем упругости, содержащего массовое содержание волокон (FWF), составляющее не более чем 88%, и модуль упругости, составляющий по меньшей мере 60 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205;

причем однонаправленные стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками



содержат от 55,0 до 65,0% по массе  $\text{SiO}_2$ , от 17,0 до 27,0% по массе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , от 8,0 до 15,0% по массе  $\text{MgO}$ , от 7,0 до 12,0% по массе  $\text{CaO}$ , от 0,0 до 1,0% по массе  $\text{Na}_2\text{O}$ , от 0 до 2,0% по массе  $\text{TiO}_2$ , от 0 до 2,0% по массе  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и не более чем 0,5% по массе  $\text{Li}_2\text{O}$ .

11. Способ по п.10, в котором указанная полимерная смола выбрана из группы, состоящей из сложнопольэфирной, винилсложноэфирной и эпоксидной смолы.

12. Способ по п.10, в котором указанное изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости представляет собой арматурные стержни, перильные ограждения, столбы, трубы, поперечные балки, инженерные коммуникации, кабели, телекоммуникационные устройства, лестничные перила.

13. Способ по п.10, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками изготовлены из композиции, в которой по существу отсутствуют  $\text{B}_2\text{O}_3$  и фтор.

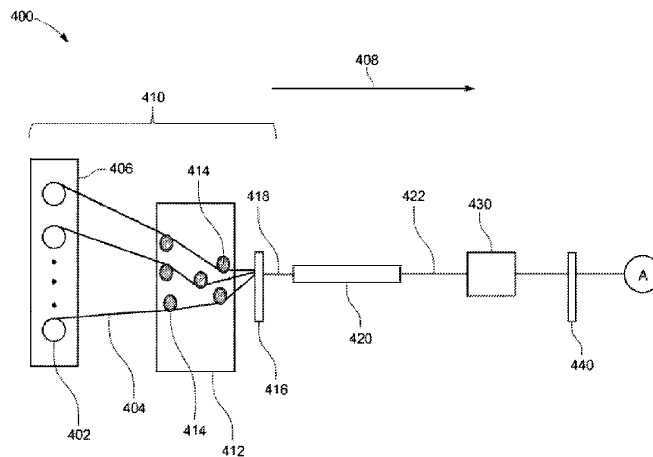
14. Способ по п.10, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют прочность при растяжении, составляющую по меньшей мере 4800 МПа.

15. Способ по п.10, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют модуль упругости, составляющий по меньшей мере 90 ГПа.

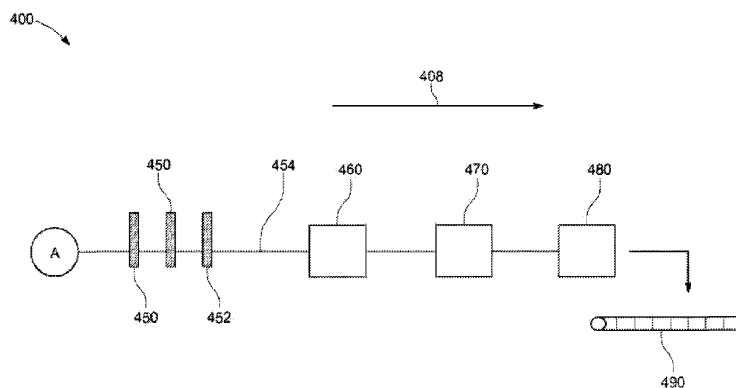
16. Способ по п.10, в котором стеклянные волокна с высокими эксплуатационными характеристиками имеют удельный модуль упругости, составляющий от 32,0 до 37,0 МДж/кг.

17. Способ по п.10, в котором изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости имеет модуль упругости при изгибе, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, согласно стандарту ASTM D790.

18. Способ по п.10, в котором изделие из композиционного материала с высоким модулем упругости имеет модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере 50 ГПа, согласно стандарту ASTM D7205.

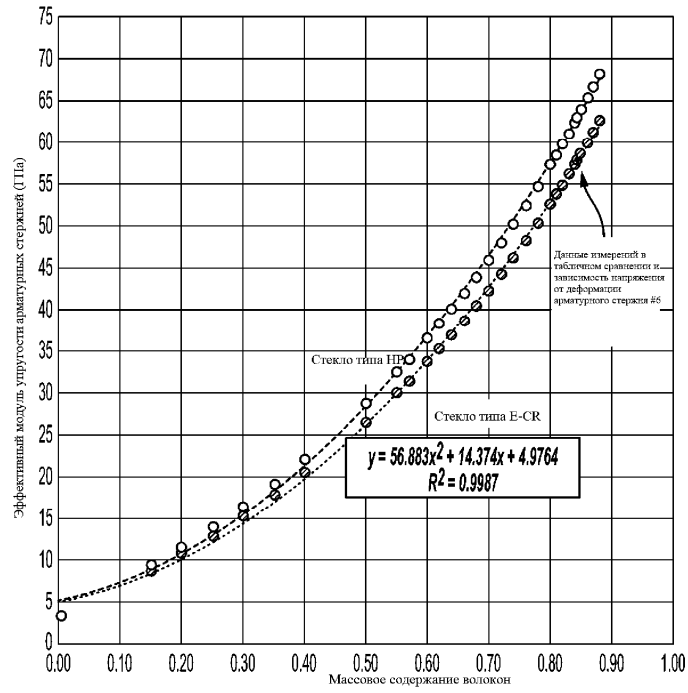


Фиг. 1А



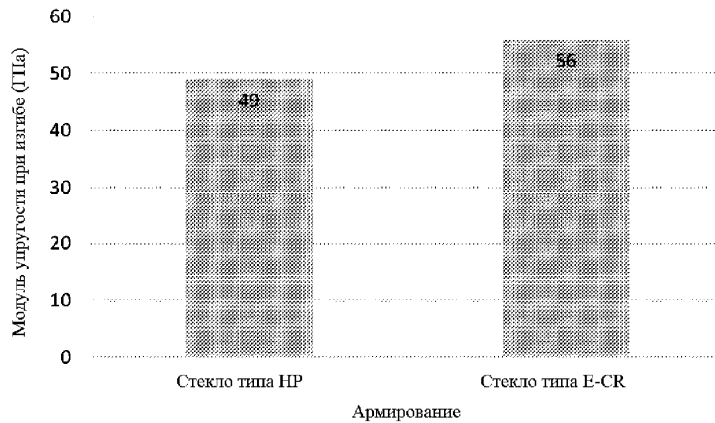
Фиг. 1В

Модуль упругости армированных стержней в зависимости от массового содержания волокон



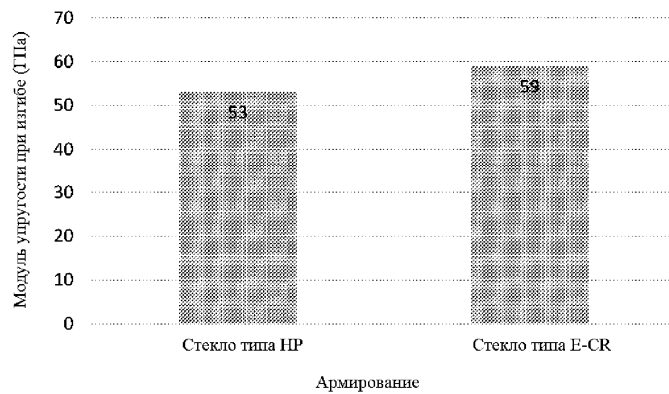
Фиг. 2

Модуль упругости при изгибе для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы



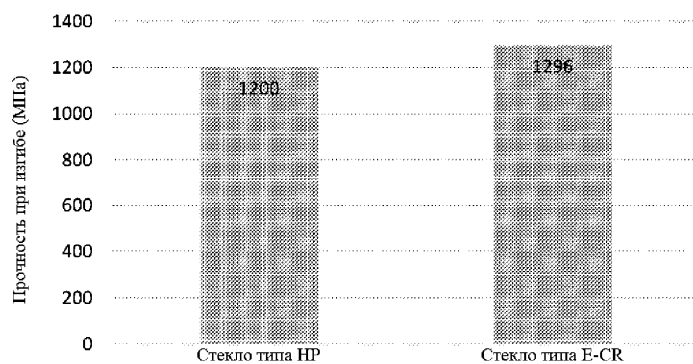
Фиг. 3А

Модуль упругости при изгибе для полиуретановой смолы



Фиг. 3В

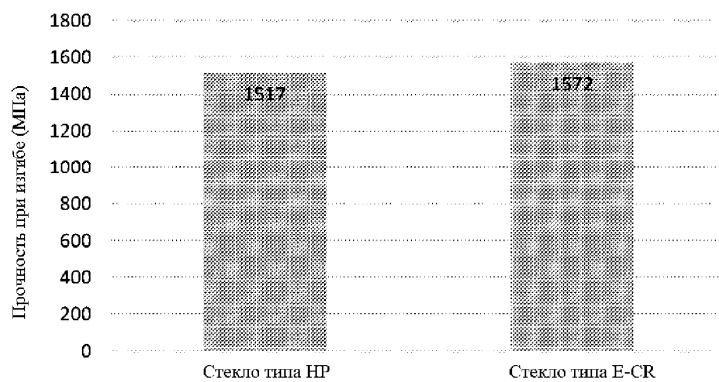
Прочность при изгибе для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы



Армирование

Фиг. 4А

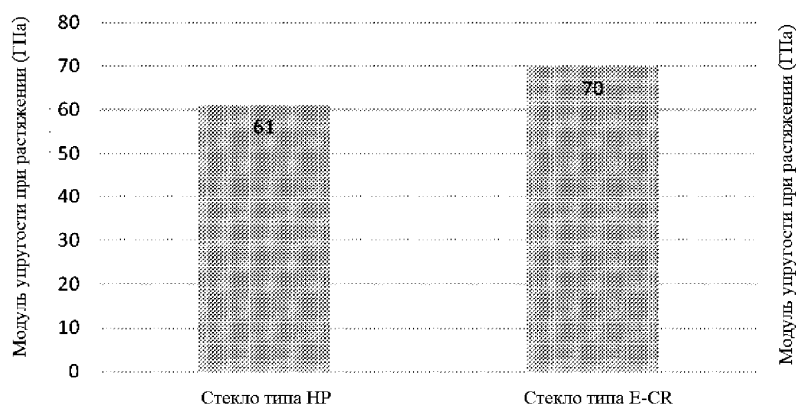
Прочность при изгибе для полиуретановой смолы



Армирование

Фиг. 4В

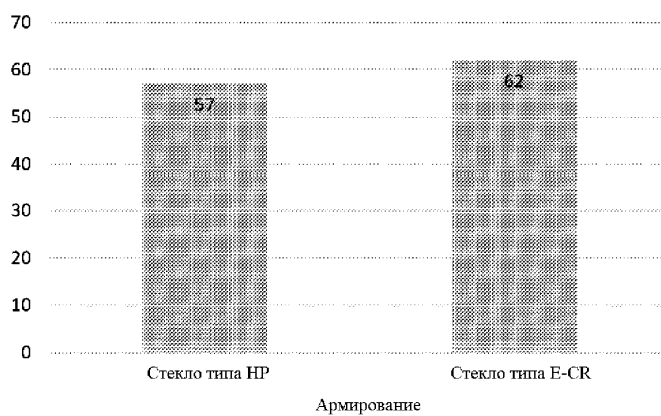
Модуль упругости при растяжении для ненасыщенной сложнополиэфирной смолы



Армирование

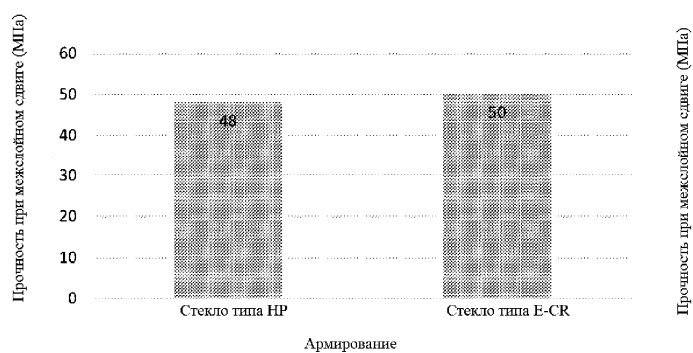
Фиг. 5А

Модуль упругости при растяжении для полиуретановой смолы



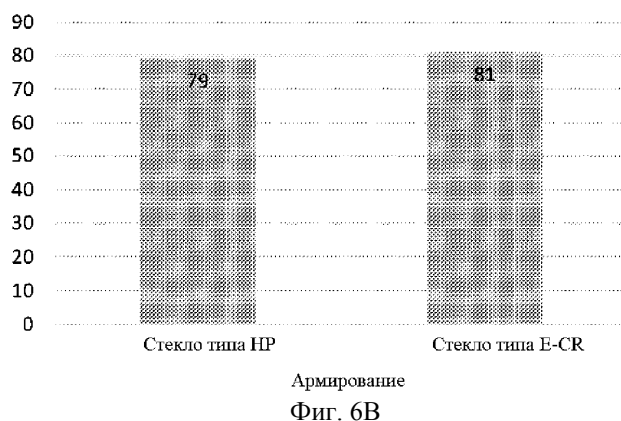
Фиг. 5B

Прочность при межслойном сдвиге (ILSS) для ненасыщенной сложноподлиэфирной смолы



Фиг. 6A

Прочность при межслойном сдвиге (ILSS) для полиуретановой смолы



Фиг. 6B

