



PAPER

СТЕКЛЯННЫЕ ВОЛОКНА КАК АРМИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бозоров Носиржон Содикович^{1,*}, Умуркулов Каюмжон Парпиевич²,
Нурматова Гулнорахан Адхамжан Кизи³

¹канд. физ-мат. наук, Профессор кафедры физики и астрономии. Кокандский государственный университет

² Преподаватель кафедры физики и астрономии. Кокандский государственный университет

³Магистрант 1-го курса Кокандского государственного университета

* bozorov@gmail.uz

Abstract

В статье рассмотрены физико-механические свойства стеклянных волокон, используемых в качестве армирующих компонентов полимерных композиционных материалов. Приведены классификация стекловолокон, особенности их получения, структура, термостойкость, а также влияние поверхностных покрытий на адгезионное взаимодействие в системе «волокно–матрица». Отдельное внимание уделено технологическим аспектам переработки стеклянных волокон в различные армирующие полуфабрикаты, такие как нити, жгуты, ленты, ткани и нетканые материалы. Показано, что стеклянные волокна обладают сочетанием высокой прочности, коррозионной стойкости и технологичности, что обеспечивает их широкое применение в композиционных материалах конструкционного назначения.

Key words: стеклянные волокна, стеклопластики, армирующие материалы, композиционные материалы, термостойкость, адгезия, поверхностные покрытия.

Введение

Стеклянные волокна являются одним из наиболее распространённых армирующих наполнителей в композиционных материалах, предназначенных для работы в условиях статических и

динамических нагрузок. Их широкое использование обусловлено сочетанием высокой удельной прочности, стабильности свойств в широком диапазоне температур, низкой плотности и высокой химической инертности. На основе стеклянных волокон получают стеклопласти-

Compiled on: December 17, 2025.

Copyright: ©2025 by the authors. Submitted to Advances in Science and Education for possible open access publication under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC BY\) 4.0 license](#).

ки — конструкционные материалы, занимающие значительное место в авиационной, автомобильной, судостроительной промышленности, энергетике, строительстве и других отраслях.

Несмотря на кажущуюся простоту состава, стекловолокно представляет собой сложный объект, свойства которого определяются химическим составом стекла, способом формования, диаметром элементарной нити, структурным состоянием поверхности и типом применяемых замасливателей или аппретов. Комплексное рассмотрение этих факторов является необходимым условием для создания высокопрочных и надёжных композитов. Классификация и общая характеристика стеклянных волокон

Стеклянные волокна обладают плотностью $(2.4 - 2.6) \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

и характеризуются высокой прочностью, низкой теплопроводностью, стойкостью к коррозионным, биологическим и климатическим воздействиям. Эти свойства определяются негисталлической структурой стекла и отсутствием дефектов типа микротрещин, характерных для массивных стеклянных изделий.

По форме поперечного сечения различают: круглые волокна (основной тип), полые волокна, профилированные волокна треугольного, квадратного, прямоугольного или шестиугольного сечения.

Разнообразие геометрии позволяет расширить область применения стекловолокон, включая задачи распределения напряжений или повышения адгезии. Технология получения стеклянных волокон

Непрерывные стекловолокна

Их производят вытягиванием расплавленного стекла через фильеры диаметром 0,8–3,0 мм с последующим интенсивным вытягиванием до диаметра 3–19 мкм. Такой способ обеспечивает высокую однородность и механическую прочность элементарных волокон.

Штапельные волокна Получают: механическим разрывом непрерывных волокон на отрезки, разделением стекломассы на части с последующим раздуванием центробежным или комбинированным способом. Штапельные волокна применяют для нетканых материалов, матов и холстов. Кварцевые волокна Формируются вы-

тягиванием из кварцевых стержней. Даже при температуре 2400 К кварц обладает высокой вязкостью, что усложняет получение волокон из расплава. Кремнеземные волокна Содержат 94–99 % SiO_2

Их производят выщелачиванием модификаторов (оксидов Al, B, Ca, Mg) из силикатного стекла. Кремнеземные волокна отличаются максимальной термостойкостью.

Поверхностные покрытия стеклянных волокон

Поверхность элементарных волокон покрывают замасливателями, которые играют ключевую роль в: защите поверхности от истирания, уменьшении хрупкости, обеспечении совместимости с матрицей, повышении адгезионного взаимодействия в композите.

Типы замасливателей:

Технологические — парафиновые эмульсии, крахмальные составы; удаляются до формования композитов (термообработка при 1100 К). Активные (гидрофобно-адгезионные) — кремнийорганические и металлоорганические соединения; обеспечивают усиление связи «волокно–матрица».

После удаления технологических замасливателей часто наносят аппреты, повышающие прочность межфазного взаимодействия.

Механические и термические свойства стеклянных волокон Стеклянные волокна по прочности значительно превосходят массивное стекло — на один–два порядка. Это объясняется: отсутствием поверхностных дефектов, высокой однородностью структуры, контролируемые условиями формования. Высокая термостойкость является одним из ключевых достоинств. Например, модуль упругости кварцевого волокна при нагреве от 300 К до 1200 К возрастает с 74 до 83 ГПа благодаря структурной перестройке кремнезёма. Механические свойства стекловолокон различных марок приведены в табличных данных (табл. 1).

Стеклянные волокна используют в виде: элементарных нитей и жгутов, лент и тканых материалов, матов и холстов, трёхмерных армирующих заготовок. Тканые армирующие материалы: Производятся из комплексной кручёной нити диаметром 3–11 мкм.

Основные типы переплетений: полотняное,

табл. 1

Страна, марка стекла	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Модуль упругости Е	Средняя прочность на базе 10 мм б *	Предельная деформация ε , %
		ГПа		
Россия				
Высокомодульное:	2,58	95	4,20	4,8
ВМ-1	2,58	93	-	-
УП-68	2,46	85	-	-
УП-73	2,40	83	-	-
Кислотостойкое № 7-А	2,56	74	2,00	3,6
США				
Алюмоборосиликатное	2,54	73,5	3,50	4,8
Е-стекло				
М-стекло	2,89	110	3,50	3,2
S-994	2,49	87	4,80	5,4
D-стекло с низкой диэлектрической	2,16	52,5	2,45	4,7
Известковонатриевое	2,49	66	2,40	4,0
А-стекло				
проницаемостью	2,49	70	3,15	4,5
С-стекло	4,30	51	1,70	4,6
Свинцовосиликатное L-стекло				
Плавный кварц	2,21	74	6,0	-

Формы поставки и армирующие полуфабрикаты

сатиновое.

Имеют высокую технологичность и обеспечивают высокую долю армирующей фазы. Нетканые материалы (холсты)

Бывают: жёсткие (скреплены связующим), мягкие (прошиты стеклянными нитями). Используются для контактного, вакуумного формования и прессования изделий.

Заключение

Стеклянные волокна представляют собой важнейший класс армирующих материалов для полимерных композитов. Их уникальные физико-механические свойства — высокая прочность, коррозионная стойкость, тепловая стабильность и легкость переработки — определяют широкую область применения в конструкционных материалах различного назначения. Совершенствование технологий формования, разработки замасливателей и аппретов способствует созданию композитов с повышенной прочностью связи на границе «волокно–матрица» и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

1. Малкин Б.Н. Материаловедение композиционных материалов. — М.: Машиностроение, 2018.
2. Перхин В.В., Смирнов Л.К. Стеклопластики и их применение. — СПб.: Профессия, 2019.

3. Jones R.M. Mechanics of Composite Materials. Taylor Francis, 2017.
4. Hull D., Clyne T.W. An Introduction to Composite Materials. Cambridge University Press, 2019.
5. Плеханов И.М. Стеклянные волокна: свойства, получение и переработка. — Новосибирск: Наука, 2020.
6. The zone of damage for high-modulus materials in explosion-loaded granite AM Leksowski, VA Borovikov, NS Bozorov, AA Abdumanonov, AB Sinani, ... Technical Physics Letters 28 (8), 705–706
7. Зона поврежденности высоко модульных материалов при взрывном нагружении гранита АМ Лексовский, ВА Боровиков, НС Бозоров, АА Абдуманонов, ... Письма в ЖТФ 28 (16)
8. Obnaruzhenie mikrotreshhin v obrazcah gornyh porod s pomoshh'ju ljuminescentnoj mikroskopii AM Leksovskij, VA Borovikov, NS Bozorov, AA Abdumanov Pis' ma v Zhurnal tehnichej fiziki—JETP Letters 22 (3), 6–10
9. Обнаружение микротрещин в образцах горных пород с помощью люминесцентной микроскопии АМ Лексовский, ВА Боровиков, НС Бозоров, АА Абдуманонов Письма в ЖТФ 22 (3), 6–9
10. Observation of microcracks in rocks by means of luminescence microscopy AM Leksovskij, VA Borovikov, NS Bozorov, A Abdumanonov Technical Physics Letters 22 (2), 93–94
11. The influence of external factors on the mechanical Properties of the material Bozorov N. S, Umurkulov K. P. Central asian journal of mathematical theory and computer sciences <https://Cajmtcs.Centralasianstudies.Org>, 123–127
12. Boundary separation and binding energy of atoms in the real surface of a solid Bozorov N.S. Umurkulov K.P. Alisherov O. A. Galaxy international interdisciplinary research journal (giirj) issn (e): 2347–6915 vol. 10, issue 12, dec. (2022) 65–67

13. Formation of ideas about micromechanics destruction in the process of teaching a physics course Bozorov N.S. Umurkulov K.P. Alisherov O. A. Galaxy international interdisciplinary research journal (giirj) issn (e): 2347-6915 vol. 10, issue 12, dec. (2022) 60-64
14. Some aspects of surface processes on a solid body Bozorov N.S. Umurkulov K.P. Alisherov O. A. Galaxy international interdisciplinary research journal (giirj) issn (e): 2347-6915 vol. 10, issue 12, dec. (2022) 78-80
15. Кинетика поверхностных процессов на твердом теле Bozorov N.S. Umurkulov K.P. Alisherov O. A Ta'lim jarayoniga raqamli texnologiyalar va zamonaviy usullarni joriy etishda ta'lim sifatini boshqarish muammolari.