

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Д. Е. БУКРЕЕВА¹, П. В. СОЛОВЬЕВ²

¹ bukreeva.dasha99@mail.ru, ² paulnightingale@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В статье представлены пути повышения эксплуатационных свойств элементов конструкций летательных аппаратов из стеклопластиков, такие как термическая обработка и модифицирование. С помощью термической обработки можно улучшить такие механические свойства как прочность и жесткость без повышения весовых характеристик. Стеклопластик после термической обработки можно использовать в таких силовых элементах конструкций как лонжероны лопастей вертолета, стрингеры крыла самолета, обтекатели для вертолетов.

Ключевые слова: композитный материал; полимерная матрица; стеклопластик; армирующее; связующее; термическая обработка; механические свойства; удельная прочность; модифицирование; тальк.

ВВЕДЕНИЕ

Композиционные материалы широко используются в различных сферах жизни – от элементов конструкций летательных аппаратов до автомобилестроения, катеростроения, спортивного инвентаря.

Для композитов на основе тканых минеральных наполнителей - стеклопластиков характерно сочетание высокой удельной прочности, технологического удобства, диэлектрических свойств, сравнительно низкой теплопроводности, высокой атмосферо-, водо- и химстойкости. Именно благодаря этим свойствам из них изготавливают: фюзеляжи вертолетов, такие силовые элементы как лонжероны лопастей вертолета, стрингеры крыла самолета, обтекатели для вертолетов, отличающиеся радиопрозрачностью. Лучшими прочностными свойствами обладают однонаправленные композиты на основе стеклянной ровницы, которые уложены под нужными углами. Механические свойства стеклопластиков определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью связи его со связующим, а температуры переработки и эксплуатации стеклопластика – связующим. Модифицируя его различными органоглинами и минералами в определенных соотношениях, можно повысить теплоустойчивость.

Главными критериями материалов для авиации являются их небольшой вес и высокие прочностные и жесткостные характеристики. Чтобы повысить эффективность применения стеклопластиков, нужно увеличить параметры прочности и жесткости без существенного повышения плотности материала. Для этого можно использовать термическую обработку или модифицирование.

Целью данной работы является улучшение механических свойств стеклопластиков путем применения термической обработки, оценка влияния на структуру.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала исследования был выбран стеклопластик. Для его изготовления использовались:

- в качестве армирующего-стеклоткань Т-10
- в качестве связующего-эпоксидная смола ЭД-20 и растворитель

Формование стеклопластика состояло из следующих этапов:

- а) выкладывание семи слоев армирующего и пропитка их связующим;
- б) давление формы под прессом при температуре 70°C;
- в) извлечение материала из формы;
- г) окончательная обработка (обрезка по ГОСТ Р 56810-2015) и шлифовка краев изделия

[1].

- д) термическая обработка

Технология дальнейшей обработки предварительно соединенных слоистых заготовок, включает в себя нагрев до определенной температуры, выдержку при этой температуре и охлаждение. Для полимеров применяют четыре вида термической обработки: отжиг, закалка, нормализация, отпуск. Названия используют такие же, что и при термической обработке металлов [2].

При нормализации полимер нагревают до заданной температуры, далее медленно охлаждают. При этом процессе происходит снятие внутренних напряжений, образовавшихся в процессе изготовления деталей. Нормализацией обычно называют отжиг аморфных полимеров. Далее рассмотрены процессы, происходящие в полимере при отжиге. Эффекты отжига проявляются в формировании предельно равновесной надмолекулярной структуры. На любой стадии процесса переработки формируется аморфно-кристаллическая структура с предельной степенью кристалличности и максимальными размерами ламелей и сферолитов, а также с максимально плотной, предельно гетерогенной структурой аморфных областей [3].

Используя нормализацию, термообработка стеклопластика заключалась в нагреве образцов до температуры 220°C, выдержка при этой температуре в течение 1 часа и охлаждение на воздухе.

Схема режима термообработки представлена на рис. 1.

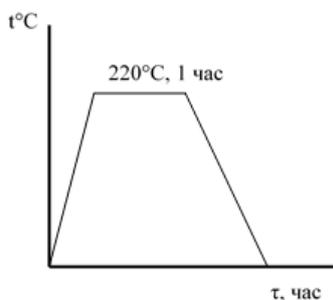


Рис. 1. Режим термической обработки стеклопластика

Также при термической обработке происходит окончательная полимеризация смолы, которая могла не до конца завершиться в процессе изготовления материала. При полимеризации смолы образуются сшивки (рис.2). Под сшивкой полиэтилена понимается процесс связи звеньев молекул в широкоячеистую трехмерную сетку за счет образования поперечных связей [4].

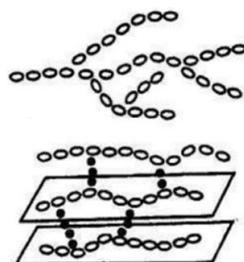


Рис. 2. Процесс полимеризации полимера с образованием сшивок между цепями

Для изучения механических свойств использовались такие методы как:

– Испытание на модуль упругости при растяжении ГОСТ Р 56785-2015 [5]. Нагружение по 250 г. Фирма испытательной машины Zwick Roell z010. Ошибка измерения усилия составляет $\delta < 1\%$.

– Испытание на изгиб ГОСТ Р 56810-2015 [1]. Скорость нагружения $20 \pm 10\%$ мм/мин, ошибка измерений составляет $\delta < 4\%$.

– Испытание на ударную вязкость ГОСТ Р 57715-2017 [6]. Скорость маятника в момент удара 3,44 м/с. Вес 2,035 кг. Ошибка измерений составляет $\delta < 4\%$.

Исследования структуры стеклопластиковых образцов проводились с помощью оптического микроскопа OLIMPUS GX51. Он предназначен для формирования увеличенного изображения. Принцип действия основан на прохождении расходящегося пучка света сквозь образец, увеличении полученного изображения объективом, преломления для поступления в тубус окуляра, где происходит повторное увеличение [7]. Используя отраженный свет и увеличение от X50 до X1000 была снята структура исследуемого материала. Для определения объемной доли структурных составляющих использовали точечный метод, предложенный А.А. Глаголевым [8].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 представлены данные, полученные в результате механических испытаний.

Таблица 1

Сравнительная таблица механических характеристик

Материал	Е при растяжении, ГПа	σ_b , МПа	Е при изгибе, ГПа	ρ , кг/м ³	$\sigma_{уд}$, км	$E_{уд}$, км	Q, кДж/м ²
Стеклопластик	9,3	131	19,1	1300	10,1	1,5	58,5
Стеклопластик после ТО	15,1	193	21,1	1305	14,8	1,6	67,5

На основании табл. 1 представили гистограммы зависимости удельных прочности и жесткости от обработки стеклопластика.

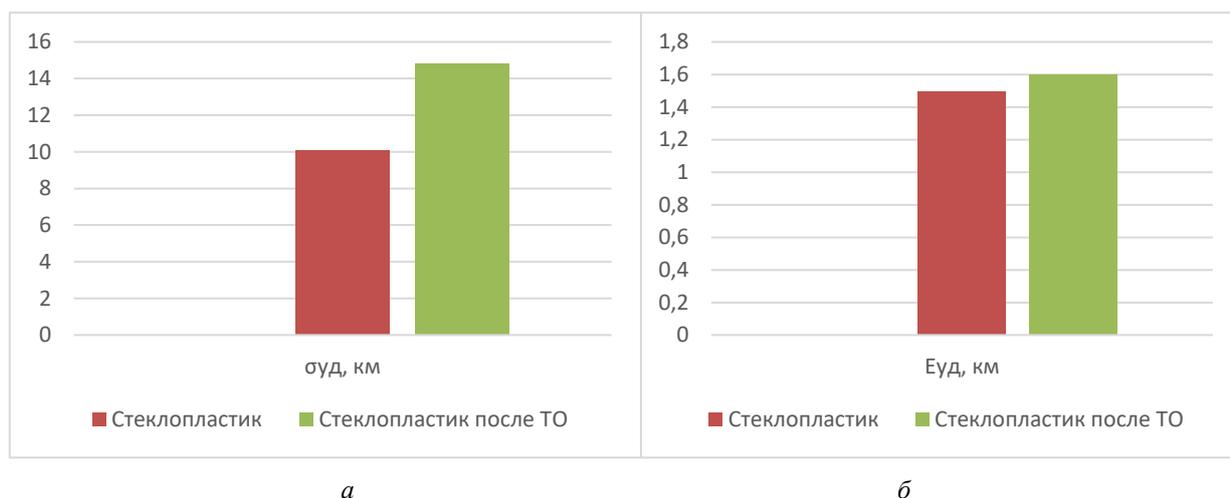


Рис. 3. Сравнительные гистограммы удельных характеристик композитных материалов: а – значения удельной прочности; б – значения удельной жесткости

Проведя механические испытания пяти образцов композиционных материалов, отличающихся составом и термообработкой, можно сделать вывод о том, что стеклопластик, который подвергали термообработке, показал наилучшие свойства в прочности (на 47% больше прочности стеклопластика, который не подвергали термообработке). Его удельная прочность

также больше, чем у сравниваемых образцов. Наименьшей прочностью обладает стеклопластик, который не подвергали термообработке и модифицированию.

Таким образом, термическая обработка повышает предел прочности и модуль упругости материала.

Для исследования микроструктуры были подготовлены шлифы с продольным и поперечным сечением. Получили следующие снимки (рис. 3, 4)

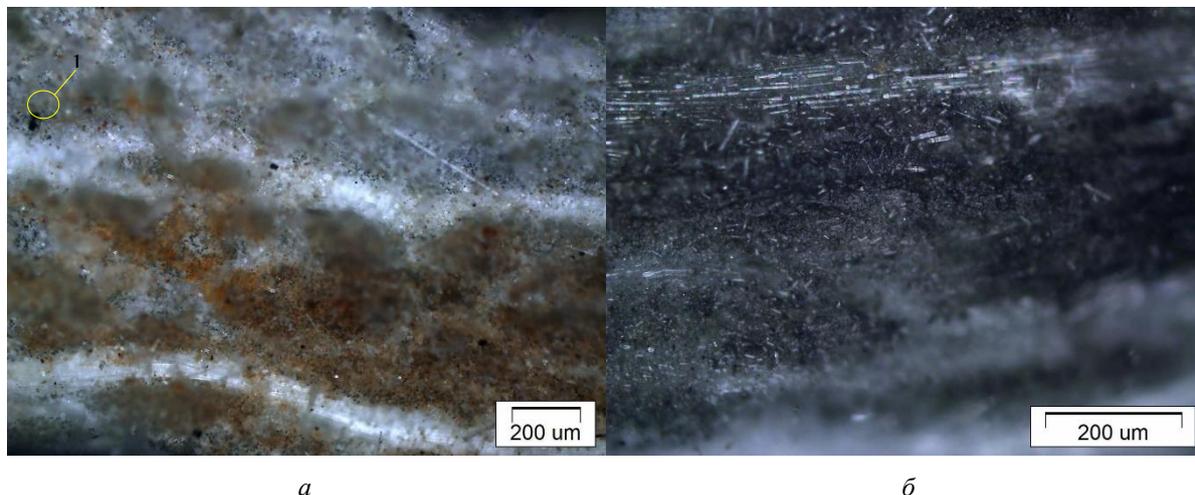


Рис. 4. Микроснимок стеклопластика, которого не подвергали модифицированию и термообработке: *а* – продольный шлиф; 1 – пора; *б* – поперечный шлиф

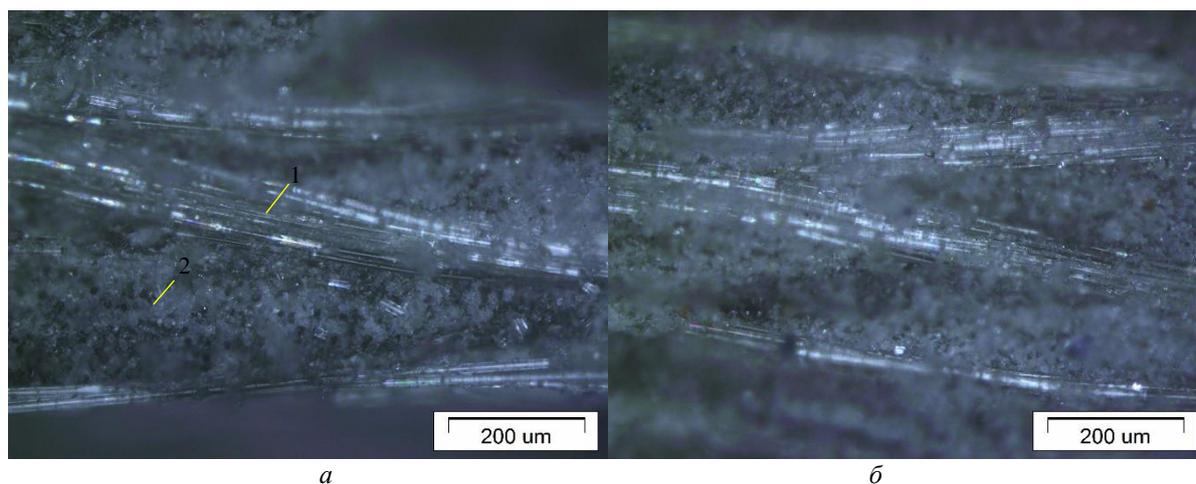


Рис. 5. Микроснимок стеклопластика, которого подвергли термообработке: *а* – продольный шлиф; 1 – волокно; 2 – матрица; *б* – поперечный шлиф

По снимкам видно, что армирующая компонента представлена в виде ткани полотняного переплетения, количество нитей утка и основы примерно одинаково. Выделяется слоистая структура композита, обусловленная нанесением ткани и связующего слоями. Четко видно семь слоев.

Также по фотографии шлифа с продольным сечением определили количественные параметры микроструктуры: диаметр волокон, их объемную долю и равномерность их распределения по композиту.

Таблица 2

Объемные доли структурных составляющих исследуемых материалов

Материал	v_v , %	S, %
Стеклопластик	66	3
Стеклопластик после ТО	61	3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведено исследование по повышению механических свойств стеклопластиков при помощи термообработки, оценено влияние на структуру.

Были проведены механические испытания пяти образцов композиционных материалов, отличающихся термообработкой. Стеклопластик, который подвергали термообработке, показал наилучшие свойства в прочности (на 47% больше прочности стеклопластика, который не подвергали термообработке). Его удельная прочность также больше, чем у сравниваемых образцов.

Таким образом, термическая обработка повышает предел прочности и модуль упругости материала.

Были сделаны снимки микроструктуры, по которым видно, что армирующая компонента представлена в виде ткани полотняного переплетения, количество нитей утка и основы примерно одинаково. Выделяется слоистая структура композита, обусловленная нанесением ткани и связующего слоями. Коэффициент неравномерности распределения волокон не превышает 3%, что свидетельствует о высокой равномерности распределения армирующей компоненты по объему и хорошем качестве изготовленных композитов. Учитывая коэффициент армирования, несмотря на меньшее количество армирующей компоненты, прочность стеклопластика после термообработки выше прочности стеклопластика, не подвергнувшегося термообработке на 57 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56810-2015. Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов. – Введ. 27.11.2015. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.
2. Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: учеб. пособие / Ю. С. Первушин, В. С. Жернаков; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа. 2008. – 303 с.
3. Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.] – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
4. Технологии сшивки полиэтилена и сравнение с полипропиленом [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/articles/tehnologii-sshivki-polietilena-i-sravnenie-s-polipropilenom>.
5. ГОСТ Р 56785-2015. Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов. – Введ. 27.11.2015. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.
6. ГОСТ Р 57715-2017. Композиты полимерные. Определение ударной вязкости по Изоду. – Введ. 01.02.2018. – М.: Стандартинформ, 2017. – 36 с.
7. Тимченко, Е.В. Цифровая оптическая микроскопия: учеб. пособие / Е.В. Тимченко, П.Е. Тимченко. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2015. – 104 с.
8. Степанова, Н.Н. Методы исследования материалов и процессов: учеб. пособие / Н.Н. Степанова. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 133 с.
9. Перова, Б. В. Авиационные материалы : композиционные материалы (стеклопластики) : сборник статей / Б. В. Перова, Я. Д. Аврасина. – М. : ОНТИ ВИАМ, 1982. – 85 с.
10. Композиционные материалы. В 8 т. Т.1. / пер. с англ./ под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М. : Мир, 1978. – 240 с.

ОБ АВТОРАХ

БУКРЕЕВА Дарья Евгеньевна, магистрант 1-го курса ИАТМ.

СОЛОВЬЕВ Павел Владимирович, доцент каф. МиФМ ИАТМ.

METADATA

Title: Ways of increasing the performance properties of structural elements of aircraft from fiberglass.

Authors: D. E. Bukreeva ¹, P. V. Soloviev ²

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ bukreeva.dasha99@mail.ru; ² paulnightingale@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (26), pp. 31-36, 2022. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract. The article presents ways to improve the operational properties of the structural elements of aircraft made of fiberglass, such as thermal treatment and modification. With the help of heat treatment, mechanical properties such as strength and

rigidity can be improved without increasing the weight characteristics. Fiberglass after heat treatment can be used in such strong structural elements as helicopter blade spars, aircraft wing stringers, helicopter fairings.

Key words: composite material; polymer matrix; fiberglass; reinforcing; binder; heat treatment; mechanical properties; specific strength; modification; talc.

About authors:

BUKREEVA, Daria Evgenievna, postgraduate student 1 year, Ufa State Aviation Technical University.

SOLOVIEV, Pavel Vladimirovich, Associate Professor, Dept. of Automation technological processes.