
Научная статья

УДК 629.7.017

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-2-53-62

ВЛИЯНИЕ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ УТОЧНОЙ НИТИ В АРМИРУЮЩЕМ НАПОЛНИТЕЛЕ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПКМ

Р.А. Сатдинов¹, Р.С. Савицкий¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. В настоящее время для изготовления препрегов производят широкий ассортимент армирующих наполнителей. Ко всем наполнителям предъявляются определенные технические требования, в том числе и к внешнему виду. Однако в большинстве случаев отсутствует требование по углу отклонения уточной нити относительно основы ткани. В рамках данной работы рассмотрены причины возникновения отклонения уточной нити относительно основы ткани, которые приводят к образованию дефектных зон в препреге. Произведен замер угла отклонения уточной нити. Исследовано влияние такого отклонения на конечные упруго-прочностные свойства полимерного композиционного материала.

Ключевые слова: отклонение, уточная нить, свойства, влияние, угол отклонения, прочность

Для цитирования: Сатдинов Р.А., Савицкий Р.С. Влияние угла отклонения уточной нити в армирующем наполнителе на упруго-прочностные свойства ПКМ // Труды ВИАМ. 2023. № 2 (120). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-2-53-62.

Scientific article

INFLUENCE OF WEFT THREAD DEFLECTION IN REINFORCING FILLER ON ELASTIC-STRENGTH PROPERTIES OF PCM

R.A. Satdinov¹, R.S. Savitsky¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Currently for the manufacture of prepregs a huge number of reinforcing fillers are produced. All fillers are subject to certain technical requirements, including appearance however there is no requirement for the angle of deflection of the weft thread relative to the warp of the fabric. In the framework of this work, the reasons for the deviation of the weft thread relative to the warp of the fabric, which lead to the formation of defective zones on the prepreg, are considered. The angle of deflection of the weft thread was measured. The effect of weft thread deflection on the final elastic-strength properties of a polymer composite material has been studied.

Keywords: deviation, weft thread, properties, influence, deviation angle, strength

For citation: Satdinov R.A., Savitsky R.S. Influence of weft thread deflection in reinforcing filler on elastic-strength properties of PCM. *Trudy VIAM*, 2023, no. 2 (120), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-2-53-62.

Введение

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) пользуются все большей популярностью [1]. Производители предлагают широкий ассортимент ПКМ с самыми разными армирующими компонентами и связующими добавками на

основе полимеров. Как следствие, ПКМ на их основе имеют различные физические и химические свойства.

Полимерные композиционные материалы предназначены для решения самых разных задач, а также для применения при эксплуатации в достаточно жестких условиях. На практике это приводит к необходимости менять состав наполнителей и структуру армирования с учетом конкретной ситуации. В основном в качестве армирующих компонентов применяют стекло-, угле- и органоткани [2, 3].

В свою очередь, данные наполнители изготавливают в виде:

- жгутов;
- тканей (нити в рамках уровня укладывают в одном направлении; на выходе получают слоистую структуру, так как в каждом последующем слое нити располагаются перпендикулярно предыдущему);
- матов (эти наполнители представляют собой многослойные среды, где каждый из уровней – это ткань с упорядоченной нитяной структурой; для всех слоев выбирают единое направление).

В том случае если готовое изделие из ПКМ планируют эксплуатировать при минимальных или средних нагрузках, армирование выполняют при помощи стеклотканей. Данный вариант относится к бюджетным по сравнению с применением угле- и органотканей. В то же время физико-механические свойства получаемых деталей соответствуют требованиям для решения поставленной задачи. Для получения стеклотканей, из стекла вытягивают нити, обладающие одновременно и гибкостью, и устойчивостью к внешним воздействиям. Стекловолокно выдерживает нагревание, не горит, не впитывает воду, не вступает в химические реакции, не гниет и т. д.

Стекломассу для нитей можно получать как из бывшего в использовании стекла (боя), так и из стандартного исходного сырья. Массу пропускают через системы фильтров с ячейками разного диаметра. От этого зависит диаметр будущих волокон. Полностью готовые нити для удобства транспортировки и последующего использования наматывают на специальные бобины. Волокна скручивают в нити, из которых производят разнообразные сетки, ткани и нетканые полотна. Диаметр стекловолокон – минимальный. Чтобы они не истирались в процессе формирования нитей или тканей, применяют замазливатели – технологические или «прямые». Для изготовления первых используют парафиновые эмульсии или масла, а «прямые» замазливатели производят из аминосилана.

В настоящее время выпускают стеклоткани самых разных типов и назначения. Различаются и структура ткани, и исходное сырье. К наиболее востребованным относят следующие модификации стеклотканей (по назначению): конструкционные, строительные, радиотехнические и изоляционные. Исходя из материала основы и способа производства, выделяют следующие варианты стеклотканей: кварцевые, ровинговые и фильтрационные.

Строительные стеклоткани используют преимущественно при черновом оштукатуривании стен, что позволяет улучшить адгезию и увеличить срок эксплуатации покрытия. Кроме того, такие стеклоткани применяют для укрепления дорожных откосов и береговой линии. Отличить данный материал можно при наличии индексов в маркировке: СС, ССШ или СДА.

Отличие радиотехнических стеклотканей от аналогов заключается в наличии тончайшей металлической проволоки или нити в основе. Основное предназначение подобных материалов – отражение световых и радиоволн. В их названии обязательно должна присутствовать следующая аббревиатура: СТП, РСП, ТСОИ или СММТ.

Изоляционные стеклоткани производят из стекла, не содержащего щелочи. Для защиты от внешних воздействий готовые волокна покрывают парафиновыми составами. Эти типы стеклотканей применяются в строительстве, для армирования изоляционных конструкций и т. д. В маркировке присутствуют символы: И или ПС.

Кремнеземные и кварцевые стеклоткани не теряют эксплуатационных качеств при температуре 1100 °С. Их физические и химические свойства не меняются при воздействии радиации, кислотных и щелочных сред. Однако в отличие от асбеста указанные стеклоткани не оказывают негативного воздействия на человека. Сфера применения материала практически не ограничена: строительство, промышленность, теплоизоляция и т. д. Отличить такую стеклоткань от других можно при наличии обязательной аббревиатуры: КТ и ТС.

Фильтрационные стеклоткани применяют при изготовлении фильтров для разделения различных субстанций на отдельные фракции, в том числе для отделения газов. От аналогов такие ткани отличаются следующей маркировкой: ТСФ или ССФ.

К группе ровинговых стеклотканей можно отнести практически любую стеклоткань вне зависимости от ее назначения. Главное, чтобы для получения материала использовались ровинги – не скрученные между собой пучки исходных волокон. Ровинговые стеклоткани можно приобрести как в листах, так и в рулонах. Далее можно вырезать заготовки практически любых площади и размеров. В маркировке ровинговых тканей значатся буквы ТР.

Перечисленные модификации стеклотканей отгружаются с заводов-производителей рулонами или листами. Максимальная ширина – 110 см. На основе полученных рулонов стеклотканей и полимерного связующего изготавливают полуфабрикат – препрег (предварительно пропитанная полимерным связующим ткань), из которого в свою очередь производят послойную выкладку и формование необходимого изделия.

В настоящее время большинство марок стеклотканей изготавливают на современных высокотехнологичных ткацких установках. Однако до сих пор используют и такие марки ткани, которые производят на устаревшем оборудовании. Одной из главных проблем изготовления стеклотканей является ее неравномерное натяжение в рулонах, обусловленное «рыхлой» намоткой на гильзе, что в свою очередь при пропитке ткани существенно сказывается на качестве получаемого полуфабриката.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [4–6].

Материалы и методы

Тканые наполнители используют для улучшения эксплуатационных свойств ПКМ (прочности, жесткости и др.) и придания им требуемых характеристик. Наполнитель, как один из компонентов материала, имеет важнейшее значение при формировании основных свойств композита – от него в значительной степени зависят технологические свойства ПКМ и возможности их переработки в изделия.

К идеальному наполнителю предъявляют особые требования, которые в одном компоненте сочетать очень трудно. Он должен обладать высоким уровнем физико-механических свойств, низким водопоглощением, хорошей смачиваемостью, повышенной химической и термостойкостью, иметь низкую стоимость, быть негорючим, доступным для придания заданной формы изделиям и хорошо драпироваться.

В настоящее время основными наполнителями, используемыми при изготовлении конструкций из ПКМ для летательных аппаратов, являются стеклоткани марок Т-10-14, Т-15-76, Т-64(ВМП)-78, ТС-8/3-К-ТО и др. [7–9]. Данные стеклоткани различаются как назначением, так и основными свойствами (табл. 1).

Основные свойства наполнителей (стеклотканей)

Стеклоткань	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Плотность переплетения, нитей/см		Разрывная нагрузка, Н		Вид переплетения
			по основе	по утку	по основе	по утку	
Т-10-14	0,23±0,03	290±7	36±1	20±1	2940	1568	Сатин 8/3
Т-64(ВМП)	0,09±0,01	100±5	22±1	24±1	882 (90)	490 (50)	Сатин 4-ремизный
Т-15(П)-76	0,19±0,03	160±16	24±1	18±1	784 (80)	686 (70)	Сатин 5/3
ТС-8/3-К-ТО	0,28±0,03	290±20	36±1	20±1	980 (100)	539 (55)	Сатин 8/3

Для проведения данного исследования выбрана стеклоткань марки Т-64(ВМП) ввиду особенности ее изготовления. Вид переплетения для указанной стеклоткани – сатин 4-ремизный неправильный или саржа 2/2 из стеклянных крученых комплексных нитей. В основе используют нити ВМПС6 7,2×4 Z 10 или ВМПС6 14,4×2 Z 100, в утке – нити ВМПС6 7,2×2 Z 100 или ВМПС6 14,4×1 S 50. Используемая стеклоткань изготовлена с применением «прямого» замасливателя № 78.

Известно большое количество технологий пропитки армирующих наполнителей связующими, основная задача которых заключается в создании условий наилучшего смачивания поверхности волокон наполнителя пропитывающим составом. Процессы пропитки условно можно разделить на два вида:

– традиционные (с изготовлением полуфабриката – препрега, семипрега, премикса и т. д.);

– «директивные» или прямые, в которых процесс пропитки наполнителя осуществляется непосредственно в формообразующей оснастке.

В данной работе производство препрега выполняли по онлайн-технологии, т. е. изготовление пленки связующего и ее совмещение с тканым наполнителем проводили на пропиточной установке за единый технологический цикл. Использование данной технологии позволяет работать со связующими на основе низкодеформативных полимеров (например, таких как полиимиды), поскольку совмещение происходит непосредственно с низковязким расплавом [10–12].

На основе выбранной стеклоткани и расплавного эпоксидного связующего изготовлен препрег с массовым содержанием связующего 45±2 %. Далее методом вакуум-автоклавного формования на основе полученного препрега изготовлены плиты стеклопластика, из которых вырезаны образцы для определения предела прочности при растяжении и сжатии.

При испытаниях проводили определение:

- разрывной нагрузки стеклоткани (по ГОСТ 6943.10–2015);
- предела прочности и модуля упругости при растяжении стеклопластика (по ГОСТ Р 56785–2015);
- предела прочности при сжатии стеклопластика (по ГОСТ Р 56812–2015).

Результаты и обсуждение

Непосредственно перед изготовлением полуфабриката (препрега) проведен входной контроль свойств стеклоткани марки Т-64(ВМП) на соответствие требованиям нормативной документации [13]. Согласно полученным данным стеклоткань соответствовала техническим условиям на ее поставку. Однако при определении разрывной нагрузки при растяжении выявлен большой разброс по показателям. Разрывная нагрузка по основе стеклоткани составила от 1080 до 1530 Н, по утку – от 560 до 920 Н. Характер разрушения образцов из стеклоткани, имеющих минимальные значения разрывной нагрузки, согласно графику нагружения образцов, имел ступенчатый вид, т. е. разрушение нитей ткани происходило не одновременно, а поочередно (рис. 1).

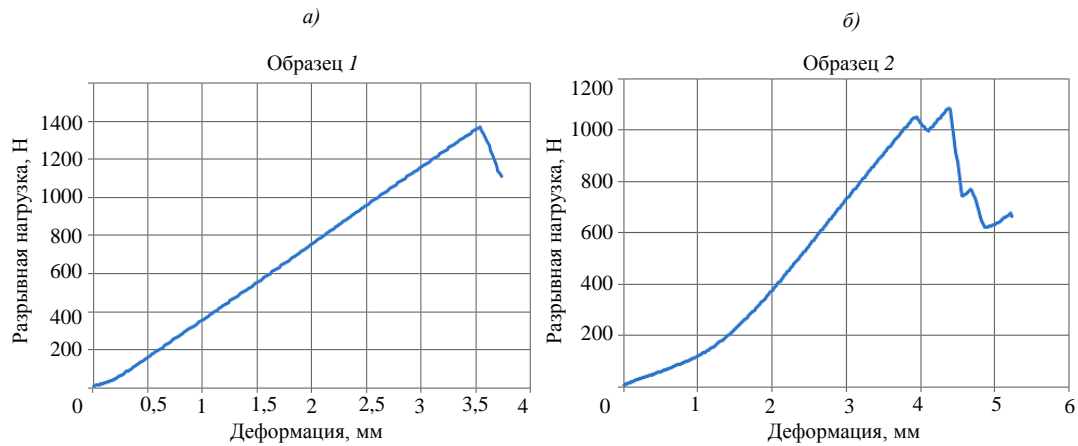


Рис. 1. Диаграммы испытанных образцов 1 и 2 из стеклоткани по основе при одновременном (а) и поочередном разрушении нитей (б)

Следует отметить, что при размотке (протяжке) рулона «сухой» стеклоткани часто наблюдается отклонение (неперпендикулярность) уточной нити относительно нитей основы ткани. Причиной образования отклонения уточной нити, по-видимому, является неравномерное натяжение нитей основы при производстве стеклотканей, что в свою очередь приводит к провисанию исходного (готового) полотна ткани при его движении на пропиточной установке в процессе изготовления препрега. Провисание полотна ткани при пропитке приводит не только к отклонению уточной нити, но и к образованию некондиционных зон (складки, недопропитка) на препреге (рис. 2).

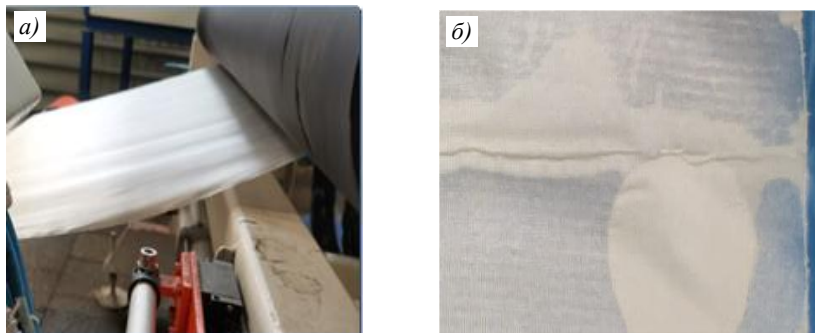


Рис. 2. Дефектные зоны: а – провисание ткани; б – складка на препреге

Для определения влияния отклонения уточной нити в препреге на механические свойства ПКМ изготовлен препрег стеклопластика на основе выбранной стеклоткани и расплавного эпоксидного связующего и проведен замер угла отклонения уточной нити (рис. 3).

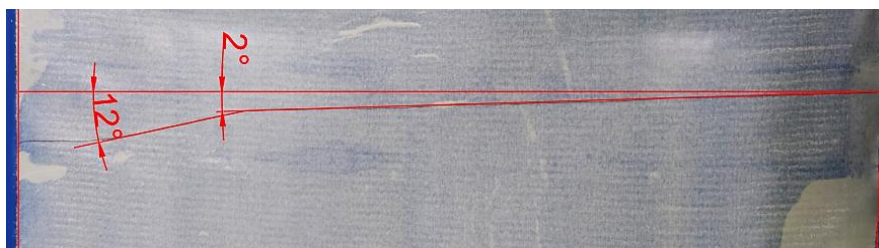


Рис. 3. Угол отклонения уточной нити в препреге

Видно, что в одной из сторон препрега образовалась зона с углом отклонения уточной нити, равным ~ 12 градусов. Изготовленный препрег раскроен на карты габаритным размером 500×460 мм. Кроме того, на их основе выложены плиты стеклопластика со схемой армирования в направлении $[0^\circ]_n$. Выкладка проведена по схеме, представленной на рис. 4: одна половина плиты стеклопластика получена из препрега, где отсутствует отклонение уточной нити, другая половина – из препрега с явным отклонением уточной нити.

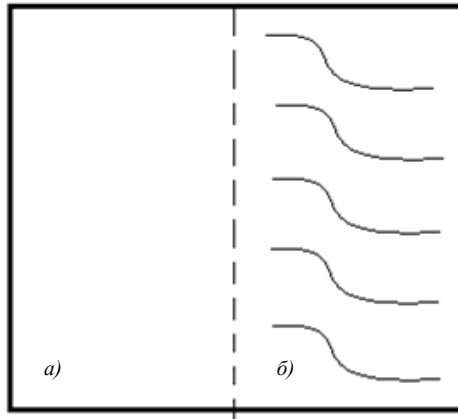


Рис. 4. Схема выкладки заготовки плиты стеклопластика из препрега без отклонения (а) и с отклонением (б) уточной нити

Плиты стеклопластика изготовлены вакуумно-автоклавным методом при конечном избыточном давлении $0,7$ МПа [14–18]. Каждая полученная плита промаркирована и размечена (рис. 5). Для определения места расположения в исходной плите вырезанных и испытанных образцов из стеклопластика их маркировали в виде «ласточкиного хвоста» с условным обозначением зоны, откуда они были вырезаны. Из отформованных плит образцы вырезали для определения предела прочности при растяжении и сжатии в направлении основы и утка [19, 20]. Для минимизации влияния механической разрезки на свойства стеклопластика образцы для механических испытаний вырезали при помощи гидроабразивной установки [21–26].

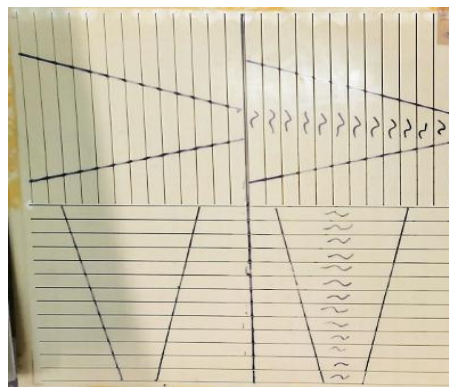


Рис. 5. Пример маркировки изготовленных плит стеклопластика

Механические испытания проводили с использованием испытательного оборудования фирмы Zwick/Roell Z050. Полученные результаты испытаний образцов из стеклопластика представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты механических испытаний образцов из стеклопластика

Свойства	Направление приложения нагрузки, градус	Значения свойств* (коэффициент вариации свойств)	
		при отсутствии отклонения уточной нити	при отклонении уточной нити
Предел прочности при растяжении, МПа	0	<u>605–660</u> 635 (2,4 %)	<u>545–650</u> 610 (5,5 %)
	90	<u>385–400</u> 390 (2,5 %)	<u>305–320</u> 315 (3,5 %)
Модуль упругости при растяжении, ГПа	0	<u>21–24</u> 22	<u>20–23</u> 21
	90	<u>14–15</u> 14	<u>10–12</u> 11
Предел прочности при сжатии, МПа	0	<u>445–490</u> 470 (2,5 %)	<u>415–480</u> 450 (5,0 %)
	90	<u>295–325</u> 310 (2,0 %)	<u>235–285</u> 265 (6,2 %)
Толщина монослоя, мм	–	<u>0,11–0,13</u> 0,12	

* В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее.

Исходя из данных табл. 2 установлено, что отклонение уточной нити в стеклоткани значительно влияет на механические свойства и коэффициент вариации свойств в стеклопластике в направлении приложения нагрузки 90 градусов.

Влияние отклонения уточной нити на предел прочности при растяжении образцов стеклопластика составляет:

– по направлению приложения нагрузки [0°] – от 2 до 9 %; разброс свойств (от минимального к максимальному) возрастает в 2 раза (с 2,4 до 5,5 %);

– по направлению приложения нагрузки [90°] от 19 до 20 % без увеличения коэффициента вариации.

Показатели предела прочности при сжатии продемонстрировали отклонение уточной нити по направлению приложения нагрузки [0°] и [90°] от 3 до 5 и от 12 до 20 % соответственно без увеличения коэффициента вариации.

Заключения

Во избежание перекоса уточной нити при изготовлении исходной ткани необходимы применение установок с поддержанием равномерного натяжения ее полотна и использование качественного (одинакового по свойствам) исходного сырья.

По результатам проведенной работы можно отметить следующее: чем больше отклонение угла уточной нити относительно основы ткани, тем большее влияние на механические свойства и их разброс в ПКМ оно имеет.

Для уменьшения угла отклонения уточной нити относительно основы ткани при изготовлении препрегов можно рекомендовать применение накопительных устройств и специализированных систем валов или повторную перемотку рулонов сухой ткани.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. № 5–6. С. 40–44.
2. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 720 с.
3. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е., Донецкий К.И. Применение плетеных преформ для полимерных композиционных материалов в гражданских отраслях промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. № 1. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 27.04.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-5-5.

4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
6. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // *Вестник РФФИ*. 2017. № 3. С. 97–105.
7. Башаров Е.А., Вагин А.Ю. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов // *Труды МАИ*. 2017. № 92. С. 1–13.
8. Зорин В.А. Опыт применения композиционных материалов в изделиях авиационной и ракетно-космической техники // *Конструкции из композиционных материалов*. 2011. № 4. С. 44–59.
9. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
10. Тимошков П.Н., Гончаров В.А., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Развитие автоматизированной выкладки: от истоков до наших дней (обзор). Часть 1. Автоматизированная выкладка лент (ATL) // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 2 (63). Ст. 06. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 19.06.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-51-61.
11. Малышева Г.В., Гращенков Д.В., Гузева Т.А. Оценка технологичности использования клеев и клеевых препрегов при изготовлении трехслойных панелей // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 4 (53). С. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
12. Сарычев И.А., Серкова Е.А., Хмельницкий В.В., Застрогина О.Б. Термореактивные связующие для материалов панелей пола летательных аппаратов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2019. № 7 (79). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-26-33.
13. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В., Абрамов П.А., Сатдинов Р.А. Опыт применения технологического контроля полуфабрикатов ПКМ // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014. Т. 16. № 6 (2). С. 393–398.
14. Composite materials handbook. US Department of Defense handbook, 2002. Vol. 3: Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis. 734 p.
15. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
16. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ // *Труды ВИАМ*. 2014. № 4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.04.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
17. Сатдинов Р.А., Истягин С.Е., Вешкин Е.А. Анализ температурно-временных параметров режимов отверждения ПКМ с заданными характеристиками // *Труды ВИАМ*. 2017. № 3 (51). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 13.03.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-3-9-9.
18. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. № 3. С. 20–26.
19. Кобелев С.А., Данилов Г.И. Резка заготовок из полимерных композиционных материалов с применением различных смазочно-охлаждающих технологических средств // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11. № 3 (2). С. 464–468.
20. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Научный мир, 2007. 128 с.
21. Савицкий Р.С. Влияние механической обработки образцов при порезке на испытания композитов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2017. Т. 19. № 4 (2). С. 214–219.

22. Бойчук А.С., Генералов А.С., Степанов А.В. Неразрушающий контроль углепластиков на наличие несплошностей с использованием ультразвуковых фазированных решеток // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 3 (36). С. 84–89. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-3-84-89.
23. Мурашов В.В., Трифонова С.И. Контроль качества полимерных композиционных материалов ультразвуковым временным способом велосиметрического метода // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 4 (37). С. 86–90. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-86-90.
24. Бойчук А.С., Генералов А.С., Диков И.А. Контроль деталей и конструкций из полимерных композиционных материалов с применением технологии ультразвуковых фазированных решеток // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 1 (46). С. 45–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-45-50.
25. Неразрушающий контроль: справочник / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2006. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. 864 с.
26. Антюфеева Н.В., Столянков Ю.В., Исходжанова И.В. Исследование и оценка свойств полимерных композиционных материалов по методикам, гармонизированным с международными стандартами // *Конструкции из композиционных материалов*. 2013. № 3. С. 41–45.

References

1. Kablov E.N. Marketing of materials science, aircraft building and industry: present and future. *Direktor po marketingu i sbytu*, 2017, no. 5–6, pp. 40–44.
2. Mikhailin Yu.A. *Fibrous polymeric composite materials in engineering*. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2013, 720 p.
3. Vlasenko F.S., Raskutin A.E., Doneckij K.I. Application of braided preforms for polymer composite materials in civil industries (review). *Trudy VIAM*, 2015, no. 1, paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 27, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-5-5.
4. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Kablov E.N. Materials of a new generation and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
6. Kablov E.N. Formation of domestic space materials science. *Vestnik RFFI*, 2017, no. 3, pp. 97–105.
7. Basharov E.A., Vagin A.Yu. Analysis of the use of composite materials in the design of helicopter airframes. *Trudy MAI*, 2017, no. 92, pp. 1–13.
8. Zorin V.A. Experience in the use of composite materials in products of aviation and rocket-space technology. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, 2011, no. 4, pp. 44–59.
9. Raskutin A.E. Russian polymer composite materials of new generation, their exploitation and implementation in advanced developed constructions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
10. Timoshkov P.N., Goncharov V.A., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. The development of automated laying: from the beginning to our days (review). Part 1. Automated Tape Laying (ATL). *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 2 (63), paper no. 06. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 19, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-51-61.
11. Malysheva G.V., Grashchenkov D.V., Guzeva T.A. Evaluation of technological use efficiency of adhesives and glue prepregs in the manufacture of three-layer panels. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
12. Sarychev I.A., Serkova E.A., Khmelnskiy V.V., Zastrogina O.B. Thermosetting binders for aircraft floor panel materials (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 7 (79), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 22, 2022). DOI: 10.18577/2307-6049-2019-0-7-26-33.

13. Veshkin E.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V., Abramov P.A., Satdinov R.A. Experience in the application of technological control of PCM semi-finished products. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, vol. 16, no. 6 (2), pp. 393–398.
14. *Composite materials handbook*. US Department of Defense handbook, 2002. Vol. 3: Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis. 734 p.
15. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
16. Postnova M.V., Postnov V.I. Development experience out-of-autoclave methods of formation PCM. *Trudy VIAM*, 2014, no. 4, paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 08, 2022). DOI 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
17. Satdinov R.A., Istyagin S.E., Veshkin E.A. Analysis of the temperature-time parameters mode curing PCM with specified characteristics. *Trudy VIAM*, 2017, no. 3, paper no. 9. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 13, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-3-9-9.
18. Dushin M.I., Hrulkov A.V., Muhametov R.R. A choice of technological parameters of autoclave formation of details from polymeric composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2011, no. 3, pp. 20–26.
19. Kobelev S.A., Danilov G.I. Cutting blanks from polymer composite materials using various lubricating-cooling technological means. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 3 (2), pp. 464–468.
20. Tager A.A. *Physico-chemistry of polymers*. Moscow: Scientific world, 2007, 128 p.
21. Savitsky R.S. Influence of mechanical processing of samples during cutting on the testing of composites. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2017, vol. 19, no. 4 (2), pp. 214–219.
22. Boychuk A.S., Generalov A.S., Stepanov A.V. NDT monitoring of CFRP structural health by ultrasonic phased array technique. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 3 (36), pp. 84–89. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-3-84-89.
23. Murashov V.V., Trifonova S.I. Quality control of polymer composite materials using ultrasonic time-of-flight velocimetric technique. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 4 (37), pp. 86–90. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-86-90.
24. Boychuk A.S., Generalov A.S., Dikov I.A. FRP parts and structures testing by phased array technique. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 1 (46), pp. 45–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-45-50.
25. *Non-destructive testing: reference book*. Ed. V.V. Klyuev. Moscow: Mashinostroenie, 2006, vol. 3: Ultrasonic testing. Ed. I.N. Ermolov, Yu.V. Lange, 864 p.
26. Antyufeeva N.V., Stolyankov Yu.V., Iskhodzhanova I.V. Research and assessment of the properties of polymer composite materials according to methods harmonized with international standards. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, 2013, no. 3, pp. 41–45.

Информация об авторах

Сатдинов Руслан Амиржанович, заместитель начальника филиала по производству, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Савицкий Руслан Сергеевич, инженер-технолог 3 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Ruslan A. Satdinov, Deputy Head of USTC for production, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ruslan S. Savitsky, Third category engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 21.07.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 30.08.2022.
The article was submitted 21.07.2022; approved and accepted for publication after reviewing 30.08.2022.