

УДК 678.8

*А.И. Сидорина¹, А.М. Сафронов¹, К.Е. Куцевич¹, О.Н. Клименко¹***УГЛЕРОДНЫЕ ТКАНИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-47-58

Представлены актуальные сведения о номенклатуре тканых армирующих наполнителей для композиционных материалов (КМ) с полимерной матрицей, выпускаемых на производственных мощностях ФГУП «ВИАМ», расположенных на базе Воскресенского экспериментально-технологического центра по специальным материалам. Приведены основные свойства изготавливаемых углеродных и гибридных тканей, перспективные области их применения, а также основные свойства серийно выпускаемых и экспериментальных композитов на основе полимерных матриц и тканых наполнителей производства ФГУП «ВИАМ». Отмечены направления дальнейшего расширения ассортимента выпускаемых тканых армирующих наполнителей для КМ с полимерной матрицей.

Ключевые слова: углеродные волокна, углеродные ткани, гибридные ткани, армирующие наполнители, расплавные связующие, клеевые связующие, полимерные матрицы, композиционный материал, препрег, углепластик, углекомпозит.

*A.I. Sidorina¹, A.M. Safronov¹, K.E. Kutsevich¹, O.N. Klimenko¹***CARBON FABRICS FOR AIRCRAFT PRODUCTS**

Current information about the nomenclature of woven reinforcing fillers for composite materials (CM) with a polymer matrix produced at production facilities of FSUE «VIAM», located on the basis of the Voskresensk experimental and technological center for special materials is presented. The main properties of manufactured carbon and hybrid fabrics, promising areas of their application, as well as the main properties of commercially produced and experimental composites based on polymer matrices and woven fillers of FSUE «VIAM» are presented. The directions of further expansion of the range of manufactured woven reinforcing fillers for CM with a polymer matrix are marked.

Keywords: carbon fibers, carbon fabrics, hybrid fabrics, reinforcing fillers, molten binders, adhesive binders, polymer matrices, polymer composite material, prepreg, carbon plastic.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Одним из ключевых факторов, определяющих эволюцию авиационной техники, являются материалы, из которых изготовлена конструкция. Расширение применения композиционных материалов (КМ), в частности полимерматричных, для производства летательных аппаратов обусловлено стремлением к получению более легких и устойчивых к воздействиям внешних факторов материалов, сохраняющих свои физико-механические свойства при высоких температурах и в агрессивных средах.

Начиная с 2000-х гг. КМ стали применять для изготовления основной несущей конструкции самолетов (например, Airbus A380, A400 и Boeing Dreamliner), что определило возросшие требования к уровню их прочностных показателей, а также возникновение тенденции к разработке материалов с заданными свойствами и адаптированных для определенного использования [1]. В частности, активное применение в авиационной промышленности получили КМ с полимерной матрицей благодаря относительно

небольшой стоимости переработки и их низким весовым характеристикам [2]. В качестве армирующих наполнителей для полимерматричных композитов конструкционного назначения в основном используются текстильные материалы из непрерывных углеродных и стеклянных волокон [3, 4].

Армирующие текстильные наполнители из углеродных волокон применяются в виде различных форм: одномерных (нити, жгуты), двумерных (ленты, ткани, сетки), трехмерных (плетеные и тканые преформы) и т. д.

Ткани и ленты из углеволокна являются наиболее распространенными армирующими материалами для получения КМ авиационного назначения. Тканые наполнители изготавливают на ткацких станках, предназначенных для работы с углеродными и другими типами волокон технического назначения. В большинстве случаев в качестве основы используют углеродные волокна с различными характеристиками (линейной плотностью, механическими свойствами при растяжении и т. д.), а в качестве утка – углеродные, стеклянные, арамидные и другие нити, в том числе на основе термопластичных полимеров.

При выборе тканого наполнителя следует учитывать не только свойства нитей основы и утка, но и другие характеристики ткани (ширину, толщину), тип переплетения, поверхностную плотность – в зависимости от того, по какой технологии будет изготавливаться углепластик. В настоящее время для производства изделий авиационной техники преобладающей является дорогостоящая препреговая технология [5].

Ткани полотняного плетения имеют высокую технологичность при работе за счет плотной структуры переплетения, но при этом наименьшую способность к драпировке. Кроме того, полимерный КМ на основе полотняной ткани будет обладать более низкими механическими свойствами, по сравнению с углепластиком на основе ткани с аналогичными характеристиками, но другого плетения, по причине большего количества перегибов волокна и, как следствие, образования при пропитке областей с повышенным содержанием связующего. Высокой пропитываемостью, по сравнению с тканями полотняного плетения, обладают ткани саржевого плетения, а углекомпози́ты на их основе имеют более высокие прочностные показатели. При этом ткани саржевого плетения также достаточно формоустойчивы при выкладке. Ткани сатинового плетения (обычно 4-, 5- и 8-ремизные сатины) обладают наибольшей способностью к драпировке благодаря наименьшему количеству перегибов волокон. Но в случае применения тканей сатинового переплетения следует учитывать их асимметричность: с одной стороны ткани преобладающее число нитей расположено в направлении основы, с другой стороны – в направлении утка.

Эффективность реализации механических свойств волокон в материале во многом зависит от их правильного расположения в направлении деформации. При несоосности волокон тип нагрузки может измениться – от растягивающей/сжимающей до сдвиговой. Таким образом, на свойства готового изделия из полимерматричного КМ значительное влияние оказывает качество изготовления применяемого наполнителя.

Собственное ткацкое производство армирующих наполнителей имеют многие ведущие производители компонентов и полуфабрикатов для КМ и готовых изделий из них – Hexcel Corporation (США) [6], Porcher Industries (Франция) [7], SGL Carbon (Германия) [8] и др. Это позволяет решать научно-технические задачи, возникающие при разработке новых материалов, комплексно и получать материалы с требуемыми свойствами.

Цель проведения работ – организация гибкого ткацкого производства российских высокопрочных наполнителей для полимерматричных КМ и освоение их серийного производства.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [9, 10].

Материалы и методы

Объектами исследования являлись экспериментальные образцы углекомпозиата из ткани марки ВТкУ-2.200Т и связующего ВСЭ-1212, из ткани марки ВТкУ-2.200Т и клеевого связующего ВСК-14-2м, а также из металлоуглеродной ткани марки ВТкУ-2.280М и эпоксидного связующего расплавного типа. Для оценки уровня механических характеристик экспериментальных образцов углепластиков проведены испытания на прочность: при растяжении – по ГОСТ 25.601–80, ГОСТ Р 56785–2015, ASTM D3039–2000; при сжатии – по ГОСТ 25.602–80, ГОСТ Р 56812–2017, ASTM D6641–2016; при изгибе по ГОСТ 25.604–82, ГОСТ Р 57866–2017; при межслойном сдвиге – по ГОСТ 32659–2014, ГОСТ Р 27745–2017. Направление приложения нагрузки для всех испытаний – $[0^\circ]$.

Результаты и обсуждение

В 2017 г. с целью снижения зависимости от иностранных поставщиков технических тканей и для преодоления кризисной экономической и политической обстановки в мире, а также в рамках реализации политики импортозамещения во ФГУП «ВИАМ» проведена диверсификация производства – начат выпуск наполнителей для полимерматричных КМ. Изготовление российских высокопрочных наполнителей на основе различных волокон методом ткачества реализовано на базе Воскресенского экспериментально-технологического центра по специальным материалам (ВЭТЦ ВИАМ).

На первом этапе освоения нового для ФГУП «ВИАМ» вида производства разработана технология изготовления и выпущена нормативная документация для получения и поставки наиболее востребованных наполнителей:

– равнопрочных тканей саржевого плетения 2×2 из углеродных волокон с количеством филаментов 3К (КНР) с поверхностными плотностями 200 г/м^2 марки ВТкУ-2.200 (рис. 1) и 285 г/м^2 марки ВТкУ-2.28 (рис. 2);

– однонаправленной ткани полотняного плетения из углеродных волокон с количеством филаментов 12К (КНР) и стеклянной нити с покрытием из термопласта с поверхностной плотностью 200 г/м^2 (марки ВТкУ-3, рис. 3).

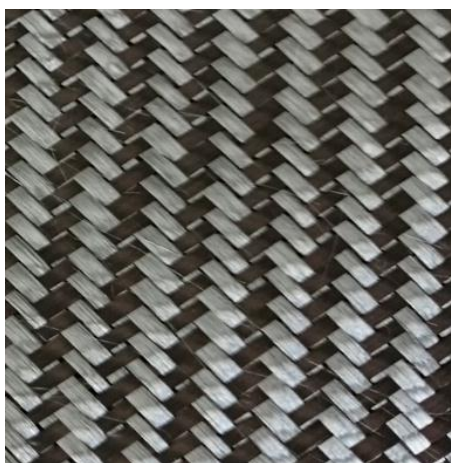


Рис. 1. Углеродная ткань марки ВТкУ-2.200



Рис. 2. Углеродная ткань марки ВТкУ-2.280

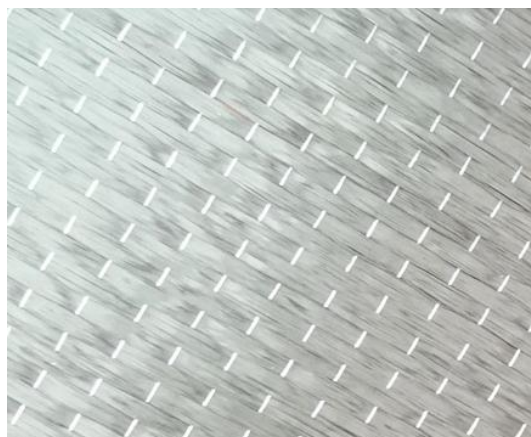


Рис. 3. Углеродная ткань марки ВТкУ-3

Основные свойства углеродных тканей марок ВТкУ-2.200, ВТкУ-2.280 и ВТкУ-3, серийно изготавливаемых на рапирном ткацком станке в ВЭТЦ ВИАМ:

Свойства	Значения свойств для ткани марки (ТУ1-595-11-1615–2016 с изм. 1–2)		
	ВТкУ-2.200	ВТкУ-2.280	ВТкУ-3
Ширина, мм (ГОСТ 29104.1–91)	1000±10	1000±10	1000±10
Поверхностная плотность, г/м ² (ГОСТ 29104.1–91)	200±10	285±10	200±10
Количество нитей на 10 см по основе/утку (ГОСТ 29104.3–91)	(50±1)/(50±1)	(70±1)/(70±1)	(24±1)/(10±1)
Фактическая влажность, %, не более (ГОСТ 10213.3–2002)	1,0	1,0	1,0

С применением данных тканей в качестве наполнителей разработан комплекс материалов – препрегов на основе высокодеформативного эпоксидного связующего расплавленного типа ВСЭ-1212 (ТУ1-595-12-1068–2009) производства ФГУП «ВИАМ» [11]. Препреги на основе связующего ВСЭ-1212 могут перерабатываться в изделие методами прямого прессования, автоклавного и вакуумного формования.

Основные механические свойства образцов углепластика ВКУ-39/ВТкУ-2.200 при температуре 23±2 °С, изготавливаемых на основе ткани марки ВТкУ-2.200 (свойства приведены для образцов КМ, получаемых методом автоклавного формования):

Свойства	Значения свойств (ТУ1-595-11-1633–2016 с изм. 1–4)
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее (ГОСТ 25.601–80, или ГОСТ Р 56785–2015, или ASTM D3039–2000)	750
Модуль упругости при растяжении, ГПа, не менее (ГОСТ 25.601–80, или ГОСТ Р 56785–2015, или ASTM D3039–2000)	60
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее (ГОСТ 25.604–82, или ГОСТ Р 56810–2015, или ASTM D7264–2015)	750
Модуль упругости при изгибе, ГПа, не менее (ГОСТ 25.604–82, или ГОСТ Р 56810–2015, или ASTM D7264–2015)	50

Предел прочности при сжатии, МПа, не менее (ГОСТ 25.602–80, или ГОСТ Р 56812–2015, или ASTM D6641–2016)	600
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Основные механические свойства образцов углепластика ВКУ-39/ВТкУ-2.280 при температуре от 20 до 25 °С, изготавливаемых методом автоклавного формования на основе ткани марки ВТкУ-2.280:

Свойства	Значения свойств (ТУ1-595-11-1634–2016 с изм. 1)
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее (ГОСТ 25.601–80)	750
Модуль упругости при растяжении, ГПа, не менее (ГОСТ 25.601–80)	60
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее (ГОСТ 25.604–82)	750
Модуль упругости при изгибе, ГПа, не менее (ГОСТ 25.604–82)	50

Основные механические свойства образцов углепластика ВКУ-29/ВТкУ-3 при температуре 23±2 °С, изготавливаемых методом автоклавного формования на основе ткани марки ВТкУ-3:

Свойства	Значения свойств (ТУ1-595-11-1635–2016 с изм. 1–4)
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее (ГОСТ 25.601–80, или ГОСТ Р 56785–2015, или ASTM D3039–2000)	1700
Модуль упругости при растяжении, ГПа, не менее (ГОСТ 25.601–80, или ГОСТ Р 56785–2015, или ASTM D3039–2000)	110
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее (ГОСТ 25.604–82, или ГОСТ Р 56810–2015, или ASTM D7264–2015)	1300
Модуль упругости при изгибе, ГПа, не менее (ГОСТ 25.604–82, или ГОСТ Р 56810–2015, или ASTM D7264–2015)	100
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее (ГОСТ 25.602–80, или ГОСТ Р 56812–2015, или ASTM D6641–2016)	900

Углеродные КМ марок ВКУ-39/ВТкУ-2.200 и ВКУ-39/ВТкУ-2.280 по своим прочностным свойствам не уступают аналогу – российскому углепластику ВКУ-39 (на основе того же связующего и импортной равнопрочной ткани из углеродных жгутов саржевого плетения 2×2 с поверхностной плотностью 200 г/м²), имеющему предел прочности при растяжении 750 МПа, модуль упругости при растяжении 60 ГПа, предел прочности при изгибе 750 МПа и модуль упругости при изгибе 50 ГПа.

Углепластик ВКУ-29/ВТкУ-3 по своим механическим свойствам соответствует российскому аналогу – углепластику ВКУ-29 (на основе того же связующего

и импортной однонаправленной ткани из углеродных жгутов полотняного плетения с поверхностной плотностью 200 г/м^2) с пределом прочности при растяжении 1600 МПа, модулем упругости при растяжении 110 ГПа, пределом прочности при изгибе 1300 МПа и модулем упругости при изгибе 100 ГПа.

В настоящее время препреги марок ВКУ-39/ВТкУ-2.200 и ВКУ-29/ВТкУ-3 серийно производятся и поставляются для применения при изготовлении деталей конструкционного назначения мотогондолы двигательной установки ПД-14 [12].

С целью снижения рисков, обусловленных зависимостью от определенного поставщика углеродного волокнистого сырья, и для расширения ассортимента выпускаемых тканых наполнителей для полимерных КМ произведен поиск дополнительного поставщика исходного сырья и освоена технология изготовления на рапирном ткацком станке углеродной равнопрочной ткани марки ВТкУ-2.200Т саржевого плетения 2×2 из углеродных жгутов с количеством филаментов 3К (Турция) с поверхностной плотностью 200 г/м^2 (аналог ткани марки ВТкУ-2.200), а также разработана необходимая для ее производства и поставки документация.

Основные свойства углеродной ткани марки ВТкУ-2.200Т (рис. 4):

Свойства	Значения свойств (ТУ1-595-11-1713–2018 с изм. 1)
Ширина, мм (ГОСТ 29104.1–91)	1000 ± 10
Поверхностная плотность, г/м^2 (ГОСТ 29104.1–91)	200 ± 10
Количество нитей на 10 см по основе/утку (ГОСТ 29104.3–91)	$(50 \pm 1)/(50 \pm 1)$
Распределение нитей по основе/утку, % (ГОСТ 29104.15–91)	50/50



Рис. 4. Углеродная ткань марки ВТкУ-2.200Т

Для оценки пригодности ткани марки ВТкУ-2.200Т к применению в качестве армирующего наполнителя для полимерных КМ изготовлены экспериментальные образцы препрега на автоматизированной пропиточной установке Coatema BL-2800 с применением связующего ВСЭ-1212 и ткани марки ВТкУ-2.200Т. Из данного препрега методом автоклавного формования получены плиты углепластика и оценен уровень его механических свойств.

Основные свойства экспериментальных образцов углепластика на основе ткани марки ВТкУ-2.200Т и связующего ВСЭ-1212 при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (в числителе – минимальное и максимальное значение, в знаменателе – среднее):

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ 25.601–80)	<u>720–900</u> 800
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 25.601–80)	<u>63–73</u> 67
Предел прочности при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	<u>990–1050</u> 1030
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ГОСТ 25.604–82)	<u>66–70</u> 68
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	<u>755–835</u> 790
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ГОСТ 32659–2014)	<u>68–73</u> 71

Как видно из представленных данных, использование углеродной ткани марки ВТкУ-2.200Т в качестве наполнителя обеспечивает получение препрега со свойствами в КМ по среднему значению на уровне аналога – углепластика ВКУ-39/ВТкУ-2.200.

Углеродная ткань марки ВТкУ-2.200Т также опробована для применения в качестве армирующего наполнителя при изготовлении препрега на основе эпоксидного связующего клеевого типа ВСК-14-2м (ТУ1-595-14-1034–2008) производства ФГУП «ВИАМ». Разработанному препрегу присвоена марка КМКУ-2м.120.ВТкУ-2.200Т.

Свойства экспериментальных образцов углепластиков на основе связующего ВСК-14-2м и углеродных наполнителей УТ-900 (производства РФ) и ВТкУ-2.200Т при температуре 20 °С (в числителе – минимальное и максимальное значение, в знаменателе – среднее):

Свойства	Значения свойств для углепластика	
	КМКУ-2м.120.УТ-900	КМКУ-2м.120.ВТкУ-2.200Т
Предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ 25.601–80)	<u>640–750</u> 700	<u>660–780</u> 720
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	<u>610–690</u> 650	<u>620–710</u> 650

Из представленных данных следует, что разработанный препрег на основе ткани марки ВТкУ-2.200Т и связующего ВСК-14-2м обеспечивает получение углекомпозиата с механическими свойствами, не уступающими аналогу – углепластику на основе углеродной ткани марки УТ-900 – и может применяться взамен препрега марки КМКУ-2м.120.УТ-900.

В 2018 г. ассортимент тканей, выпускаемых во ФГУП «ВИАМ», расширился благодаря разработке технологии изготовления тканей с высокой поверхностной плотностью из углеродных волокон с количеством филаментов 12К (КНР) [13]. Полученным тканям присвоены следующие марки:

- равнопрочной ткани саржевого плетения 2×2 с поверхностной плотностью 385 г/м² – марка ВТкУ-6 (рис. 5);
- равнопрочной ткани полотняного плетения с поверхностной плотностью 585 г/м² – марка ВТкУ-7 (рис. 6);
- однонаправленной ткани полотняного плетения с поверхностной плотностью 290 г/м² – марка ВТкУ-3.290 (рис. 7).

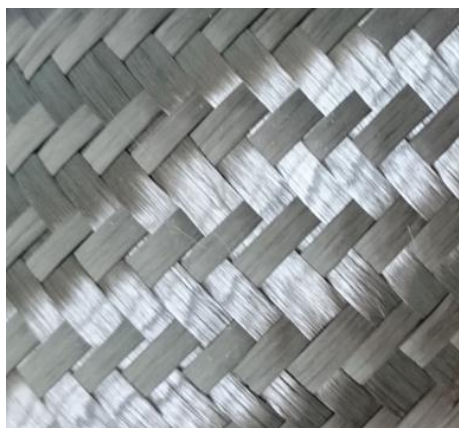


Рис. 5. Углеродная ткань марки ВТкУ-6



Рис. 6. Углеродная ткань марки ВТкУ-7



Рис. 7. Углеродная ткань марки ВТкУ-3.290

Основные свойства углеродных тканей марок ВТкУ-6, ВТкУ-7 и ВТкУ-3.290:

Свойства	Значения свойств для ткани марки (ТУ1-595-11-1713–2018 с изм. 1)		
	ВТкУ-6	ВТкУ-7	ВТкУ-3.290
Ширина, мм (ГОСТ 29104.1–91)	1000±10	1000±10	1000±10
Поверхностная плотность, г/м ² (ГОСТ 29104.1–91)	385±10	585±10	290±10
Количество нитей на 10 см по основе/утку (ГОСТ 29104.3–91)	(24±1)/(24±1)	(36±1)/(36±1)	(39±1)/(5±1)
Распределение нитей по основе/утку, % (ГОСТ 29104.15–91)	50/50	50/50	99/1

Выпускаемые ткани с высокой поверхностной плотностью могут применяться в качестве армирующего наполнителя при производстве конструкционных КМ как по препреговой технологии, так и методами вакуумной инфузии, пропитки под давлением и др. «Тяжелые» ткани марок ВТкУ-6 и ВТкУ-7 используются для изготовления конструкций из полимерных композитов больших геометрических размеров и способны обеспечить получение толстостенных деталей с необходимыми прочностными характеристиками при сокращении времени выкладки и снижении стоимости изделия за счет толщины монослоя. Одним из перспективных направлений применения тканей с высокой поверхностной плотностью также является изготовление на их основе композиционной формообразующей оснастки [14].

Однонаправленные ткани марок ВТкУ-3 и ВТкУ-3.290 могут найти применение в гражданском строительстве, например для получения на их основе цементно-матричных КМ и в системах внешнего армирования строительных конструкций (переработка методом «мокрой» намотки).

Ассортимент тканей, производимых во ФГУП «ВИАМ», после дооснащения участка изготовления тканых армирующих наполнителей для КМ новым комплексом оборудования расширился: разработана технология изготовления российского гибридного металлоуглеродного армирующего наполнителя. В качестве исходного сырья для его получения используют углеродное волокно с количеством филаментов 3К (производства КНР) и медную мягкую луженую проволоку (производства РФ). Выпущена необходимая документация для производства и поставки металлоуглеродного армирующего наполнителя. При изготовлении гибридного армирующего наполнителя возможно применение медной проволоки различных диаметров (от 0,10 до 0,15 мм), что обеспечивает получение тканей с различными поверхностными плотностями.

Основные свойства равнопрочной металлоуглеродной ткани саржевого плетения 2×2 марки ВТкУ-2.280М, выпускаемой с использованием медной проволоки диаметром 0,10 мм (рис. 8):

Свойства	Значения свойств (ТУ1-595-11-1798–2019)
Ширина, мм (ГОСТ 29104.1–91)	1000±10
Поверхностная плотность, г/м ² (ГОСТ 29104.1–91)	280±15
Количество нитей на 10 см по основе/утку (ГОСТ 29104.3–91)	(100±2)/(100±2)

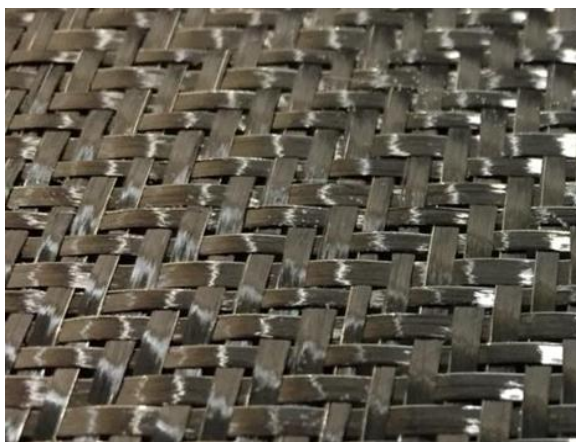


Рис. 8. Металлоуглеродная ткань марки ВТкУ-2.280М

Для оценки возможности применения металлоуглеродной ткани в качестве армирующего наполнителя для КМ с полимерной матрицей изготовлены экспериментальные образцы препрега на основе данной ткани и эпоксидного расплавленного связующего.

Основные свойства экспериментальных образцов углепластика при температуре 20 °С на основе металлоуглеродной ткани марки ВТкУ-2.280М и эпоксидного расплавленного связующего, полученные методом автоклавного формования указанного препрега (в числителе – минимальное и максимальное значение, в знаменателе – среднее):

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ Р 56785–2015)	<u>650–710</u> 680
Предел прочности при изгибе, МПа (ГОСТ Р 57866–2017)	<u>810–920</u> 860
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ГОСТ Р 57866–2017)	<u>46–55</u> 52
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ Р 56812–2015)	<u>590–660</u> 620
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ГОСТ Р 57745–2017)	<u>59–67</u> 63

В результате проведенных исследований установлено, что металлоуглеродная ткань марки ВТкУ-2.280М пригодна для использования в качестве армирующего наполнителя при получении КМ по препреговой технологии. Наличие в объеме углекомпозиата медной проволоки приводит к снижению предела прочности при растяжении на 10%, по сравнению с аналогом – углепластиком ВКУ-39/ВТкУ-2.200, который производят на основе ткани со схожими параметрами из углеродных волокон без медной проволоки. По значениям пределов прочности при сжатии и изгибе углепластики находятся на одном уровне. Однако следует отметить, что экспериментальный композит получен методом послойной выкладки препрега на основе металлоуглеродной ткани марки ВТкУ-2.280М.

Основные свойства экспериментальных образцов углепластика при температуре 20 °С на основе препрега марки ВКУ-39/ВТкУ-2.200 и одного слоя препрега из металлоуглеродной ткани марки ВТкУ-2.280М (в числителе – минимальное и максимальное значение, в знаменателе – среднее):

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ 25.601–80)	<u>760–850</u> 800
Предел прочности при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	<u>950–1000</u> 980
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ГОСТ 25.604–82)	<u>57–58</u> 57
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	<u>660–730</u> 700
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ГОСТ Р 57745–2017)	<u>70–76</u> 72

В данном случае исследования показали, что наличие одного слоя препрега на основе металлоуглеродной ткани не оказывает значительного влияния на механические характеристики углепластика ВКУ-39/ВТкУ-2.200.

В настоящее время технические углеродные и гибридные ткани перестали быть материалом исключительно специального назначения. Тканые материалы из углеродных волокон широко используются для промышленного применения (автотюнинг, дизайн, строительство, производство спортивного инвентаря и др.).

Гибридный металлоуглеродный армирующий наполнитель может использоваться как самостоятельно – при получении изделий на его основе методом вакуумной инфузии, так и для переработки в препрег. Препрег из ткани марки ВТкУ-2.280М

рекомендуется применять в качестве поверхностного слоя – таким образом получают электропроводящее [15], экранирующее или декоративное покрытие для изделий из полимерных КМ.

Заключения

В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» освоено производство 8 марок тканей, в том числе металлоуглеродной ткани марки ВТкУ-2.280М.

Отличительными особенностями гибкого ткацкого производства в ВЭТЦ ВИАМ, производственная мощность которого составляет >30000 м² тканей различных марок в год, являются допустимость использования исходного сырья от разных поставщиков, а также возможность разработки технологии получения и освоение производства новых марок тканых углеродных и гибридных наполнителей для полимерных КМ с требуемыми свойствами и для применения в конкретном изделии.

Производимые углеродные ткани обладают стабильными характеристиками и предназначены для использования в качестве армирующего наполнителя в КМ.

Основной областью применения углеродных тканей является изготовление препрегов конструкционных углепластиков для изделий авиационной техники на основе эпоксидных связующих различных типов. Углеродные и гибридные ткани производства ФГУП «ВИАМ» также могут быть переработаны в изделие из полимерных КМ по технологиям вакуумной инфузии, пропитки под давлением, «мокрой» намотки и т. д.

В дальнейшем во ФГУП «ВИАМ» планируется расширение ассортимента выпускаемых тканых армирующих наполнителей для полимеркомпозитов, в том числе гибридных, на основе углеродных, стеклянных и других волокон.

Библиографический список

1. Non-crimp fabric composites: Manufacturing, properties and applications / ed. S.V. Lomov. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. 544 p.
2. Meola C., Voccardi S., Carlomagno G. Infrared Thermography in the Evaluation of Aerospace Composite Materials. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. 180 p.
3. Курносов А.О., Вавилова М.И., Мельников Д.А. Технологии производства стеклянных наполнителей и исследование влияния аппретирующего вещества на физико-механические характеристики стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2018. №1 (50). С. 64–70. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-64-70.
4. Славин А.В., Старцев О.В. Свойства авиационных стеклопластиков и углепластиков на ранней стадии климатического воздействия // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №9 (69). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.10.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-9-71-82.
5. Тимошков П.Н. Оборудование и материалы для технологии автоматизированной выкладки препрегов // Авиационные материалы и технологии. 2016. №2 (41). С. 35–39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39.
6. Hexcel: офиц. сайт. URL: <http://www.hexcel.com> (дата обращения: 15.10.2020).
7. Porcher industries: офиц. сайт. URL: <http://www.porcher-ind.com> (дата обращения: 15.10.2020).
8. SGL Carbon: офиц. сайт. URL: <https://www.sglcarbon.com> (дата обращения: 15.10.2020).
9. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. №4. С. 331–334.
10. 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.

11. Сидорина А.И. Механические свойства полимерных композиционных материалов на основе российских высокопрочных углеродных наполнителей и полимерных матриц нового поколения // Химические волокна. 2018. №2. С. 16–19.
12. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносов А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // Авиационные материалы и технологии. 2018. №3 (52). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
13. Сидорина А.И., Сафронов А.М. Разработка технологий изготовления углеродных тканей с высокой поверхностной плотностью // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2020. №6–7 (89). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.10.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-72-80.
14. Жидкова О.Г., Каштанов П.П., Туманин А.Н. Особенности проектирования композитной формообразующей оснастки для изготовления высокоточных размеростабильных зеркальных композитных антенн интегральной конструкции // Конструкции из композиционных материалов. 2019. №1. С. 36–44.
15. Каблов Е.Н., Гуняев Г.М., Ильченко С.И. и др. Конструкционные углепластики с повышенной проводимостью // Авиационные материалы и технологии. 2004. №2. С. 25–36.