

Научная статья

УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-4-98-107

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КЛЕЕВЫХ ПРЕПРЕГОВ*

Часть 2. Стеклопластик марки ВПС-68

А.И. Старков¹, А.Ю. Исаев¹, К.Е. Куцевич¹

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

Аннотация. Проведена комплексная оценка сохраняемости прочностных свойств стеклопластика марки ВПС-68 при растяжении, сжатии, изгибе, межслойном сдвиге при температурах испытания -60 , $+20$, $+80$ и $+105$ °С в исходном состоянии и после климатических воздействий в камере тропического климата и тепловлажностного старения в течение 1 и 3 мес, теплового старения в течение 500 и 1000 ч, воздействия микологической среды и технических жидкостей. Для подтверждения жизнеспособности проведены испытания на растяжение и сжатие стеклопластика ВПС-68, изготовленного из препрега после 3 мес хранения.

Ключевые слова: стеклопластик, клеевой препрег, клеевые соединения, прочность при растяжении, прочность при сжатии, прочность при изгибе, прочность при межслойном сдвиге, воздействие внешних факторов

Для цитирования: Старков А.И., Исаев А.Ю., Куцевич К.Е. Комплексная оценка воздействия эксплуатационных и климатических испытаний на изменение прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов. Часть 2. Стеклопластик марки ВПС-68 // Труды ВИАМ. 2024. № 4 (134). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-4-98-107.

Scientific article

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OPERATIONAL AND CLIMATIC TESTS ON THE CHANGE OF STRENGTH PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON ADHESIVE PREPREGS

Part 2. Glass fiber-reinforced plastic VPS-68

A.I. Starkov¹, A.Yu. Isaev¹, K.E. Kutsevich¹

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

Abstract. A comprehensive assessment of the retention of the strength properties of fiber-glass VPS-68 for tension, compression, bending, interlayer shear was carried out at test temperatures of -60 , $+20$, $+80$ and $+105$ °C in the initial state and after climatic influences in a tropical climate chamber for 1 and 3 months, thermal aging for 500 and 1000 hours, exposure to mycological environments and technical fluids. To confirm viability, samples of VPS-68 fiberglass were tested in tension and compression.

Keywords: glass fiber-reinforced plastic, adhesive prepreg, adhesive joints, tensile strength, compression strength, flexural strength, interlayer shear strength, influence of external factors

* Часть 1 – см. «Труды ВИАМ», № 3 (133), 2024.

For citation: Starkov A.I., Isaev A.Yu., Kutsevich K.E. Comprehensive assessment of the impact of operational and climatic tests on the change of strength properties of polymer composite materials based on adhesive prepregs. Part 2. Glass fiber-reinforced plastic VPS-68. *Trudy VIAM*, 2024, no. 4 (134), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-4-98-107.

Введение

В первой части статьи приведены результаты комплексной оценки воздействия эксплуатационных и климатических факторов на изменение прочностных свойств углепластика марки ВКУ-59. Цель второй части – установление сохраняемости прочностных свойств стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37(55) (ТУ 1-595-11-1776–2018) [1, 2] при растяжении, сжатии, изгибе, межслойном сдвиге при температурах испытания –60, +20, +80 и +105 °С в исходном состоянии и после климатических воздействий, таких как экспозиция в камере тропического климата и тепловлажностное старение в течение 1 и 3 мес, тепловое старение в течение 500 и 1000 ч, воздействие микологической среды и технических жидкостей (вода, влага, масло ИПМ-10 и топливо ТС-1).

По результатам испытаний на стеклопластик марки ВПС-68 оформлен паспорт № 1995. Организован серийный выпуск разработанных клеевых препрегов КМКС-6.80.Т60(ВМП).37(55) стеклопластика ВПС-68 на сертифицированном производстве в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ [3–6] в рамках реализации комплексного научного направления 13. «Полимерные композиционные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

Материалы и методы

Объектом исследования является стеклопластик ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37(55), разработанный в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Препрег представляет собой стеклоткань на основе высокомодульных волокон, пропитанную эпоксидным клеевым связующим пониженной горючести марки ВСК-14-6 с теплостойкостью 80 °С. Стеклопластик ВПС-68 является аналогом стеклопластика HexPly M76/37%/7781 фирмы Hexcel (США).

Свойства стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 исследовали на образцах, изготовленных методом автоклавного формования [7–15].

Прочность и модуль упругости при растяжении определяли в соответствии с ГОСТ Р 56785–2015. Метод испытания заключается в растяжении образца с постоянной скоростью нагружения или деформирования до разрыва.

Испытания при сжатии проводили согласно ГОСТ 33519–2015. Образец в виде полосы прямоугольного сечения устанавливали в специализированную оснастку, которую помещали между захватами испытательной машины, и прикладывали сжимающую нагрузку.

Прочность и модуль упругости при статическом изгибе определяли в соответствии с ГОСТ 56810–2015. Сущность метода заключается в изгибе плоского образца прямоугольного сечения, свободно лежащего на двух опорах, с постоянной скоростью нагружения до разрушения образца или до момента, когда деформация растяжения на внешней поверхности достигнет предварительно заданного значения.

Испытания прочности на межслойный сдвиг проводили согласно ГОСТ Р 32659–2014. К середине образца, свободно лежащего на двух опорах, прикладывали нагрузку до момента разрушения, вызванного межслойным сдвигом.

Тепловлажностное старение проводили в соответствии с ГОСТ Р 56762–2015 (метод В). Образцы кондиционировали при влажности, отличной от влажности окружающей среды, при заранее указанном постоянстве условий до начала других типов испытаний.

Тепловое старение проводили согласно ГОСТ 9.707–81. Сущность метода заключается в проведении ускоренных испытаний материалов, деталей и узлов на стойкость к старению при воздействии температуры и влажности, установлении изменения показателя при старении.

Грибостойкость исследовали в соответствии с ГОСТ 9.049–91. Материалы, зараженные спорами грибов, выдерживали в условиях, оптимальных для их развития.

Стойкость к воздействию технических жидкостей оценивали согласно ГОСТ 12020–2018. Сущность метода заключается в определении изменений характеристик образцов в ненапряженном состоянии после выдержки в жидких химических средах.

Клеевые соединения стеклопластика марки ВПС-68 получали с использованием клевого препрега КМКС-6.80.Т60(ВМП).55. Испытания прочности при сдвиге клевого соединения проводили по ГОСТ 14759–69. Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении стандартного образца, склеенного внахлест, усилиями, стремящимися сдвинуть одну половину образца относительно другой.

Предел прочности при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя определяли по ОСТ 1 90069–72 на «грибках», изготовленных из прутков алюминиевого сплава Д16 или Д19, с неперфорированным сотовым заполнителем из фольги АМг2Н с ячейкой размером 2,5 мм и толщиной от 0,03 до 0,05 мм. Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении стандартного образца клевого соединения сотового заполнителя с обшивкой усилиями, направленными перпендикулярно плоскости склеивания.

Результаты и обсуждение

Для определения эксплуатационной стойкости стеклопластика марки ВПС-68 проведены исследования образцов в исходном состоянии, при прогнозируемой рабочей температуре и температуре, превышающей температуру эксплуатации на 25 °С (табл. 1). Такой подход позволяет выявить запас прочности материала.

Таблица 1

Механические свойства стеклопластика ВПС-68 со схемой армирования [0]₁₃ при растяжении, сжатии, изгибе и межслойном сдвиге в диапазоне температур от –60 до +105 °С

Свойства	Средние значения свойств при температуре испытания, °С			
	–60	20	80	105
Предел прочности при растяжении, МПа	1526	1433	1247	1184
Модуль упругости при растяжении, ГПа	48,8	44,4	42,3	42,4
Предел прочности при сжатии, МПа	716	633	472	286
Модуль упругости при сжатии, ГПа	47	55	51	42
Предел прочности при изгибе, МПа	1454	1146	741	460
Модуль упругости при изгибе, ГПа	35,0	48,0	43,0	31,0
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	93	72	47	30

По результатам анализа полученных данных (табл. 2) можно констатировать, что уровень предела прочности стеклопластика марки ВПС-68 относительно значений при температуре 20 °С в зависимости от вида испытания при температуре 80 °С составляет 64,7–87,0 %; при –60 °С: 106,5–129,2 %; при 105 °С: 40,1–82,6 %. При этом уровень модуля упругости относительно значений при температуре 20 °С при температуре 80 °С составляет 89,6–95,3 %; при –60 °С: 72,9–109,9 %; при 105 °С: 64,6–95,5 %. Данные, полученные при температуре испытания 105 °С, свидетельствуют о запасе прочности стеклопластика марки ВПС-68.

Таблица 2

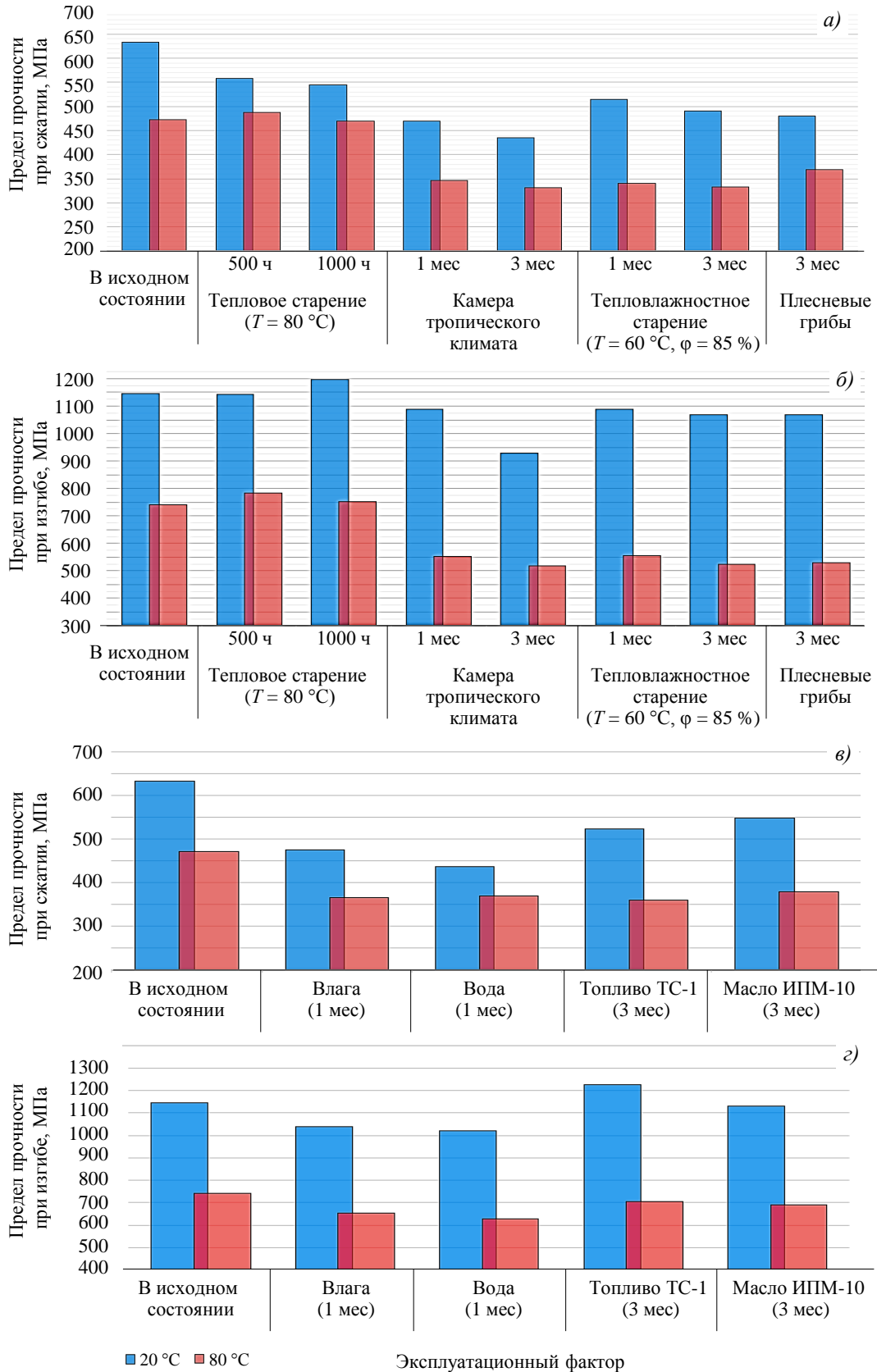
**Уровень механических свойств стеклопластика ВПС-68
в диапазоне температур от –60 до +105 °С относительно значений,
полученных при температуре испытания 20 °С (средние значения)**

Свойства	Уровень свойств при температуре испытания, °С, относительно значений при 20 °С, %		
	–60	80	105
Предел прочности при растяжении	106,5	87,0	82,6
Модуль упругости при растяжении	109,9	95,3	95,5
Предел прочности при сжатии	113,1	74,6	45,2
Модуль упругости при сжатии	85,5	92,7	76,4
Предел прочности при изгибе	126,9	64,7	40,1
Модуль упругости при изгибе	72,9	89,6	64,6
Прочность при межслойном сдвиге	129,2	65,3	41,7

Изучена климатическая и эксплуатационная стойкость стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37. Проведены испытания образцов стеклопластика с незащищенными торцами при изгибе и сжатии после экспозиции в камере тропического климата и тепловлажностного старения в течение 1 и 3 мес, теплового старения в течение 500 и 1000 ч, воздействия микологической среды и технических жидкостей (вода, влага, масло ИПМ-10 и топливо ТС-1) в исходном состоянии и при прогнозируемой рабочей температуре. Результаты испытаний приведены на рисунке.

Как видно из данных табл. 3, уровень свойств при сжатии относительно исходных значений для стеклопластика марки ВПС-68 со схемой армирования [0]₁₃ при температуре испытания 20 °С находится в интервале от 68,7 до 88,2 %, при 80 °С – от 70,1 до 103,4 %; при изгибе при 20 °С – от 81,2 до 104,5 %, при 80 °С – от 69,8 до 105,8 %. Высокий уровень сохранения упруго-прочностных свойств при изгибе, в том числе при рабочей температуре, свидетельствует о стойкости стеклопластика марки ВПС-68 к воздействиям факторов внешней среды и химических сред, таких как вода, влага, топливо ТС-1 и масло ИПМ-10.

Кроме того, по разработанному многоступенчатому режиму отверждения полимерной матрицы ВСК-14-6 изготовлены клеевые соединения стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега КМКС-6.80.Т60(ВМП).55, которые исследованы в исходном состоянии, при прогнозируемой рабочей температуре и температуре, превышающей температуру эксплуатации на 25 °С, с целью выявления запаса прочности. Результаты испытаний представлены в табл. 4.



Изменение свойств образцов стеклопластика с незащищенными торцами марки ВПС-68 со схемой армирования $[0]_{13}$ при сжатии (а, в) и изгибе (б, г) после воздействия климатических факторов (а, б) и экспозиции в технических жидкостях (в, г)

Таблица 3

**Уровень механических свойств стеклопластика марки ВПС-68
после климатического воздействия и экспозиции в технических жидкостях
относительно значений для образцов в исходном состоянии (средние значения)**

Предел прочности	Фактор воздействия	Время воздействия	Уровень предела прочности при температуре испытания, °С, относительно значений для образцов в исходном состоянии, %	
			20	80
При сжатии	Тепловое старение ($T = 80\text{ °C}$)	500 ч	88,2	103,4
		1000 ч	86,1	99,6
	Камера тропического климата	1 мес	74,2	73,3
		3 мес	68,7	70,1
	Тепловлажностное старение ($T = 60\text{ °C}$, $\phi = 85\%$)	1 мес	81,2	72,2
		3 мес	77,6	70,6
	Плесневые грибы	3 мес	75,8	78,2
	Вода	1 мес	69,2	78,2
	Влага ($T = 20 \pm 2\text{ °C}$, $\phi = 98\%$)	1 мес	75,0	77,3
	Топливо ТС-1	3 мес	82,8	76,3
Масло ИПМ-10	3 мес	86,7	80,3	
При изгибе	Тепловое старение ($T = 80\text{ °C}$)	500 ч	99,8	105,8
		1000 ч	104,5	101,5
	Камера тропического климата	1 мес	95,1	74,4
		3 мес	81,2	69,8
	Тепловлажностное старение ($T = 60\text{ °C}$, $\phi = 85\%$)	1 мес	95,1	74,9
		3 мес	93,4	70,6
	Плесневые грибы	3 мес	93,4	71,7
	Вода	1 мес	89,0	84,8
	Влага ($T = 20 \pm 2\text{ °C}$, $\phi = 98\%$)	1 мес	90,6	88,0
	Топливо ТС-1	3 мес	107,2	95,3
Масло ИПМ-10	3 мес	98,8	93,4	

Таблица 4

**Механические свойства клеевых соединений стеклопластика марки ВПС-68
на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 в исходном состоянии**

Свойства	Значения свойств при температуре испытания, °С			
	-60	20	80	105
Предел прочности при сдвиге, МПа	30,7	34,8	30,0	25,2
Предел прочности при отрыве обшивки от сотового наполнителя, МПа	6,3	6,9	5,5	1,7

Уровень свойств клеевых соединений в исходном состоянии при температурах испытаний -60 , $+80$ и $+105\text{ °C}$ относительно значений при 20 °C при сдвиге составил 88,2; 86,2 и 72,4 % соответственно; при равномерном отрыве обшивки от сотового наполнителя: 91,3; 80,0 и 24,6 %.

С целью определения работоспособности и уровня сохранения механических свойств проведены испытания клеевых соединений после воздействия внешних факторов, таких как длительное тепловое старение при рабочей температуре, экспозиция в камере тропического климата и влага. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Механические свойства клеевых соединений стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 после воздействия внешних факторов

Свойства	Внешний фактор	Время воздействия	Значения свойств при температуре испытания, °С	
			20	80
Прочность при сдвиге, МПа	Тепловое старение ($T = 80^{\circ}\text{C}$)	500 ч	37,0	32,3
		1000 ч	36,4	30,8
	Влага ($T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $\phi = 98\%$)	1 мес	30,7	29,0
		3 мес	24,8	24,9
	Камера тропического климата	1 мес	29,1	26,3
		3 мес	26,4	24,5
Предел прочности при отрыве обшивки от сотового заполнителя, МПа	Тепловое старение ($T = 80^{\circ}\text{C}$)	500 ч	6,2	6,5
		1000 ч	6,1	5,9
	Влага ($T = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $\phi = 98\%$)	1 мес	6,5	5,8
		3 мес	6,3	5,2
	Камера тропического климата	1 мес	6,4	5,6
		3 мес	6,3	5,6

Клеевой препрег марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 после воздействия внешних факторов демонстрирует высокий уровень сохранения прочностных свойств клеевых соединений при сдвиге и равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя. Уровень свойств клеевых соединений при сдвиге после климатических испытаний относительно исходных значений при температурах испытаний 20 и 80 °С составил 71,3–106,3 и 81,7–107,7 % соответственно; при равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя: 88,4–94,2 и 94,5–118,2 %.

Данные, полученные при температуре испытания 105 °С, подтверждают запас прочности клеевых соединений стеклопластика марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55.

Необходимо отметить, что при проведении испытаний на равномерный отрыв обшивки от сотового заполнителя разрушение при исследованных температурах происходило по сотовому заполнителю. Это свидетельствует о том, что прочность клеевого соединения стеклопластика марки ВПС-68 выше прочности сотового заполнителя из фольги АМг2Н с ячейкой размером 2,5 мм.

С целью определения жизнеспособности клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 после 3 мес хранения при температуре от 8 до 25 °С изготовлены образцы стеклопластика марки ВПС-68 методом автоклавного формования. Показано, что хранение препрега в течение 3 мес не оказало влияния на прочностные свойства стеклопластика. Прочность при растяжении и сжатии образцов, изготовленных из препрега до и после хранения, составила 1560 и 595 МПа соответственно. Таким образом, можно заключить, что жизнеспособность клеевого препрега КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 составляет не менее 3 мес при температуре от 8 до 25 °С. Важно отметить, что жизнеспособность зарубежного аналога – препрега марки HexPly HT 93/45/7781 фирмы Hexcel (США) – составляет 1 мес.

Заключения

Проанализированы свойства стеклопластика ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 после испытаний при растяжении, сжатии, изгибе и межслойном сдвиге. Показано, что стеклопластик обладает высоким уровнем сохранения свойств при температурах –60, +80 и +105 °С относительно значений, полученных при 20 °С.

После воздействия внешних факторов стеклопластик марки ВПС-68 также продемонстрировал высокий уровень сохранения упруго-прочностных свойств при сжатии и изгибе при температурах испытания 20 и 80 °С. Полученные данные свидетельствуют о стойкости стеклопластика марки ВПС-68 к воздействию климатических факторов и химических сред, таких как вода, влага, топливо ТС-1 и масло ИПМ-10.

Клеевой препрег марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).55 имеет высокий уровень сохранения прочности при сдвиге клеевого соединения и равномерном отрыве обшивки от сотового заполнителя при температурах испытания –60, +80 и +105 °С, а также после воздействия внешних факторов при температурах испытания 20 и 80 °С.

Низкая температура отверждения связующего ВСК-14-6 (за счет наличия латентного отвердителя аминного типа с катализаторами отверждения) и высокая жизнеспособность препрегов обеспечивают срок хранения полуфабриката при температуре от 0 до 8 °С не менее 6 мес, а также высокое сохранение прочностных свойств в диапазоне температур от –60 до +105 °С.

Подтверждена жизнеспособность клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 после 3 мес хранения при температуре от 8 до 25 °С. Прочность при растяжении и сжатии стеклопластика ВПС-68, изготовленного из препрега после 3 мес хранения, соответствовала исходным значениям.

Стеклопластик марки ВПС-68 на основе клеевого препрега марки КМКС-6.80.Т60(ВМП).37 можно рекомендовать для изготовления деталей конструкционного назначения, в том числе слоистых и сотовых конструкций, работающих в интервале температур от –60 до +80 °С. Материал позволяет реализовать комплекс физико-механических свойств с высоким уровнем сохранения прочности, в том числе после воздействия внешних факторов, имитирующих эксплуатационные.

Список источников

1. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И. Оценка воздействия климатических факторов на эксплуатационные свойства стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 // Труды ВИАМ. 2020. № 10 (92). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-21-29.
2. Старков А.И., Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Петрова А.П. Клеевые препреги пониженной горючести, предназначенные для изготовления интегральных и трехслойных сотовых конструкций авиационной техники // Труды ВИАМ. 2022. № 5 (111). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-41-52.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
4. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 37–42.
5. Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под ред. Е.Н. Каблова. 7-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости, ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
6. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
7. Вавилова М.И., Кавун Н.С. Свойства и особенности армирующих стеклянных наполнителей, используемых для изготовления конструкционных стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 3. С. 33–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37.

8. Вольнов О.И., Дудукин Д.О. Стеклопластик. История развития, технология производства, формообразование деталей и современное применение // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 5 (107). С. 400–404.
9. Большаков В.А., Антюфеева Н.В. Оценка модели процесса отверждения клеевого связующего в препреге // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 4 (73). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.10.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-66-77.
10. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учеб. пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
11. Перов Н.С. Конструирование полимерных материалов на молекулярных принципах. II. Молекулярная подвижность в сложных шитых системах // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 30–36. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-30-36.
12. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохранности свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
13. Исаев А.Ю., Рубцова Е.В., Котова Е.В., Сутягин М.Н. Исследование свойств клеев и клеевых связующих, изготовленных с использованием современной отечественной компонентной базы // Труды ВИАМ. 2021. № 3 (97). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.10.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-58-67.
14. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Мухаметов Р.Р., Когтенков А.С. Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
15. Хрычев Ю.И., Шкодинова Е.П., Дементьева Л.А. Разработка технологического процесса изготовления радиопрозрачного обтекателя из клеевых препрегов типа КМКС-2м.120 // Сб. докл. конф. «Клеящие материалы авиационного назначения». М.: ВИАМ, 2013. С. 43–47.

References

1. Satdinov R.A., Veshkin E.A., Postnov V.I. Assessment of the impact of climatic factors on the performance properties of fiberglass VPS-42P/T-64. *Trudy VIAM*, 2020, no. 10 (92), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 20, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-21-29.
2. Starkov A.I., Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Petrova A.P. Low-combustibility adhesive prepregs designed for the manufacture of integral and three-layer honeycomb structures aircraft technology. *Trudy VIAM*, 2022, no. 5 (111), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 20, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-4-41-52.
3. Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
4. Kablov E.N., Chursova L.V., Babin A.N., Mukhametov R.R., Panina N.N. Developments of FSUE «VIAM» in the field of melt binders for polymer composite materials. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2016, vol. 2, no. 2, pp. 37–42.
5. *Aviation materials: reference book in 13 vols.* Ed. E.N. Kablov. 7th ed., rev. and add. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, sealants, rubbers, hydraulic fluids, part 1: Adhesives, adhesive prepregs, 276 p.
6. Kablov E.N., Startsev V.O. Systematical analysis of the climatic influence on mechanical properties of the polymer composite materials based on domestic and foreign sources (review). *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2018, no. 2 (51), pp. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
7. Vavilova M.I., Kavun N.S. The properties of glass filler for constructions of fiberglass. *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2014, no. 3, pp. 33–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37.
8. Volnov O.I., Dudukin D.O. Fiberglass. History of development, production technology, shaping of parts and modern application. *Trudy NGTU im. R.Ye. Alekseyeva*, 2014, no. 5 (107), pp. 400–404.

9. Bolshakov V.A., Antyufeeva N.V. Evaluation of the curing process model of the adhesive binder in prepreg. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 4 (73), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 20, 2023). DOI: DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-66-77.
10. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, adhesive binders and adhesive prepregs: allowance*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2017, 472 p.
11. Perov N.S. Design of polymeric materials on the molecular principles. II. The molecular mobility in the cross-linked complex systems. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 30–36. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-30-36.
12. Laptev A.B., Barbotko S.L., Nikolaev E.V. The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
13. Isaev A.Yu., Rubtsova E.V., Kotova E.V., Sutyagin M.N. Research of properties of glues and glue binding, made with use of modern domestic component base. *Trudy VIAM*, 2021, no. 3 (97), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 18, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-58-67.
14. Lukina N.Ph., Petrova A.P., Muhametov R.R., Kogtjonkov A.S. New developments in the field of adhesive aviation materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
15. Khrychev Yu.I., Shkodinova E.P., Dementieva L.A. Development of a technological process for manufacturing a radio-transparent radome from adhesive prepregs of the KMKS-2m.120 type. *Collection report conf. «Adhesive materials for aviation purposes»*. Moscow: VIAM, 2013, pp. 43–47.

Информация об авторах

Старков Алексей Игоревич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Исаев Алексей Юрьевич, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Куцевич Кирилл Евгеньевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexey I. Starkov, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexey Yu. Isaev, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Kirill E. Kutsevich, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 28.12.2023; получена после доработки 07.03.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 07.03.2024.
The article was submitted 28.12.2023; received in revised form 07.03.2024; approved and accepted for publication after reviewing 07.03.2024.