

УДК 53.093 : 67.017

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКА МАРКИ ВПС-53К

© 2017 В.О. Старцев¹, М.В. Молоков¹, В.И. Постнов², И.В. Старостина³

¹ Геленджикский центр климатических испытаний им. Г.В.Акимова, филиал ФГУП ВИАМ

² Ульяновский научно технологический центр, филиал ФГУП ВИАМ

³ ФГУП ВИАМ, г. Москва

Статья поступила в редакцию 21.09.2017

В статье рассматривается влияние климатических факторов на листовой стеклопластик марки ВПС-53К изготовленный на основе расплавного связующего нового поколения марки ВСП-3М, изготовленного по серийным технологиям автоклавного и прессового формования. Приводится оценка изменения свойств стеклопластика ВПС-53К в процессе его выдержки в климатических условиях г. Геленджика. Были испытаны пластины стеклопластика ВПС-53К (480x460x0,34мм).

Ключевые слова: листовой стеклопластик, kleевой препрег, стеклоткань поверхностная плотность, полимерное связующее, полимерный композиционный материал, способ изготовления, климатические испытания, термоциклирование, динамический механический анализ.

ВВЕДЕНИЕ

В годы «холодной войны» стратегические интересы нашей страны представляла оборонная промышленность, которая обеспечивала армию техникой и вооружением. Сегодня на такое же важнейшее, стратегическое направление должна быть выдвинута отечественная наука, которая должна обеспечивать разработку передовых материалов и технологий их переработки, основывающихся на замкнутых процессах [1]. Однако кроме создания перспективных материалов необходимы всесторонние исследования их свойств, при воздействии внешних факторов для оценки эксплуатационной надежности.

Опыт эксплуатации вертолетов МИ-28Н показал, что листовой органопластик марки Органит-11ТЛ, используемый в конструкции лопасти указанного вертолета в качестве обшивки хвостового отсека, является наиболее легкими и прочным материалом, способным противостоять воздействию динамических нагрузок на лопасть несущего винта (ЛНВ) вертолета, возникающих в полете [2]. Однако с целью дальнейшего повышения эксплуатационного ресурса хвостовой части лопасти данного вертолета конструкторами была поставлена задача использовать в тонкостенных обшивках идентичный по основным характеристикам материал с более высокими усталостными

ми свойствами, длительно работающими при знакопеременных нагрузках. Достижением цели стала разработка листового конструкционного стеклопластика марки ВПС-53К, дополнительным превосходством которого является экономическая эффективность производства [3].

Стеклопластик марки ВПС-53К изготавливаемый на основе расплавного связующего марки ВСК-14-2МР и комбинации тканых и односторонне направленного стеклонаполнителей, имеет следующие характеристики, приведенные в табл. 1.

Различные параметры предела прочности при растяжении в 0° и 90° обусловлены схемой укладки слоев наполнителя: внешние слои ткань Т-64, внутренний слой стеклоровинга РВМПН уложенные во взаимно перпендикулярном направлении, что позволило добиться повышения ресурса обшивок при эксплуатации.

Листы стеклопластика ВПС-53К в серийной технологии изготавливались двумя способами формования: автоклавным и прессовым (табл. 2). Отличительной особенностью прессового способа изготовления стала дополнительная операция вакуумной пропитки заготовок листового стеклопластика, что обеспечило получение материала с минимальной пористостью. Серийное производство указанного материала было налажено в УНТЦ ВИАМ [4-7].

Однако в процессе производства и хранения листового стеклопластика марки ВПС-53К выявилась особенность его состояния при воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения. Листы по мере нахождения под действием солнечного света меняли свою окраску с бело-желтого до розового оттенка.

Установленный эффект вызвал опасения разработчиков о возможности химических превращений в полимерной матрице, которые мог-

Старцев Валерий Олегович, начальник лаборатории ГЦКИ ВИАМ. E-mail: gcki@viam.ru

Молоков Максим Владимирович, инженер ГЦКИ ВИАМ. E-mail: gcki@viam.ru

Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук, доцент, Начальник УНТЦ ВИАМ.

E-mail: untviam@viam.ru

Старостина Ирина Владимировна, начальник отдела контроля качества. E-mail: admin@viam.ru

Таблица 1. Характеристики стеклопластика марки ВПС-53к

Свойства	Значения свойств пластиков
Толщина пластика, мм	0,31–0,35
Масса 1 м ² пластика, г	540–570
Предел прочности при растяжении, МПа, в направлении:	
[0°]	850–950
[90°]	390–420

Таблица 2. Перечень пластин стеклопластика ВПС-53К, испытанных в климатических условиях ГЦКИ ВИАМ

Номера пластин	Метод изготовления	Режимы климатических испытаний
1.1-1.4	Пресс	Экспонирование на открытом атмосферном стенде в течение 12 месяцев
2.1-2.4	Пресс	
3.1-3.4	Автоклав	
4.1-4.4	Автоклав	
5.1-5.4	Пресс	Экспонирование на открытом атмосферном стенде в течение 12 месяцев с термоциклированием 5 раз в неделю
6.1-6.4	Пресс	

ли бы повлиять на её свойства и свойства ПКМ в целом. В этой связи понадобилось исследование влияния эксплуатационных факторов на свойства разработанного материала и были проведены испытания на климатическое старение и термоциклирование стеклопластика ВПС-53К [8]. Испытания проводились в соответствии с разработанной программой.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2.: Разработка технологии изготовления конструкций

онного стеклопластика ВПС-53К для изготовления обшивок хвостовых отсеков лопастей [9].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспозицию композиционных материалов проводили в условиях умеренно теплого морского климата ГЦКИ ВИАМ [10,11] (табл. 3). Категория коррозионной агрессивности атмосферы места климатических испытаний по ISO 9223 характеризуется баллом «C3».

Таблица 3. Характеристика климата города Геленджик*

Наименование характеристики	Значение	Период осреднения
Среднегодовая температура воздуха	14,8 °C	1998-2014
Среднегодовая относительная влажность воздуха	73%	
Годовое суммарное количество осадков	665 мм	
Годовое суммарное количество солнечных дней (SRmax≥400Вт/м ²)	275-280	2005-2014
Годовая величина суммарной солнечной радиации	5073 МДж/м ²	
Среднегодовая скорость ветра	3,5 м/с	2004-2014
Продолжительность увлажнения поверхности расчётная (при T ≥ -1°C и φ ≥ 70%)	5400 час	
Продолжительность увлажнения поверхности расчётная (при T >0°C и φ > 80%)	3500 час	
Среднее значение pH осадков	6,6 (5,3-8,2)	2009-2014
Суточный перепад температуры образца чёрного цвета в летние солнечные дни	35 °C	2010-2014
Среднегодовое количество выпадения хлоридов (метод «сухого полотна», навес)	37 мг/м ² сут	2001-2014
Годовое суммарное количество дней с t<0 °C	26	2004-2014

* по данным метеостанции СКМП-2 (ГЦКИ ВИАМ им. Г.В. Акимова)



Рис. 1. Атмосферный стенд с расположенными пластинаами стеклопластика ВПС-53К:
вверху – в исходном состоянии (29 мая 2015 г.);
внизу – после 1 месяца натурной экспозиции (29 июня 2015 г.)

На рис. 1 представлен внешний вид атмосферного стенда.

Было реализовано два режима климатических испытаний. Первый режим испытаний заключался в экспонировании пластин ВПС-53К на открытом атмосферном стенде в течение 12 месяцев. Второй режим сочетал климатическое воздействие с термоциклизированием 5 раз в неделю. Термоциклирование применено для

имитации сочетания факторов эксплуатации и климатического воздействия. Термоцикл, имитирующий режим полета, состоит из стадии охлаждения образцов при температуре -40°C в течение 1 часа и стадии нагрева при 100°C в течение 1 часа. За 12 месяцев климатических испытаний было создано 235 термоциклов.

Цветовые характеристики эпоксидного полимера в колориметрической системе Lab [12,13]

изучали спектрофотометром со сферической оптикой X-Rite SP-64. Характеристикой изменения цветовых показателей полимера выбрано цветовое расстояние ΔE_{ab} в равноконтрастной системе цветового пространства Lab [12,13]. В системе Lab значение светлоты отделено от значения хроматической составляющей цвета (тон, насыщенность). Светлота задана координатой L (изменяется от 0 до 100, то есть от самого темного до самого светлого), хроматическая составляющая – двумя декартовыми координатами a и b. Первая обозначает положение цвета в диапазоне от зеленого до красного, вторая – от синего до желтого. По результатам спектрофотометрических измерений изменение цветового расстояния вычисляется как

$$\Delta E_{ab} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}, \quad (1)$$

где $\Delta L = L_T - L_R$ – изменение светлоты, $\Delta a = a_T - a_R$, $\Delta b = b_T - b_R$, L_T, a_T, b_T – координаты цвета испытуемого образца, L_R, a_R, b_R – координаты цвета образца сравнения.

Влияние климатического воздействия на свойства стеклопластика было изучено методом динамического механического анализа (DMA). Методом консольного изгиба на установке DMA-242 фирмы Netzsch (рис. 2) определялись температурные зависимости компонент комплексного модуля Юнга. Использовалось важное достоинство этого динамического механического анализатора – возможность измерений на разных частотах. В проведенных экспериментах частота изменялась от 0,1 до 50 Гц. Для оценки тонких эффектов влияния химического состава и возможных физико-химических превращений под воздействием влаги на температуру стекловидования требуется выполнять тестирование на одинаковой несущей частоте.

Для консольного изгиба динамический модуль Юнга (E' и динамический модуль потерь E'') определяются по формулам [12]

$$E' = \frac{A \cdot N \cdot L^3}{b \cdot h^3} \cdot \cos \delta \text{ и } E'' = \frac{A \cdot N \cdot L^3}{b \cdot h^3} \cdot \sin \delta, \quad (2)$$

где N – осевое усилие, L – длина свободной части образца, b – ширина образца, h – толщина образца, A – амплитуда колебаний, δ – сдвиг фаз между напряжением и деформацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 показан пример изменения цветового расстояния стеклопластика ВПС-53К по данным спектрофотометра X-Rite SP-64 в зависимости от продолжительности экспонирования.

Установлено, что вне зависимости от способа получения стеклопластика (пресс, автоклав) и начальных цветовых различий изменение цветового расстояния за 1-2 недели натурного экспонирования возрастает до 22-27 единиц и остается неизменным в течение всего последующего периода испытаний.

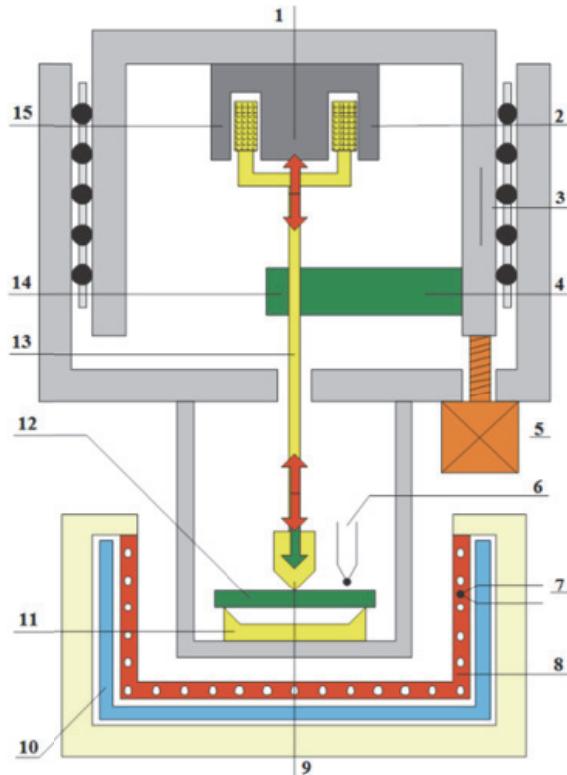


Рис. 2. Измерительная ячейка

DMA-анализатора 242D:

1 – нагружающее устройство, 2 – контроллер нагрузки, 3 – система автоматической регулировки, 4 – контроллер смещения, 5 – шаговый двигатель для перемещения термокамеры, 6 – термопара для контроля температуры образца, 7 – термопара для контроля температуры нагрева камеры, 8 – термокамера, 9 – нагружающее устройство, 10 – полость для охлаждения камеры жидким азотом, 11 – прободержатель, 12 – образец, 13 – направляющая осциллятора, 14 – датчик смещения, 15 – осциллятор

При оценке состояния стеклопластика ВПС-53К методом динамического механического анализа (DMA) основное внимание было обращено на переход эпоксидной матрицы материала аналогично [14-18]. После выполнения динамических механических измерений определена температура стекловидания T_g как температура, при которой интенсивность α -перехода максимальна («размораживается» наибольшее количество сегментов макроцепей). Для повышения точности измерения T_g использовали подход [19, 20], при котором определяли значения этой характеристической температуры из зависимостей минимума температурной производной dE'/dT и максимума динамического модуля потерь, аппроксимированных функцией распределения Гаусса вида

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где y – экспериментальные значения температурной зависимости $dE'/dT(T)$ и $E''(T)$, x – значения температуры, x_c – положение экстремума

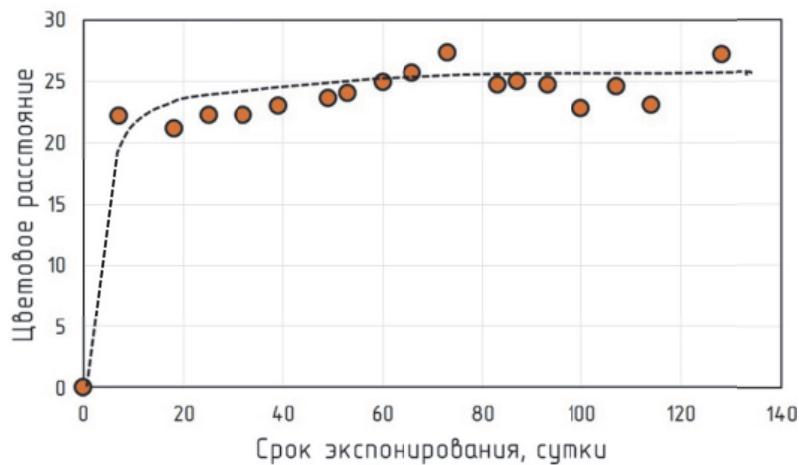


Рис. 3. Изменение цветового расстояния стеклопластика ВПС-53К в зависимости от продолжительности экспонирования

распределения на температурной кривой, σ – полуширина распределения.

Значения температуры стеклования, определенные по положению максимума модуля потерь и по минимуму температурной производной динамического модуля Юнга, совпадали с точностью до $\pm 3^\circ\text{C}$ (табл. 2) аналогично подобным

измерениям для других полимеров [14,15], что подтверждает надежность использования этих критериев для достоверного определения T_g .

Из рис. 4 видно, что α -переход характеризуется отчетливо выраженной областью уменьшения E' от 3-4 ГПа до 1,5 ГПа. Температурные зависимости $dE'/dT(T)$ и $E''(T)$ асимметричны,

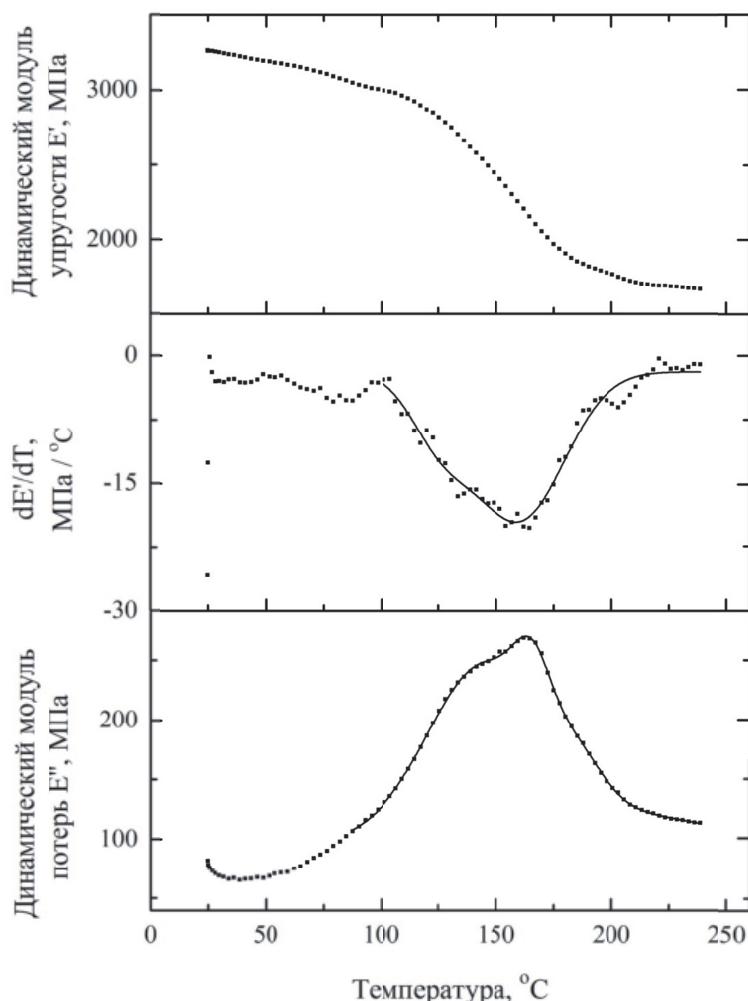


Рис. 4. Температурные зависимости динамического модуля Юнга (вверху) производной динамического модуля Юнга (средняя часть) и динамического модуля потерь (внизу) стеклопластика ВПС-53К в исходном состоянии (пластина 1, прессование, образец 1.1)

Таблица 4. Температура стеклования связующего стеклопластика ВПС-53
в исходном состоянии и после 12 месяцев экспонирования на открытом стенде

Шифры образцов	Способ приготовления и номера образцов	Temperatura стеклования, °C			
		исходное состояние		после 12 месяцев старения	
		по dE'/dT	по E''	по dE'/dT	по E''
6.1-6.4	Пластина 1. Пресс	Образец №1	149	150	132/166
		Образец №2	149	152	127/169
		Образец №3	147	150	130/167
	Пластина 2. Пресс	Образец №1	148	148	126/160
		Образец №2	157	159	131/167
		Образец №3	147	149	129/167
	Пластина 3. Автоклав	Образец №1	154	156	136/165
		Образец №2	154	156	118/169
		Образец №3	155	156	122/167
	Пластина 4. Автоклав	Образец №1	155	156	134/165
		Образец №2	154	155	130/165
		Образец №3	155	157	132/166
5.1-5.4	Пластина 5. Пресс. Термоцикли.	Образец №1	148	150	129/163
		Образец №2	149	151	130/163
		Образец №3	147	147,3	131/164
	Пластина 6. Пресс. Термоцикли.	Образец №1	147,2	148	128/163
		Образец №2	150	149	130/165
		Образец №3	150	151	131/166
4.1-4.4					131/163
3.1-3.4					
2.1-2.4					
1.1-1.4					

что является признаком суперпозиции двух релаксационных процессов, обусловленных микроФазовым расслоением полимерной матрицы.

По результатам выполненных ДМА-измерений оказалось, что вне зависимости от способа изготовления образцов под прессом или в автоклаве температура стеклования для

различных пластин в исходном состоянии fluktuирует в пределах 151 ± 5 °C (табл. 4).

На рис. 5, 6 показаны примеры аналогичных ДМА-измерений, выполненных после 12 месяцев натурного экспонирования. Температурные зависимости динамического модуля Юнга и динамического модуля потерь экспонирован-

ных образцов подобны этим зависимостям для исходных образцов. Однако обнаружена общая закономерность: слабо выраженное микрофазовое расслоение α -перехода, показанное на рис. 4, после 12 месяцев экспонирования стало более отчетливым. Например, на графике $dE'/dT(T)$ для образца 4.2 (пластина 4, автоклав) наблюдаются минимумы при 130 и 165 °C (рис. 5). Таким образом, после 12 месяцев климатического воздействия по данным ДМА выявлено две температуры стеклования, значения которых указаны в табл. 3.

Подобные изменения наблюдаются в результате ДМА-измерений образцов стеклопластика, экспонированных в течение 12 месяцев с наложением 5 термоциклов в неделю. На рис. 6 показан пример ДМА измерений для образцов стеклопластика стеклопластика ВПС-53К после 12 месяцев экспонирования в ГЦКИ ВИАМ с наложением 235 термоциклов (пластина 5, прессование, образец 5.2).

Таким образом, получено экспериментальное подтверждение вывода о том, что воздействие

факторов эксплуатации (термоциклов) не оказывает дополнительного влияния на динамические механические характеристики стеклопластика.

Анализ полученных результатов показал, что если выявленный двойной α -переход эпоксидной матрицы стеклопластика после 12 месяцев климатического воздействия аппроксимировать единым релаксационным процессом по формуле (3), то определенная таким способом температура стеклования для всех образцов, представленных в табл. 3, совпадает с исходными значениями с точностью до $\pm 3-5$ °C. Можно сделать общий вывод о том, что по результатам ДМА экспериментально установлена высокая климатическая стойкость стеклопластика ВПС-53К за 12-месячный период климатического воздействия в условиях ГЦКИ ВИАМ.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований установлено, что изменение цветовых характеристик и температуры стеклования эпоксидной матрицы стеклопластика ВПС-53К в исходном состоянии

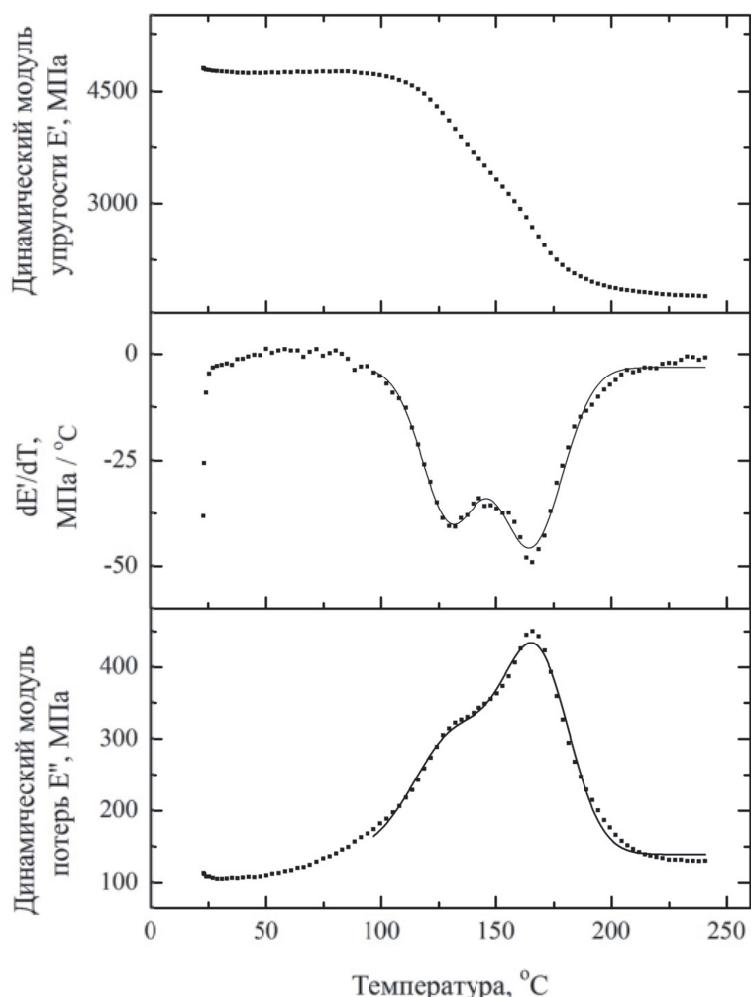


Рис. 5. Температурные зависимости динамического модуля Юнга (вверху) производной динамического модуля Юнга (средняя часть) и динамического модуля потерь (внизу) стеклопластика ВПС-53К после 12 месяцев экспонирования в ГЦКИ ВИАМ (пластина 4, автоклав, образец 4.2)

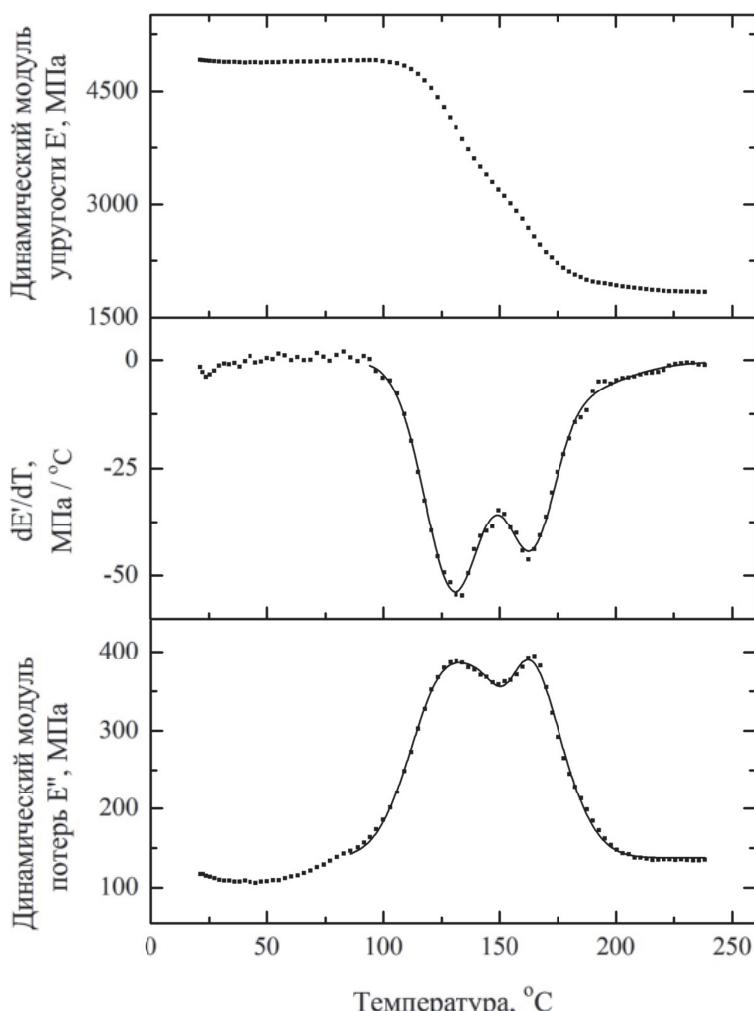


Рис. 6. Температурные зависимости динамического модуля Юнга (вверху) производной динамического модуля Юнга (средняя часть) и динамического модуля потерь (внизу) стеклопластика ВПС-53К после 12 месяцев экспонирования с наложением 235 термоциклов (пластина 5, прессование, образец 5.2)

и после 12 месяцев экспонирования в умеренно теплом климате не зависят от метода изготовления стеклопластика (пресс, автоклав). Кроме того воздействие факторов эксплуатации (термоциклов) в сочетании с воздействием умеренно теплого климата не оказывает дополнительного влияния на динамические механические характеристики стеклопластика.

По данным DMA установлено, что следствием климатического воздействия на ВПС-53К является увеличение микрофазового расслоения перехода эпоксидной матрицы из стеклообразного в высокоэластичное состояние (α -перехода).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. № S1. С. 3-9.
2. Железина Г.Ф., Войнов С.В., Плетинь И.И., Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А. Разработка и производство конструкционных органопластиков для авиа-
3. Попов Ю.О., Колокольцева Т.В., Гусев Ю.А., Громова А.А. Разработка конструктивно-технологического решения листового стеклопластика для обшивок хвостовых отсеков лопасти несущего винта вертолета // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн., 2016. №1. Ст.05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 04.05.2017г.). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-1-3-9
4. Постнов В.И., Плетинь И.И., Вешкин Е.А., Старостина И.В. Технологические особенности производства тонколистовых обшивок лопастей вертолета из конструкционного стеклопластика ВПС-53К // Известия Самарского научного центра РАН, 2016. Т. 18. №4 (3). С. 186-188.
5. Постнов В.И., Сатдинов А.И., Стрельников С.В., Антонов А.И., Вешкин Е.А. Влияние технологической подготовки производства на качество изделий из ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2009. №3. С. 3-6.
6. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Абрамов П.А. Пути повышения качества деталей из ПКМ при вакуумном формировании // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 14. 2012. № 4(3). С. 834-839.
7. Вешкин Е.А. Особенности безавтоклавного формо-

- вания низкопористых ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2. ст.07 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 03.05.2017г.). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-7-7
8. Постнов В.И., Постнова М.В., Вешкин Е.А. Методика и результаты моделирования влияния эксплуатационных факторов на свойства авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов // Сборник докладов IX международной научной конференции по гидравиации «Гидравиасалон-2012» Ч. 2. М.: ВИАМ. 2012. С. 151–157.
9. 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
10. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапицов Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ // Авиационная промышленность, 2009. №4. С. 36–46.
11. Панин С.В., Старцев В.О., Курс М.Г., Варченко Е.А. Развитие методов климатических испытаний материалов для машиностроения и строительства в ГЦКИ ВИАМ им. Г.В. Акимова // Все материалы. Энциклопедический справочник. Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам, 2016. №10. С. 50–61.
12. Fairchild M.D. Color Appearance Models. Wiley, 2005. 408 p.
13. Schanda J. Colorimetry: Understanding the CIE System. Wiley. 2007. 390 p.
14. ASTM D4065. Standard practice for plastics: dynamic mechanical properties: determination and report of procedures.
15. Старцев О.В., Перепечко И.И., Старцева Л.Т., Машинская Г.П. Структурные изменения в пластифицированном сетчатом аморфном полимере // Высокомолекулярные соединения. Серия Б, 1983. Т. 25. № 6. С. 457–461.
16. Старцев О.В., Мелетов В.П., Перов Б.В., Машинская Г.П. Исследование механизма старения органотекстолита в субтропическом климате. // Механика композитных материалов, 1986. № 3. С. 462–467.
17. Старцев О.В., Вапицов Ю.М., Деев И.С., Ярцев В.А., Кривонос В.В., Митрофанова Е.А., Чубарова М.А. Влияние длительного атмосферного старения на свойства и структуру углепластика. // Механика композитных материалов. 1986. № 4. с. 637–642.
18. Startsev O.V. Peculiarities of ageing of aircraft materials in a warm damp climate. // Polymer Yearbook-11. Chur. 1994. p. 91–110.
19. Startsev O., Krotov A., Mashinskaya G. Climatic ageing of organic fibrein forced plastics: watereffect. // InternationalJournalofPolymericMaterials. 1997. v. 37. № 3-4. p. 161–171.
20. Старцев О.В., Прокопенко К.О., Литвинов А.А., Кротов А.С., Аниховская Л.И., Дементьева Л.А. Исследование термовлажностного старения авиационного стеклопластика // Клеи. Герметики, Технологии, 2009. № 8. С. 18–21.
21. Старцев О.В., Каблов Е.Н., Махоньков А.Ю. Закономерности перехода эпоксидных связующих композиционных материалов по данным динамического механического анализа // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С.104–113.
22. Махоньков А.Ю., Старцев О.В. Влияние градиента температуры в измерительной камере крутильного маятника на точность определения температуры стеклования связующего ПКМ // Материаловедение, 2013. № 7. С. 47–52.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATIC EFFECTS ON THE PROPERTIES OF FIBERGLASS BRAND ВПС-53К

© 2017 V.O. Startsev¹, M.V. Molokov¹, V.I. Postnov², I.V. Starostina³

¹ Gelendzhik Climate Testing Center of the Federal State Unitary Enterprise
“All-Russia Institute of Aviation Materials”

² Ulyanovsk Scientific and Technological Center of the Federal State Unitary Enterprise
“All-Russian Institute of Aviation Materials”

³ Federal State Unitary Enterprise “All-Russia Institute of Aviation Materials”, Moscow

The article considers the influence of climatic factors on ВПС-53К sheet fiberglass made on the basis of the melt binder of the new generation of the ВСР-3М grade, manufactured using serial technologies of autoclave and press molding. An estimation of the change in the properties of fiberglass ВПС-53К during its aging in the climatic conditions of Gelendzhik is given. The plates of fiberglass ВПС-53К (480x460x0.34 mm) were tested.

Keywords: fiberglass sheet, an adhesive prepreg, fiberglass surface density, a polymeric binder, a polymeric composite material, method of manufacture, environmental testing, thermal cycling, dynamic mechanical analysis.

Valery Startsev, Head of Laboratory of the CCAMLR VIAM.

E-mail: gcki@viam.ru

Maxim Molokov, Engineer of the CCAMLR VIAM.

E-mail: gcki@viam.ru

Vyacheslav Postnov, Doctor of Technics, Associate Professor,
Head of STCU VIAM. E-mail: untcviam@viam.ru

Irina Starostina, Head of the Quality Control Department.
E-mail: admin@viam.ru