

УДК 678-19+ 678.01:539.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

© 2012 Г. Н. Тоискин

Донской государственный технический университет

В условиях повышенной влажности и температуры матрица изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ) поглощает воду и пластифицируется. При этом снижается температура стеклования и, соответственно, предельная температура эксплуатации изделия. Для определения степени деградации механических свойств использовались следующие методы испытаний: испытания на трёх точечный изгиб, сжатие и определение точки стеклования.

Композиционные материалы, влагопоглощение, падение механических свойств и температуры стеклования.

1. Механизмы влагопоглощения

В процессе работы испытания проводились для 2-х материалов: ВПС-7 и ВПС-31 (рис. 1), которые вырезались из лопасти несущего винта.

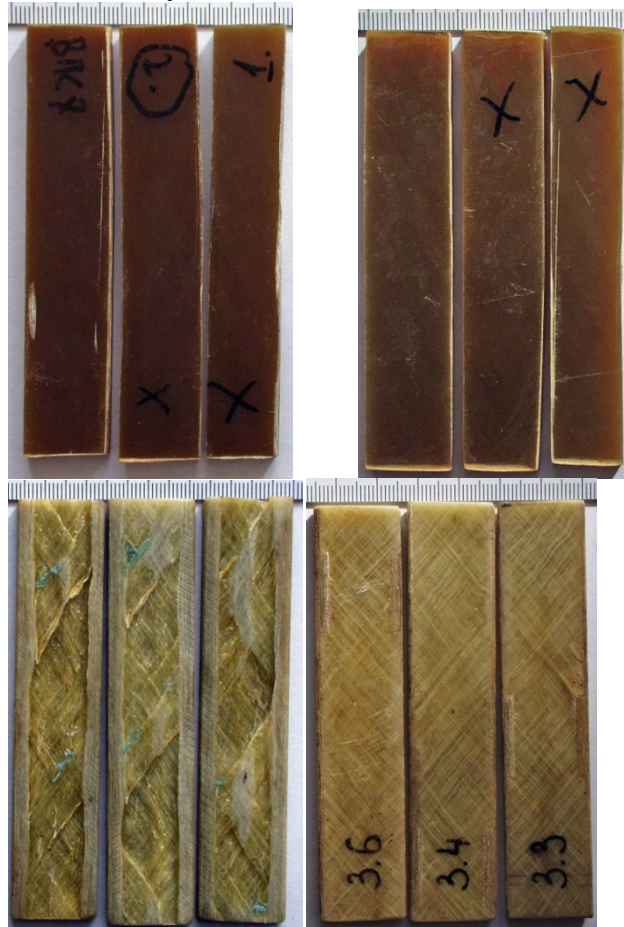


Рис. 1. Внешний вид образцов для испытаний слева – ВПС-7, справа – ВПС-31

Для исследования расположения влаги в образце, изготовленном из

эпоксидного композиционного материала, армированного стекловолокном, был использован метод рентгеноэлектронной спектроскопии. Были получены все спектры и результаты разложения линии кислорода и углерода на составляющие, из которых следует, что жидкость присутствует в эпоксидной части материала в связанном виде и на границе раздела между стекловолокном и матрицей. Из вышесказанного следует, что наиболее опасным местом, с точки зрения проникновения влаги, являются места нарушения целостности изделия (отверстия, срезы).

Отмечено, что при высыхании механические свойства восстанавливаются [1], но при этом геометрия изделия остаётся деформированной.

2. Оценка степени деградации физических и механических свойств

Цикл испытаний механических свойств полимеризованного ламината на основе термореактивного связующего должен включать короткобалочный изгиб и сжатие.

2. 1. Трёхточечный короткобалочный изгиб

Испытания на ползучесть и релаксацию производились на машине для деформационных испытаний TIRA test 2750 с использованием штатного приспособления для 3-х точечного изгиба (рис. 2.); разрешающая способность установки

составляла по деформации 0,01 мм, по силе 0,01 Н.



Рис. 2. Образец, установленный в приспособление для трёхточечного короткобалочного изгиба

Расстояние между опорами 40 мм. При таком испытании смещение центральной части образца w выражается соотношением:

$$w = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E_f \cdot I_x} = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E_x \cdot I_x} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \cdot \frac{E_x}{G_x} \right], \quad (1)$$

где P – нагрузка;

l – расстояние между опорами;

I_x – момент сопротивления изгибу сечения образца;

E_x – продольный модуль;

G_x – модуль межслойного сдвига;

E_f – фиктивный модуль упругости, равный продольному модулю, деленному на выражение в квадратных скобках, и зависящий от отношения h/l и формы сечения (коэффициент $\alpha=1,2$ для прямоугольного сечения).

Целью испытаний было определение полной деформации и фиктивного модуля образцов, хранившихся при нормальных условиях и выдержанных в климатической камере. Кондиционирование в климатической камере типа КТК 800 производилось при

температуре 70°C и влажности 85 % в течение 10 суток.

Нагрузка выбиралась, исходя из максимальных напряжений, действующих на лопасть несущего винта. Для образцов из ВПС-7 (толщина 6 мм) она составляла 750 Н, для образцов из ВПС-31 (толщина 3,6 мм) – 300 Н. При этом максимальные напряжения в наружных слоях составляли порядка 80 МПа. Расчет напряжений производился по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pl}{dh^2},$$

где $d = 16$ мм – ширина образца;

h – его толщина.

Для исключения собственной деформации упругой системы машины предварительно производилось нагружение жесткой стальной плитки рабочими нагрузками. Зависимость деформации машины от нагрузок представлена на рис. 3.

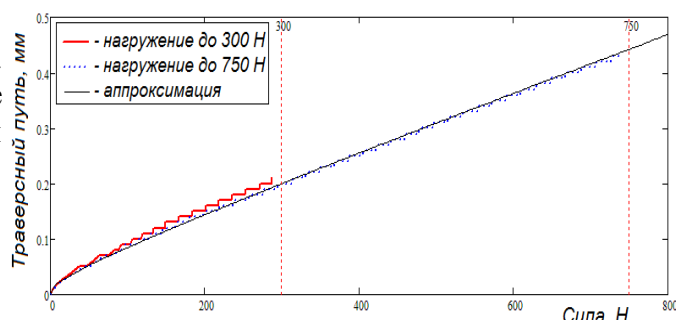


Рис. 3. Деформация упругой системы испытательной машины под действием рабочих нагрузок – измеренный траверсный путь при увеличении нагрузки

Эта зависимость аппроксимировалась формулой:

$$\delta_m = 0.007 \cdot P^{0.35} + 0.0005 \cdot P \quad (3)$$

(сила в Ньютонах, смещение в мм) и использовалась путем вычитания величины δ_m из общего траверсного пути.

Ниже представлены результаты испытаний на ползучесть и изменение фиктивного модуля изгиба образцов из материалов ВПС-7 и ВПС-31.

В первой серии испытаний продолжительность нагружения составила 6 часов, однако 50% деформации ползучести развивались уже в течение первых 10 минут. Поэтому продолжительность испытаний была сокращена, что позволило получить полуколичественные данные о влиянии

климатических воздействий на механические свойства исследуемых материалов.

Анализ приведенных графиков (рис. 4) показывает, что значения исходного фиктивного модуля (упругие свойства материала) обоих материалов примерно равны и составляют около $2,5 \cdot 10^{10}$ Па. При одних и тех же напряжениях в поверхностных слоях деформация более тонких образцов из ВПС-31 составляет 0,25 мм, более толстых из ВПС-7 - 0,14 мм.

Усредненное по трем образцам падение упругого модуля в результате климатического воздействия составляет:

- для ВПС-7 - $0,7 \cdot 10^{10}$ Па, т.е. 28%;
- для ВПС-31 - $0,45 \cdot 10^{10}$ Па, т.е. 18%.

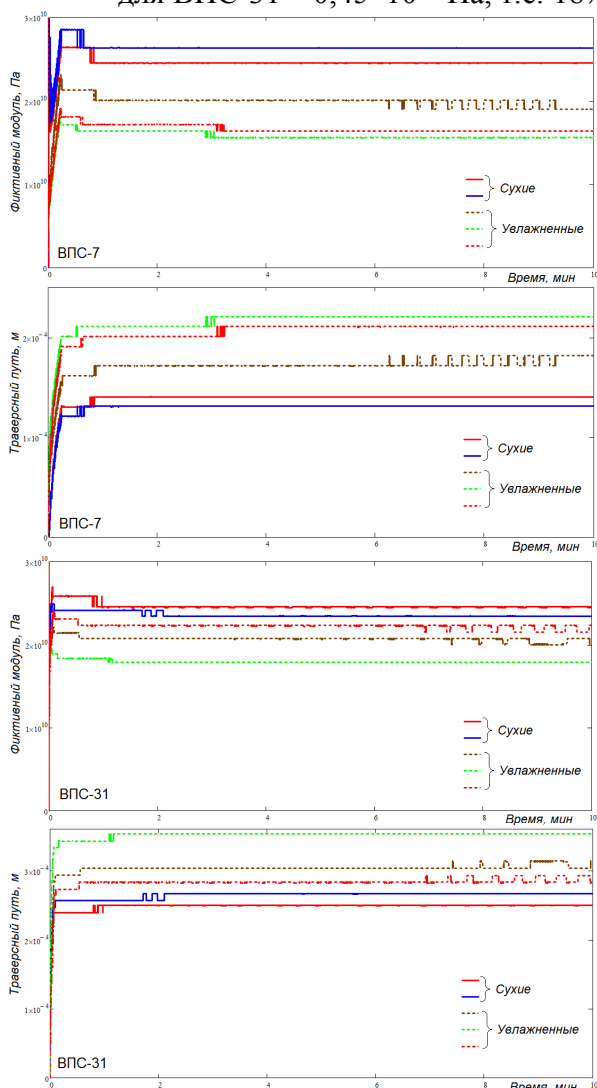


Рис. 4. Временные диаграммы изменения фиктивного модуля и деформации ползучести сухих и увлажненных образцов из материала ВПС-7 и ВПС-31

Усредненный по трем образцам прирост общей деформации изгиба в

результате климатического воздействия составила:

- для ВПС-7 - 0,05 мм, т.е. 36%;
- для ВПС-31 - 0,07 мм, т.е. 26%.

Деформация ползучести на установившемся участке (за 10 минут):

- для ВПС-7 увеличилась с 0,02 мм до 0,04 мм;
- для ВПС-31 увеличилась с 0,01 мм до 0,02 мм.

Деградация упругих свойств материалов в результате климатического воздействия составила в материале ВПС-7 28%, в материале ВПС-31 - 18%. Общая деформация изгиба образцов в результате климатического воздействия увеличилась в материале ВПС-7 на 36%, в материале ВПС-31 - на 26%. Деформация ползучести при деформации изгиба в результате климатического воздействия увеличилась в материале ВПС-7 с 0,02 мм до 0,04 мм, в материале ВПС-31 - с 0,01 мм до 0,02 мм.

2.2. Сжатие

Все испытания проводились согласно требованиям [2].

Нагружение со скоростью 0,1 мм/сек производилось на машине TIRA test 2850 (рис. 5) до разрушения, которое регистрировалось спадом сжимающей нагрузки на 200 Н.

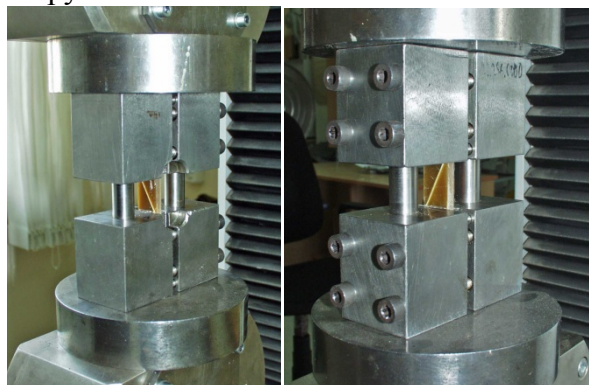


Рис. 5. Вид на устройство приспособления для испытаний на сжатие (на поверхности образца видна макротрещина, возникшая при испытании)

На диаграммах, представленных на рис. 6, наблюдаются скачки, соответствующие локальным разрушениям матрицы.

Начальные участки диаграмм соответствуют этапу загрузки приспособления для сжатия. Как видно из диаграмм, в сухом и влажном состоянии матрица ВПС-31 менее пластична, чем ВПС-

7, и разрушение происходит при деформациях 0,06-0,07 (сухие), тогда как ВПС-7 разрушается при деформациях 0,08-0,11 (сухие).

Падение средней разрушающей нагрузки сжатия для ВПС-7 составляло 12%, для ВПС-7 – 20%.

Важно отметить закономерность протекания разрушений, представленную на рис. 6. На диаграмме нагружения сухого материала ВПС-7 наблюдаются скачки-спады нагрузки, соответствующие локальным повреждениям матрицы при напряжениях 140 и 170 МПа. Увлажненный материал ВПС-7 более пластичен – имеется только один локальный спад при 90 МПа. В материале ВПС-31 такие спады вплоть до разрушения отсутствуют.

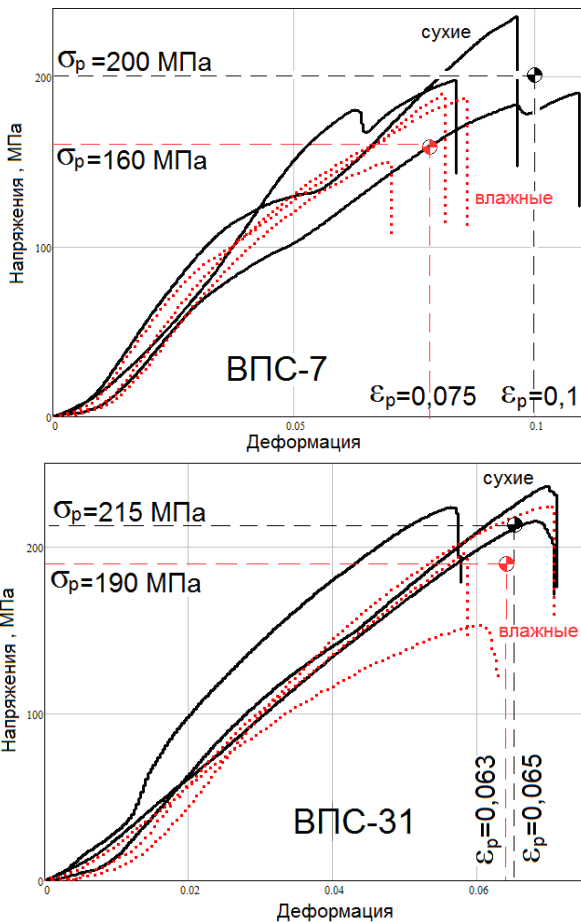


Рис. 6. Диаграммы нагружения призматических образцов при одноосном сжатии

Сравнительные характеристики климатической стойкости механических свойств материалов даны в таблице 1.

Таблица 1. Температуры стеклования стеклопластика в исходном виде $T_{g\text{сух}}$ и после влагонасыщения* $T_{g\text{вл}}$, влагопоглощение $P_{\text{вл}}$.

№ лонж	Состав стеклопл. в образце	В исходном состоянии		После влагонасыщения		
		N _{обр}	T _{гс} ух	N _{обр}	T _{гвл} л	P _{вл} , %
0147	ЭДТ-10П / Т-25	147-5	55,7	147-3	39,2	3,4
		147-6	58,2	147-4	34	
	ЭДТ-10П / ВМПС	147-5	68,6	147-3	37,8	2,0
		147-6	71,4	147-4	40,7	
0150	ЭДТ-10П / Т-25	150-1	66,6	150-3	27,9	4,0
		150-2	62,4	150-4	27,9	
	ЭДТ-10П / ВМПС	150-1	72,3	150-3	42,7	1,9
		150-2	83,6	150-4	42,9	
0154	ЭДТ-10П / ВМПС	154-1	73,6	154-5	43,2	1,9
		154-2	74,7	154-6	43,1	
0155	ЭДТ-10П / ВМПС	155-5	80,8	155-3	47,6	1,8
		155-6	74,1	155-4	42,9	
0450	ЭДТ-10П / ВМПС	0455-1	100,105	0455-3	58,60	1,75
		0455-2		0455-4		

Примечание: Условия кондиционирования T = 80 °C, φ = 98 %

2.3. Определение точек стеклования на примере материала ВПС-7

Температуры стеклования материала лонжеронов в исходном состоянии - состоянии поставки («сухого») - $T_{g\text{сух}}$ и после влагонасыщения при φ = 98% - $T_{g\text{вл}}$ определяли на динамическом механическом анализаторе ДМА 861^с фирмы Mettler Toledo (Швейцария) в соответствии с РТМ 1.2.173-2003. Испытания образцов размером 50×10×2мм проводили при нагревании со скоростью 3 град/мин при воздействии с частотой 1Гц изгибающей нагрузки (трехточечный изгиб), равной 6,0 Н. T_g определяли как температуру начала падения

динамического модуля упругости E' на кривой температурной зависимости. Для сравнения с материалом стенки лонжерона, не подвергавшегося эксплуатации, определяли температуру стеклования образцов, вырезанных из стенки лонжерона. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика климатической стойкости механических свойств материалов ВПС-7 и ВПС-31

Параметр	Испытание	Материал			
		ВП С-7 сухой	ВП С-7 влажный	ВПС -31 сухой	ВП С-31 влажный
Секущий модуль при напряжениях на поверхности 100 МПа	Изгиб	12 ГПа	7 ГПа	9 ГПа	7 ГПа
Касательный модуль при напряжениях на поверхности 100 МПа	Изгиб	60 ГПа	24 ГПа	110 ГПа	40 ГПа
Разруша	Сжати	200	160	215	190

ющее напряжение	e	МПа	МПа	МПа	МПа
Разрушающая деформация	Сжатие	0,1	0,075	0,065	0,063

Заключение

Наиболее опасными местами для проникновения жидкости в изделие являются различного рода места механической обработки, такие как отверстия, пазы и т.д. Падение точки стеклования при воздействии влаги (до 50%) существенно снижает механические свойства материала (до 20% при сжатии) и увеличивает деформацию (до 36% при изгибе). Восстановление механических свойств после сушки не возвращает изделию первоначальные геометрические характеристики.

Библиографический список

1. Dhakal, H.N. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fiber reinforced unsaturated polyester composites [Text] / H.N. Dhakal, Z.Y. Zhang, M.O.W. Richardson // *Composites Science and Technology*, 29 June 2006.
2. MIL-HDBK-17-1E "Composite Materials Handbook. Volume 1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials." Department of Defense USA, 2002.

COMPARATIVE TESTS OF THE DEGRADATION MECHANICAL PROPERTIES 2 COMPOSITE MATERIALS IN HIGH HUMIDITY AND TEMPERATURE

© 2012 G. N. Toiskin

Don State Technical University

The matrix absorbs moisture from the environment and plasticized, if the product is made of polymeric composite materials (PCM) is used in conditions of high humidity and temperature. The value of the glass transition temperature (T_g) and the limiting temperature of use of the product decreases. Use the following types of tests to determine the extent of degradation of mechanical properties of PCM: three-point bending, compression, and computation of the glass transition point.

Composite materials, moisture absorption, decrease mechanical properties and glass transition.

Информация об авторе

Тоискин Геннадий Николаевич, аспирант кафедры авиастроения, Донской государственной технической университет. E-mail: toiskin_gena@mail.ru. Область научных интересов: производство и эксплуатация полимерных композиционных материалов.

Toiskin Gennady Nikolaevich, postgraduate dept. of aeroengineering, Don State Technical University. E-mail: toiskin_gena@mail.ru. Area of research: production and operation of polymer composites.