

*К. О. Ермолаева, А. Я. Суранов*

### **Исследование влияния кромочного эффекта на влагоперенос в авиационных композиционных материалах на основе клеевых препрегов\***

*K. O. Ermolaeva, A. Ja. Suranov*

### **Study of Edge Effect Influence on Water Transport in Aviation Composite Materials Based on Glue Prepregs**

Проведены исследования полимерных композиционных материалов в условиях термовлажностного циклирования. Показано влияние кромочного эффекта на влагоперенос в полимерных композиционных материалах.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, термовлажностное циклирование, сорбция, стеклопластик, влагоперенос.

**DOI** 10.14258/izvasu(2013)1.2-32

**Введение.** В современном авиастроении усиливается интерес к полимерным композиционным материалам. Эти материалы позволяют снизить массу и повысить ресурс самолетов. Из широкого разнообразия полимерных композиционных материалов особый интерес представляют материалы, прочностные свойства которых за 25–30-летний период эксплуатации снижаются не более чем на 10–20%. Обеспечение высокой стойкости к старению полимерных композиционных материалов внешнего контура планера невозможно без понимания сущности физико-химических превращений, происходящих в материалах при эксплуатации [1, с. 34]. На полимерные композиционные материалы существенное влияние оказывают атмосферные факторы (температура, влажность, солнечная радиация, циклическое изменение температуры и др.), которые, являясь активаторами старения полимерных композиционных материалов, способствуют развитию физико-химических процессов в материалах и за время эксплуатации изделий (25–30 лет) могут существенно снизить их прочностные свойства [2]. В связи с этим исследование свойств полимерных композиционных материалов в агрессивных условиях среды, в которых летают самолеты, таких как тропический климат, на данный момент являются актуальными. Цель работы заключается в установлении влияния кромочного эффекта на влагоперенос в полимерных композиционных материалах.

**Методика эксперимента.** Для исследования свойств выбраны стеклопластики и углепластики на основе клеевых препрегов авиационного назначения.

Polymer composite materials have been studied under hydrothermal cycling. Influence of edge effect on water transport in polymer composite materials have been revealed.

**Key words:** polymer composite materials, hydrothermal cycling, sorption, glass/epoxy composite, water transport.

Различия во влагонасыщении образцов разных форм и размеров экспериментально исследовались в работе [3, с. 1347–1382]. Первые эксперименты показали наличие у образцов различной сорбционной емкости, что нельзя объяснить свойствами материала. Доказано, что на характеристики влагопереноса в полимерных композиционных материалах оказывают влияние дополнительные дефекты в кромке, образующейся при резке образцов, это видно на рисунке 1.

Неодинаковая гидрофильность неповрежденной части объема образца и дефектной кромки, формирующейся при резке образцов, подтверждается зависимостью относительного влагосодержания от геометрических размеров образцов  $L$  и  $H$ . Влага в первую очередь проникает и сорбируется в поврежденном объеме по периметру образца (рис. 1). У образцов с меньшими размерами доля поврежденного объема больше. Поэтому для них обнаруживается большее влагосодержание из-за накопления влаги в кромке. Это влияние особенно хорошо прослеживается на зависимости относительного влагосодержания от геометрических размеров образца  $W = f(L; H)$  на первых этапах сорбции влаги, когда влага заполняет преимущественно поврежденный объем.

**Обсуждение результатов.** Для оценки значений  $M$  (сорбции) и  $D$  (диффузии) влаги были обработаны экспериментальные результаты, полученные за этот период. Видно, что предельное влагосодержание и коэффициент диффузии влаги зависят от формы и размеров образцов (табл.).

Очень хорошо видна зависимость от формы и размеров для образцов углепластика на рисунке 2.

\* Работа выполнена при частичной поддержке Программы стратегического развития Алтайского государственного университета (НОК-2, подпроект 2.1.2.1).

Образцы полимерных композиционных материалов увлажняются в воздушной среде при температуре  $60\pm$

Материал	L, мм	W, мм	M, %	D, 1/сут
Углепластик КМКУ-3.150. Э0.1.45	10	10	1.30	0.0262
	100	50	0.38	0.0653
	50	100	0.57	0.0406
	100	25	0.65	0.0436
	25	100	0.73	0.0460
	100	10	0.93	0.0366
	10	100	1.08	0.0371
	25	25	0.80	0.0172
	50	50	0.61	0.0435
Стеклопластик КМКС-4.175. Т10.37	10	10	1.36	0.0342
	100	50	0.62	0.0602
	50	100	0.60	0.0628
	100	25	0.80	0.0310
	25	100	0.84	0.0382
	100	10	1.17	0.0325
	10	100	1.76	0.0248
	25	25	1.54	0.0214
	50	50	0.62	0.0422

Примечание: L, W — длина и ширина образца; M, — предельное влагосодержание (1), D — коэффициент диффузии (2)

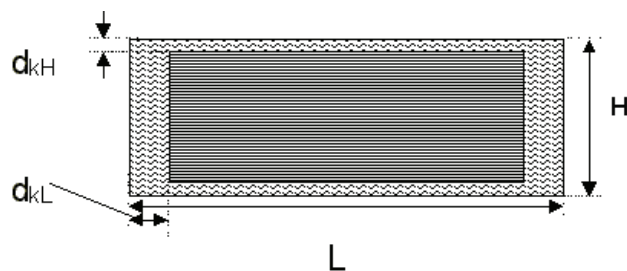


Рис. 1. Дефектная кромка в образцах полимерных композиционных материалов

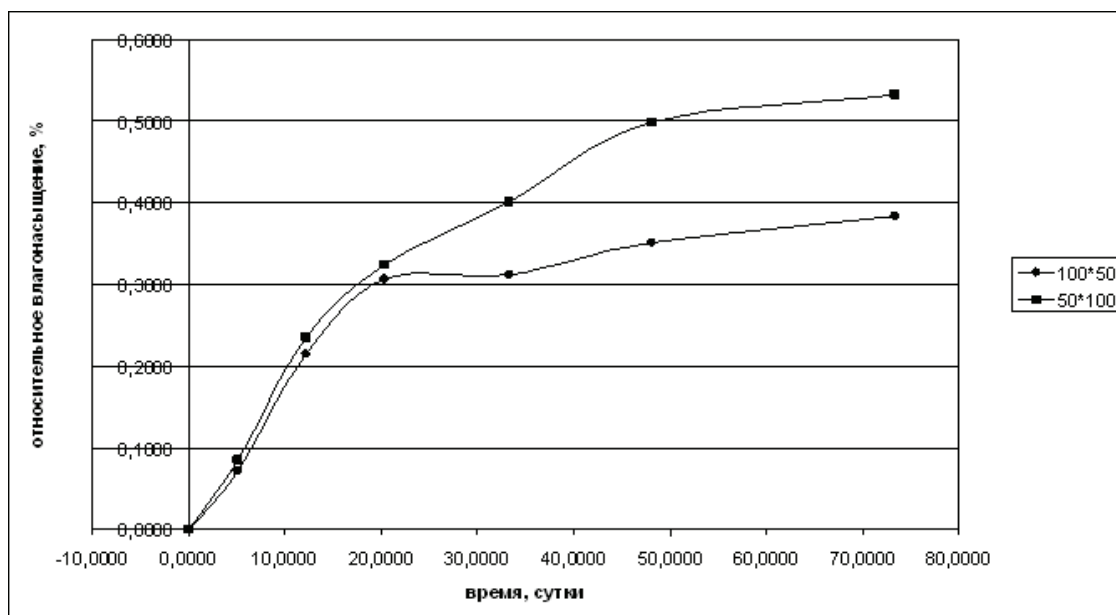


Рис. 2. Зависимость относительного влагонасыщения от времени для образцов углепластика 100мм \* 50мм и 50мм \* 100мм

Обработку сорбционных кривых производили с помощью данной модели в среде Microsoft Excel. Для определения диффузионных характеристик полимерных композиционных материалов использовали наборы образцов, длина и ширина которых изменялась от 10 до 100 мм по отношению к направлению основного армирования.

Длительное (5,5 лет) термовлажностное старение авиационного стеклопластика марки КМКС-1.80. Т10 показало, что в условиях, имитирующих тропический климат, контролируемые показатели стеклопластика (предельное влагонасыщение, коэффициент диффузии влаги, модуль сдвига в плоскости листа) в наибольшей

степени изменяются после одного года старения, а затем стабилизируются. Реакции гидролиза на первом цикле увлажнения-сушки можно считать своеобразным переходным процессом перехода стеклопластика в стабильное состояние. О гидролитической стабильности стеклопластиков в течение длительного пребывания в термовлажностных условиях целесообразно судить не по виду кривых, показанных на рисунке 3, а по простой линейной зависимости гидролитических потерь от времени испытаний, представленной на рисунке 4. Полученный вывод позволяет повысить достоверность прогнозирования свойств стеклопластиков при термовлажностном старении.

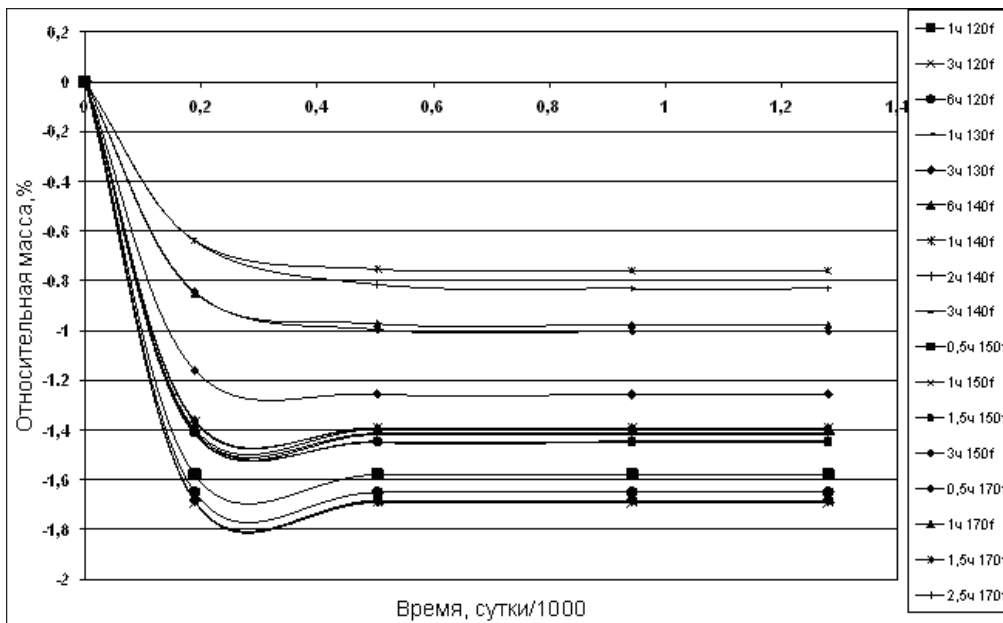


Рис. 3. Зависимость гидролитических потерь массы стеклопластиков от времени увлажнения

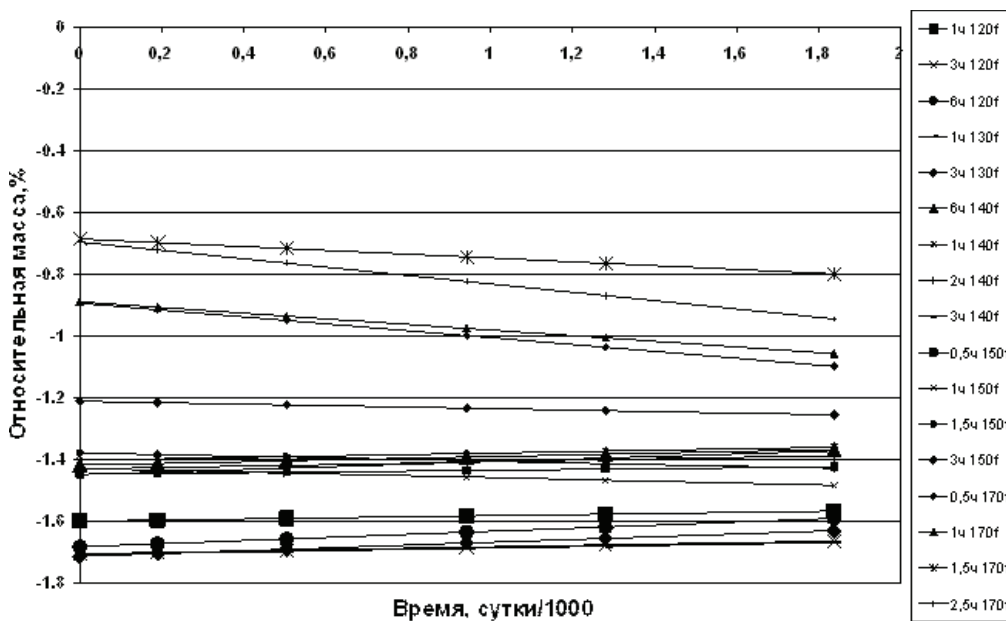


Рис. 4. Аппроксимация гидролитических потерь массы стеклопластиков от времени увлажнения линейной зависимостью

**Заключение.** В результате обработки экспериментальных данных было доказано, что на влагоперенос в полимерных композиционных материалах, находящихся в агрессивных условиях среды, существенное влияние оказывает кромка, возникающая при резке образцов, размеры которой зависят от схемы укладки слоев. Сорбированные и диффузионные параметры в кромке существенно отличаются от аналогичных в неповрежденной части образцов.

Также следует отметить, что большое влияние на полимерные композиционные материалы оказывает анизотропия влагопереноса в образцах разной формы.

Данные результаты влияния кромочного эффекта на свойства образца помогут при создании различных полимерных конструкций для самолетов. Ведь если не учесть влияние этого эффекта, необходимый порог износостойкости в 25–30 лет не будет достигнут.

### Библиографический список

1. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. — 2011. — № 1.

2. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкцион-

ных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // Труды ВИАМ. — 2013. — № 1.

3. Берлин А.А., Пахомова Л.К. Полимерные матрицы для высокопрочных армированных композитов (обзор) // Высокомолекулярные соединения. — 1990. — Т. 32 (А), № 7.