

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Е.С. Ананьева, С.В. Ананьин

*Исследование адгезии компонентов в углепластиках, в зависимости от различных методов модификации поверхности при изготовлении и эксплуатации ПКМ, весьма актуально и способствует решению проблемы создания высокопрочных композитов конструкционного назначения. Следовательно, важнейшей задачей на сегодняшний день, в области создания и применения армированных пластиков, является совершенствование методов поверхностной обработки волокнистых наполнителей, изучение нахождения возможностей корреляционной зависимости прочности КМ от силы адгезионного взаимодействия на основании закономерностей физико-химического взаимодействия компонентов пластика.*

*Ключевые слова: волокнистые наполнители, пластик, углепластик, углеродные волокна.*

Исследование адгезии компонентов в углепластиках, в зависимости от различных методов модификации поверхности при изготовлении и эксплуатации ПКМ, весьма актуально и способствует решению проблемы создания высокопрочных композитов конструкционного назначения [4-7]. Следовательно, одной из задач на сегодняшний день, в области создания и применения армированных пластиков, является совершенствование методов поверхностной обработки волокнистых наполнителей, изучение нахождения возможностей корреляционной зависимости прочности КМ от силы адгезионного взаимодействия.

В качестве объектов исследования были выбраны непрерывные углеродные волокна (марки УКН-П 5000 и ВМН-4, Россия), так как пластики на их основе являются наиболее перспективными для применения в материалах авиационного назначения.

Обработка, предварительно отмытых волокон, проводилась в поле низкотемпературной высокочастотной плазмы согласно разработанной методике. В качестве прививаемых агентов были выбраны соединения содержащие аминогруппы (ароматические и алифатические амины). Выбор агентов обусловлен тем, что величина равновесной адсорбции эпоксидных полимеров на поверхности, содержащие аминогруппы выше, чем для кислородосодержащих групп, наличие которых характерно для промышленных углеродных волокон.

Модификация волокон проводилась на лабораторной плазменной установке, в состав которой входит реакционный сосуд типа "колокол" (объем реактора равен  $2.85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ), высокочастотный генератор, вакуумный на-

сос (ротационный), емкость с прививаемым соединением.

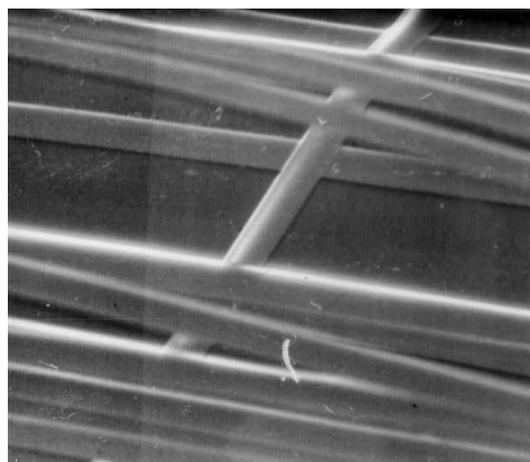


Рисунок 1 – Фотографии поверхности углеродных волокон после отмытки ( $\times 400$ )

Образцы для обработки помещались в объем реакционного сосуда, что обеспечивало обработку волокон в продуктах плазмы. С помощью форвакуумного насоса давление в реакционном сосуде откачивали до определенной величины. Разряд генерировался с помощью прибора УВЧ-66. Временем обработки считалось время горения разряда. Теоретически, из анализа литературных данных были подобраны необходимые параметры процесса, которые были скорректированы в процессе экспериментальных исследований. Непосредственно после обработки были приготовлены микропластики на основе эпоксидного связующего. Полученные образцы подвергались испытанию на сдвиг на установке "Ала-Тоо" (типа ИМАШ -20-75). Схема

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

приложения нагрузки и закрепления образцов представлена на рисунке 2.

При данном варианте соединения внахлест, работа разрушения затрачивается на сдвиг. Значение сдвиговой прочности  $\tau_{сдв}$  определяется по величине разрушающего тангенциального усилия сдвига жгута относительно подложки, отнесенного к площади контакта ( $\tau_{сдв} = F/S$ ).

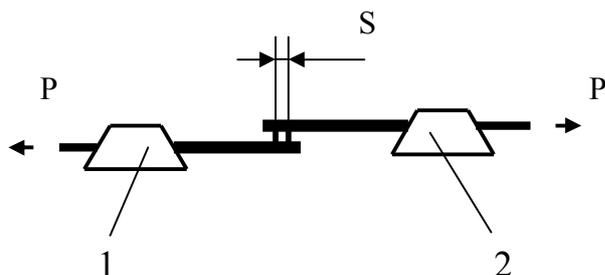


Рисунок 2 – Схема нагружения и закрепления микропластиков:

$P$  – прикладываемое сдвиговое усилие,  $N$   
 $S$  – контролируемая площадь склейки,  $m^2$

Зажим 2 – подвижный

Скорость перемещения активного захвата  
 $0,01 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$

$S$  изменяется от  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  до  $20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программы, основанной на применении трехпараметрической экспоненциальной модели

$$\tau_{сдв}(S) = A + B e^{-\alpha S} \quad (1)$$

Данная модель кроме математической сходимости результатов зависимости сдвиговой прочности от площади контакта позволяет дать достаточно простую физическую интерпретацию входящих в нее параметров. Параметр  $A$  есть предел прочности при бесконечно большой площади контакта. Параметр  $\alpha$  описывает быстроту перехода от локальных значений прочности при сдвиге к их значениям в макрообъеме. Сумма параметров  $A$  и  $B$  дает прочность при площади контакта, стремящейся к нулю, т. е. характеризует прочность связи на межфазной границе. Это значение можно считать адгезионной прочностью для данного пластика. Обработка результатов в данной модели осуществляется с применением метода наименьших квадратов. Значение предела сдвиговой прочности при площади контакта, стремящейся к нулю, соответствует адгезионной прочности, а при площади, стремящейся к бесконечности – сдвиговой прочности. Значения экспериментальных данных обработанных по прив-

денной модели (таблица 1) показывает возможность увеличения прочности адгезионного взаимодействия в 1,5 – 3 раза.

Таблица 1  
 Экспериментальные значения адгезионной и сдвиговой прочности углепластиков

Плазмообразующие соединения	Адгезионная прочность*, МПа	Сдвиговая прочность*, МПа
Анилин	70	100
N,N-диметиланилин	69	110
Диметилформамид	160	80
Этилендиамин	28	120
Стандарт	41	30

\* Погрешность измерения указанных величин не превышает 7 %

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения данного метода, что обусловлено увеличением прочности адгезионного взаимодействия на границе полимер – волокно и сдвиговой прочности материала (по сравнению с необработанными волокнами). Эффективность данного метода доказана на примере обработки поверхности двух разных классов волокнистых наполнителей, отличающихся друг от друга структурой, поверхностными свойствами.

Увеличение адгезионного взаимодействия в исследуемых образцах, возможно, достигается за счет прививки на поверхность функциональных групп определенной природы (в частности аминогрупп). Увеличение сдвиговой прочности связано с относительно равномерным распределением этих групп по поверхности. Однако высокая концентрация может дать отрицательный эффект. Локальная адгезия будет иметь высокое значение, а сдвиговая прочность упадет. Это может быть обусловлено тем, что в месте концентрации, за счет сильного химического взаимодействия, локализуется концентрация напряжений и при приложении нагрузки эта нагрузка инициирует расслоение по межфазной границе. В пользу того, что происходит усиление адгезионного взаимодействия, свидетельствуют фотографии поверхности разрушения (рисунок 3).

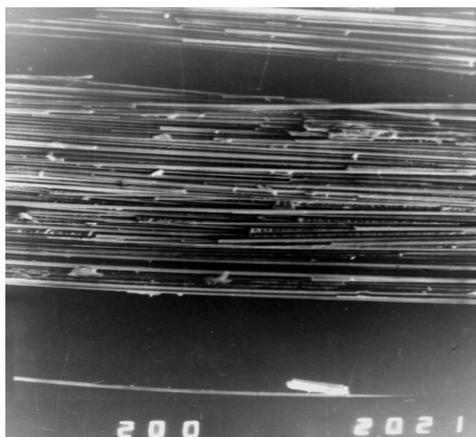


Рисунок 3 – Фотография поверхности разрушения при сдвиге микропластика ( $\times 200$ )

На представленной фотографии отчетливо видно, что разрушение при сдвиге под воздействием касательных напряжений происходит именно по границе раздела. Видно, что поверхность волокон практически не содержит полимера. Следовательно, интерпретация результатов испытания по представленному методу как адгезионная прочность при площадях контакта стремящихся к нулю, сдвиговая прочность – при стремлении площади к бесконечности экспериментально подтверждена.

Таким образом, при разработке метода модификации поверхности необходимо для каждой пары полимер-волокно создавать условия достижения оптимального взаимодействия по границе раздела.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко, В.И. Физическая химия границ раздела контактирующих фаз.- М.: Высшая школа, 1985.- 463 с.
2. Липатов, Ю.С. Межфазные явления в полимерах.- Киев: Наукова думка, 1980.- 259 с.
3. Калнин, И.И. Поверхность углеродных волокон, ее модифицирование и влияние на разрушение высокомодульных углепластиков // Механика композитных материалов. – 1979. № 3. – С. 397 – 406.
4. Ананьева Е.С., Аникеева Л.М., Маркин В.Б. Пути повышения прочности материалов на основе углеродных волокон / Материалы Российской школы по проблемам проектирования неоднородных конструкций. - Миасс: Миасский научно-учебный центр, 2000. – С.51-55.
5. Ананьева Е.С., Аникеева Л.М., Маркин В.Б. Влияние поверхности углеродного наполнителя на структурообразование в матрице / Тез. докл. Международной конференции «СКМ - 2001» - Волгоград: ВолгГТУ, 2001.-с. 18 – 20
6. Ананьева Е.С., Ананьин С.В., Маркин В.Б. Эффективность применения плазмохимической модификации поверхности углеродных волокон для оптимизации взаимодействия на границе раздела волокно-полимер / Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 7-ой международной практической конференции-выставки. СПб.: изд-во Политех. Унив-та, 2005, С. 381-391

**Ананьева Е.С.**, к.т.н, доц., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [eleana2004@mail.ru](mailto:eleana2004@mail.ru), **Ананьин С.В.**