

## КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ РАБОТЫ

### «Исследование прочности закрепления слоя углеродных нановолокон в углерод-углеродных гибридных композитах»

*Красникова Ирина Вадимовна*

#### *Введение*

Полимерные материалы, армированные углеродными макроволокнами (МВ), называются углепластиками. Их основные характеристики: низкая плотность, дешевизна, простота обработки и формования, а также коррозионная устойчивость [1, 2]. Спрос на такие материалы ежегодно растёт на 10-15% [3]. Углепластики применяются практически повсеместно: авиастроение, энергетика, ракетостроение, медицина, строительство, автомобильная промышленность, металлургия и нефтегазовая отрасль, а также товары народного потребления [4].

Как правило, углеродные макроволокна, получаемые пиролизом полимерного предшественника, характеризуются сравнительно гладкой поверхностью (площадь близка к геометрической), которая нуждается в дополнительном модифицировании с целью увеличения степени адгезии в системе «армирующая добавка/полимерная матрица» [5].

В последние годы развивается новый подход к модифицированию макроволокон, основанный на контролируемом выращивании углеродных нановолокон (УНВ) на их поверхности [1, 11-12]. Суть метода заключается в нанесении катализатора на поверхность макроволокна с последующим проведением осаждения углерода из газовой фазы (CVD), содержащей различные углеводороды. В результате получают углерод-углеродные гибридные композиты, которые позволяют при введении в полимерные материалы обеспечивать контроль трещинообразования на наноразмерном и макро уровнях.

Важным аспектом для применения полученных углерод-углеродных композитов является прочность закрепления слоя нановолокон на филаментах. Измерение прочности связи УНВ-макроволокно является нетривиальной экспериментальной задачей. Из литературы известно, что прочность связи оценивают с помощью атомно-силовой микроскопии [6], однако этот метод позволяет оценить связь отдельно взятого нановолокна с подложкой и не является количественным. Более простым является метод ультразвуковой обработки [7, 8], который позволяет исследовать большие количества материала – образец обрабатывается при определённых мощности и времени в растворе дистиллированной воды или другом растворителе, затем раствор декантируется, остаток образца сушится и взвешивается. Также просушенный образец исследуется методом сканирующей электронной микроскопии. Такой метод является более показательным, но возникает интерес

визуализировать поверхность одних и тех же волокон до и после обработки. Авторами предлагается обрабатывать образцы углерод-углеродных, закреплённые на медной сетке, в УЗ ванне и затем проводить анализ методом просвечивающей электронной микроскопии. Подобный подход с одной стороны, как и в случае с атомно-силовой микроскопией, требует от исследователей максимальной аккуратности и точности, с другой стороны, позволяет отслеживать динамику процесса разрушения одних и тех же участков углерод-углеродного композита при разных мощностях обработки.

#### *Цель РАБОТЫ*

Разработать методику оценки прочности закрепления слоя углеродных нановолокон на поверхности макроволокна.

#### *Основные задачи*

- Визуализировать поверхность углерод-углеродных композитов методом просвечивающей электронной микроскопии
- Исследовать зависимость прочности закрепления слоя УНВ от морфологического типа наноструктур
- Исследовать зависимость прочности закрепления слоя УНВ от мощности обработки

#### *Предполагаемые подходы к решению задач (этапы исследований)*

Для выполнения поставленных задач требуется:

- Синтезировать партии углерод-углеродных композитов со слоем УНВ разного морфологического типа (перистые, коаксиально-конические, стопчатые) в количестве 5-10 г;
- Исследовать полученные образцы методом сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ, ПЭМ);
- Собрать приставку для ультразвуковой ванны, позволяющую обрабатывать углерод-углеродные композиты в одинаковых условиях;
- Провести обработку углерод-углеродных композитов при различной мощности (определяется расстоянием образца от ультразвукового генератора);
- Визуализация методом ПЭМ поверхности исходных углеродных макроволокон, нанесённых на медную сетку, до и после обработки
- Визуализация методом ПЭМ поверхности углерод-углеродных композитов, нанесённых на медную сетку, до и после обработки;

#### *Имеющийся научный задел; экспериментальное оборудование*

Ранее авторами была разработана методика синтеза углерод-углеродных композитов. Методика позволяет контролировать как выход, так и морфологический тип углеродных

нановолокон [9]. Также нами было показано, что введение модифицированных волокон значительно улучшает прочностные характеристики трубного полиэтилена (увеличение предела текучести и модуля упругости при растяжении, коэффициента удлинения при разрыве) [10, 11].

#### *Использованная литература*

---

1. Rodriguez A.J., Guzman M.E., Lim C., Minaie B. Mechanical properties of carbon nanofiber/fiber-reinforced hierarchical polymer composites manufactured with multiscale-reinforcement fabrics // Carbon. - 2011. - N 49. - P. 937–948
2. Al-Saleh M.H., Sundararaj U. Review of the mechanical properties of carbon nanofiber/polymer composites // Composites: Part A. - 2011. - N 42. - P. 2126–2142
3. Данные аналитической статьи <http://e-plast.ru/stati/167-mirovoj-spros-na-kompozity-budet-udvoe-uvelichen-k-2015-godu>
4. Щурик А.Г. Искусственные углеродные материалы. Пермь: 2009
5. Luo Yu., Zhao Y., Duan Yu., Du Sh. Surface and wettability property analysis of CCF300 carbon fibers with different sizing or without sizing // Materials and Design. - 2011. - N 32. - P. 941–946
6. He X., Wang C., Tong L., Wang R., Cao A., Peng Q., Moody S., Li Y. Direct measurement of grafting strength between an individual carbon nanotube and a carbon fiber // Carbon. – 2012. – N 50. - P. 3782–3788.
7. Li P., Zhao Q., Zhou X., Yuan W., Chen D. Enhanced Distribution and Anchorage of Carbon Nanofibers Grown on Structured Carbon Microfibers // J. Phys. Chem. – 2009. - N 113. - P. 1301–1307.
8. Riccardis M.F., Carbone D., Dikonimos Makris Th., Giorgi R., Lisi N., Salernitano E. Anchorage of carbon nanotubes grown on carbon fibres // Carbon. - 2006. – N 4. – P. 671–674.
9. Токарева И.В., Мишаков И.В., Корнеев Д.В., Ведягин А.А., Голохваст К.С. Наноструктурирование поверхности углеродных макроволокон // Российские нанотехнологии. – 2015. - N 1-2. - С. 126-131.
10. Токарева И.В., Мишаков И.В., Ведягин А.А., Корнеев Д.В., Петухова Е.С., Саввинова М.Е. Модифицирование углеродных макроволокон для армирования трубного полиэтилена ПЭ80 // Композиты и наноструктуры. – 2014. – Т 6. - N 3. - С. 158-167.
11. Петухова Е.С., Попов С.Н., Саввинова М.Е., Соколова М.Д., Соловьева С.В., Морова Л.Я., Токарева И.В., Мишаков И.В. Полимерная композиция для изготовления труб. Заявка на изобретение № 2012129477. Патент РФ 2505563 от 27.01.2014. Бюлл. №3.