

## ПОЛУЧЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

*Красновский А.Н., Кищук П.С.*

*Московский государственный технологический университет "СТАНКИН",  
г.Москва*

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, полимерные нанокомпозиты.

**Аннотация.** Углеродные нанотрубки широко применяются для упрочнения композиционных материалов. Для распределения углеродных нанотрубок применяются различные способы, как то: воздействие поверхностно-активными веществами, ультразвуком. В работе рассмотрено воздействие однородного электрического поля на углеродные нанотрубки в полимерном связующем и физико-механические свойства полученного композиционного материала.

## PRODUCTION OF GLASS PLASTIC WITH CARBON NANOTUBES

*Krasnovskii A.N., Kishchuk P.S.*

*Moscow state technological university «STANKIN», Moscow*

**Keywords:** carbon nanotubes, polymer nanocomposites.

**Abstract.** Carbon nanotubes are widely used for strengthening composite materials. Various methods are used for the distribution of carbon nanotubes, such as exposure to surfactants and ultrasound. The paper considers the effect of a uniform electric field on carbon nanotubes in a polymer binder and the physical and mechanical properties of the resulting composite material.

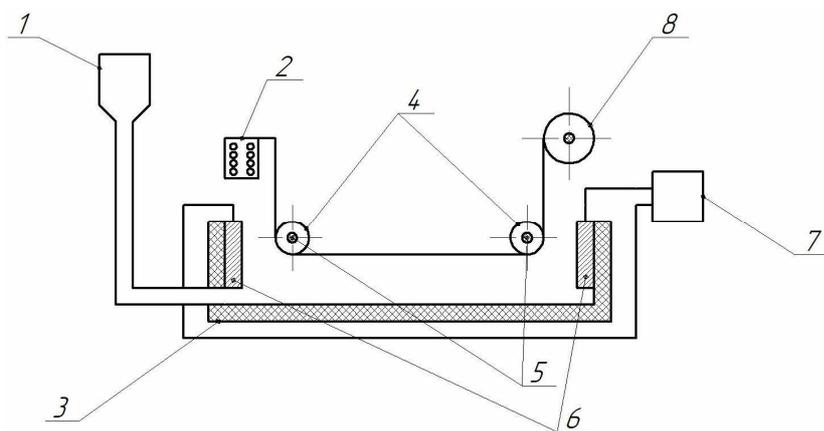
Известно, что углеродные нанотрубки обладают высокими прочностными характеристиками и могут использоваться для создания полимерных нанокомпозитов (ПНКМ) [1]. Однако также известно, что углеродные нанотрубки в больших концентрациях создают агломераты, которые снижают прочностные свойства ПНКМ [2]. Для решения этой проблемы используется множество способов: применение поверхностно-активных веществ, обработка ультразвуком и др. Одним из способов решения данной проблемы является ориентирование углеродных нанотрубок в матрице.

Для получения композитных изделий, армированных волокнами и углеродными нанотрубками была разработана конструкция установки, дополненная возможностью ориентирования нанотрубок вдоль оси укладки волокон за счет создания однородного электрического поля с помощью двух обкладок конденсатора. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

Ванна со связующим представляет собой конденсатор с жидким диэлектриком, емкость  $C$  которого можно определить по уравнению:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (1)$$

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $S$  – площадь обкладок;  $d$  – расстояние между обкладками конденсатора.



1 – ёмкость со связующим, 2 – шпатель, 3 – пропиточная ванна, 4 – ролики, 5 – оси, 6 – обкладки, 7 – ориентирующий блок, 8 – оправка

Рис. 1. Схема установки для ориентирования УНТ во время намотки

Особенностью схемы намотки композитных изделий является зависимость ориентации нанотрубок от напряжённости электрического поля  $E_k$  между обкладками конденсатора:

$$E_k = \frac{U}{d}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение.

В соответствии с уравнением (2), величину напряженности электрического поля можно регулировать, изменяя напряжение электрического тока и расстояние между обкладками конденсатора.

Для проверки применимости и установления зависимости прочности на разрыв от напряжённости электрического поля для двухмерных материалов были выбраны стеклоленты.

Плоские образцы полимерных нанокпозиционных материалов создавались из стеклоленты и связующего, приготовленного по вышеуказанной рецептуре с содержанием углеродных нанотрубок 0,05% об. Образцы изготавливались общей длиной 250 мм и с длиной рабочей части не менее 90 мм.

Стеклолента пропусклась через опытную установку и разрезалась на 10 частей. 5 заготовок отверждались холодным способом, т.е. при температуре 20 °С в течение 24 часов, другие 5 образцов отверждались горячим способом, т.е. 2 часа при температуре 20 °С и 4 часа при температуре 100 °С.

Образцы устанавливались в захватах разрывной машины, при этом продольная ось образца совпадает с серединой губок захватов, испытания проводились со скоростью 10 мм/мин.

Значения пределов прочности образцов на разрыв, полученных различными методами отверждения с содержанием углеродных нанотрубок, а также при воздействии однородного постоянного электрического поля, приведены в таблице 1.

Было установлено, что стеклопластик, полученный с помощью горячего отверждения, имеет прочностные характеристики ниже, чем стеклопластик, полученный с помощью холодного отверждения. Данное явление можно объяснить тем, что во время холодного отверждения реакция стеклования

проходит по всему объёму матрицы, в то время как при горячем отверждении не имеется достаточно времени, чтобы реакция произошла по всему объёму.

Табл. 1. Значения пределов прочности образцов на разрыв

Напряжённость электрического поля $E=0$ В/м		Напряжённость электрического поля $E=0$ В/м, концентрация углеродных нанотрубок 0,05% об.		Напряжённость электрического поля $E=10000$ В/м, концентрация углеродных нанотрубок 0,05% об.	
Режим отверждения 24 часа 20 °С	Режим отверждения 2 часа 20 °С; 4 часа 100 °С	Режим отверждения 24 часа 20 °С	Режим отверждения 2 часа 20 °С; 4 часа 100 °С	Режим отверждения 24 часа 20 °С	Режим отверждения 2 часа 20 °С; 4 часа 100 °С
12,5 кгс/мм <sup>2</sup>	10,8 кгс/мм <sup>2</sup>	19,4 кгс/мм <sup>2</sup>	16,9 кгс/мм <sup>2</sup>	19,2 кгс/мм <sup>2</sup>	18,5 кгс/мм <sup>2</sup>

Из таблицы можно увидеть, что с помощью углеродных нанотрубок не только происходит упрочнение как следствие проявления свойств углеродных нанотрубок, но и как следствие того, что нанотрубка способствует отверждению связующего вокруг себя [3]. Это также может объяснить тот факт, что при воздействии электрического поля при горячем отверждении предел прочности на разрыв возрастает, т.к. разрушаются агломераты углеродных нанотрубок и происходит отверждение связующего.

Так было замечено, что жизнеспособность связующего составляла 2,5 часа, в то время как после добавления углеродных нанотрубок она снизилась до 2 часов.

#### Список литературы

1. Наноструктурированные композиты и полимерное материаловедение / Н.Т. Кахраманов, А.Г. Азизов, В.С. Осипчик, У.М. Мамедли, Н.Б. Арзуманова // Пластические массы. 2016. №1-2. С. 49-57.
2. Синтез и исследование нанокompозитов с включением углеродных нанотрубок / Е.А. Воробьева, К.Е. Бачурин, А.В. Макунин, Н.Г. Чеченин // Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования». 2015. №8. С. 29.
3. О механизме усиления эпоксидных смол углеродными нанотрубками / В.А. Богатов, С.В. Кондрашов, И.А. Мансурова, В.Т. Минаков, И.В. Аношкин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 7-11.

#### Сведения об авторах:

*Красновский Александр Николаевич* – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой композиционных материалов, "МГТУ "СТАНКИН", г.Москва;

*Кишук Пётр Сергеевич* – аспирант кафедры композиционных материалов, "МГТУ "СТАНКИН", г.Москва.