

# **Полимерные композиты, модифицированные наноструктурным углеродом: оптимизация электромагнитных и механических свойств**

*П.П. Кужир<sup>1</sup>, О.Г. Поддубская<sup>1</sup>, А.О. Плющ<sup>1</sup>, Н.И. Волынец<sup>1</sup>,  
С.А. Максименко<sup>1</sup>, J. Macutkevic<sup>2</sup>, I. Kranauskaite<sup>2</sup>, J. Vanys<sup>2</sup>, Е. Иванов<sup>3</sup>,  
Р. Комсилкова<sup>3</sup>, А. Celzard<sup>4</sup>, V. Fierro<sup>4</sup>, Я. Цицанс<sup>5</sup>, Т. Иванова<sup>5</sup>, Р. Мерий Меру<sup>5</sup>,  
И. Бочков<sup>5</sup>, А. Cataldo<sup>6</sup>, F. Micciulla<sup>6</sup>, S. Bellucci<sup>6</sup>, Ph. Lambin<sup>7</sup>*

<sup>1</sup> *Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь*

<sup>2</sup> *Кафедра радиофизики Вильнюсского университета, Вильнюс, Литва*

<sup>3</sup> *Открытая лаборатория экспериментальной механики, Институт механики, Болгарская академия наук, София, Болгария*

<sup>4</sup> *IJL – UMR Université de Lorraine – CNRS 7198, ENSTIB, 27 rue Philippe Séguin, CS 60036, 88026 Épinal Cedex, France*

<sup>5</sup> *Институт полимерных материалов, Рижский технический университет, Рига, Латвия*

<sup>6</sup> *Frascati National Laboratory, National Institute of Nuclear Physics, via E. Fermi 40, 00044 Frascati, Italy*

<sup>7</sup> *Physics Department, University of Namur, 61 rue de Bruxelles, 5000 Namur, Belgium*

*e-mail: [nadezhda.volynets@gmail.com](mailto:nadezhda.volynets@gmail.com)*

Последние тенденции и широкое использование радиочастотного диапазона в беспроводных технологиях, сотовых телефонах и т.д. стимулируют поиск новых материалов с предсказуемыми и контролируемыми свойствами (электрическими, механическими и т.д.), обеспечивающими требуемую электропроводность и эффективность экранирования от электромагнитных помех. В настоящее время известно большое количество коммерчески доступных материалов для поглощения электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. При этом структуры на основе углерода играют важную роль при создании покрытий, поглощающих и экранирующих электромагнитное излучение вследствие их легкости и особых электромагнитных свойств.

В данной работе мы представим некоторые результаты исследования электромагнитных, механических и тепловых свойств различных полимерных композитов с небольшими (до 2 масс. %) включениями углеродных частиц: одностенных и многостенных УНТ (SWCNTs и MWCNTs, Heji), терморасширенного графита (EG, Mersen) и аморфного углерода (CBN) высокой площади поверхности (ENSACO 350G). В качестве матрицы для изготовления композитов использовалась эпоксидная смола (EPIKOTET<sup>TM</sup> 828). Данный тип эпоксидной смолы средней вязкости производится из бисфенола А и эпихлоргидрина. Диспергация включений проводилась при помощи ультразвукового воздействия в процессе затвердевания смолы. Методика приготовления композитных материалов подробно описана в работе [1].

Измерение электромагнитных свойств исследуемых образцов в диапазоне частот 26-37.5 ГГц проводилось с использованием панорамного измерителя коэффициента стоячей волны (КСВ) и ослабления P2-408 P. Коэффициенты отражения ( $R$ ), поглощения ( $A$ ) и пропускания ( $T$ ) связаны с измеряемыми  $S$ -параметрами следующим образом:  $R = S_{11}$ ,  $T = S_{21}$ ,  $A = 1 - R - T$ . Соответствующие значения коэффициента отражения, поглощения и пропускания для композитов с разной концентрацией приведены на рисунке 1. Микроволновые эксперименты показывают, что наиболее эффективной добавкой из всех представленных наполнителей в композите является терморасширенный графит. Он обеспечивает практически 100 % защиты от электромагнитного излучения за счет 30 % поглощения и 70 % отражения электромагнитного сигнала.

Однако, использование защитных покрытий часто происходит в агрессивных условиях (высокие температуры, давления), поэтому необходимо изучение механических свойств и допустимых температурных режимов исследуемых материалов.

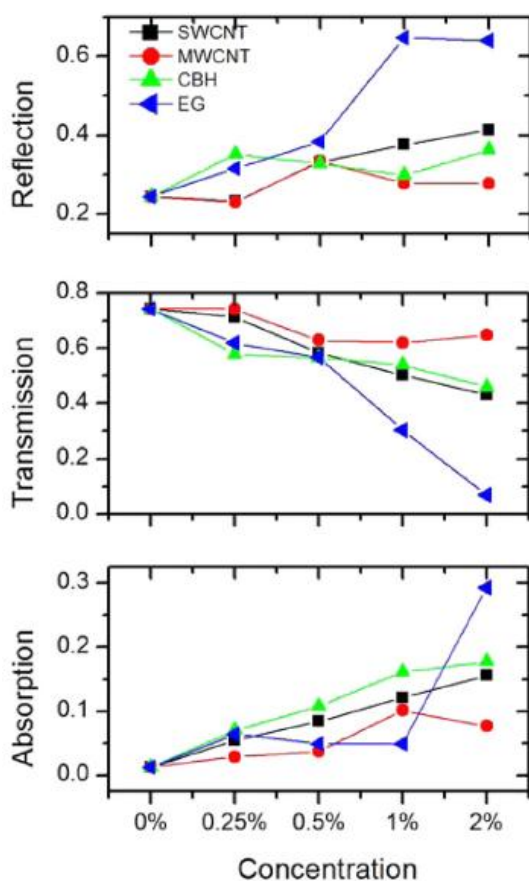


Рисунок 1. – Зависимость коэффициентов прохождения ( $T$ ), поглощения ( $A$ ) и отражения ( $R$ ) композитов от концентрации наполнителя на частоте 30 ГГц

Исследование механических свойств [2] проводилось с помощью наноиндентора UNMT на наномеханическом тестере (Bruker, США). Смещение индентора и нагрузка на него контролировалась с помощью компьютера. Композиты на основе EG демонстрируют улучшение твердости и модуля Юнга

в диапазоне концентраций от 0,25 до 1,5 масс.%. Выше этой концентрации, механические свойства ухудшаются. Образцы на основе СВН демонстрируют улучшение твердости во всем диапазоне концентраций, в то время как модуль Юнга начинает расти только выше 0,5 масс.%. Композиты на основе ОУНТ показывают улучшение твердости и модуля Юнга до 0,5 масс.% и 1,5 масс.%, соответственно, выше этих концентраций твердость и модуль Юнга становятся как у чистой смолы. Внедрение МУНТ не показало существенных изменений на твердость и модуль Юнга.

Также был произведен термогравиметрический анализ на TGA-1/SF (METTLER TOLEDO, Швейцария). Температурный диапазон – 25-800° С, нагревание проводилось в воздушной атмосфере. Как оказалось, на термическую устойчивость углеродные включения начинают оказывать влияние на интервале высоких температур, в результате ухудшения взаимодействия кислорода с материалом матрицы.

#### **Благодарности**

Исследования проводились при поддержке проекта БРФФИ Ф14ЛАТ-030

#### **Список использованных источников**

1. P. Kuzhir, A. Paddubskaya, D. Bychanok, A. Nemilentsau, M. Shuba, A. Plusch, S. Maksimenko, S. Bellucci, L. Coderoni, F. Micciulla, I. Sacco, G. Rinaldi, J. Macutkevic, D. Seliuta, G. Valusis, J. Banys. *Thin Solid Films* **519**, 4114 (2011).
2. R. Kotsilkova, *Thermoset Nanocomposites for Engineering Applications*. Rapra Smiths, UK. (2007). 325 p.