

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ γ -ЛУЧАМИ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ AgNi/МУНТ-ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТ

Ф.Ю. Мисиюк¹⁾, Н.И. Волянец¹⁾, Г.В. Горохов¹⁾, Е.В. Точилин²⁾,
Г.В. Голубцов^{3), 4)}, М.А. Казакова³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Институт ядерных проблем,
ул. Бобруйская 11, Минск 220006, Беларусь,
philip9090@mail.ru, nadezhda.volynets@gmail.com, glebgorokhov@yandex.ru

²⁾НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, ул. П. Бровки 19, Минск 220072, Беларусь

³⁾Федеральный исследовательский центр Институт катализа СО РАН,
пр. Ак. Лаврентьева 5, Новосибирск 630090, Россия, mas@catalysis.ru, goshillo@gmail.com

⁴⁾Новосибирский государственный университет,
ул. Пирогова 2, Новосибирск 630090, Россия

Композиты, полученные методом коагуляционного соосаждения полиметилметакрилата (ПММА) и многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ), модифицированных наночастицами AgNi, демонстрируют улучшенные электрофизические свойства вследствие введения AgNi наночастиц. Исследуемые композитные материалы проявляют радиационную стойкость электропроводности при облучении их γ -квантами Co-60 с энергией 1.25 МэВ с различной поглощенной дозой ($10^4 - 2 \cdot 10^6$ рад.). В низкочастотном диапазоне (100 Гц - 1 МГц) наблюдается незначительное уменьшение электрической проводимости всех исследуемых композитных материалов после облучения. Таким образом, AgNi/МУНТ-ПММА композитные материалы перспективны для использования в условиях жесткого ионизирующего излучения (например, для аэрокосмических приложений).

Ключевые слова: полимерные композиты; углеродные нанотрубки; наночастицы; полиметилметакрилат; защита от электромагнитных помех; радиационная стойкость; электромагнитный отклик.

EFFECT OF γ -IRRADIATION ON THE AgNi/MWCNT-POLYMETHYL- METACRYLATE COMPOSITES PROPERTIES

P.Y. Misiyuk¹⁾, N.I. Valynets¹⁾, G.V. Gorokhov¹⁾, E.V. Tochilin²⁾,
G.V. Golubtsov^{3), 4)} and M.A. Kazakova³⁾

¹⁾Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University,
11 Bobruiskaya Str., 220006 Minsk, Belarus,
philip9090@mail.ru, nadezhda.volynets@gmail.com, glebgorokhov@yandex.ru

²⁾Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus,
19 P. Brovka Str., 220072 Minsk, Belarus

³⁾Boreskov Institute of Catalysis SB RAS,
5 Ac. Lavrentieva Ave., 630090 Novosibirsk, Russia, mas@catalysis.ru, goshillo@gmail.com
⁴⁾Novosibirsk State University, 2 Pirogova Str., 630090 Novosibirsk, Russia

Composites obtained by coagulation precipitation of polymethyl methacrylate (PMMA) and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) modified with AgNi nanoparticles demonstrate improved electrophysical properties due to the introduction of AgNi nanoparticles. Composites under investigation demonstrate the radiation stability of electrical conductivity under 1.25 MeV Co-60 gamma irradiation with different absorbed doses ($10^4 - 2 \cdot 10^6$ rad.). In the low-frequency range (100 Hz – 1 MHz), the minor decrease in the electrical conductivity of all the studied composite materials after the radiation exposure is observed. The mechanical properties investigated by Vickers hardness test also remain unchanged after the radiation exposure. Thus, AgNi/MWCNT-PMMA composite materials are promising for use in ionizing radiation environment (for example, in aerospace applications).

Keywords: polymer composites; carbon nanotubes; nanoparticles; EMI shielding; radiation resistance; electromagnetic response; polymethylmethacrylate.

Введение

Проводящие полимерные композиты перспективны в качестве экранирующих материалов благодаря низкому удельному весу, высокой технологичности, экономичности, а также коррозионной стойкости по сравнению с материалами на основе металлов. Углеродные материалы, в частности МУНТ, широко применяются в роли таких проводящих наполнителей ввиду своих уникальных механических и электрических свойств [1].

Особый интерес для аэрокосмических приложений представляет радиационная стойкость композитного материала к гамма-излучению. Определение взаимосвязи между поглощённой дозой излучения и изменением электромагнитных свойств исследуемых композитных материалов, оценка их радиационной стойкости является актуальной задачей для их практического применения.

Материалы и методы исследования

МУНТ, использованные для получения композитных материалов, были синтезированы методом каталитического газофазного осаждения (CVD) этилена на поверхности FeCo катализатора при температуре 680 °C [2]. Композиты AgNi/МУНТ-ПММА, содержащие 4 мас. % МУНТ, модифицированных частицами AgNi (Ag:Ni=1:1) с концентрациями 5 - 25 мас. % относительно МУНТ, были получены методом коагуляционного соосаждения. Образцы для исследования электромагнитных свойств полученных композитов были сформированы в виде пленок фиксированной толщины методом горячего прессования.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и электропроводность композитов были исследованы в диапазоне 100 Гц - 1 МГц с помощью широкополосного анализатора иммитанса E7-28.

Облучение композитных материалов гамма-квантами Co-60 с энергией

1.25 МэВ проводилось на гамма-установке «Исследователь» при температуре 300 К. Мощность поглощенной дозы гамма-излучения составляла 9 рад/с, поглощенная доза – 10^4 - $2 \cdot 10^6$ рад.

Измерение микротвердости композитов до и после циклов облучения осуществлялось с помощью микротвердомера ПМТ-3, работающего методом вдавливания в испытуемый материал алмазного наконечника Виккерса.

Результаты и их обсуждение

Исследование частотных зависимостей электропроводности в диапазоне частот 100 Гц – 1 МГц показало, что модификация МУНТ небольшими концентрациями частиц сплава AgNi приводит к увеличению проводимости более, чем на порядок для образцов, содержащих до 0.4 мас. % AgNi, однако дальнейшее увеличение содержания сплава AgNi в композите приводит к падению электропроводности (рис.1) вследствие уменьшения объемной доли МУНТ в образце при сохранении общей массы наполнителя, поскольку сплав AgNi обладает высокой плотностью по сравнению с нанотрубками.

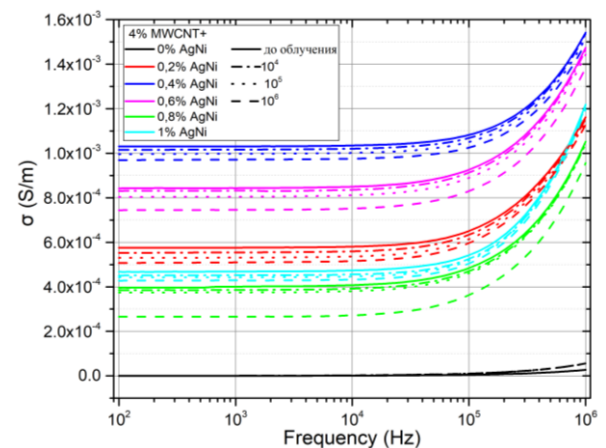


Рис. 1. Частотные зависимости электропроводности композитной системы AgNi/МУНТ-ПММА в диапазоне частот 100 Гц - 1 МГц до и после облучения γ -квантами Co-60

Известно, что радиационные повреждения, возникающие в результате облу-

чения высокоэнергетическими ионизирующими частицами, могут приводить к появлению дополнительного взаимодействия между частицами наполнителя и матрицы композитного материала, влекущего изменение его электропроводности. Однако анализ частотной зависимости электропроводности исследованных композитных материалов при последовательном облучении γ -излучением Co-60 дозами 10^4 , 10^5 , $2 \cdot 10^6$ рад (рис. 1) показывает, что повышение дозы не приводит к существенному ухудшению исследуемого параметра. Уменьшение электропроводности по мере роста дозы демонстрируют все исследованные композиты вне зависимости от степени модификации МУНТ частицами AgNi . Ввиду этого можно заключить, что электромагнитные свойства (электропроводность) исследуемых композитных материалов стабильны относительно поглощённой дозы γ -излучения. При этом радиационная стойкость электропроводности определяется именно используемой матрицей, а не наполнителем.

При анализе микротвердости данных композитов до и после облучения (рис. 2), можно заключить, что ухудшения микро-механических свойств также не происходит.

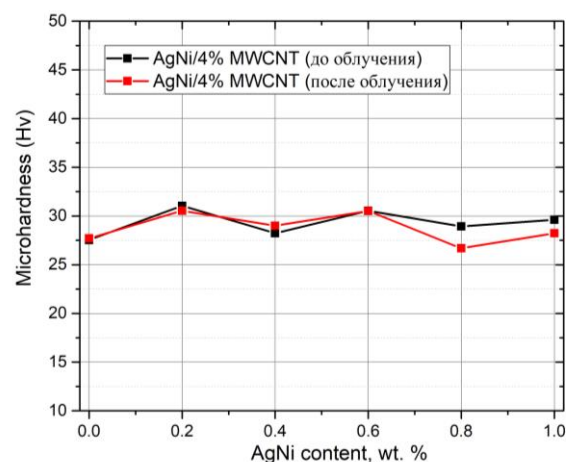


Рис. 2. Зависимости микротвердости от содержания наночастиц AgNi сплава в композите до и после облучения γ -квантами дозой $2 \cdot 10^6$ рад.

Заклучение

Таким образом, γ -облучение AgNi/МУНТ-ПММА композитных материалов дозами до $2 \cdot 10^6$ рад не приводит к ухудшению электромагнитных и микро-механических свойств исследуемых нанокуглеродных композитов.

Библиографические ссылки

1. Devi G., Priya R., Tapas Bapu B.R., Thandaiah Prabu R., Sathish Kumar P.J., Anusha N. Role of carbonaceous fillers in electromagnetic interference shielding behavior of polymeric composites: A review. *Polym. Compos.* 2022; 43(11): 7701-7723.
2. Golubtsov G.V., Kazakova M.A., Selyutin A.G., Ishchenko A.V., Kuznetsov V.L. Mono-, Bi-, and Trimetallic Catalysts for the Synthesis of Multiwalled Carbon Nanotubes Based on Iron Subgroup Metals. *J. Struct. Chem.* 2020; 61: 640-651.