

Рисунок 1 – Модуль квадрата параметра порядка при $V_a=0.6$

Исследованы эффекты перенормировки магнитного поля в трехмерных структурах, исследованы полное и индуцированное сверхпроводником магнитные поля. Для разных значений внешнего магнитного поля получено распределение вихрей Абрикосова. Найдены критические значения магнитного поля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00228.

Список литературы

1. Introduction to Superconductivity / M. Tinkham. - McGraw-Hill: New York, 1996.
2. Alstrøm, T. S., Sørensen, M. P., Pedersen, N. F., & Madsen, S. Magnetic Flux Lines in Complex Geometry Type-II Superconductors Studied by the Time Dependent Ginzburg-Landau Equation // Acta Applicandae Mathematicae. 2010. - 115(1). – pp. 63-74.

УПРОЧНЕНИЕ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ МНОГОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

А.А. ЛЕОНОВ^{1,2}, ХАОЦЕ ЛЮ^{1,3}, ЦЗИН ЛИ^{1,3}, В.Д. ПАЙГИН¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт сильноточной электроники СО РАН

³Чунцинский университет искусств и науки

E-mail: laa91@tpu.ru

Углеродные нанотрубки (УНТ) широко используются в качестве упрочняющих агентов в различных керамических матрицах для повышения вязкости разрушения (трещиностойкости). Существуют одностенные (ОУНТ) и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), которые различаются по структурным характеристикам и по свойствам [1]. ОУНТ обладают более высокими механическими свойствами, чем МУНТ и являются предпочтительным упрочняющим материалом. Композит на основе ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ проявляет повышение трещиностойкости на 36 % по сравнению с керамикой ZrO_2 без добавок [2]. Композит Al_2O_3 содержащий 3 об.% ОУНТ имел повышенные значения трещиностойкости (на 12 %) по сравнению с неармированной керамикой Al_2O_3 [3, 4]. Однако композиты, упрочненные МУНТ, также обладают достаточно высокой трещиностойкостью. Увеличение трещиностойкости на 102 % наблюдалось для композита ZrO_2 с добавкой 12 об.% МУНТ [5], что объяснялось механизмами упрочнения УНТ, которые включали в себя разрыв УНТ, отклонение трещин на УНТ и т.д. Композит Al_2O_3 с 3 об.% МУНТ имел значение трещиностойкости равное $4,93 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [6, 7], что более чем в два раза выше значений трещиностойкости ($2,41 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) керамики Al_2O_3 [8]. Целью настоящей работы являлось исследовать влияние МУНТ на физико-механические свойства композитов на основе ZrO_2 .

Для создания композитов в качестве матричной основы использовали нанопорошок частично стабилизированного иттрием диоксида циркония (Tosoh, Япония). Упрочняющим материалом являлись многостенные УНТ марки «Таунит» (НаноТехЦентр, г. Тамбов, Россия). Смешивание исходных компонентов производили в среде этилового спирта по методике, описанной в работе [9]. Относительное содержание МУНТ в композиционном порошке составляло 1, 5 и 10 мас.%. Керамику ZrO_2 и композиты ZrO_2 /МУНТ с различным массовым содержанием получали электроимпульсным плазменным спеканием при следующих условиях: давление прессования – 40 МПа, температура спекания – 1500 °С, скорость нагрева – 100 °С/мин, время изотермической выдержки – 10 мин. Гидростатическим взвешиванием определялась плотность полученных образцов. Микротвердость (H_v) определяли на приборе ПМТ-3М с использованием алмазной пирамидки Виккерса (нагрузка 4,9 Н). Трещиностойкость или критический коэффициент интенсивности напряжений (K_{IC}) определяли на твердомере ТП-7Р-1 (нагрузка 49 Н) и оценивали по уравнению Anstis.

На рисунке 1а представлено ПЭМ изображение исходных МУНТ, показывающее морфологию и особенности структуры МУНТ. Из рисунка 1а видно, что диаметр отдельных МУНТ варьируется от 20 нм до 50 нм. Видны полая сердцевина нанотрубок и многочисленные графеновые слои, из которых состоит многостенная нанотрубка.

На рисунке 1б представлена зависимость физико-механических свойств композитов от относительного содержания МУНТ. Видно, что при увеличении содержания МУНТ в композитах, происходит снижение относительной плотности и микротвердости, рисунок 1б. Снижение относительной плотности композитов связано с тем, что при более высоких концентрациях МУНТ, образуются агрегаты нанотрубок, которые приводят к формированию дополнительных пор. Уменьшение микротвердости композитов при увеличении содержания МУНТ, в первую очередь связано со снижением относительной плотности, а также с тем, что углеродные нанотрубки являются «мягкой» фазой.

Однако высокие концентрации МУНТ в композитах приводят к существенному повышению трещиностойкости, рисунок 1б. Трещиностойкость композита на основе ZrO_2 с 10 мас.% МУНТ выше на 44 % по сравнению с керамикой ZrO_2 .

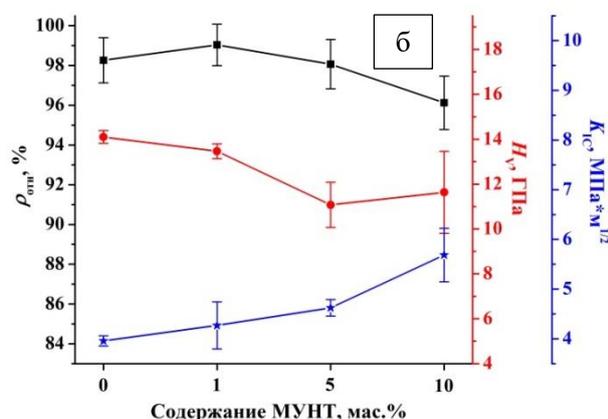
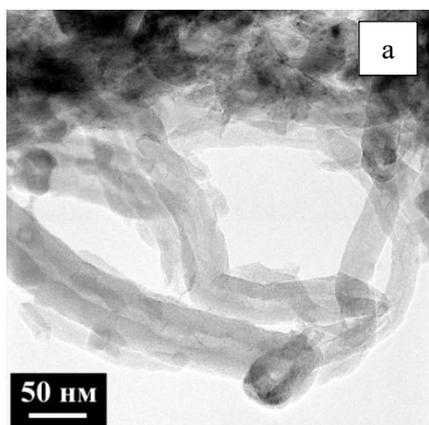


Рисунок 1- а – ПЭМ изображение исходных МУНТ; б – Зависимость физико-механических свойств композитов от относительного содержания МУНТ. —■— относительная плотность ($\rho_{отн}$); —●— микротвердость (H_v); —★— трещиностойкость (K_{IC})

Список литературы

1. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.
2. Леонов А.А. и др. Структура и свойства керамических композитов ZrO_2 , модифицированных различными армирующими наполнителями // Перспективы

- развития фундаментальных наук: сборник трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 7 т., г. Томск, 24-27 апреля 2018. – Томск: Изд. дом ТГУ, 2018 – Т.1. Физика. – С. 180–182.
3. Leonov A.A., Abdulmenova E.V. Alumina-based composites reinforced with single-walled carbon nanotubes // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – V. 511. – P. 012001.
 4. Леонов А.А., Бикбаева З.Г. Керамические композиты на основе оксида алюминия, модифицированные одностенными углеродными нанотрубками // Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения: сборник трудов Международной научно-технической молодежной конференции, г. Томск, 26-30 ноября 2018. – Томск: ТПУ, 2018. – С. 190–191.
 5. Hassan R., Nisar A., Ariharan S., et al. Multi-functionality of carbon nanotubes reinforced 3 mol% yttria stabilized zirconia structural biocomposites // Materials Science and Engineering: A. – 2017. – V. 704. – P. 329–343.
 6. Леонов А.А. Керамический композит корунд/многостенные углеродные нанотрубки, полученный по технологии электроимпульсного плазменного спекания // Физика твердого тела: сб. материалов XVI Российской научной студенческой конференции, Томск, 17-20 апреля 2018. – Томск: Изд-во НТЛ, 2018. – С. 68–70.
 7. Leonov A.A., et al. Spark plasma sintering of ceramic matrix composite based on alumina, reinforced by carbon nanotubes // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2017. – V. 286. – P. 012034.
 8. Maensiri S., Laokul P., Klinkaewnarong J. and Amornkitbamrung V. Carbon nanofiber-reinforced alumina nanocomposites: Fabrication and mechanical properties // Materials Science and Engineering: A. – 2007. – V. 477. – P. 44–50.
 9. Леонов А.А. Получение композитных порошков ZrO_2 /ОУНТ и ZrO_2 /нановолокна Al_2O_3 // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 мая 2018. – Томск: ТПУ, 2018. – С. 90–91.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН И ТЕХНОЛОГИИ СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА ПКМ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

П.Н. ПЕТРОВА^{1,2}, М.А. МАРКОВА¹

¹ ФГБУН ФИЦ ЯНЦ СО РАН «Институт проблем нефти и газа» Сибирского отделения РАН

² ФГАОУ ВПО Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

E-mail: markovamusya@mail.ru

Широкое применение в области машиностроения в качестве деталей узлов трения имеют полимерные композиционные материалы с углеродными волокнами (УВ), которые обладают рядом преимуществ как высокая износостойкость и низкий коэффициент трения, что обеспечивает долговечность техники [1]. Однако углеродные волокна обладают низкой адгезией к полимерному связующему, что осложняет получение высокопрочных композитов. В связи с этим, при разработке полимерных композитов с их использованием актуальным становится разработка технологий получения полимерных композитов, способствующих повышению адгезионного взаимодействия полимер–УВ [2,3].

Целью данной работы является исследование влияния способов смешения компонентов на физико-механические и триботехнические свойства полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) марки ПН от концентрации углеродных волокон марки УВИС-АК-П производства ООО НПЦ «УВИКОМ» (Россия).