

УДК 620.3:519.63

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИИ АВИАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2016 В.Л. Леонтьев

Ульяновский государственный университет

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

Рассматриваются возможности, порождаемые применением нанотехнологий при создании конструкционных композиционных материалов. Предлагаются пути развития подобных технологий, математические модели получаемых композиционных материалов и численные методы их исследования. *Ключевые слова:* нанотехнологии, углеродные нанотрубки, композитные конструкционные материалы, напряженно-деформированное состояние, математическая модель, численные методы.

В работах [1, 2] рассматриваются возможности, порождаемые применением нанотехнологий при создании конструкционных композиционных материалов. В [2], в частности, предлагается создание радиопоглощающих материалов, используемых в системах, уменьшающих коэффициент отражения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона от зондируемых объектов. В радиопоглощающих композитах в качестве наполнителей предлагается использовать частицы углерода, углеродные нановолокна или многослойные углеродные нанотрубки.

В статье [3] анализируется поведение материала $\text{NiAl-Cr}_2\text{O}_3\text{-Ag-CNT-WS}_2$ в диапазоне температур от 20 до 700°С. Показано, что присутствие в таком композиционном материале углеродных нанотрубок (CNT) приводит к улучшению характеристик трения и к повышению износостойкости материала. Отмечается существенное уменьшение зависимости коэффициента трения от температуры.

В работе [4] отмечается, что армирование углеродными нанотрубками алюминиевых или титановых сплавов приводит, во-первых, к значительному повышению прочности и ресурса авиационных изделий, изготовленных из таких материалов, во-вторых, дает снижение сопротивления трения и полного сопротивления, в-третьих, позволяет существенно продвинуться в решении проблемы обледенения поверхности самолета.

В статье [5] показано, что армирование алюминия упорядоченными углеродными нанотрубками дает композиционный материал, обладающий улучшенными механическими свойствами и более низкое значение коэффициента линейного температурного расширения

*Леонтьев Виктор Леонтьевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического моделирования технических систем.
E-mail: LeontievVL@ulsu.ru*

по сравнению с композиционным материалом, в котором армирование алюминия производится углеродными нанотрубками, расположенными случайным образом.

В [6] дан обзор работ, посвященных известным исследованиям, в том числе, отмечаются указанные выше свойства композиционных материалов, изготовленных с применением армирования алюминия углеродными нанотрубками.

В статье [7] рассматривается влияние углеродных нанотрубок, входящих в состав композиционных материалов на основе алюминия, на процессы возникновения в таких материалах и последующего развития в них микротрещин.

В статье [8] раскрывается значительный потенциал использования композиционных наноматериалов в авиации, в частности, снижение при этом веса конструкции при повышении ее прочности и коррозионной стойкости, а также улучшение многих других эксплуатационных характеристик материалов.

Работа [9] посвящена исследованию алюминиевых ячеек, армированных углеродными нанотрубками. Число работ, посвященных композиционным материалам, изготовленных с помощью армирования алюминия или титана наночастицами, например, углеродными нанотрубками, растет. В этих работах предлагается расширение применения таких материалов в авиации, что делает необходимым развитие методов анализа напряженно-деформированного состояния деталей, изготовленных из них. Подобный анализ, основанный на использовании численных методов, требует получения приближенных решений как для кинематических факторов (перемещений, скоростей, деформаций, скоростей деформаций), так и для силовых факторов (напряжений), а также для температуры, одного порядка точности. Классические численные методы, в частности, основанные на вариационном принципе Лагранжа, не позволяют получать приближенные решения

для деформаций и напряжений такого же порядка точности, характеризующего приближенные решения для перемещений.

Решение проблемы построения требуемых приближенных решений для кинематических и силовых факторов, а также для температуры, связано с применением смешанных численных методов [10], основанных на применении вариационных принципов Рейсснера и Ху-Васидзу и на использовании ортогональных финитных функций [10, 11].

Пути развития нанотехнологий в авиации связаны, в частности, с применением при армировании алюминия или титана наночастиц, упорядоченных различным образом, особенно вблизи и на поверхности композиционного материала, и с исследованием влияния характера расположения наночастиц, например нанотрубок, на свойства композиционных материалов. Рекомендуются исследования влияния длины, радиуса, хиральности, числа слоев нанотрубок на свойства композиционных материалов. Математические модели, дающие описание механических свойств таких материалов, определяются характером смешанных численных методов и относятся к классу смешанных постановок краевых и эволюционно-краевых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vikulin V.V., Shkarupa I.L.* Application of nanotechnologies in the aviation and space industry // *Refractories and Industrial Ceramics*. September 2011. V.52, Issue 3, P.199–201.
2. *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Романов А.В.* Комплексная диэлектрическая проницаемость композитов на основе диэлектрических матриц и входящих в их состав углеродных нанотрубок // *Журнал технической физики*. 2011, Т. 81. Вып. 1. С. 106–110.
3. *Ramazani M. Ashrafizadeh F., Mozaffarinia R.* The Influence of Temperature on Frictional Behavior of Plasma-Sprayed NiAl-Cr₂O₃ Based Self-Adaptive Nanocomposite Coatings // *Journal of Thermal Spray Technology*. October 2013. V.22. Issue 7. P. 1120–1132.
4. *Давлетьяров Р.З.* Возможность и перспективы использования нанотехнологии в авиационной отрасли // *Технические науки: традиции и инновации: материалы II междунар. науч. конф.* (г. Челябинск, октябрь 2013 г.). Челябинск: Два комсомольца, 2013. С. 57–61.
5. *Effect of Carbon Nanotube Orientation on Mechanical Properties and Thermal Expansion Coefficient of Carbon Nanotube-Reinforced Aluminum Matrix Composites / Z. Y. Liu, B.L. Xiao, W.G. Wang, Z.Y. Ma* // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. October 2014. V.27. Issue 5. P. 901–908.
6. *Evolution, Control, and Effects of Interface in CNT/Al Composites: a Review / G. Fan, Z. Yu, Z. Tan, Z. Li, D. Zhang* // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. October 2014. V.27. Issue 5. P. 839–843.
7. *Crack Formation in Powder Metallurgy Carbon Nanotube (CNT)/Al Composites During Post Heat-Treatment / B. Chen, H. Imai, S. Li, L. Jia, J. Umeda, K. Kondoh* // *JOM*. December 2015. V.67. Issue 12. P. 2887–2891.
8. *Kumar I.* NANOCRAFT - An Aircraft with Nanotechnology // *International Journal for Research in Applied Science & Engineering, Technology (IJRASET)*. www.ijraset.com. February 2015. V.3. Issue II.
9. *Morsi K., Krommenhoek M., Shamma M.* Novel Aluminum (Al)-Carbon Nanotube (CNT) Open-Cell Foams // *Metallurgical and Materials Transactions A*. June 2016. V.47. Issue 6. P. 2574–2578.
10. *Леонтьев, В.Л.* Ортогональные сплайны и вариационно-сеточный метод // *Математическое моделирование*. 2002. Т. 14. № 3. С. 117–127.
11. *Леонтьев В.Л., Лукашанец Н.Ч.* Сеточные базисы ортогональных финитных функций // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 1999. Т. 39. №7. С. 1158–1168.

ABOUT NANOTECHNOLOGIES IN CREATION OF AVIATION COMPOSITE MATERIALS

© 2016 V.L. Leontyev

Ulyanovsk State University

Possibilities of nano-technology applications in creation of composite construction materials are considered. Directions of development for such technologies are proposed. Mathematical models of composite materials and numerical methods of them investigation are described.

Keywords: nano-technology, carbon nanotubes, composite construction materials, stress-strain state, mathematical model, numerical method.

Victor Leontyev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor at the Technical Systems Mathematical Modeling Department. E-mail: LeontievVL@ulsu.ru