

УДК 681.5.08

БАРО-ЭЛЕКТРО-ТЕРМО-АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Стаценко Т.Г.

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: TatianaStatsenko@yandex.ru*

В данной статье рассмотрен метод ускоренного старения для прогнозирования сроков старения композитных материалов на основе графена. Графен, одноатомный слой графита, обладающий уникальной двумерной структурой, который обуславливает новые и отличные механические, тепловые и электрические свойства материала. Благодаря данным свойствам структуры графена, он рассматривается как важный компонент для создания различных функциональных композитных материалов. Для исследования сохранения уникальных свойств материала на долгое время рассмотрена возможность определения жизненного цикла материала с помощью баро-электро-термо-акустического анализа. Диагностика позволит выявить процессы нанодеструкции, протекающие в композиционных материалах не только с графеном, но и с иммобилизованным материалом на его поверхности. За 24 часа использования баро-электро-термо-акустического анализа синхронно вычисляются 38 параметров в режиме ускоренного старения, как за 24 года эксплуатации.

Ключевые слова: баро-электро-термо-акустический анализ, диагностика материалов, акустическая эмиссия, ИК Фурье-спектрометрия, цикл ускоренного старения материала, жизненный цикл материала, метод испытания материалов, графен, композиционные материалы на основе графена

BARO-ELECTRO-THERMO-ACOUSTIC ANALYSIS IN FORECASTING THE LIFE CYCLE OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON GRAPHENE

Statsenko T.G.

*Don state technical University, Rostov-on-Don,
e-mail: TatianaStatsenko@yandex.ru*

In this paper, we consider the accelerated aging method for predicting the aging of composite materials based on graphene. Graphene, a monoatomic graphite layer with a unique two-dimensional structure that causes new and excellent mechanical, thermal and electrical properties of the material. Due to these properties of the graphene structure, it is regarded as an important component for the creation of various functional composite materials. To study the preservation of unique properties of the material, the possibility of determining the life cycle of a material with the help of baro-electro-thermo-acoustic analysis has been considered for a long time. Diagnostics will reveal the processes of nanodestruction that occur in composite materials not only with graphene, but also with immobilized material on its surface. Within 24 hours of using the baro electro-thermo-acoustic analysis, 38 parameters in the accelerated aging regime are synchronously calculated, both for 24 years of operation.

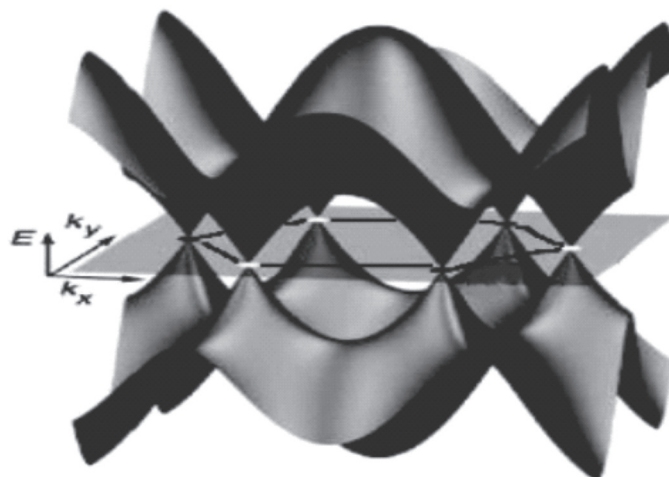
Keywords: baro-electro-thermo-acoustic analysis, material diagnostics, acoustic emission, IR Fourier spectrometry, accelerated aging cycle of the material, material life cycle, material testing method, graphene, graphene-based composites

Стремительное развитие нанотехнологий, создание и использование наноматериалов в конструирование изделий, требуют решения ряда проблем, связанных с определением их долговечности, надежности и устойчивости физико-химических свойств.

Графен, двумерный монослой sp^2 -связанных атомов углерода, привлекает все большее внимание в последние годы, главным образом из-за его необычайно высокой электрической и термальной проводимости, механической прочностью и большой удельной площади поверхности. Графен очень прочен и гибок. Он уникален тем, что способен проявлять свойства как проводника, так и полупроводника. Высокая подвиж-

ность носителей заряда (максимальная подвижность электронов среди всех известных материалов) делает его перспективным материалом для использования в самых различных приложениях, в частности, как будущую основу нанoeлектроники и возможную замену кремния в интегральных микросхемах [1].

С материаловедческой точки зрения однослойный графен – это не материал, а вещество; больше того, это отдельная молекула и, надо сказать, не самая большая из известных. С химической точки зрения однослойный графен – это полимер, причём всего одна молекула полимера с массой около одного пикограмма (рисунок) [2].



3D-зонная структура графена [3]

Взаимное влияние графена и металло-содержащих наночастиц может привести к созданию новых материалов, обладающих сверхновыми свойствами. Наночастицы металлов и их оксидов проявляют уникальные свойства, отличные от свойств массивных объектов. При уменьшении размера частиц изменяются тепловые, магнитные, адсорбционные, электрохимические и каталитические характеристики таких материалов, что связано с влиянием размерного фактора [4].

Одним из эффективных подходов в создании новых материалов является нанесение металлов и их оксидов на поверхность различных носителей, что позволяет создать большое число потенциальных центров каталитических, сорбционных и электрохимических реакций [6]. Композиты графена вызывают научный и промышленный интерес из-за возникновения максимума проводимости и активной способности к адсорбции на своей поверхности различные наночастицы металлов и их оксидов [6].

Одна из ключевых областей в применении передовых методов в производстве материалов на основе графена, это сочетание структурных функций в встроенной электронике с экологической безопасностью.

При исследованиях и испытаниях надежности и долговечности материалов и изделий из них, обычно применяются термостаты, криостаты, термобарокамеры и способы термоциклирования и термобаронагружения в них соответственно, в т.ч. для их ускоренного «старения» [7].

Общепринятые решения проблем надежности и долговечности материалов и из-

делий из них становятся малоэффективными в случаях с наноматериалами, в связи с чем, требуются принципиально новые вероятностно – физические подходы к решению указанных проблем, т.е. новые методы и средства регистрации нано-, и микро-, и макроизменения наноматериалов [8].

Представляется актуальными применение нового метода, синхронно-сопрягающего термический и акустико-эмиссионный анализ, а также создание автоматизированной установки, его реализующей, позволяющих перейти к количественным показателям для оценки долговечности и устойчивости физико-химических свойств в условиях эксплуатации, включая их изменения в результате старения [9].

Для объективации регистрации вышеперечисленных параметров, а также для повышения достоверности идентификации процессов нано-, микро- и макроизменений в материалах, было предложено синхронизировать с методами термического анализа и электрометрии – метод акустической эмиссии, а сопряжение их с ИК Фурье-спектрометром и микроскопом провести через «кварцевые окна» в термостате-электронпечи [9], чтобы при анализе продуктов деструкции избавиться от процессов их конденсации на стенках газовых кювет и «температурных проблем» газового анализа (температурных ограничений, поддержания равенства температур отводимых в спектрометр газов и т.д.).

Если сопряжение ИК Фурье-спектрометра с дериватографом является общепринятым решением, например, для иден-

тификации состава продуктов деструкции, то комплексирование методов термического анализа, электрометрии и акустической эмиссии было выполнено нами впервые [10].

Так для определения «порога протекания» и интенсивности процессов нано-, микро- и макродеструкции в материалах, а также вычисления эффективной энергии активации «каналов протекания» в частности, предложено была использовать на 2-х стадийную ая модель излучения акустической эмиссии, описывающую переход от рассеянного к локализованному дефектообразованию, которая дает возможность обнаружения такого перехода по сигналам акустической эмиссии, т.к. фиксирует единичные акты с энергией до 10^{-15} Дж [11]. Применение этой модели позволяет диагностировать предразрушающее состояние образца в рамках концентрационного критерия разрушения [11–13].

Метод термобароденсиметрии, объединенный с методами электрометрии, акустической эмиссии, ИК Фурье-спектрометрии и микроскопии, при использовании термодинамических акустико-эмиссионных эталонов, позволяет решить проблемы метрологии нано-, микро- и макроизмерений, а также проводить диагностику нано-, микро- и макроматериалов и идентифицировать состояние их «жизненного цикла» с привлечением критериев подобия, что повышает точность и достоверность результатов диагностики, и позволяет получить ценную (во многих случаях безальтернативную) информацию о «старении» материалов [14].

Применение данного метода для анализа структуры старения производных графена позволит определить нанодеструкцию, возникновение структурных изменений и появление дефектов (полостей, дислокаций и т.д.), образующихся под воздействием силовых, температурных и электромагнитных полей. Такая диагностика позволит выявить процессы нанодеструкции, протекающие в композиционных материалах не только с графеном, но и с иммобилизованным материалом на его поверхности. Так например за 24 часа, при использо-

вание баро-электро-термо-акустического анализа синхронно вычисляются 38 параметров в режиме ускоренного старения, как за 24 года эксплуатации!

Список литературы

1. Novoselov K.S. Electric field effect in atomically thin carbon films / K.S. Novoselov, K.A. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.A. Dubonos // *Science*. – 2004. – Т. 306. – №. 5696. – С. 666–669.
2. Губин С.П. Графен и материалы на его основе / С.П. Губин, С.В. Ткачев // *Наносистемы*. – 2010. – Том 2. – №1–2. – С. 99–137.
3. Avouris P. Graphene: Electronic and Photonic Properties and Devices // *Nano Lett.*, 2010, 10, 11, 4285–4294.
4. Пат.№ 2194666 РФ, МПК7 С 01 В 13/34. Наноструктурные окиси и гидроксиды и способы их синтеза / Т.Д. Ксиао и др. – № 98115315/12; Заявл. 18.11.97; Опубл. 20.12.02, Бюл. № 35.
5. Chen J., Bradhurst D.H., Dou S.X., Liu H.K. Nickel hydroxide as an active material for the positive electrode in rechargeable alkaline batteries // *J. Electrochem. Soc.* – 1999. – V. 146, N 10. – P. 3606–3612.
6. Y Xu, H Bai, G Lu, C Li, G Shi; Flexible graphene films via the filtration of water-soluble noncovalent functionalized graphene sheets. – *Journal of the American Chemical Society*, 2008.
7. Буловский П.И., Зайденберг М.Г. Надежность приборов систем управления: Справоч. пос. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 266–273; 289–298.
8. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Видецих Ю.А., Викулин В.В., Прус Ю.В. Октаэдр: метод и комплекс термоакустотометрии с синхронным термическим анализом веществ и материалов // *Современные наукоемкие технологии*. – 2005. – № 11. – С. 26–27.
9. Белозеров В.В., Босый С.И. Диагностика опасности материалов методом баротермоэлектрометрии, сопряженной с акустической эмиссией // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – №2. – С. 116–120.
10. Белозеров В.В., Белозеров В.В., Босый С.И., Панченко Е.М., Удовиченко Ю.И. Способ синхронно-сопряженного термического анализа веществ и материалов и установка для его осуществления – Патент РФ на изобретение № 2343467 от 10.01.2009.
11. Буйло С.И., Козинкина А.И. К вопросу об оценке накопления повреждений и момента перехода от рассеянного к локализованному дефектообразованию по восстановленным значениям потока актов акустической эмиссии // *ФТТ*. – 1996. – Т.38; №11. – С. 3381–3384.
12. Буйло С.И. Применение явления акустической эмиссии для диагностики предразрушающего состояния угольного пласта // *Современные проблемы механики сплошной среды: сб. тр. 3-й Междунар. конф. т.1 / под ред. акад. РАН И.И. Воровича*. – Ростов н/Д: МП Книга, 1997. – С. 60–63.
13. Буйло С.И. Определение параметров процесса накопления повреждений и оценка критерия разрушения по восстановленным значениям потока актов акустической эмиссии // *Дефектоскопия*. – 1997. – №7. – С. 84–89.
14. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Прус Ю.В., Удовиченко Ю.И. Способ термодинамического акустико-эмиссионного эталонирования и система его реализующая: Патент РФ на изобретение № 2399910 от 20.09.2010.