

УДК 539.2: 541.1: 620.1

А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц.

**Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «Донецкий национальный
технический университет», г. Горловка**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И
НАНОТЕХНОЛОГИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ. ЧАСТЬ 1.
НАНОСТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Обобщен зарубежный опыт использования нанотехнологий и наноструктурированных материалов в автомобилестроении и на транспорте. Выявлены проблемы и перспективы создания и применения наноструктур и нанокомпозитов в производстве конструкционных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Обсуждены особенности использования нанотехнологий в развитии безразборного сервиса автомобилей.

Постановка проблемы

Мировым сообществом ученых развитие нанотехнологий признано самым перспективным направлением XXI века. Сформировалась новая междисциплинарная область – нанонаука, рассматриваемая как совокупность знаний о фундаментальных свойствах вещества в нанометровом масштабе. Ее результаты реализуются в нанотехнологии путем создания новых материалов, функциональных структур и устройств, использующих атомный, молекулярный и нанометровый уровни [1].

В настоящее время развитие нанотехнологий осуществляется по следующим основным направлениям [2]:

- элементы наноэлектроники и нанофотоники (полупроводниковые транзисторы и лазеры, фотодетекторы, солнечные элементы, различные сенсоры);
- устройства сверхплотной записи информации;
- телекоммуникационные, информационные и вычислительные технологии, суперкомпьютеры;
- видеотехника (плоские экраны, видеопроекторы, мониторы);
- молекулярные электронные устройства и нанолитография;
- топливные элементы и устройства хранения энергии;
- устройства микро- и наномеханики (молекулярные моторы, наномоторы и нанороботы);
- нанохимия и катализ (в том числе управление процессом горения, нанесение покрытий, фармацевтика);
- устройства аэрокосмического и оборонного назначения;
- устройства мониторинга, а в перспективе и защиты окружающей среды;
- клиническая и медицинская диагностика;
- создание искусственных органов и тканей, имплантация живых органов.

В наших предыдущих публикациях [3,4] освещен зарубежный опыт использования нанотехнологий на автомобильном транспорте. В продолжение исследований представляется интересными систематизация и обобщение теоретических и экспериментальных результатов в данной области, полученных различными авторами в самые последние годы.

Цель данной работы – анализ современных достижений, тенденций, проблем и перспектив применения наноматериалов и нанотехнологий на автомобильном транспорте и его инфраструктуре.

Изложение основного материала исследований

В настоящее время нанотехнологии определяют темпы развития научно-технического прогресса на автомобильном транспорте в следующих основных сферах:

- новые конструкционные материалы с заранее заданным комплексом физико-химических и эксплуатационных свойств;
- нанокompозитные покрытия для снижения трения и защиты от коррозии;
- безразборный сервис автомобилей;
- нанокатализаторы в производстве и применении моторных топлив и масел;
- сенсоры для анализа токсикантов в отработавших газах (ОГ) ДВС;
- нанотрубки для хранения водорода в топливных элементах электромобилей;
- обеспечение безопасности движения автомобилей;
- теоретические основы создания нанодвигателей и наномашин.

В данной статье рассматриваются различные аспекты трех из указанных проблем, а остальные обсуждаются в следующей работе.

Механическое упрочнение композитов армированием наночастицами и наноструктурами

1 Высокопрочные материалы на основе углеродных нанотрубок и наноструктур

Интересно отметить, что катализатором развития нанотехнологий стали два фундаментальных достижения науки XXI столетия – открытие низкоразмерных углеродных наночастиц (фуллеренов и трубок), а также создание сканирующего электронного микроскопа [5].

Установлена уникальная особенность этих наночастиц – способность к глубоким качественным изменениям всего спектра физико-химических свойств при минимальных изменениях их атомно-структурных параметров. Открылись широкие горизонты синтеза новых, нередко не известных ранее материалов – химически чистых, структурно упорядоченных, ориентированных, легированных и композитных с рекордными характеристиками и специфическими свойствами, перспективными для инновационных приложений в самых различных областях науки и техники, в том числе в автомобилестроении.

На основе фуллеренов созданы не только соединения, обладающие сверхпроводимостью, но и вещества, по объемному модулю упругости и твердости превосходящие алмазы [5]. Сверхтвердые материалы синтезировали из фуллеренов C_{60} , C_{70} при давлении до 13 ГПа и температуре до 1600° С.

Кроме фуллеренов, важное прикладное значение приобретают углеродные нанотрубки (УНТ), которым присущи аномально высокие показатели прочностных и упругих свойств. Модуль упругости Юнга УНТ в 6–8 раз больше, чем у стали, а предел прочности на разрыв в 22,5 раза выше, чем у сплава [6].

Вследствие высокой прочности на разрыв и большого отношения длина / диаметр УНТ оказались перспективным материалом для упрочнения композитов [5]. Армирование многослойными УНТ полипропилена, который широко применяется как конструкционный материал в автомобилестроении, приводит к удвоению его прочности на разрыв [6]. Введение 10 % об. нанотрубок в алюминий обеспечивает возрастание этого показателя в 6 раз, а добавка 30 % об. однослойных УНТ в сталь – в 7 раз [6].

При технологическом применении наночастиц следует решить проблемы их масштабирования и разработать эффективные методы их введения в металлы и пластики. Первые обнадеживающие результаты в этом направлении уже получены. Специалисты компании SEVP (Великобритания) создали устройство NanoGrowth (принципы работы которого разработаны в Институте перспективных технологий Университета Суррея) для изготовления УНТ при невысоких температурах в коммерческих масштабах [2].

Существующая в настоящее время технология изготовления нанотрубок, требующая в некоторых случаях температуры до 1000° С, является одним из главных препятствий к широкому внедрению УНТ в технику. Преимуществом устройства NanoGrowth является то, что с его помощью «выращивание» нанотрубок происходит при комнатной температуре

внутри камеры диаметром 75 мм. Регулирование температуры дает возможность «выращивать» нанотрубки с довольно высокой эффективностью и контролируемыми параметрами (длина, плотность и расположение) даже на таких чувствительных к нагреванию материалах, как пластики. Последнее позволяет осуществлять синтез полимерных композитов высокой прочности.

В России разработан новый вид покрытия – «жидкая броня», который используется для усиления защиты автомобилей [2]. Покрытие представляет собой гель из твердых наночастиц и жидкого наполнителя. Резкий удар, попадание осколка или пули заставляет частицы мгновенно связываться друг с другом, превращая гель в твердый композит и препятствуя проникновению инородного тела в глубь структуры.

2 Графен: его реализованные и потенциальные возможности

Нанотехнологическим прорывом, несомненно, является открытие графена (А. К. Гейм, К. С. Новоселов: школа физики и астрономии университета Манчестера; Нобелевская премия по физике 2010 года).

Графен – это двумерный кристалл, состоящий из атомов углерода, которые выстроены в гексагональную решетку («пчелиные соты») [7]. Хотя отдельные попытки его изучения прослеживаются до 1859 года, активное и целенаправленное исследование этого материала началось всего лишь несколько лет назад, после того, как был найден простой и эффективный способ изготовления сравнительно больших изолированных образцов графена [7]. Первоначальный метод «скотча», известный также как метод микромеханического расслоения, оказался настолько простым и эффективным, что исследования графена стали развиваться очень быстро, и сейчас над различными его аспектами работают сотни лабораторий по всему миру.

Графен – это первый представитель двумерных атомных кристаллов, свойства которых в термодинамическом плане существенно отличаются от свойств трехмерных объектов. Графен также является новой электронной системой с уникальными характеристиками [8]. Его можно рассматривать как гигантскую молекулу, пригодную для химической модификации и перспективную с точки зрения инновационных приложений, которые простираются от электроники до композитных материалов, в том числе в автомобилестроении.

Графену присущи уникальные свойства, каждое из которых превосходит таковые у материалов – конкурентов. На сегодняшний день – это самый прочный материал на Земле (его прочность в 200 раз выше, чем у стали [7]), очень упругий, непроницаемый для других молекул. Графен очень хорошо проводит электрический ток и тепло, прозрачен, эластичен.

Уникальное сочетание электронных, химических, механических и оптических свойств графена, по мнению авторов открытия [7, 8], в полной мере может быть использовано в композитных материалах. Графен для такого рода приложений сравнительно несложно изготовить: можно применить либо прямое химическое расслоение графита [8], дающее весьма высокий выход графеновых чешуек в ряде органических растворителей, либо провести процесс окисления графита (приготовив оксид графита, который легко расслаивается в воде) с последующим восстановлением в ряде сред [7].

Будучи прочнейшим и одновременно одним из самых жестких известных материалов (с модулем Юнга 1 ТПа), графен является идеальным кандидатом для армирования высококачественных композитов [8]. Его одноатомная толщина дает огромное преимущество: он не может расколоться, что придает ему максимально возможную прочность на изгиб. Высокое аспектное отношение (отношение поперечного размера к толщине) графена позволяет ему быть идеальным ограничителем распространения трещин [7].

Что же касается взаимодействия со связующим материалом – главной проблемы всех нанокompозитных наполнителей типа УНТ или углеродного волокна – то химическая модификация поверхности или краев графена может значительно усилить его адгезию к полимеру [8].

Большие преимущества открывает возможность оптического наблюдения за натяжениями в графене. Спектр комбинационного рассеяния графена существенно меняется

при натяжении, поэтому можно легко обнаружить механические деформации в исследуемом композитном материале (полимер + графен) даже в доли процента [7].

Отметим другие потенциальные возможности применения графена. В плане электронных свойств перспективны предельно чувствительные газовые детекторы (графен, будучи поверхностью без объема, может обнаруживать присоединившиеся к нему единичные молекулы) и переменные квантовые конденсаторы [8]. В области фотоники следует указать сверхбыстродействующие фотодетекторы и очень эффективные синхронизаторы мод [7].

Кроме того, исключительная механическая прочность и высокое кристаллическое совершенство позволяют использовать графен для создания идеальных газовых барьеров и тензодатчиков [2].

С участием графена удастся решать и проблему синтеза сверхлегких материалов. Ученые университета Цжэцзя (Китай) создали самый легкий на сегодняшний день материал – аэрогель плотностью $0,16 \text{ мг/см}^3$ [1]. При этом 1 г графенового аэрогеля способен сорбировать до 68,8 г вещества, не растворимого в воде. Последнее обстоятельство, по нашему мнению, актуально для связывания и дезактивации различных токсикантов, в том числе обусловленных автомобильным транспортом.

Нанотехнологии в развитии безразборного сервиса автомобилей

Совместное использование теоретических исследований и практических достижений трибологии и нанотехнологии позволяет применять трение не как разрушительное явление природы, а как самоорганизующийся созидательный процесс, в том числе для безразборного восстановления агрегатов и узлов автомобильной техники в процессе их непрерывной эксплуатации [2].

При этом под безразборным сервисом (от английского service – производить осмотр и текущий ремонт) подразумевается комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на осуществление операций технического обслуживания, ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных стадий с применением современных разработок химической промышленности [9].

Безразборный сервис может также включать операции обкатки (приработки), диагностики, профилактики (сезонной подготовки), автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных соединений, так и агрегатов и механизмов в целом [10].

Теоретическими предпосылками безразборного сервиса (восстановления) явились исследования в теории самоорганизации и диссипативных структур И. Р. Пригожина [11].

В прикладном плане безразборный сервис базируется на научных открытиях российских ученых: явление избирательного переноса при трении (эффект безызносности (Д. Н. Гаркунов, И. В. Крагельский), эффект пластифицирования поверхностей трения в присутствии поверхностно-активных веществ (П. А. Ребиндер и его ученики) и др. [9].

В последние годы проблема поддержания в работоспособном состоянии отечественной и импортной автомобильной техники во многом решается за счет использования специальных ремонтно-эксплуатационных препаратов, в том числе разработанных на основе наноматериалов и нанотехнологий.

В настоящее время к нанотехнологическим препаратам автохимии для применения в качестве присадок и добавок к смазочным материалам автомобильной техники относятся следующие разработки [9]:

1. Приработочные препараты на основе наноалмазов (Lubrifiilm Diamond Run In, Fenon Nanodiamond Green Run и др.). Входящие в состав присадок наноалмазы диаметром 4–6 нм и кластерный углерод структурируют масляную пленку, увеличивают ее динамическую прочность, упрочняют кристаллическую решетку металла, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ, в особенности при больших нагрузках и дефиците смазочного материала. В итоге сокращается время обкатки и оптимизируется качество трущихся соединений, улучшается работа двигателя, снижается расход топлива и масла, а также концентрация токсикантов в ОГ.

2. Кондиционеры металла (Energy release, SMT2 и др.) в результате трибохимических реакций образуют защитный граничный слой толщиной 20–40 нм, который приобретает пластичные и упругие свойства, антифрикционные качества и одновременно стойкость к высоким нагрузкам.

3. Рекондиционеры (Oil Chap, Tensai), созданные с применением золь-гель технологии. Полимолекулярная система препаратов, включающая в себя наноразмерные кластеры органических соединений, структурирует граничную масляную пленку и увеличивает адгезию масла к металлу.

4. Реметаллизанты или восстановительные присадки (Return Metal, Renom Engine NanoGuard и др.) содержат маслорастворимые или порошкообразные металлоорганические соединения, реализуют трибохимический («ионный») механизм металлоплакирования поверхностей трения вследствие образования (восстановления) на них металлосодержащей, наноструктурированной защитной пленки. Присадки способствуют «лечению» нано- и микродефектов поверхностей трения и восстановлению их работоспособности.

5. Геомодификаторы (Fenom nanotechnology, RVS, Forsan, XADO и др.). Препараты автохимии на основе минералов естественного и искусственного происхождения (нано- и микроуровня) получили наименование «геомодификаторы», «геоактиваторы», ремонтно-восстановительные составы (PBC–технология), или «ревитализанты». Попадая на поверхность трения вместе с маслом или пластичной смазкой, они инициируют процесс формирования металлокерамической наноразмерной структуры с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения.

Рассмотренные нанотехнологические препараты автохимии обеспечивают целый комплекс самых разнообразных положительных характеристик. Они позволяют: существенно (в 1,5–2 раза) повысить износо- и задиростойкость деталей двигателей, трансмиссии и рулевого управления; на 5 % поднять мощность двигателя за счет повышения компрессии и снижения потерь на трение; сократить время и улучшить качество приработки поверхностей трения; повысить их межремонтный ресурс до 2 раз; снизить на 5–10 % расход топлива и смазочных материалов, уменьшить вдвое вредные выбросы в атмосферу [9].

Перспективными представляются разработка и внедрение в производство компанией «SCT Vertriebles GmbH» (ФРГ) моторных масел MANNOL NANO TECHNOLOGY 10W – 40 и MANNOL TS – 9 UNPD NANO 10W – 40 с использованием специальных наномодификаторов – фуллероидных компонентов [10]. Введение этих компонентов позволило значительно улучшить физико-механические свойства деталей двигателя. В граничных областях поверхностей трущихся пар устраняется водородное охрупчивание металла и, как следствие, происходит существенное упрочнение металлической структуры. На поверхностях деталей образуется самоорганизующаяся масляная пленка достаточной толщины и оптимальной геометрии, компенсируется износ деталей и повышается прецезионность кинематических пар. Улучшаются термодинамические характеристики двигателя: повышается степень сгорания топлива, увеличивается и выравнивается компрессия по всем цилиндрам, наблюдается снижение токсичности ОГ.

В ходе проведенных дорожных испытаний установлены [10]: экономия топлива на 5 и более процентов, снижение в ОГ концентрации оксида углерода в 3 раза и углеводородов C_nH_m в 2 раза, образование самовосстанавливающейся смазочной структуры.

Помимо рассмотренных в данном разделе добавок и присадок к смазочным материалам, перспективны наноструктурные покрытия с высокими трибологическими характеристиками, устойчивостью к коррозии и широким потенциалом применения, в том числе в автомобилестроении [1].

Выводы

1. Обобщен зарубежный опыт использования наноматериалов и нанотехнологий в автомобилестроении, на транспорте и его инфраструктуре.

2. Обсуждены тенденции развития, проблемы и перспективы в создании и применении наноструктур и нанокompозитов в производстве конструкционных материалов с заданным спектром эксплуатационных свойств.

3. Выявлена специфическая роль наноматериалов и нанотехнологий в развитии безразборного сервиса автомобилей.

Список литературы

1. Кавалейро А. Наноструктурные покрытия / А. Кавалейро, Д. де Хоссон. – М.: Техносфера, 2011. – 752 с.
Kavaleyro A. Nanostrukturnyye pokrytiya (Nanostructured Coatings) / A. Kavaleyro, D. de Khosson. M.: Tekhnosfera, 2011. – 752 s.
2. Ковшов А. Н. Основы нанотехнологии в технике: учебн. пособие для студентов вузов / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 240 с.
Kovshov A. N. Osnovy nanotekhnologii v tekhnike: uchebn. posobiye dlya studentov vuzov (Fundamentals of Nanotechnology in Engineering: Study Guide for College Students) / A. N. Kovshov, Yu. F. Nazarov, I. M. Ibragimov. – M.: Izdatelskiy tsentr “Akademiya”, 2009. – 240 s.
3. Карпинец А. П. Перспективы применения нанотехнологий на автомобильном транспорте. Часть 1. Наноструктуры и функциональные материалы / А. П. Карпинец // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – № 1 (10). – С. 34–39.
Karpinets A. P. Perspektivy primeniya nanotekhnologiy na avtomobilnom transporte. Chast 1. Nanostrukturny i funktsionalnyye materialy (The Problems of Using Nanotechnologies in Motor Transport. Part 1. Nanostructures and Functional Materials) / A. P. Karpinets // Visti Avtomobilno-dorozhnogo instytutu: naukovu-vyrobnychiy zbirnyk. – Horlivka: ADI DVNZ “DonNTU”, 2010. – № 1 (10). – S. 34–39.
4. Карпинец А. П. Перспективы применения нанотехнологий на автомобильном транспорте. Часть 2. Наноприборы и наномашин / А. П. Карпинец // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. – Горлівка: АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – № 1 (10). – С. 40–46.
Karpinets A. P. Perspektivy primeniya nanotekhnologiy na avtomobilnom transporte. Chast 2. Nanoustroystva i nanomashiny (The Problems of Using Nanotechnologies in Motor Transport. Part 2. Nanodevices and Nanomachines) / A. P. Karpinets // Visti Avtomobilno-dorozhnogo instytutu: naukovu-vyrobnychiy zbirnyk. – Horlivka: ADI DVNZ “DonNTU”, 2010. – № 1 (10). – S. 40–46.
5. Bushan Ed. B. Springer Handbook of Nanotechnology / Ed. B. Bushan. – Heidelberg. – Berlin: Springer, 2004. – 1500 p.
6. Пул Ч.-мл. Нанотехнологии / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс. – М.: Техносфера, 2009. – 336 с.
Pul Ch.-ml. Nanotekhnologii (Nanotechnologies) / Ch. Pul-ml., F. Ouens. – M.: Tekhnosfera, 2009. – 336 s.
7. Новосёлов К. С. Графен: материалы Флатландии / К. С. Новосёлов // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181. – № 12. – С. 1299–1311.
Novosyolov K. S. Grafen: materialy Flatlandii (Graphene: Flatland Materials) / K. S. Novosyolov // Uspekhi fizicheskikh nauk. 2011. – T. 181. – № 12. – S. 1299–1311.
8. Гейм А. К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену / А. К. Гейм // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181. – № 12. – С. 1284–1298.
Geym A. K. Sluchaynyye bluzhdaniya: nepredskazuemyy put k grafenu (Random Walk to Graphene) / A. K. Geym // Uspekhi fizicheskikh nauk. – 2011. – T. 181. – № 12. – S. 1284–1298.
9. Балабанов В. И. Нанотехнологические препараты автохимии для безразборного сервиса автомобиля / В. И. Балабанов, В. Ю. Болгов, В. В. Лехтер // Нанотехнологии. Экология. Производство. – 2009. – № 2. – С. 130–133.
Balabanov V. I. Nanotekhnologicheskiye preparaty avtokhimii dlya bezrazbornogo servisa avtomobilya (Nanotechnological Products of Automobile Chemistry for Uncollapsible Motor Car Service) / V. I. Balabanov, V. Yu. Bolgov, V. V. Lekhter // Nanotekhnologii. Ekologiya. Proizvodstvo. – 2009. – № 2. – S. 130–133.
10. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего / В. И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2009. – 248 с.
Balabanov V. I. Nanotekhnologii. Nauka budushchego (Nanotechnologies. Science of Future) / V. I. Balabanov. – M.: Eksmo, 2009. – 248 s.
11. Пригожин И. Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
Prigozhin I. Sovremennaya termodinamika: ot teplovykh dvigateley do dissipativnykh struktur (Modern Thermodynamics: from Thermal Engines to Dissipative Structures) / I. Prigozhin, D. Kondepudi. – M.: Mir, 2002. – 461 s.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. В. Базаянц, АДІ ДонНТУ
Стаття надійшла до редакції: 07.08.2013