

УДК 620.022 (075.8):656.073.7

Е.В. Овчинников, канд. техн. наук, доц.
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь
Тел./факс. +375(152) 484421, E-mail: ovchin_1967@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ.

Рассмотрены вопросы создания наноматериалов и технологий для увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортных средств, применяемые в транспортной логистике. Разработана широкая гамма функциональных машиностроительных материалов для изделий конструкционного, триботехнического, адгезионного, защитного и др. назначения, которые нашли применение для изготовления подшипников скольжения, уплотнительных и герметизирующих элементов, тонких покрытий, смазок, смазочно-охлаждающих и технологических сред.

Ключевые слова: транспортная логистика, наноматериалы, технологии, инновации.

E.V. Ovchinnikov

APPLICATIONS OF NANOMATERIALS AND TECHNOLOGIES IN TRANSPORT LOGISTICS.

The problems of creating nanomaterials and technologies to increase the service life of vehicles used in the transport logistics. It has developed a wide range of functional engineering materials for structural products, tribological, adhesive, protective and others. Destinations that have been used for the manufacture of sliding bearings, sealing and sealing elements, thin coatings, lubricants, cooling-lubricating and technological environments.

Key words: transport logistics, nanomaterials, technologies, innovations.

Введение.

Определяющую роль в производстве продукции технического, технологического назначения играет логистика. От своевременных поставок комплектующих изделий, полуфабрикатов, выбора технологии производства зависит качество выпускаемой продукции, возможность быстрой и полной реализации произведенного товара. Под логистикой подразумевается научная деятельность, которая занимается контролем, планированием, организацией транспортирования, складированием, а также различными материальными и не материальными операциями, которые применяются в технологическом процессе доставки сырья до производственного предприятия, внутризаводской переработкой материальных ресурсов (сырье, материалы, полуфабрикаты), доставкой произведенной продукции до потребителя в соответствии с определенными запросами последнего, а также передачей, хранением и обработкой информации, связанной с этими операциями и технологиями. Особое место в решении логистических задач занимает автотранспорт, который позволяет решать логистические задачи на уровне микро- и макрологистики. Надежность эксплуатации автотранспортного средства позволяет качественно решать основные транспортные логистические задачи: «точно в срок», «от места производства до места потребления». Основное влияние на эксплуатационный ресурс и безаварийную эксплуатацию автотранспортных средств оказывают тяжело нагруженные узлы трения. Учитывая, что основную часть грузов перевозят большегрузными автомобилями, у которых крутящий момент с двигателя передается

на задний мост с помощью карданной передачи, то эксплуатационный ресурс данного триботехнического узла является одним из определяющих при транспортировке различных грузов.

Целью данной работы является изучение влияния наноматериалов и технологий, применяемых при изготовлении тяжело нагруженных узлов трения автотранспортных средств, на увеличение эксплуатационного ресурса применительно к решению различных логистических задач.

Результаты исследований.

Важной составляющей в транспортной логистике является повышение технических показателей машиностроительной продукции путем применения высоких технологий и современных композиционных функциональных материалов, обеспечивающих изготовление ресурсопределяющих деталей и узлов с комплексом гарантированных служебных характеристик. К числу таких материалов нового поколения относят композиционные материалы с функциональными наноразмерными модификаторами - нанокоспозиционные материалы, создание которых стало возможным вследствие применения новейших методов исследования строения микрогетерогенных систем и получения новой информации о поведении объектов с размерами, не превышающими 100 нм при различного рода энергетических воздействиях.

Достижение гарантированного эффекта увеличения технических показателей ресурсопределяющих узлов или изделий автотранспортных средств за счет применения наноматериалов различного состава и функционального назначения: полимерных нанокоспозитов, градиентных металлических наноматериалов, тонких покрытий из наноматериалов на рабочих поверхностях, дисперсно-упрочненных материалов, полученных диффузионным или механохимическим легированием, наносмазкок.

Системный подход к проблеме повышения технических характеристик автотранспортной техники применяемой для решения логистических задач предполагает одновременное развитие в научных центрах различных академических и вузовских учреждений научных основ создания наноматериалов и нанотехнологий, которые обеспечат прорыв в создании новых технологий и материалов в сферах технологического процесса доставки сырья до производственного предприятия, внутризаводской переработкой материальных ресурсов, доставки произведенной продукции до потребителя [1-11].

Достижение поставленной цели осуществлено на базе общего методологического подхода, заключающегося, во-первых, в применении идеологии многоуровневого модифицирования, сочетания активного воздействия на нано- и микроструктурные и нано- и микрофазные объекты, и изделия в целом (на макроуровне) и, во-вторых, в использовании высокоэнергетических (тепловых, механических, ионных, ионизирующих, плазмохимических) воздействий на компоненты металлических, полимерных, олигомерных и углеродных матриц, что позволило разработать эффективные методы и приемы создания материалов с заданными параметрами активности, состава, строения и функциональных характеристик и изделий с гарантированным ресурсом эксплуатации. Данная

методология в сочетании методами оптимизации по критериям экономической эффективности, энерго- и ресурсосбережения определила основные подходы к решению проблемы создания широкой номенклатуры наноматериалов отечественного производства и нанотехнологий их изготовления и переработки в ресурсопределяющие изделия различного функционального назначения и позволила получить следующие результаты.

Разработаны теоретические основы технологий формирования алмазоподобных наноматериалов с уникальными характеристиками. Установлены роль и влияние диффузионных процессов на процессы структурной перестройки, кинетику образования нанофазных углеродных систем. Впервые определены доминирующие параметры формирования АПП: критическая температура подложки, T_c и критическое двумерное давление адсорбированных атомов на поверхности P_c . Двумерное давление (плотность адсорбированных атомов) пропорционально скорости осаждения. При $T > T_c$ и $P < P_c$ образование зародышей и роста пленки не происходит. В теорию фазообразования тонких пленок при импульсной конденсации введен новый физический параметр - критическая скважность импульсов конденсации $q_c = \Delta t/\tau$, (Δt - продолжительность импульса и τ период импульса). Показано, что при скважности ниже критической реиспарение адсорбированных атомов в промежутках между импульсами конденсации становится значительным, критические зародыши не образуются и формирование пленочного наноматериала не происходит.

Показано, что импульсный характер осаждения приводит к реиспарению и диффузионному распаду менее стабильных фаз, образовавшихся во время импульса конденсации, что улучшает фазовое совершенство и адгезию формируемого материала покрытия. В определенных условиях образуются аксиальные текстуры на не ориентирующих аморфных подложках.

Установлено, что использование импульсного плазменного осаждения позволяет формировать сплошные пленочные материалы при существенно меньших толщинах. Высокие скорости осаждения, совместно с быстрым охлаждением происходящим при частичном внедрении частиц в поверхностные слои подложки, способствуют образованию метастабильных фаз материала. Метастабильные стеклообразные структуры существуют в течение длительного времени при температуре, ниже некоторой критической (несколько сотен градусов Цельсия).

Разработана концепция формирования многокомпонентных тонкопленочных наноматериалов на основе алмазоподобного углерода при программируемом смешивании плазмы углерода и металлов, используя метод импульсного катодно-дугового осаждения покрытий. Синтезированы упрочняющие покрытия состава Ti-C-N, обладающие высокой адгезией к подложкам из металлов, керамики и полимеров. Износостойкость полученных титан-карбонитридных покрытий в полтора раза превышает соответствующую величину износостойких покрытий нитрида титана. Из смешанных потоков плазмы углерода и меди получен и исследован новый нанокompозитный углеродно-медный материал, твердость которого составляет 35 ГПа и проводимость близка к проводимости металла. Разработанный материал имеет большие потенциальные возможности для практических применений в электротехнической промышленности и машиностроении.

Предложен новый подход к синтезу нанокomпозиционных полимер-полимерных, металл-полимерных, оксид-полимерных материалов, заключающийся в создании полимеризующейся активной, реакционно-способной газовой фазы и осаждении из нее тонкопленочной системы. Впервые определены закономерности основных стадий процесса при генерации газовой фазы электронно-лучевым диспергированием органических соединений. Изучены начальные стадии образования полимерных покрытий. Установлен нестационарный характер процессов зародышеобразования полимерной фазы. Определены условия образования устойчивой адсорбционной фазы и возможность эффективного аппретирования при использовании очень тонких слоев материала. Предложен механизм формирования нанокomпозиционных полимерных покрытий из активной газовой фазы.

Изучены установленные закономерности формирования нанокomпозиционных материалов из термодинамически несовместимых полимеров. Показано, что, изменяя характер и кинетику процессов полимеризации, используя плазменную активацию летучих продуктов, возможно формирование нано- и микрогетерогенных систем с регулируемыми физико-механическими характеристиками.

Предложена и разработана концепция модифицирования тонких полимерных слоев, основанная на реализации газотранспортных плазмохимических процессов на стадии осаждения наноматериалов из газовой фазы сложного состава. Образование нанокomпозиционного материала осуществляется в условиях протекания на поверхности процессов диссоциации солей металлов и последующего хемосорбционного взаимодействия наночастиц с макромолекулами полимера.

Изучены закономерности диффузионного легирования полимерных материалов с целью формирования нанокomпозиционных материалов. Для ряда систем полимер - органический краситель построены кривые сорбции, определены значения концентрации насыщения, их зависимость от температуры, получены значения коэффициентов диффузии и энергии активации в диапазоне температур от 363К до 453К.

Получены и систематизированы данные о физико-химических и механических характеристиках тонких наноразмерных объектов. Определены структурное состояние сформированных слоев, триботехнические, оптические, защитные свойства тонких полимерных покрытий, их зависимость от толщины. Разработана релаксационно-диффузионная теория межфазных процессов, в рамках которой проведено аналитическое описание структуры нанокomпозиционных материалов, экспериментально установленных размерных эффектов.

Разработаны технологические процессы и оборудование плазмохимического модифицирования материалов, осаждения полимерных покрытий на поверхность волокнисто-тканевых материалов. Определены основные направления совершенствования технологии аппретирования и окрашивания материалов на основе ПЭТФ, оптимальные режимы и условия проведения основных стадий процесса: предварительной обработки поверхности, осаждения функционального слоя, термообработки. Проведены расчет, проектирование и изготовление промышленной установки крашения и аппретирования тканей ВУ-ТК.

Новизна научных разработок предложенных технических решений в данной области подтверждена 30 авторскими свидетельствами и 38 патентами

Республики Беларусь, Российской Федерации, США, Великобритании, Франции, ФРГ и других промышленно развитых стран.

Предложен и научно обоснован новый концептуальный подход к получению композиционных самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков, отличающийся тем, что диффузионное легирование частиц бором, кремнием, марганцем и другими элементами осуществляется на регламентированную глубину в диапазоне от минимальной глубины до сквозного насыщения. Установлены закономерности массопереноса при диффузионном легировании микрочастиц. Предложена математическая модель, позволяющая прогнозировать толщину и строение диффузионного слоя на сферических порошках в зависимости от параметров диффузионной обработки. Изучены физические и технологические свойства получаемых порошков. Установлено, что лучшей самофлюсуемостью обладают порошки с однофазной (Fe_2B) диффузионной оболочкой, а лучшее качество и наиболее узкий интервал температур плавления характерен для порошков системы Fe-B-C-легирующий элемент, обеспечивающих получение эвтектического состава и строения изделия.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработан новый класс нанокпозиционных диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков на основе железа, получаемых как из распыленных порошков-полуфабрикатов, так и из отходов обработки резанием, которые не уступают по характеристикам лучшим мировым аналогам, выпускаемым НПО "Тулачермет" (РФ) и фирмами США, ФРГ и Болгарии.

Впервые проведены комплексные исследования закономерностей влияния высокоэнергетических воздействий (лазерного, плазменного, электронно-лучевого, индукционного и других) на состав, строение и свойства изделий, получаемых из нанокпозиционных диффузионно-легированных самофлюсующихся материалов на основе железа. Установлено, что при компактировании диффузионно-легированных порошков наибольшую неравномерность структуры вплоть до аморфизации вызывают лазерное и электронно-лучевое воздействия. При лазерном компактировании порошка ПР-Х18Н9Р4 формируются белые участки, имеющие нанокристаллическое строение. Последующая термическая обработка, вызывает протекание ряда процессов на наноуровне от образования зон Гинье-Престона до распада аморфно-кристаллических структур, дисперсионного твердения и распада пересыщенных твердых растворов.

Разработанные нанокпозиционные материалы на основе диффузионно-легированных металлических порошков, технологии формирования и применения для модифицирования и восстановления изделий различного функционального назначения соответствуют уровню лучших разработок, они защищены более чем 20 авторскими свидетельствами, патентами Республики Беларусь, Российской Федерации и внедрены на промышленных предприятиях машиностроения, нефтехимического синтеза, теплоэнергетики, деревообработки, сельхозмашиностроения.

Принципиально новые результаты получены при проведении комплексных исследований закономерностей формирования наноструктурных жаропрочных композиционных материалов, модифицирующая фаза в которых образуется в результате реакционно-механического легирования (РМЛ). Впервые показано, что в качестве легирующих компонентов при реализации технологии РМЛ, перспективны

вещества, способные, взаимодействовать между собой или с основой с образованием нанофаз, оказывающих положительное влияние на свойства, а для моделирования фазового состава материалов приемлема закономерности термодинамики равновесных процессов. Достоверность этого положения подтверждена экспериментально на широком круге композиций, представляющих собой разные системы на основе алюминия и меди.

Выполнены исследования наноструктурных жаропрочных композиционных материалов, получаемых с применением реакционного механического легирования, как на системах с компонентами в элементарном виде, так и на композициях, содержащих легирующие элементы, связанные в химические соединения (оксиды, гидроксиды, карбонаты, нитраты, органические соединения и др.). Основными продуктами РМЛ являются термодинамически стабильные наноструктурные фазы (Al_2O_3 , MgO , BeO , AlN , Al_4C_3 , NbC , ZrC , TaC), обладающие высоким значением модуля сдвига, и эффективно упрочняющими основу до температур, достигающих $0,90T_{пл}$ основы. Доказано, что технологический процесс упрощается, а характеристики прочности материалов повышаются, если кислород, углерод и азот вводятся не в элементарном виде, а связанными в химические соединения, имеющие низкую термодинамическую стабильность.

Исследованы особенности структурообразования, реализующиеся в системах, подвергнутых РМЛ. На начальном этапе обработки в механореакторе в результате многократно повторяющихся процессов пластического деформирования, разрушения, адгезии, агломерации и сварки образуется гранулированная композиция, имеющая типичное слоистое строение. Установлено, что развитию химического взаимодействия между компонентами предшествует гомогенизация композиции, которая протекает за счет деформационного и диффузионного перемещения компонентов. В процессе механического легирования имеет место механически и термически активируемая диффузия.

Установлено, что определяющее значение в гомогенизации композиции и образовании новых фаз имеет диффузия по неравновесным дефектам. С использованием положений теории сдвигово-диффузионного деформирования проведена оценка роли неравновесных точечных дефектов, генерируемых многократной импульсной деформацией, в диффузионном перемещении компонентов. Предложена математическая модель формирования слоистой структуры гранул на стадии совмещения базовых компонентов. Разработана модель тепломассопереноса и механохимических реакций в твердофазных композициях.

Механически легированные композиции, характеризующиеся субмикроструктурным типом структуры с высокоразвитой поверхностью границ зерен и субзерен, стабилизированных ультрадисперсными выделениями механически синтезированных фаз, не имеющих контакта друг с другом, стойки против высокотемпературного воздействия. Разупрочнение отмечается при увеличении размера избыточных фаз более 100 нм. Температура, при которой имеет место это явление, зависит от природы основы и упрочняющей фазы и находится в пределах $0,60 - 0,90 T_{пл}$ основы. Для большинства материалов максимальная прочность достигается при объемном содержании термодинамически стабильной упрочняющей фазы равном 7 - 10 %.

Установлено, что упрочнение сложнолегированных материалов носит комплексный характер и сочетает зернограничное, дисперсное и дисперсионное. Причем основным видом упрочнения является зернограничное. Роль наноструктурных включений фаз, имеющих высокое значение модуля сдвига, заключается в стабилизации границ зерен и субзерен.

Технология, основанная на РМЛ, обеспечивает получение материалов, которые по прочности, прежде всего, характеристикам жаропрочности примерно в 1,5 раза превосходят известные, что обусловлено высокой стабильностью элементов тонкой структуры.

Разработана технология и оборудование для реализации градиентных упрочняющих структур в изделиях из сталей пониженной прокаливаемости, основанная на сочетании прогрева ТВЧ и охлаждения изделий по специальному режиму. Осуществлен промышленный выпуск изделий с градиентной структурой для комплектации карданных валов автотракторной, железнодорожной и сельскохозяйственной техники.

Принципиально новые научные результаты получены при реализации идеологии многоуровневого модифицирования полимерных материалов триботехнического и конструкционного назначения. Установлен механизм модифицирующего действия наноразмерных и нанофазных частиц различного состава, строения и технологии получения в полимерных матрицах на основе термопластов и олигомеров сшивающихся смол. Показано, что реализация синергического эффекта увеличения служебных характеристик полимерных нанокомпозитов обусловлена специфическим зарядовым состоянием наночастиц, обладающих нескомпенсированной электронной плотностью. Предложены методы получения наномодификаторов, основанные на придании заряда частицам путем высокоэнергетического или механического воздействия.

Разработана и научно обоснована концепция создания малоизнашивающихся металлополимерных трибосистем, основанная на управлении трибохимическими процессами контактного взаимодействия полимерного и металлического компонента с помощью функциональных модификаторов, введенных в состав трибосистемы или синтезированных в процессе ее функционирования.

Создана широкая гамма функциональных машиностроительных материалов для изделий конструкционного, триботехнического, адгезионного, защитного и др. назначения, которые нашли применение для изготовления подшипников скольжения, уплотнительных и герметизирующих элементов, тонких покрытий, смазок, смазочно-охлаждающих и технологических сред.

Выводы.

Впервые разработаны оригинальные наноматериалы на основе металлических, полимерных, олигомерных, совмещенных и углеродных матриц, обладающие комплексом уникальных характеристик при применении для создания и модифицирования ресурсопределяющих изделий, применяемых в машиностроении, теплоэнергетике, строительстве, медицине, специальном машиностроении. Разработано уникальное оборудование и технология для изготовления наноматериалов и модифицирования ресурсопределяющих изделий с применением высокоэнергетических воздействий: вакуумно-плазменных, лазерных,

диффузионного легирования, термомеханического совмещения, термической обработки и реакционного механического легирования.

Разработанные новые наноматериалы, технологии их обработки использованы при оптимизации конструкции автомобильных агрегатов (карданных валов, тормозных камер и амортизаторов). Созданы узлы автомобильных агрегатов, которые по своим параметрам не уступают аналогичным, выпускаемым фирмами Mann, Wabco.

Изделия из разработанных наноматериалов на основе металлических, полимерных и совмещенных матриц, технологическое оборудование для их получения и переработки использованы для обеспечения работоспособности, повышения эксплуатационного ресурса, снижения энерго- материалоемкости машин, механизмов, технологического оборудования, инструмента, оснастки, применяемых на предприятиях в различных отраслях машиностроения, теплоэнергетики, логистических центрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Точицкий Э.И. Кристаллизация и термообработка тонких пленок - Мн.: Наука и техника. 1976. -350с.

1. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. — Минск: ФТИ; Новополоцк: 1999.— 133с.

2. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и покрытия из них. Минск: УП «Технопринт», 2001. - 300с.

3. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Изд. 2-е переработанное и дополненное. Минск: УП «Технопринт», 2001. -148с

4. Липин Ю.В., Рогачев А.В., Сидорский С.С. Харитонов В.В. Технология вакуумной металлизации полимерных материалов. Гомель. -ГО БИТА. -1994.-206с.

5. Витязь П.А., Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механически легированные сплавы на основе алюминия и меди.- Минск: Беларуская навука, 1998.- 352с.

6. Ловшенко Ф.Г, Пантелеенко Ф.И., Рогачев А.В., Руденская Н.А., Сидорский С.С., Струк В. А., Кравченко В. И. Новые ресурсосберегающие технологии композиционные материалы. - Гомель.: - 2004. - 350 с.

7. Гольдаде В.А., Струк В.А., Песецкий С.С., Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. - М.: Химия, 1993. -240 с.

8. Коляго ГГ., Струк В.А., Материалы на основе ненасыщенных полиэфиров - Мн.: Наука и техника, 1990. - 149 с.

9. Буй М.В., Рогачев А.В. Релаксационно-диффузионная теория межфазных процессов. - Гомель: Бел.гос.ун-т транспорта, 1997.- 177 с.

10. Липин Ю.В., Рогачев А.В., Харитонов В.В. Вакуумная металлизация полимерных материалов. -Л.: Химия, 1987. - 170 с.

Поступила в редколлегию. 25.04 2015 г.