



# ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ МАТИ имени К.Э.ЦИОЛКОВСКОГО В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

И.Суминов, д.т.н., профессор, декан факультета "Информационные системы и технологии", Е.Гребенюк, к.т.н., профессор, Б.Крит, д.т.н., профессор / bkrit@mail.ru

**М**АТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского – ведущий многопрофильный вуз аэрокосмической отрасли России. В сентябре 2012 года МАТИ отмечает свой 80-летний юбилей. Создание института связано с проектированием, строительством и эксплуатацией дирижаблей. В 1932 году воздухоплавательное отделение Московского авиационного института реорганизовали в Дирижаблестроительный институт. Вскоре все авиационные отделения вузов страны были объединены в единый центр подготовки кадров – Дирижаблестроительный учебный комбинат (ДУК), в состав которого также входила воздухоплавательная школа. За развитием нового института внимательно следил основоположник отечественной авиации и космонавтики К.Э.Циолковский. Он способствовал становлению методической и материальной базы вуза. После смерти ученого 20 октября 1935 года его имя было присвоено ДУК. В 1940 году в связи с потребностями в высококвалифицированных кадрах для авиастроения ДУК был преобразован в Московский авиационный технологический институт (МАТИ), статус университета которому был присвоен в 1992 году. Нынешнее его наименование утверждено в 1996 году.

В 1962 году вследствие стремительного развития отечественной радиоэлектронной промышленности в МАТИ создан факультет №3 – ныне факультет "Информационные системы и технологии". 2012 год является годом 50-летнего юбилея нашего факультета, играющего наряду с другими подразделениями университета важную роль в создании в результате инновационной активности интеллектуальной продукции. Логическим результатом инновационной деятельности является коммерциализация разработок ученых факультета и доведение их до стадии готового продукта [1].

Все вышесказанное естественно применительно к популярному направлению научно-технического развития мировой науки – наноиндустрии, включающей хорошо известные и совершенно новые методы и технологии. Учеными МАТИ проводятся масштабные

исследования в данной области, а с 2007 года на факультете открыта подготовка специалистов по направлению "Наноматериалы и нанотехнологии".

Университет плодотворно сотрудничает с ведущими учебными заведениями, организациями и предприятиями оборонно-промышленного комплекса России, такими как ГКНПЦ им. М.В.Хруничева, ММПП "Салют", ОКБ им. П.О.Сухого, ВИАМ, ВИЛС, НПО "Авионика", АНТК им. А.Н.Туполева, НПО "Композит", НИИ точных приборов, НИИ "Радио", НПО "Энергия", НИЦ "Курчатовский институт", "Алмаз-Антей", НИИ ядерной физики МГУ им. М.В.Ломоносова, НИТУ "МИСиС", НИЯУ МИФИ.

В 2009 году МАТИ включен в число девяти российских центров по подготовке кадров для высокотехнологичных секторов экономики. В числе современных технологических подходов

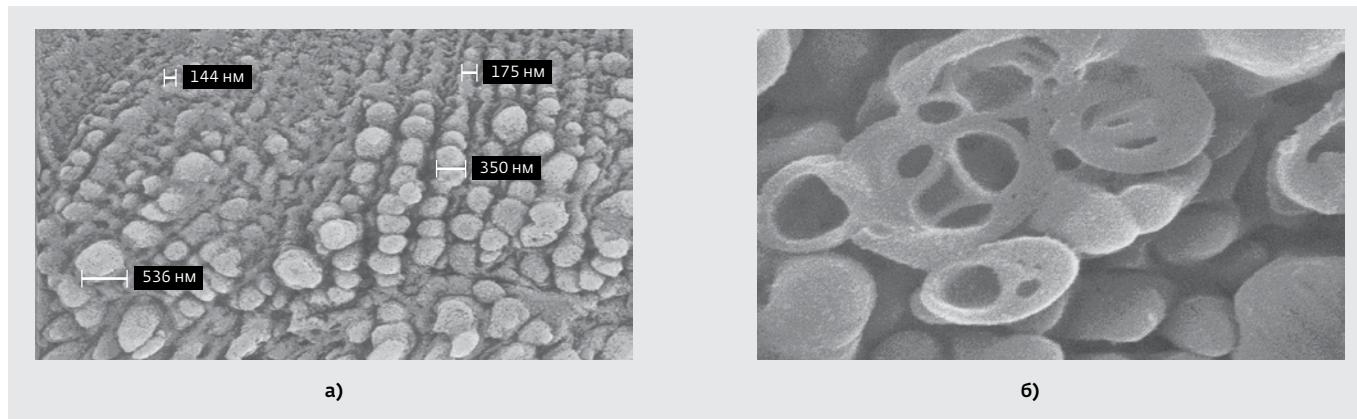


Рис.1. Внешняя поверхность МДО-слоя (а); шлиф модифицированной МДО поверхности (б) (РЭМ-фотографии)

и направлений можно отметить разрабатываемые в университете в рамках федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы", научные основы создания МЭМС и НЭМС для приборов нового поколения, изучение формирования при ионоплазменных воздействиях неравновесных, микро- и наноразмерных структур и фаз на поверхности и в приповерхностных слоях различных материалов. Совместно с НИИ КС им. А.А.Максимова (филиал ГКНПЦ им. М.В.Хруничева) ведутся работы по научно-технической программе Союзного государства и Федерального космического агентства "Разработка нанотехнологий создания материалов, устройств и систем космической техники и их адаптация к другим отраслям техники и массовому производству" ("Нанотехнология-СГ").

На факультете "Информационные системы и технологии" проводятся исследования, имеющие отношение к наноиндустрии и охватывающие практически все отрасли промышленности, включая машино-, приборостроение и энергетику. Эти работы имеют серьезное хозяйственное значение, используются

в авиационно-космической отрасли и для повышения обороноспособности страны, ориентированы и на потребности конкретных людей. Трудно выделить наиболее интересные разработки, однако следует отметить бурно прогрессирующую технологию микродугового оксидирования (МДО) [2], развитие научных и практических основ которой проводит кафедра "Технологии обработки материалов потоками высоких энергий".

МДО позволяет модифицировать поверхность изделий из легких металлов (Al, Mg, Ti, Be) формированием наноразмерных керамикоподобных композитных структур 0D-2D типов [3] (рис.1).

Благодаря трансформации металлической поверхности в нанокерамическую возможно использование легких металлов и сплавов для создания износ-, коррозионно- и термостойких изделий (рис.2, 3).

Старейшая на факультете – основанная в 1947 году кафедра "Технология производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов", заведует которой д.т.н., профессор В.Суминов, отметивший в этом году свое 80-летие. Деятельность лабораторий (рис.4)

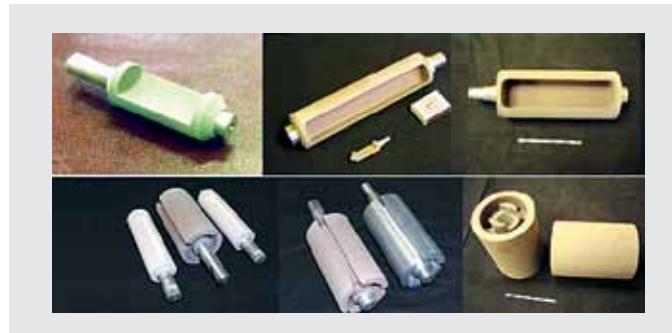


Рис.2. Детали расходомеров-дозаторов жидкостей и газов



Рис.3. Поршни двигателей с МДО-покрытием



Рис.4. В лаборатории исследований нанопроцессов

кафедры в области наноиндустрии связана с разработкой научных основ создания МЭМС и НЭМС, с использованием лазерного излучения для получения наноструктурированных технических жидких сред (рис.5), научным обоснованием алгоритмов коррекции неидеальностей колеблющихся элементов микромеханических систем.

На кафедре активно разрабатываются технологии изготовления сверхгладких подложек

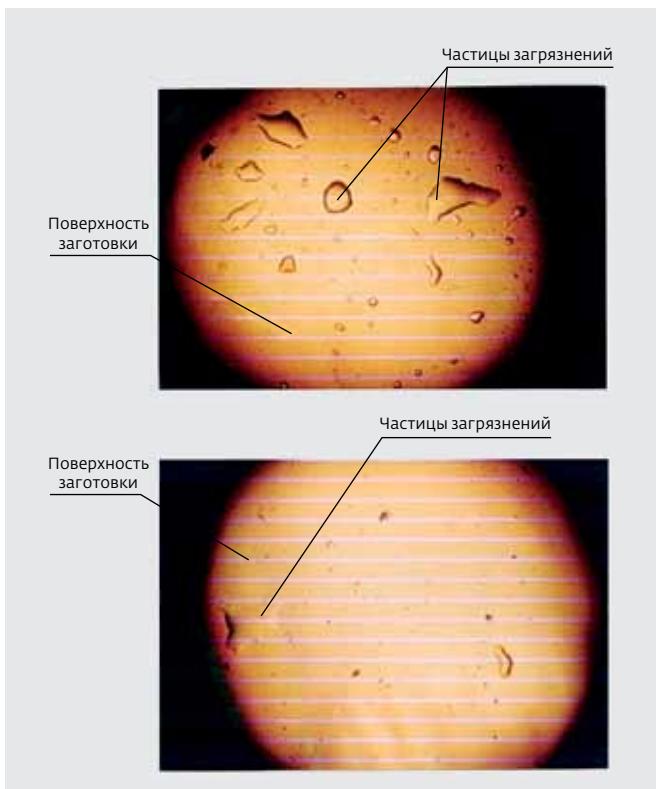


Рис.5. Жидкие среды, наноструктурированные лазерным излучением

с заданными параметрами формы и нанорельефа для оптических элементов резонаторов кольцевых лазеров гироскопов. Цель работы – создание гироскопов нового поколения с минимальной зоной нечувствительности к вращению (рис.6), предназначенных для беспилотной инерциальной навигационной системы (БИНС) с повышенными эксплуатационными характеристиками. Эта система будет использована в перспективном авиационном комплексе фронтовой авиации – ПАКФА (истребитель пятого поколения Т-50), магистральных самолетах гражданской авиации АН-148 и МС-21 и вертолетах.

Кафедра "Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии" факультета также проводит работы в области наноиндустрии. Совместно с Институтом объединенных ядерных исследований (г. Дубна) и с немецкими партнерами разра-



Рис.6. Гироскопические приборы, созданные с применением нанотехнологий

ботан ряд вакуумных ионно-плазменных установок для формирования по рулонной технологии наноструктурных покрытий (рис.7).

Перспективы этого направления – создание новых интеллектуальных материалов для энергетики, биотехнологии и медицины, отображения и обработки информации, высокоеффективных солнечных батарей и полимерных светодиодов.

Нанобиотехнология в части, связанной с наномедициной, представляет собой быстро развивающееся направление, которое базируется на последних достижениях естественных наук, главным образом биофизики, молекулярной биологии, нанотехники и нанотехнологии.

Основные направления работ в этой области:

- новые способы синтеза лекарственных средств;
- формы и средства направленной доставки лекарственных препаратов;
- новые методы диагностики с целью предотвращения эпидемий;
- биоматериалы с контролируемой на наноуровне архитектоникой поверхности для матриксов (основы нанесения и роста клеток



Рис.7. Рулонная вакуумная ионно-плазменная установка для формированияnanoструктурных покрытий

при создании имплантатов в реконструктивно-пластической хирургии), для культуральной техники и клеточных технологий;

- биологически активные фильтры и другие изделия медицинского назначения.

Среди важных достижений кафедры следует отметить следующее. Если полимер с гладкой поверхностью, например, тефлон, подвергнуть ионно-плазменной обработке ионами  $CF_4$  и на его поверхности создать рельеф заданной шероховатости, материал приобретает новые уникальные свойства. В частности, если среднеквадратическое отклонение высоты полученных микронеровностей выше 10 нм и соблюдаются определенные соотношения между высотой и радиусом основания выступов, полярным и дисперсионным компонентами поверхностной энергии, созданная структура приобретает антибактериальную активность. В результате при контакте обработанной пленки с воздухом и другими средами в них уменьшается концентрация патогенных бактерий и грибов. Более того, если создать полимерную пленку с несколько иными параметрами, то она приобретает и противоопухолевые свойства. Лекарственная повязка с такой пленкой может использоваться в качестве накожной. Как следствие, при лечении, например, раковых заболеваний кожи она просто наклеивается как лейкопластырь на пораженные участки. Благодаря приобретенным антибактериальным свойствам, такая наноструктурированная полимерная пленка может применяться в качестве упаковочного материала изделий медицинской техники, существенно

повышая срок их стерильности. Использование этой пленки в качестве изоляции кабелей тропического исполнения, будет способствовать их защите от повреждения и уничтожения бактериями и микроорганизмами. Применение ее при производстве детского питания также позволит решить многие проблемы. Антибактериальная защита особенно актуальна для обитаемых космических станций. Таким образом, диапазон применения наноструктурированных полимерных пленок простирается от парфюмерии до космоса.

Еще одно направление деятельности факультета – создание в сотрудничестве с Химическим факультетом МГУ им. М.В.Ломоносова полифункциональных композитных материалов на базе интеграции синтетических и природных наноструктурированных полимеров, например, хитозана и фуллерена 60. Хитозан – полимер из природного хитина, содержащегося в панцирях моллюсков и насекомых, например, пчел. Он биодеградирует в биологических средах (например, в человеческом организме). Фуллерен 60 – аллотропная форма углерода. Кроме хорошо известных электрофизических, оптических, адсорбционных и иных полезных технических свойствах особое место занимает возможность его применения в биологической и медицинской химии. Интеграция этих двух материалов позволяет создавать трансдермальные лечебные формы, средства адресной доставки лекарственных препаратов, существенно расширяя области их применения. Помимо противоопухолевого действия, этот биоматериал обладает антибактериальными и иммунно-модулирующими свойствами. Такая интеграция наноматериалов и нанотехнологий с современными противоопухолевыми препаратами открывает новые возможности для лечения ряда опасных заболеваний.

Перспективное направление нанобиотехнологии, по которому кафедра работает совместно с Московским научно-исследовательским онкологическим институтом им. П.А.Герцена, связано с созданием коралловых матриксов (основы) стволовых клеток, которые растут на них и вносятся в организм в месте дефекта костной ткани.

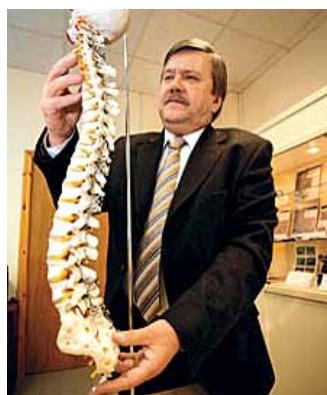


Рис.8. А.Ильин демонстрирует разработки кафедры

В результате сложных биологических процессов коралловый матрикс реминерализуется в костную ткань: формируется не протез, а почти "родная" кость человека.

Продолжение исследований в данном направлении связано с созданием биокерамического матрикса из смеси хитозана с керамикой. Ведутся работы по определению параметров поверхности коралла, необходимых для оптимизации скорости роста клеток на матриксе, а также исследования поверхности полимерной пленки хитозана, полученной с использованием ионно-плазменной обработки. Можно надеяться, что полученные результаты будут способствовать решению ряда проблем в реконструктивно-пластиической хирургии.

метров поверхности коралла, необходимых для оптимизации скорости роста клеток на матриксе, а также исследования поверхности полимерной пленки хитозана, полученной с использованием ионно-плазменной обработки. Можно надеяться, что полученные результаты будут способствовать решению ряда проблем в реконструктивно-пластиической хирургии.

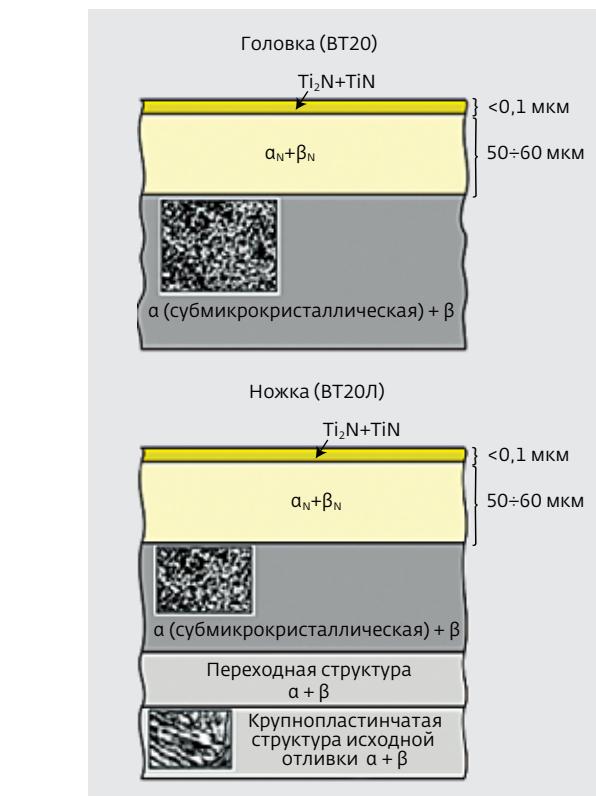


Рис.9. Формирование структуры поверхностного слоя компонентов эндопротезов из титанового сплава



Рис.10. Узел трения эндопротеза тазобедренного сустава с головкой из титанового сплава

Можно также отметить исследования в области биоцидных сред нового поколения. Разработана технология получения коллоидных растворов (гидрозолей наносеребра) в дистиллированной воде, обеспечивающая высокую равномерность и однородность распределения нанокластеров. Разработка пользуется высоким спросом в здравоохранении.

Факультет активно сотрудничает с другими подразделениями МАТИ, в частности, с кафедрой "Материаловедение и технология обработки материалов", возглавляемой академиком РАН, д.т.н., профессором А.Ильиным (рис.7). Наиболее успешные результаты были получены в области технологий обработки титановых сплавов и создания из них медицинских имплантатов.

На основе титана и титановых сплавов созданы эндопротезы тазобедренного сустава, по ряду важнейших функциональных параметров не имеющие аналогов в мире. В частности, они обладают высокой надежностью, наилучшей биологической и механической совместимостью с организмом человека. Достигается это за счет применения при производстве элементов эндопротезов инновационных нанотехнологий. Предложен комплексный подход, основанный на сочетании двух разработанных в МАТИ уникальных технологий, - термоводородной обработке (ТВО) и вакуумном низкотемпературном ионно-плазменном азотировании. ТВО заключается в обратимом легировании титановых сплавов водородом - единственным элементом, который в состоянии осуществить такое легирование во всем объеме материала в твердофазном состоянии. Благодаря уникальной



Рис.11. На вручении Премии Правительства РФ в области науки и техники

диффузионной подвижности водорода, его сильному влиянию на механизм и кинетику фазовых превращений и закономерности структурообразования, а также способности титана сорбировать и десорбировать молекулы этого элемента в достаточно больших количествах при термической обработке в вакууме удается существенно расширить управление структурой титанового сплава.

Применительно к шаровым головкам эндопротезов тазобедренного сустава с помощью ТВО во всем объеме материала создается субмикро- или нанокристаллическое структурное состояние. Это позволяет на 30–50% увеличить его твердость, что исключительно важно с точки зрения триботехнических свойств, обеспечивает хорошую способность к механическому полированию сферы головки (высокая чистота поверхности –  $R_a \leq 0,05$  мкм), создает оптимальную структуру для глубокого азотирования поверхности слоя.

Разработанная технология вакуумного ионно-плазменного азотирования позволяет получить контролируемую градиентную наноструктуру поверхностного слоя. Благодаря сравнительно низкой (500–600°C) температуре процесса удается сохранить субмикро- или наноструктурное состояние в объеме материала, а высокая энергия ионов азота обеспечивает их глубокое проникновение в металлы. В результате в поверхностном слое формируется протяженная (50–100 мкм) градиентная диффузионная зона твердого раствора азота в титане, а на поверхности – наноразмерные (< 80 нм) слои его нитридов, прочно связанные с основным материалом (рис.9). Такое состояние

обеспечивает поверхностную твердость головки на уровне керамики, высокую стойкость к износу и фреттинг-коррозии в биологической среде, не ухудшает ее чистоту и практически исключает разрушение и истирание поверхностных слоев при трении с высокой контактной нагрузкой.

Изготовленные по этой технологии головки и другие компоненты эндопротезов крупных суставов более 10 лет применяются в клинической практике ведущих медицинских учреждений России. За время наблюдений не зарегистрировано ни одного случая отказа эндопротезов по причине износа пар трения с описанными титановыми элементами. Таким образом, впервые примененные в мировой практике узлы трения таких суставов из титановых сплавов (рис.10) по надежности не уступают, а по комплексу ряда важнейших эксплуатационных параметров превосходят аналогичные изделия из альтернативных материалов – нержавеющих сталей, кобальтхромовых сплавов, керамики. В целях дальнейшего совершенствования подобных изделий ведутся работы по изучению возможности применения для обработки эндопротезов метода МДО.

Для организации предметных исследований и оказания помощи ученым в коммерциализации разработок, для приобретения навыков в продвижении научной продукции без привлечения посредников, существенного повышения эффективности творческих усилий и отдачи при внедрении разработок в структуре МАТИ организуется Центр исследований инновационных аспектов образовательных технологий (ЦИИАОТ) с функциями проведения полноценных действий и в области нанотехнологических инноваций. Основная направленность деятельности структуры – правильная ориентация инновационных действий научных работников с учетом их опыта и показателей личностной активности.

Важно отметить, что результаты работ МАТИ получили признание на государственном уровне. В 2009 году за создание оборудования и разработку технологии синтеза нанокерамических сверхтвердых композитных слоев на поверхности деталей из легких металлов и их сплавов для широкомасштабного внедрения на машиностроительных предприятиях группе ученых под руководством заведующего кафедрой "Технологии обработки материалов потоками высоких энергий" проф. И.Суминова присуждена Премия Правительства Российской



Рис.12. National University of Science and Technology, Тайвань (а); подписание меморандума (б)

Федерации в области науки и техники (рис.11). За научно-практическую и методическую разработку "Создание инновационной научно-образовательной системы подготовки кадров высшей квалификации в области нанотехнологий и наноматериалов" в 2011 году присуждена Премия Правительства Российской Федерации в области образования коллективу авторов, в состав которого вошел ряд сотрудников факультета, в том числе д.т.н., проф. В.Васин, д.т.н., проф. В.Слепцов.

К разработкам МАТИ проявляется интерес во многих странах. Сотрудники факультета активно используют различные площадки и мероприятия для продвижения и пропаганды своих возможностей. Среди них следует отметить участие в выставке-семинаре "Инновационная политика и коммерциализация результатов научной деятельности", организованной в декабре 2010 года



Министерством образования и науки Российской Федерации, Российским центром науки и культуры в Ереване, Представительством Федерального агентства "Россотрудничество" в Республике Армения.

В мае и августе 2011 года были проведены переговоры с руководством ряда университетов Тайваня. Результатом явилось подписание меморандумов о сотрудничестве (рис.12).

В ноябре 2011 года группа ученых факультета принимала участие в международном семинаре в ЮАР "Актуальные разработки в сфере нанотехнологий и современного материаловедения для реализации в совместных международных проектах". Организаторы - Международный центр научной и технической информации, Министерство науки и технологий ЮАР (рис.13). В настоящее время факультет "Информационные системы и технологии" в составе МАТИ участвует в организации Первого форума вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства России и Беларуси, проведение которого запланировано в Минске в первой половине 2012 года.



Рис.13. Презентация разработок факультета на конференция в Претории (ЮАР)

### Литература

1. B.L. Krit, N.V. Morozova. Multi-aspect nature of innovative activity in implementing science intensive technology developments. Abstr. ICSTI-Sout Africa Workshop on Nanotechnology and Materials. Pretoria, Nov. 2011, p.4-5.
2. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Крит Б.Л. и др. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов, т.2. - М.: Техносфера, 2011.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.