



ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО – ТОЧКА ОПОРЫ

*Александр Ласковнѳв,
академик-секретарь Отделения физико-технических наук
НАН Беларуси, академик*

Основным трендом мирового развития является переход к цифровым технологиям производства (Индустрия 4.0), которые основываются на комплексном применении интегрированных компьютерных средств автоматизации, моделирования и обработки информации на всех стадиях жизненного цикла изделия: планирования, разработки, изготовления, эксплуатации и утилизации. Ключевая особенность такого производства – всесторонний обмен информацией между всеми технологическими процессами – происходит исключительно в цифровом виде. В конкретном случае это означает повышение эффективности по всей цепочке создания стоимости, скорейший выход на рынок, большую гибкость и повышенную доступность управления всеми системами производства, возможность создания новой индивидуализированной (персонально ориентированной) продукции.

Цифровое производство базируется на двух главных составляющих:

- аппаратная – оборудование и технологические процессы (станки, обрабатывающие центры, промышленные роботы, автоматические линии, 3D-принтеры и т.п.) и вся компьютерная и оргтехника, обеспечивающая непосредственное программное функционирование, а также ее взаимодействие с оборудованием;
- информационная – комплекс программного обеспечения, реализующего алгоритмы формирования и управления всеми информационными потоками и процессами производства, а также создания, передачи и хранения всех данных.

Одну из ключевых позиций в этой области занимают технологии компьютерного инжиниринга: веб-проектирование и промышленный дизайн; виртуальное моделирование эксплуатационных и технологических процессов, испытаний; создание и применение цифровых двойников изделий; реверс-инжиниринг, прототипирование и 3D-печать и др.

С целью интегрирования в процесс производства компьютерного инжиниринга (то есть совершенствования выпускаемых изделий и обновления их линейки) необходимо:

- постоянно развивать компетенции промышленного дизайнера;
- создать методическое обеспечение по выполнению типовых задач;
- вырастить специалистов, владеющих современными инженерными технологиями;
- утвердить 3D-модели в статусе конструкторской документации;
- обеспечить взаимодействие испытательных и конструкторских подразделений.

Перспективы транспортного машиностроения

Основные тенденции развития транспортных средств – электрификация и интеллектуализация (автономное вождение, связь автомобиля с окружающей средой).

Преимущества электромобиля доказаны: это экологически чистый вид транспорта (при движении отсутствуют выбросы вредных веществ в атмосферу, низкий уровень шума); КПД электропривода достигает 90 % (КПД двигателя вну-

тренного сгорания 35–40 %); электродвигатель не требует больших затрат в процессе эксплуатации, имеет высокие характеристики крутящего момента и мощности, при торможении «рекуперировывает» энергию, используя ее для заряда аккумуляторных батарей.

Беларусь, как и промышленно развитые страны, стремится изменить баланс производства и потребления энергии в пользу электрической. Наличие отечественной атомной электростанции делает целесообразным перевод части наземного транспорта на электрическую тягу и организацию его серийного выпуска в стране по доступным ценам. Интерес к электротранспорту вырос повсеместно, его разрабатывают и производят практически все ведущие автоконцерны. Более того, они анонсировали цель за следующие 10 лет достичь 25 % электроавтомобилей в своей продуктовой линейке.

Специфика использования коммерческого транспорта предполагает повышенные требования по ресурсу и степени загрузки силового агрегата на протяжении всего жизненного цикла. Пока их активное применение сдерживается не-

Наша промышленность вплотную подошла к созданию собственных электрических и гибридных автомобилей в русле самых передовых тенденций мирового технического прогресса

достаточным техническим уровнем и высокой стоимостью накопителей электроэнергии. В составе же гибридных силовых установок (ГСУ) электроприводы и накопители относительно малой емкости уже дают экономию топлива от 20 до 30 % в зависимости от режима эксплуатации и типа ГСУ (последовательный, параллельный и комбинированный). Ведущие мировые производители средних и грузовых автомобилей уже создали и освоили выпуск их гибридных модификаций.

Военным структурам ГСУ (в том числе на дорогах) интересны снижением расхода топлива, бесшумным ходом на электрической тяге, что особенно важно для тактической и боевой техники.

Результатом бурного развития микропроцессорных систем и систем спутниковой навигации является интеллектуализация транспортных средств. На первом этапе в конструкцию автомобиля были внедрены компьютерные системы управления практически всеми агрегатами и уз-

лами: двигателем, тормозами, трансмиссиями, подушками безопасности и др. Водитель управляет транспортным средством через электронного посредника, который или корректирует действия, или полностью «руководит» всем процессом.

На очереди – беспилотные модели. Разработка и внедрение технологий управления как на транспортной машине, так и в элементах дорожной инфраструктуры, включая глобальные системы навигации (GPS, ГЛОНАСС), – длительный процесс. В этом направлении мир движется поэтапно, путем постепенного внедрения систем помощи водителю (ADAS) с целью повышения безопасности на дорогах за счет исключения человеческого фактора при управлении автомобилем.

В Республике Беларусь тяговый электропривод широко применяется на автомобилях ОАО «БЕЛАЗ», троллейбусах и трамваях ОАО «Белкоммунмаш». Создан отечественный образец троллейбуса с современным электроприводом и накопителем энергии, обеспечивающими автономное движение на участках без контактной сети, а в 2017 г. освоено производство электробусов. Минский тракторный завод продемонстрировал экспериментальные образцы колесных тракторов с электроприводом.

Освоили производство современных электрических машин и систем управления для них некоторые предприятия с негосударственной формой собственности, такие как ООО «Рухсервомотор», «Кэй Джи Импекс», ОДО «Стрим» и другие, поставляющие свою продукцию в том числе на экспорт. Таким образом, наша промышленность вплотную подошла к созданию собственных электрических и гибридных автомобилей в русле самых передовых тенденций мирового технического прогресса.

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси в сотрудничестве с компанией «Кэй Джи Импекс» разработан и изготовлен экспериментальный образец электромобиля на базе серийного отечественного легкового автомобиля сборки СЗАО «БЕЛДЖИ». В настоящее время электромобиль проходит испытания. Одновременно ведутся работы по улучшению его характеристик и по созданию отечественных систем помощи водителю ADAS в рамках программы Союзного государства «Автоэлектроника».

Основная задача при освоении массового производства электроавтомобилей в стране – параллельное изготовление компонентов электропривода, в

том числе накопителей энергии, силовой электроники и других элементов.

Широкое внедрение электротранспорта позволит снизить себестоимость внутригородских перевозок, улучшить экологию городов и обеспечить более равномерную загрузку энергосистемы, стимулируя массовый отбор энергии в ночные часы. В различных учреждениях республики активно разрабатывается инфраструктура и стандарты функционирования транспорта с электрическими и гибридными силовыми установками. Спрос на электромобили можно повысить путем значительного снижения их стоимости, льгот и преференций. С этой целью разработан соответствующий проект Указа Президента Республики Беларусь.

Интеллектуальное производство и инновационные материалы

Индустрия 4.0 характеризуется тем, что в качестве дизайнера и инженера практически любого продукта выступает потребитель. Теперь по его запросам можно непосредственно контролировать и управлять, а также изменять производственный процесс. В основе зарождающихся новаций лежит массовая компьютеризация и глобализация Интернета. Дальнейшее развитие производства аналитики связывают с машинным обучением и искусственным интеллектом. Сочетание робототехники и 3D-печати с Интернетом вещей в Глобальной сети и искусственным интеллектом уже сегодня позволяет создать полностью автоматизированные фабрики. Процессы сборки изделий и самосборки структур материала реализуются на разных уровнях: от атомарного моделирования макромолекул и наноструктур до послойного синтеза крупных сооружений.

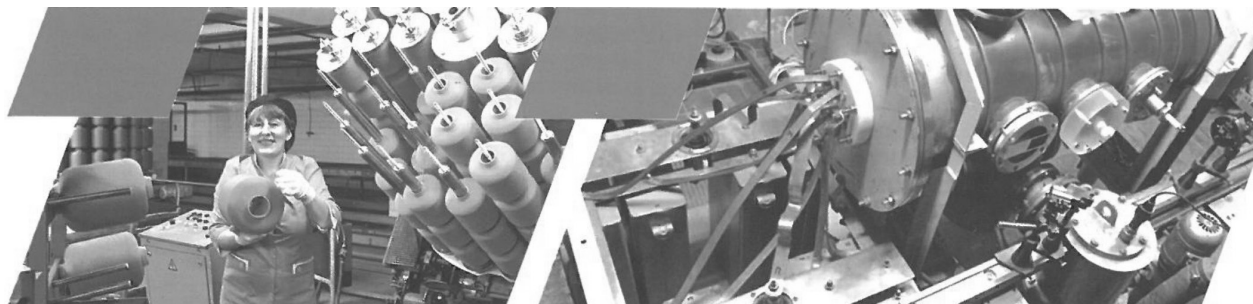
В НАН Беларуси уже разработано и серийно выпускается такое инновационное оборудование, в частности привод источника плазменной резки реализован в качестве многокоординатного манипулятора технологического комплекса плазменного раскроя материала (ГНПО «Центр»

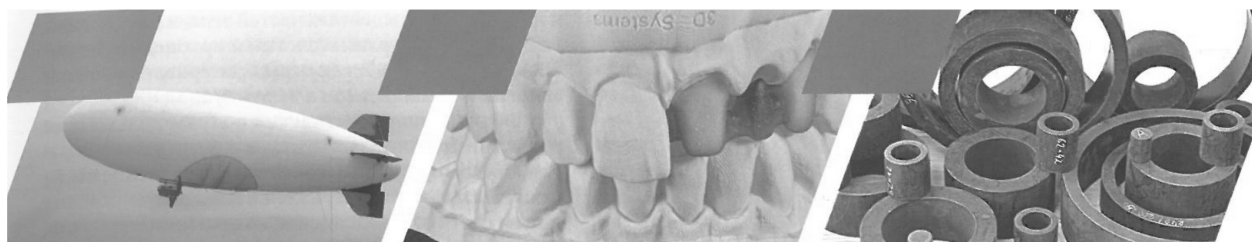
НАН Беларуси). Экструдерная система для полимерной печати управляет температурой процесса в зависимости от применяемого материала и его армирующих наполнителей (ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси). Для производства и контроля изделий в технологическом комплексе радиоэлектронного производства используется атомносиловой микроскоп, позволяющий путем индентирования и наносверления контролировать микросхемы и устранять их дефекты (совместная разработка НПО «Планар» и ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси).

В новых материалах и технологиях заинтересованы практически все отрасли промышленности, начиная от железнодорожной и автотранспортной и заканчивая аэрокосмической и атомной. Научные организации Отделения физико-технических наук НАН Беларуси стремятся к тому, чтобы соответствовать запросам индустрии и бизнеса, развивать в общем русле с лучшими мировыми достижениями фундаментальные и прикладные исследования. Яркое тому подтверждение – обзор наиболее значимых задач, которые ставят перед собой организации Отделения на среднесрочную перспективу.

Научные исследования и разработки в НПЦ НАН Беларуси по материаловедению будут нацелены на получение новых материалов, обладающих заранее заданными свойствами, и их применение в различных областях современной техники и технологий. Для электроники будут создаваться многослойные пленочные структуры на основе переходных металлов, обладающие гигантским магниторезистивным эффектом; несобственные мультиферроики с особыми электрическими свойствами; новые радиационные технологии с использованием ускорителя электронов.

В солнечной энергетике будут востребованы многослойные периодические наноструктуры взаимодействующих квантовых точек германия в кремнии и высокоэффективные светодиоды для инфракрасной области спектра на их основе, а также тонкопленочные солнечные элементы на





основе многокомпонентных полупроводников со структурой халькопирита и кестерита. Будут разработаны метаматериалы для прецизионных фотонных устройств – магнитоплазмонные кристаллы, представляющие собой металлodieлектрические гетероструктуры, содержащие слои магнитных диэлектриков с нанесенными на них перфорированными нанослоями золота.

Машиностроение получит обрабатывающий инструмент с применением композиционного материала на основе нанопорошков кубического нитрида бора; особый сверхтвердый материал – алмаз, армированный нанотрубками/нановолокнами, для изготовления уникального режущего и шлифовального инструмента, а также технологии нанесения наноконпозиционных сверхтвердых износостойких покрытий на инструмент, детали машин и механизмов.

Суперконденсаторы на основе графеноподобного углерода, разрабатываемые в НПЦ, найдут широкое применение в электроавтотранспорте. Новые магнитомягкие наномодифицированные композиционные материалы заменят дорогостоящую ламинированную сталь при производстве ряда электротехнических изделий.

Для ракетно-космической и специальной техники будут развиваться технологии формирования покрытий большой площади на основе магнитомягких слоев, обладающих высокой эффективностью защиты радиоэлектронных изделий от электромагнитного излучения и проникающей радиации.

Навигация получит магнитоуправляемые наноструктурные сенсоры на основе мультислойных структур с чередующимися слоями из ферромагнитных и диэлектрических пленок.

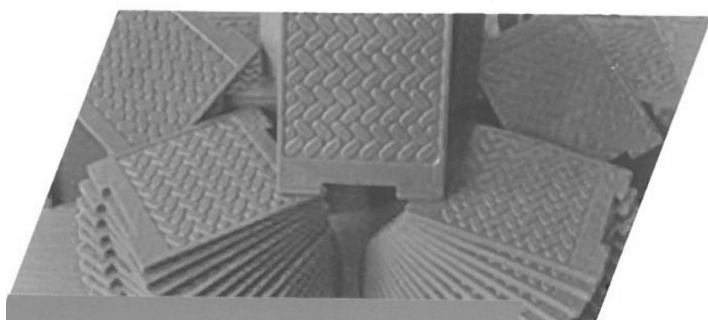
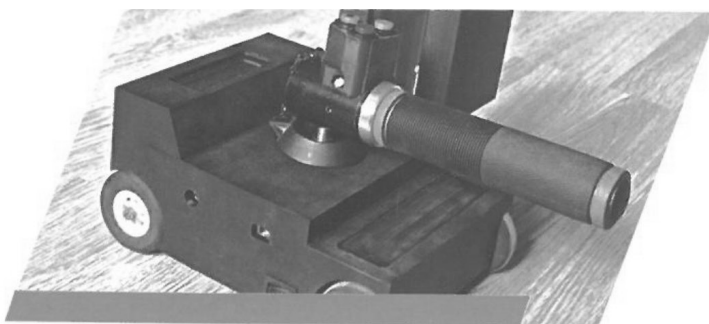
Специалисты НПЦ по материаловедению работают над созданием локализованных плазмонных наноструктур для усиления рамановского рассеяния света и повышения чувствительности рамановских спектрометров, использующихся для анализа веществ в биологии, медицине, экологии, пищевой промышленности. Планируется развивать технологии роста монокристаллов высокотемпературных сверхпроводников, полу-

проводников, мультиферроиков, алмаза, нелинейнооптических кристаллов, разрабатывать методы управления когерентной и диссипативной динамикой твердотельных спиновых и сверхпроводниковых кубитов, NV-центров в алмазе, создавать программные комплексы оптимизации технологических процессов в производстве интегральных схем.

На базе Физико-технического института НАН Беларуси ведутся разработки по новому научному направлению «Наноматериаловедение», основу которого составляют создание и исследование тонких пленок, нанопорошков, нанокристаллических материалов различной природы, таких как особо чистая керамика, композитные металлокерамические материалы, и других наноматериалов с большой поверхностной энергией, обеспечивающих создание уникальных монокристаллических структур, обладающих сегнетоэлектрическими, магнитными и другими свойствами.

Причем нередко новый материал предполагает поиск новой технологии его синтеза. Например, для получения высокочистых частиц металлов и керамики нанометрового диапазона размеров частиц высокую эффективность показывает метод горения растворов, активно разрабатываемый в ФТИ. С его помощью получают наноразмерные оксидные, бескислородные и композиционные наноматериалы с различными физическими и химическими свойствами. Они находят все более широкое применение в качестве высокоэффективных катализаторов, люминофоров для светодиодной и лазерной техники, порошков для аддитивных технологий, адсорбентов, магнитных материалов, высокопрочных био- и бронекерамических материалов, применимых для создания высокоэффективных элементов индивидуальной защиты человека, для замены и лечения поврежденных частей тела, изготовления эндопротезов в травматологии и ортопедии, разработки новых пломбирочных материалов в стоматологии и имплантатов в хирургии.

В ближайшие десятилетия получают дальнейшее развитие комбинированные вакуумные технологии, обеспечивающие «точечное» управле-



ние свойствами исходного материала на небольшую глубину или за счет создания пленок из других материалов. В основе разработок будут лежать результаты новейших фундаментальных исследований в области физики взаимодействия мощных потоков энергии с конденсированными средами, неравновесной термодинамики и инженерии поверхностей. Такие технологии широко представлены сейчас в тематике научных разработок ФТИ НАН Беларуси. Здесь создаются аддитивные технологии, а также технологии, управляющие составом формируемого материала на стадии выращивания, которые позволят получать цельные и готовые к использованию изделия сразу с требуемым градиентом механических, электрических, магнитных и других свойств, обеспечивающих уникальный набор эксплуатационных характеристик.

В планах Института технической акустики НАН Беларуси – разработка ультразвуковых аддитивных технологий изготовления деталей и конструкций. Развитие физического материаловедения позволит создать композиционные мультиферроики с гигантским значением магнитоэлектрического эффекта и материалы с аномально высокими значениями диэлектрической проницаемости (более 105) и термостабильностью. Наиболее известным видом мультиферроиков на сегодняшний день являются сегнетомагнетики. Их важнейшее свойство – возможность управления магнитными и полярными параметрами с помощью электрического и магнитного полей.

Кроме того, тематика исследований Института ориентирована на создание новых современных технологий для машиностроительного комплекса, энергетики, приборостроения, производство изделий медицинского назначения. Среди перспективных направлений – разработка высокоэффективных процессов и устройств обработки материалов, новых функциональных материалов для повышения качества выпускаемой продукции, снижения себестоимости и повышения уровня безопасности производств с использованием мощного ультразвука. Для решения этих задач обра-

зован Республиканский центр ультразвуковых технологий.

В Институте тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси активно ведутся фундаментальные исследования в области теплофизики, физики плазмы, горения и взрыва, химической физики, гидро- и газодинамики, нанотехнологий, численного моделирования физико-химических и энергообменных процессов, мембранных технологий, синтеза новых материалов.

В качестве ключевых тем выделены: развитие высокоскоростных методов оптической диагностики фемтосекундного разрешения, необходимых для разработки двигательных и энергетических систем нового поколения; создание новых видов топлива; изучение гиперзвукового движе-

Отделения физико-технических наук НАН Беларуси стремятся к тому, чтобы соответствовать запросам индустрии и бизнеса, развивать в общем русле с лучшими мировыми достижениями фундаментальные и прикладные исследования

ния тел в химически реагирующих газах с целью проектирования двигателей и понимания процессов в проточной части гиперзвуковых летательных аппаратов.

Перспективны разработки новых методов структурно-фазовой модификации поверхностных свойств различных материалов, позволяющие улучшать эксплуатационные характеристики конструкционных и инструментальных сталей, твердых и легких сплавов, полупроводников, недоступных для других способов обработки. Продолжатся фундаментальные исследования по созданию научных основ получения высокотемпературных керамических материалов двойного и специального назначения с уникальными характеристиками, а также работы, связанные со следующим поколением материалов для синтеза мелкодисперсных порошков тугоплавких соединений и их применения в высокотехнологичных производствах, в том числе на основе аддитивных технологий. Особое внимание будет уделено разработке новых физико-математических моделей для численного описания процессов переноса энергии и вещества в системах со стохастической структурой, на микро- и мезомасштабах, в том числе в областях, недоступных для экспериментальных измерений, развитию принципов

получения энергонасыщенных компрессионных плазменных потоков в квазистационарных ускорителях нового поколения. Использование таких систем важно для решения ряда задач управляемого термоядерного синтеза (инжекция плазмы в магнитные ловушки), для ускорения макрочастиц в вакууме.

ИТМО работает над совершенствованием линейки оптического оборудования нового поколения для создания автоматизированных производств высококачественных прецизионных оптических изделий из стекла, нелинейных оптических кристаллов, металлов, полупроводниковых материалов. Планируется организовать выпуск особо ответственных изделий, включая детали крупногабаритной астрооптики, и экспортировать их на международный рынок.

В качестве нового направления определены комплексные исследования по разработке диагностических и терапевтических методов борьбы с наиболее распространенными заболеваниями.

Работы над новыми, в том числе импортозамещающими материалами различного функционального назначения ведутся в Институте химии новых материалов. Это полимеры, катализаторы, красители, материалы для ИТ-индустрии, 3D-печати и др. В их числе технология комплексной переработки углеводородного сырья (высоковязких тяжелых нефтяных остатков, битумов, угля) и биомассы (древесные отходы, водоросли) с использованием разработанных нанокатализаторов, которая позволит достичь 100%-ной глубины переработки сырой нефти, уменьшить ее расход, а также получить кислород- и азотсодержащие продукты для нефтехимического синтеза.

На основе лесохимического сырья планируется создать наукоемкие импортозамещающие материалы для фармацевтики и медицины, электроники, полиграфии, металлообработки, целлюлозно-бумажной, полимерной и шинной промышленности, а также технологии глубокой переработки скипидара и канифоли с использованием природных алюмосиликатов.

Будут получены мультислойные полифункциональные наночастицы биологически активных веществ (БАВ) со структурой ядро/оболочки, в котором ядро – магнитные наночастицы (НЧ), функционализированные БАВ, а оболочки – НЧ Au, Ag, CeO₂ и биосовместимые полимеры, содержащие активные группы для связывания БАВ. На

основе природных, синтетических и искусственных полимеров пролонгированного действия и целевой доставки будут созданы тонкопленочные материалы с необходимыми свойствами, которые найдут применение в качестве защитных и смазочных покрытий в прецизионных узлах трения и микроэлектромеханических системах; в качестве носителей мезенхимальных стволовых клеток; для модификации поверхности с целью придания ей необходимой смачиваемости, шероховатости, бактерицидности.

Значительно увеличить пропускную способность существующей оптоволоконной инфраструктуры систем телекоммуникации позволят жидкокристаллические материалы с отрицательной дисперсией двулучепреломления и их текстурированная ориентация новыми высокочувствительными фотоориентантами, разрабатываемые в ИХНМ.

В Институте механики металлополимерных систем им. В.А. Белого интенсивно ведутся исследования и разработки в области управления структурными элементами на молекулярном и наноуровне, создания материалов с заданными структурой и функциональными свойствами. Они востребованы всеми отраслями отечественной промышленности, поскольку обладают уникальными прогнозируемыми характеристиками. Учеными Института созданы композиты на основе полиалкилентерефталатов, в том числе стеклоармированные, которые применяются в электротехнической отрасли. Технологии получения модификаторов ударной вязкости и ударопрочных материалов на базе алифатических полиамидов, трубок для пневмосистем используются в автотракторном секторе; ингибированные и эластичные композиции, полимерные материалы триботехнического назначения, в том числе смесевые и самосмазывающиеся, — в машиностроении.

Согласно прогнозам, в ближайшие годы будут востребованы композиты с электретыми, магнитными свойствами, обладающие эффектом структурной памяти, радиопрозрачностью,

высокими оптическими характеристиками, восприимчивые к передаче оптической и магнитной информации, направленно изменяющие свои свойства при воздействии лазерного и ионизирующего излучения.

Ученые ИММС включились в процесс разработки таких материалов, а также занимаются технологиями изготовления эластомеров, наращивают объемы производства продукции на их основе, расширяют ассортимент ПМК конструкционного назначения на базе отечественных термопластов, полимерных смесей и огнестойких композитов. Бурное развитие nanoиндустрии подтолкнуло исследователей к созданию технологий полимерных нанокомпозитов, в их числе углеродные наноматериалы и органоглины. Институт планирует заняться разработкой аддитивов и организацией на их основе малотоннажных производств функциональных добавок-совместителей для полимерных смесей, модификаторов ударной вязкости, пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов, стекловолоконистых и углеродных наполнителей, технологических смазок. В планах исследования по разработке биodeградируемых смазочных материалов на основе растительного сырья и жиров животного происхождения, пластичных композитов, в том числе высокотемпературных из побочных продуктов нефтепереработки. Большое внимание будет уделено технологии производства антифрикционных фторопластовых композитов группы «Флувис», расширению номенклатуры и объемов их выпуска для химической и нефтегазовой промышленности, лазерной технологии получения волокнисто-пористого фторопласта-4 «Грифтекс» и фильтрующих элементов на их основе.

Обнаруженный в Институте механики металлополимерных систем эффект синергетического упрочнения термопластичных полимеров будет использован для создания полимерных композитов конструкционного назначения с рекордными характеристиками (упругость не менее 25 ГПа, механическая прочность до 300 ГПа) и управ-



ляемой реологией расплавов. Развитие данного направления позволит создать новые суперударопрочностные, теплопроводные, высокомодульные и атмосферостойкие, огнестойкие безгалогенные, суперизносостойкие и прочие композиты специального назначения для кабельной продукции. Особого внимания заслуживает планируемая разработка теплопроводных материалов, остро востребованных в микроэлектронике, светодиодной технике и других современных технологиях.

Приоритетным направлением научной деятельности коллектива Института порошковой металлургии НАН Беларуси является исследование технологий и создание оборудования для соединения материалов различными способами, обеспечивающими при формировании изделия сплавы с заданными свойствами, нанесение покрытий, наплавку, применение нанотехнологий и др.

В задачи ученых входят также исследования и разработка новых керамических материалов и изделий из них на основе карбидо-кремниевых соединений, создание новых композиционных фрикционных материалов для передаточных и тормозных узлов современных машин, получение сферических порошков различного назначения, в том числе и для 3D-технологий. Ведется работа по созданию роботизированных комплексов и технологий для формирования газотермических высокопрочных и плотных покрытий из нано-, микро- и аморфных порошков, включающих металлы, сплавы, керамики, исследуются закономерности формирования заданной структуры новых пористых материалов – стеклоглестера, капиллярных структур мини- и контурных тепловых труб, а также технологий получения магниевых сплавов с высокими эксплуатационными свойствами для литья под давлением.

Контроль состояния объектов

Беларусь обладает развитым промышленным комплексом, производящим высокотехнологическую продукцию, неизменными характеристиками которой должны быть качество и безопасность. В этом научном направлении комплексные работы ведет Институт прикладной физики НАН Беларуси. Новые технологии ставят новые задачи и требуют новых методов неразрушающего контроля и технической диагностики мониторинга технического состояния сложных и потенциально опасных объектов промышленности, энергетики, строительства. Ожидается, что дальнейшее развитие получат методы, ориентированные на ви-

зуализацию внутренней структуры исследуемых объектов посредством рентгеновского, микроволнового и терагерцового излучения и ультразвука, а также их совместного применения для увеличения разрешающей способности томографов до микро- и наноразмеров.

В ИПФ разрабатываются методы томографии сложных технических изделий с применением вычислительной диагностики, реконструкции динамических изображений внутренней структуры нестационарных объектов с приложениями для технической и медицинской томографии, исследуются новые физические принципы рентгеновской томографии, изучаются вопросы повышения достоверности выявления дефектов современных конструкционных и новых материалов (композитов, керамики, углепластиков и др.), имеющих сложную конфигурацию, неоднородное внутреннее строение. Планируется создать отечественный промышленный рентгеновский томограф для трехмерной визуализации, дефектоскопии и размеромерии изделий для строительной отрасли и медицины. В числе разработок – портативный радар для цифрового представления внутренней структуры строительных конструкций, обнаружения различных дефектов, неоднородностей (инородные диэлектрические и металлические включения, арматура, сейфы, тайники).

Большой интерес представляют собой технологии замкнутого цикла на основе микроволновой и рентгеновской 3D-томографии, которые предполагают создание САЭ-образа объекта, его полный контроль в виртуальном режиме, определение различных дефектов (сплошности и геометрических), что в целом обеспечивает замкнутый автоматизированный производственный цикл и получение высококачественного изделия.

Сотрудниками ИПФ НАН Беларуси создана система автоматического мониторинга строительных конструкций, обеспечивающая более высокую по сравнению с зарубежными аналогами достоверность оценки остаточного ресурса за счет использования новых алгоритмов прогнозирования состояния конструкций по результатам многосенсорных измерений. Она внедрена на знаковых столичных объектах – Минск-Арена, Чижовка-Арена, Центр фристайла, высотные здания «Парус» и «Грин-Сити».

Перспективная задача – развитие систем непрерывного мониторинга для объектов различной природы на основе автономных беспроводных датчиков, в том числе на базе технологии са-

мовосстанавливаемых распределенных сетей. В качестве примера можно привести систему вибродиагностики энергетического оборудования, не требующую прокладки новых или дополнительных коммуникаций, с датчиками, питающимися за счет преобразования энергии механических колебаний в электричество. В ИПФ разрабатываются методики и алгоритмы для получения и обработки динамических изображений объектов в реальном времени, реконструкции трехмерных изображений и др. Планируется применять их для биомедицинских исследований, для мониторинга состояния ионосферы с реконструкцией полей концентрации электронов над территорией республики на основе данных высокоорбитальных спутниковых систем, что даст возможность повысить устойчивость радиосвязи, достоверность прогнозирования природных явлений; в военно-промышленной отрасли.

Таким образом, состояние и перспективы развития компьютеризированного производства, материалов позволяют говорить о формировании концепции «цифровой фабрики», в которой аддитивные и нанотехнологии являются определяющим звеном системы, включающим развитые подсистемы: 3D-проектирования и управления производством и потреблением, начиная от моделирования изделия, материалов и компонентов в соответствии с новыми технологическими возможностями и заканчивая получением и эксплуатацией функционально ориентированной продукции.

Достижения Отделения физико-технических наук НАН Беларуси свидетельствуют о результативности отечественных разработок в области материаловедения, а также высоком уровне автоматизации и компьютеризации с помощью создания и широкого использования мехатронного оборудования, систем цифрового проектирования и моделирования, технологической подготовки и управления производством. Это обеспечивает повышение производительности труда, точность обработки и стабильность качества изделий, решает ряд проблем социального характера.

