



СЕМИНАР МААН СТРАН СНГ «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ»

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины 15 мая 2008 г. проходил семинар «Наноматериалы и нанотехнологии их получения» Международной ассоциации академий наук (МААН) стран СНГ, одной из общественных организаций, координирующей усилия различных научных центров. В ходе его работы были заслушаны 12 научных докладов, которые показали текущее состояние нанотехнологии, обеспечивающей прогресс во многих областях деятельности человека.

Основная цель семинара — ознакомить научную общественность с новыми результатами исследований структуры и свойств наноматериалов, процессов их изготовления.

Под термином «нанотехнология» понимают создание и использование материалов, устройств и систем, структура которых регулируется в нанометровом масштабе и которые могут быть созданы искусственным путем. Они характеризуются новыми физическими, химическими и биологическими свойствами и связанными с ними явлениями. Специфичность нанообъектов обусловлена размерами элементов их структуры, соответствующими средним размерам атомов и молекул обычных материалов. Изменения характеристик связаны также с проявлением квантово-механических эффектов, волновой природой процессов переноса и доминирующей ролью поверхности раздела. К нанообъектам в настоящее время относят как индивидуальные частицы, пленки, стержни, трубки, так и консолидированные наноструктурные и нанопористые материалы вместе с нанокомпонентами и наноустройствами.

Редакция журнала, учитывая актуальность темы семинара, сочла полезным кратко осветить материалы докладов, посвященные результатам анализа наномасштабных явлений и процессов, создания научных основ получения наноматериалов, включая процессы самосборки и самоорганизации, прогнозам материаловедов на текущее десятилетие о тенденциях развития фундаментальных и прикладных работ в области нанотехнологии. Можно с уверенностью констатировать, что пристальное внимание ученых к нанообъектам отражает важность и актуальность данного направления науки и техники, результаты которого станут основой для разработки новых технологий в области физики и химии конденсированных сред, материаловедения, биологии, медицины, экологии, электроники, энергетики.

Доклад **«Конструкционные наноматериалы и наноматериалы со специальными свойствами»**

был представлен генеральным директором ФГУП «ВИАМ» академиком РАН *Е. Н. Кабловым*. В нем приведена развернутая классификация наноматериалов, получивших в настоящее время признание, и предполагаемые области их применения. Основой классификации является размерный параметр структурных составляющих.

В докладе отмечалось, что исследование структуры, свойств и технологий получения наноматериалов в Российской Федерации идет по нескольким направлениям. Они посвящены фундаментальным особенностям наносостояния, включая влияние размерного фактора, анизотропии и размерности, морфологические и структурные особенности наноструктур; новым подходам к созданию наноматериалов, включая процессы самосборки и самоорганизации; исследованию взаимодействий в ансамблях наночастиц; моделированию наноматериалов и процессов их формирования. Полученные результаты стали базой для многочисленных разработок наноструктурных наполнителей, упрочнителей и волокон для наноматериалов и композитов конструкционного назначения (фуллерены, нанотрубки, астралены), а также технологии их получения, очистки, модифицирования, диспергации и т. п. Разработаны полимерные конструкционные нанокомпозиты, организация наноструктурной матрицы которых осуществляется путем введения наночастиц с привитыми к ней функциональными группами, например, дендримера или гептиламина. Они способствуют равномерному распределению наночастиц в объеме связующего вещества и фиксации их в составе матрицы, что обеспечивает благоприятное изменение структуры матрицы, приводящее к качественному улучшению конструкционных и эксплуатационных свойств. Проиллюстрированы некоторые новые подходы, которые позволили разработать технологию изготовления конструкционных молниезащитных покрытий, содержащих углеродные наночастицы (астралены, фуллерены), для конструкций планера летательных аппаратов из углепластика. Представлены данные о возможности выполнения «наносборки» высокотемпературных керамических композиционных материалов и покрытий с применением золь-гель технологии. Показано, что образование на границе раздела наноразмерных (50...100 нм) барьерных слоев на основе сформированных фаз обеспечивает эффективность защитного действия покрытия (вплоть до 2000 °С). Технология создана на принципе химического захвата кислорода воздуха активными компонентами и сни-



жения скорости его диффузии через образующиеся сложные тугоплавкие фазы. Результатом изучения влияния мисфита (размерного несоответствия периодов решеток фаз) на длительную прочность сплавов на основе алюминиды никеля стало появление новых жаропрочных монокристаллических сплавов, упрочненных наноструктурированными фазами. Приведены научные основы создания наноструктурных ионно-плазменных защитных и упрочняющих покрытий с чередующимися слоями (от 20 до 500 нанослоев) общей толщиной 5...150 мкм. Показаны области их применения.

В докладе *И. В. Горынина, С. С. Ушкова, П. А. Кузнецова* «Создание новых конструкционных и функциональных наноматериалов» (ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей») проанализировано влияние состояния и размеров структурных составляющих на магнитную проницаемость, коэффициент диффузии, предел растворимости при 293 К, модуль Юнга, твердость новых наноструктурных материалов. Представлены основные подходы к получению конструкционных наноматериалов. Перечислены основные технологии их изготовления: управляемое создание наноструктуры в объеме материала путем использования прецизионной термической обработки, интенсивной пластической деформации, введения наночастиц; получение исходных материалов путем дезинтеграторно-активаторной технологии измельчения, высокоскоростной закалки из расплава, получения нанопорошков химическим, плазмохимическим, электроискровым и другими методами; направленное создание материала путем лазерного послойного получения материала заданного состава, структуры и формы, а также спекания материала в присутствии электрического поля; инжиниринг поверхности материала по технологиям нанесения функционально-градиентных покрытий, поверхностной обработки и упрочнения; соединение материалов с использованием лазерных и гибридных способов сварки, а также сварки трением. Приведена схема управления процессов формирования наноструктуры в объеме материала при термическом воздействии (специальной термомеханической обработки, прецизионной термической обработки) или интенсивной пластической деформации в условиях сдвига под высоким давлением, равноканального прессования прутков, накопительной прокатки листов, равноканальной угловой прокатки листов. Подчеркнуто, что исходные материалы могут быть изготовлены с помощью уникального оборудования для получения нанокристаллических и наноразмерных порошков универсальным дезинтеграторно-активаторным (УДА) методом. Исходные материалы изготавливаются также по технологии плазмохимического синтеза нанопорошков, которые выполняются путем объемного модифицирования расплавов металлов и сплавов, получения функционально-градиентных наноструктурных покрытий,

компактирования нанопорошков. Приведена схема химических технологий получения нанопорошков: оксидных, гидроксидных, металлических, нитридных, солей металлов. Рассмотрена последовательность лазерного синтеза, с помощью которого можно формировать объемное изделие по заданной трехмерной модели (3D). Рассмотрены особенности инжиниринга поверхности различными методами напыления: микроплазменным, детонационным, ионно-плазменным, магнитронным распылением, электродуговым легированием поверхности, сверхзвуковым холодным газодинамическим напылением. Приведены некоторые изделия, полученные указанными методами напыления, а также области их применения. Отмечены преимущества таких покрытий: износостойкость, коррозионностойкость, снижение коэффициента трения, хорошая воспроизводимость, исключение самосваривания. Представлены технологические схемы соединения наноматериалов в твердой фазе и в условиях лазерной и гибридной сварки. Показаны некоторые установки, позволяющие выполнять диагностику наноструктурированных материалов и их соединений.

Академик НАН Украины *Б. А. Мовчан* (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины) представил доклад на тему «**Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме**». В нем сформулировано терминологическое определение понятия «нанотехнология» и приведена краткая историческая справка развития электронно-лучевой гибридной нанотехнологии получения материалов, покрытий и изделий. Представлены схема и некоторые параметры электронно-лучевого испарения неорганических веществ (железа, сплавов никеля, графита, оксида циркония). Показаны технологические варианты его выполнения из медных водоохлаждаемых тиглей простой и комбинированной конструкции. Приведена схема продольного сечения получаемого композитного слитка. Проанализированы технологические возможности процессов испарения и конденсации из одного, двух и более источников с рефлекторами и смещением паровых потоков для конденсации в объеме. Представлены образцы электронно-лучевых установок, разработанные и изготовленные в Международном центре электронно-лучевой технологии, которые успешно эксплуатируются в США, Канаде, Китае и Индии. Рассмотрены температурные аспекты формирования структуры конденсатов. Показаны температурные интервалы, в которых структура конденсатов может быть аморфной или нанокристаллической, неравновесной столбчатой, равноосной зеренной, а также условия, при которых происходит полное реиспарение исходного материала. Представлены зависимости критической температуры подложки от скорости конденсации различных металлов (титана, железа, никеля, меди). Отмечено, что технология осаждения

паровой фазы позволяет получить разнообразную структуру материалов и покрытий: одно- и многофазную, многослойную, пористую, градиентную, а также особые структуры — нанотрубки, наностержни, наночастицы и др. При этом подчеркивается, что толстые конденсаты можно получить как в виде покрытий, так и фольги, листа, пластин для последующей обработки. Имеется возможность также получить толстые конденсаты и в виде дискретных структур (нанопорошков и наножидкостей). Размеры зерен, частиц, фаз, пор, толщин микрослоев можно варьировать в широких пределах: от нескольких нанометров до 5...10 мкм. Показаны структурные особенности наночастицы Fe_3O_4 в магнитных жидкостях, слойных структур $TiAl/Ti$, пористого титана, пористого TiC , пропитанного медью, наноструктуры $TiC(Sn)$, оксида ZrO_2 , кермета $ZrO_2(7Y_2O_3) + 10 \text{ мас. \% Ni}$. Рассмотрены примеры градиентного термобарьерного покрытия, которые характеризуются высокой надежностью и долговечностью при существенном снижении стоимости изготовления по электронно-лучевой технологии по сравнению с существующими многостадийными технологиями получения термобарьерных покрытий, структурный элемент твердооксидной топливной ячейки, а также структура оксида Al_2O_3 и конденсатов углерода. Представлена классификация функциональных покрытий, конструкционных покрытий и изделий, материалов и полуфабрикатов, которые можно получить, используя электронно-лучевую гибридную нанотехнологию и соответствующее оборудование. Подчеркнута главная особенность новой технологии — возможность осуществления твердотельного синтеза материала по заранее заданной последовательности структур.

В докладе *М. И. Алымова* (ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН) «**Консолидированные объемные металлические наноматериалы**» рассмотрены механизмы консолидации нанопорошков и условия получения объемных материалов в зависимости от давления, температуры и времени. Приведена модель начальной стадии спекания металлических нанопорошков по механизму коагуляции, обусловленной термофлуктуационным плавлением отдельных частиц и разработанная методика оценки вкладов механизмов спекания.

Представлена конструкция реторты для печи ИМЕТРОН, в которой происходит формирование объемного материала. Разработан химико-металлургический метод получения нанопорошков узкого фракционного состава с малым содержанием примесей, заключающийся в механической активации прекурсоров и их последующей обработке в водороде (в случае получения металлических и металлокерамических порошков) или на воздухе (в случае получения оксидных порошков). Показаны зависимости среднего размера частиц порошка от продолжительности прекурсора, а также влияние темпера-

туры синтеза и свойств материала на минимальный размер восстановленных частиц. Отмечено, что к методам консолидации нанопорошков следует отнести: прессование с последующим спеканием, спекание под давлением, экструзию, горячее изостатическое прессование.

Приведены примеры технологии получения объемных наноматериалов методами спекания нанопорошков под давлением в результате объемной диффузии от поверхности; зернограничной диффузии от границы раздела; объемной диффузии от границы раздела; переноса вещества через газовую фазу; поверхностной диффузии от поверхности. Рассмотрены кинетика и механизмы спекания нанопорошков (меди, железа, никеля) в водороде. Подчеркнуто, что энергия активации спекания может быть повышена в результате вязкого течения, поверхностной и зернограничной самодиффузии. Рассмотрены методы спекания нанопорошков под давлением путем осадки, газовой экструзии, горячего изостатического прессования. Приведены схемы установок для их реализации. Представлены микроструктура и механические свойства некоторых объемных наноматериалов. Показаны образцы объемных изделий в виде пластин, стержней и дисков. Рассмотрены области применения твердых сплавов для инструментов, тяжелых вольфрамовых сплавов для сердечников броневой брони, оптически прозрачных лазерных керамик на основе оксида иттрия и литийфтористых керамик, магнитных материалов, композиционных материалов со специальными свойствами.

Доклад *К. В. Григоровича* (ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН) «**Физико-химические основы разработки и оптимизации технологий получения специальных сталей**» был посвящен анализу возможности и преимуществ нового метода фракционного газового анализа, который является модификацией метода высокотемпературной экстракции кислорода и азота из образца в несущем газе при заданном режиме нагрева. Приведены физико-химические модели, алгоритмы и программное обеспечение, составляющие операционную основу метода. На основе сравнительных исследований содержания примесных элементов, микро-, макроструктуры и загрязненности неметаллическими включениями различных марок рельсовой стали, изготовленные различными производителями, были отработаны более совершенные требования к выпускаемым маркам. Полученные результаты позволили установить значения критических параметров металлургической чистоты рельсовой стали по оксидным включениям, повышенное содержание которых является причиной преждевременной повреждаемости стали в процессе эксплуатации; выработать современные требования к чистым сталям, которые используются в качестве клапанных пружин автомобилей, железнодорожных



рельсов, магистральных трубопроводов, подшипников электротехнического назначения.

Приведены результаты исследований наноразмерных порошков карбидов вольфрама, полученных по двухстадийной технологии. Анализ показал, что содержание кислорода может считаться стандартным, если в расчете на единицу поверхности составляет $0,04...0,07$ мкг/см². Это соответствует покрытию порошинок монокристаллическими слоями кислорода.

В докладе *А. П. Шпака, В. В. Маслова* (Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины), *В. Н. Варюхина, В. И. Ткача* (Донецкий физико-технический ин-т им. А. А. Галкина НАН Украины) «**Формирование аморфных и наноструктурных состояний и свойства металлических нанокм-позитов**» были установлены взаимосвязи термической предыстории расплава с особенностями атомного строения аморфных сплавов различного химического состава и характером протекающих в них при нагреве кристаллизационных процессов с последующей разработкой на базе установленных закономерностей и механизмов новых функциональных и конструкционных аморфных сплавов и нанофазных композитов. Рассмотрен характер отдельных этапов их кристаллизации и образования метастабильных и стабильных фаз. Показано, что скорость охлаждения влияет на образование замороженных центров («закалочных зародышей») при аморфизации расплава. Отмечено, что аморфные ленты большой толщины (меньшие скорости охлаждения) менее устойчивы, т. е. являются более подготовленными к переходу в кристаллическое состояние в результате большей объемной плотности замороженных центров. Введение небольших легирующих добавок стабилизирует аморфную структуру базовых сплавов и замедляет процесс превращения из аморфного в кристаллическое состояние. Механизм воздействия растворимых примесей заключается в оттеснении их межфазной поверхностью и создании вблизи нее обогащенного примесного слоя (концентрационного градиента), который тем эффективнее лимитирует рост возникающих кристаллов, чем меньше коэффициент их распределения, т. е. чем менее растворимы примеси в металле-основе. Подчеркнута важность этого условия при управлении процессом формирования нанокристаллических состояний в аморфных фазах. Приведены сведения о температурной зависимости доли превращенного объема в FM-сплавах различного химического состава, а также кинетика перехода из аморфного в нанокристаллическое состояние в модели Колмогорова–Джонсона–Мела–Авраами. Отмечено, что немонотонный характер изменений малоуглового рассеяния указывает на определяющий вклад в превращение стадии роста нанокристаллов по сравнению со стадией их образования. Предложено кинетическое уравнение, которое учитывает этап первоначально свободного роста нанокристаллов и после-

дующий этап наложения («мягкого» столкновения окружающих их диффузионных зон). Модель адекватно описывает кинетику нанокристаллизации в сравнении с классической моделью. Приведены магнитные свойства разработанных аморфных и нанокристаллических сплавов, а также уровень и температурная стабильность начальной магнитной проницаемости в сравнении с промышленными магнитомягкими сплавами. Проанализированы возможности использования аморфных и нанокристаллических магнитопроводов в качестве высокочувствительных датчиков феррозондовых магнитометров, измерительных трансформаторов тока высокого класса точности, высококлассных компактных фильтров, дросселей дифференциальных фильтров сверхмалых размеров, электронно-оптических информационных систем отображения и мониторинга и т. д.

Л. М. Куликов из Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины в докладе «**Нанохимия слоистых дихалькогенидов *d*-переходных металлов: новые возможности создания многофункциональных наноматериалов на их основе**» рассмотрел особенности кристаллической структуры слоистых дихалькогенидов *d*-переходных металлов: дисульфата молибдена, дисульфата тантала интеркалированного железом, многостенные нанотрубки WS₂. Приведен перечень перспективных многофункциональных наноматериалов на основе дихалькогенидов *d*-переходных металлов.

Представлены параметры элементарных ячеек и средние размеры частиц нанокристаллических слоистых дихалькогенидов *d*-переходных металлов и их интеркаляты, полученные диспергированием микронных порошков. Средние размеры анизотропных наночастиц при этом эффективно регулируются в широких интервалах (для кристаллографических направлений [013] и [110]). Доминирующее влияние на рост анизотропных наночастиц имеет температура отжига. Показаны особенности структуры и магнитные свойства слоистых нанообъектов и их интеркалятов, а также степень их разупорядочения при ультразвуковой обработке (кавитационные режимы) в различных средах.

Показано, что интеркаляция водородных наносистем типа 2H–WS₂ проходит более интенсивно, чем 2H–MoS₂. Это приводит к образованию гомогенных, нанокристаллических водородных интеркаляционных фаз. Представлены механизмы адсорбции кислорода и окисления на воздухе слоистых наноструктур. Проиллюстрированы трибологические свойства масла И–20 с добавками наносмазок 2H–MoS₂ и 2H–WS₂. Отмечено, что значения его износостойкости успешно коррелируют со средними размерами анизотропных наночастиц. Отмечается, что результаты исследования позволяют ожидать увеличение ресурса работоспособности узлов трения в 1,5...2 раза при эксплуатации в условиях



повышенных температур (260...490 К), высоких нагрузках и умеренных скоростях, которые характерны для авиакосмической техники, металлургической, цементной и других отраслей промышленности.

В докладе *В. Е. Юдина* (Ин-т высокомолекулярных соединений РАН) «**Влияние структуры и геометрии наночастиц на вязкоупругие, барьерные и электрические свойства нанокомпозитов**» представлены результаты исследования взаимосвязи механических свойств полимеров и многокомпонентных полимерных систем с их химическим строением, надмолекулярной организацией и композиционным составом. Показаны особенности деформирования и разрушения полимеров и композиционных материалов на их основе. Приведены данные о разработках структурированных матриц, которые модифицированы углеродными, керамическими или металлическими наночастицами. Рассмотрены также структурные аспекты силикатных и углеродных наноразмерных частиц различного состава, структуры и морфологии. Отмечены новые модификации поверхности силикатных нанотрубок и термостойкие матрицы для нанокомпозитов. Дан сравнительный анализ методов получения нанокомпозитов по обычной и расплавленной технологии. Показаны преимущества последнего — отсутствие растворителей, скорость получения, высокая вероятность промышленного использования. Представлен диапазон оптимальной дисперсии наночастиц в объеме композита. Рассмотрен порог перколяции для эллипсоидов и стержней, особенности реологии олигомида, наполненного силикатными или углеродными наночастицами с различной морфологией. Приведены механические свойства пленок нанокомпозитов в условиях растяжения и трехточечного изгиба, а также характер электросопротивления пленок, диаэлектрические свойства, проницаемость по кислороду и в воде. Подчеркнуто, что уменьшение размера дисперсной фазы наполнителя повышает его прочность и трещиностойкость, более эффективно осуществляется передача напряжения через границу раздела матрица–частица. Области применения новых термостойких полимерных материалов могут быть авиация, наземный транспорт, судостроение, медицина.

Ю. В. Кудрявцев, В. Н. Уваров, Э. М. Руденко (Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины), *У. П. Ли, Д. У. Хи* (Центр квантовой фотоники при университете Пхеньяна, Республика Корея), *Я. Дубовик* (Ин-т молекулярной физики Польской академии наук, Познань, Польша) в докладе «**Пленки сплавов Гейслера как потенциальные спиновые инжекторы элементов спинтроники**» привели результаты исследования сплавов Гейслера как потенциальных спиновых инжекторов элементов спинтроники. Отмечено, что эффективность устройств спинтроники (квантовые компьютеры, маг-

нитотеристоры, магнитные сенсоры, магнитные фильтры и спиновые транзисторы) существенно зависит от спиновой поляризации носителей тока в ферромагнитных слоях (спиновых инжекторах). Материалами-кандидатами для использования в качестве спиновых инжекторов могут быть оксиды со перовскитной структурой и некоторые сплавы Гейслера. Рассмотрены проблемы и намечены пути их преодоления путем изучения влияния атомного порядка на электронную структуру и физические свойства полуметаллических сплавов Гейслера. Данные о влиянии технологических параметров осаждения на структуру пленок сплава Гейслера (Co_2CrAl), температуры отжига и атомного упорядочения на транспортные свойства аморфных пленок сплава Гейслера (Cu_2MnAl) позволили разработать физическую модель отражательной способности металлов в области поглощения свободными электронами. На ее основе были определены степень отражательной способности, туннельные вольт-амперные характеристики (ВАХ) и магнитные свойства аморфных и L2_1 -упорядоченных пленок сплава Co_2CrAl в ИК-области спектра. Показано, что значение магнитного поля, при котором происходит изменение направления намагниченности, зависит от внешнего поля и коррелирует с коэрцитивной силой сплава. Полученные результаты позволили разработать лабораторную технологию получения пленок полуметаллических сплавов Гейслера со спиновой поляризацией, близкой к теоретически возможной. Создана методика, позволяющая контролировать реальную спиновую поляризацию носителей тока в пленках сплавов Гейслера.

В докладе *А. В. Рагуля* (Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины) «**Технология получения консолидированных наноматериалов и перспективы их использования в промышленности**» представлена классификация консолидированных наноматериалов на основе основных технологий их изготовления. Отмечено, что консолидация частиц может быть реализована в процессе холодного и горячего прессования, спекания, шликерного литья, инжекционного формирования при экструзии, быстрого прототипирования. Интенсивная пластическая деформация путем кручения и обработки давлением слоистых композитов, равноканальное угловое прессование, фазовый наклеп позволяют получить металлы и сплавы с наноструктурой. Консолидируемая кристаллизация из аморфного состояния при термообработке в обычных условиях или при высоких давлениях обеспечивает возможность получения аморфных металлов и сплавов. Пленки и покрытия из металлов, сплавов и керамики могут быть получены с помощью процессов CVD, PVD, электроосаждения, золь-гель технологии.

Рассмотрены проблемы спекания предварительно сформированных нанопорошков. Проанализирован



ряд технологических подходов их решения при использовании двухстадийного спекания с контролем скорости нагрева, структурно-ориентированного метода. Показана микроструктура многослой Ni-МКК и перспективы их применения в различных областях промышленности. Определены новейшие процессы консолидации наноматериалов с использованием электроразрядного спекания, в том числе и для изделий сложной формы. Проиллюстрированы особенности микроструктуры различных нанокерамик и кинетика их уплотнения в процессе электроразрядного спекания и под высоким давлением. Приведены данные о размерном эффекте в многослойных пленках. Представлены структура и механические свойства некоторых нанокерамик и композиционных биоматериалов, а также образцы их использования в медицине в виде различных имплантатов и других биоактивных материалов.

Проанализированы современные тенденции потребления новых наноматериалов в различных сегментах рынка продуктов нанотехнологий: углеродных наполнителей, нанопорошков, пленок для каталитических конвекторов, текстиля, наполненного наночастицами, добавок к ракетному топливу, инструменты нанолитографии, наноразмерная электронная память. Показаны данные о тенденциях потребления нанокерамики и керамических нанокompозитов до 2010 г. Отмечено, что Украина имеет хорошие природные возможности и технологические условия для развития производства литиевых источников: крупнейшее месторождение высокочешуйчатого графита, наличие своего оксида марганца и кремния.

С. С. Песецкий, С. П. Богданович, Н. К. Мышкин из ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси представили доклад **«Полимерные нанокompозиты: получение, свойства, применение»**. В нем приведены основные типы полимерных нанокompозитов — слоистых силикатов (монтмориллонит, гекторит, сапонит), фрагмент их структуры, химическая формула, значение катионно-обменной емкости и размер частиц. Показаны методы получения полимерглинистых нанокompозитов по различным технологиям (полимеризация, интеркалирование в растворе полимера, интеркалирование в полимерном расплаве, золь-гель технология). Приведены варианты структуры полимерглинистых нанокompозитов и схема взаимодействия макромолекул полимера в расплаве с органоглиной и типичные рентгеновские дифрактограммы полимерглинистых композитов. Рассмотрены этапы формирования нанокompозита на стадии синтеза полиэфиров и уровень их свойств в зависимости от концентрации органоглины. Показаны особенности технологии получения нанокompозитов при экструзионном компаундировании в расплаве. Представлены данные о влиянии рецептурных факторов на показатели свойств полимерглинистых на-

нокомпозитов на базе ПА6 и ПЭВП. Показаны механические свойства в условиях растяжения и изгиба, а также особенности морфологии ПА6, упрочненного угле- и стекловолокном с добавками наноглины. Приведены сведения об уровне термостабильности материалов на основе полиэтилентерефталата в широком температурном интервале 2...600 °С, огнестойкости нанокompозита полиуретан–органоглина. Представлены температурные зависимости тангенса угла механических потерь и модуля сдвига нанокompозитов ПА6 и ПА6 с добавками ММТ в сухом и влажном состоянии. Проиллюстрированы барьерные свойства полимерглинистых нанокompозитов, которые определяют области применения данных материалов. Перечислены узлы и детали автомобилей, в которых используются полимерглинистые нанокompозиты на основе ПА6 и органоглины. Показано, что важнейшими типами углеродных наноматериалов для полимерных нанокompозитов являются ультрадисперсные алмазы (наноалмазы), фуллерены (C_{60} и C_{70}), тубулены, функционализированные УНМ. Для их получения используют совмещение в растворе, компаундирование в расплаве полимера, комбинированные технологии (совместное диспергирование с помощью ультразвука, обработка растворителем с последующим компаундированием в расплаве, использование компабилизаторов), синтез фуллереносодержащих полимеров. Показаны преимущества полимерных материалов, которые обеспечивает модифицирование углеродными наноматериалами. Приведены сведения о влиянии наноматериалов на кристаллизацию и деформационное поведение ПА6, температурные зависимости тангенса угла механических потерь и модуля сдвига нанокompозитов ПА6 и УНМ на его основе. Приведены сведения об интенсивности изнашивания при трении по стали ПТФЭ, содержавшего УНТ. Рассмотрены различные типы фуллереносодержащих полимеров, а также пути использования гидроксильированных фуллеренов для синтеза фуллереносодержащих полиуретанов. Указаны сферы применения наноалмазов в промышленности. Рассмотрены методы получения металлополимерных нанокompозитов, а также технологии использования наноструктурированных полимеров для формирования наночастиц металлосодержащих соединений (в сегрегированном блоке, в полистиролсульфонатных микрогелях, в поли(амидоамидных) дендримерах, в крейзованных ПП, ПЭТФ). Показана морфология наночастиц металлов в наноструктурированных полимерах. Приведены данные о металлосодержащих нанокompозитах на основе меди и крейзованных полимерных матриц. Проиллюстрирована зависимость диаметра кристаллитов меди от среднего диаметра пор, использование твердотельной целлюлозной матрицы для получения наночастиц металлов. Показаны металлополиамидные нанокompозиты, полученные компа-

ундированием в расплаве, зависимость времени ингибирования термоокислительного старения при 160 °С от концентрации $\text{Cu}(\text{HCOO})_2$ и $\text{CuCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также огнестойкость, кислородный индекс и механические свойства ПА нанокмпозитов различного состава. Отмечены важнейшие области применения металлодержащих нанокмпозитов, связанные с их каталитическими, магнитными, оптическими (оптоэлектронными), электрическими и триботехническими свойствами.

В докладе *А. Ж. Тулеушева, В. Н. Володина, Ю. Ж. Тулеушева* (Ин-т ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан) «Использование наноразмерного фактора при синтезе новых материалов» проанализированы возможности получения методом синтеза плумбида ниобия А15, плумбида тантала, бериллида ниобия, которые имеют наноструктуру. Метод основан на факте снижения энергетического барьера между жидким и твердым состоянием барьера при достижении размера частиц менее 1...1,5 нм, что позволяет преодолеть барьер в результате одной термофлуктуации с расчетной частотой около 10^9 с^{-1} . Отмечено, что существование малой частицы в жидком виде ограничено некоторым максимальным размером, при превышении которого условия термофлуктуирования исключаются. Рост размеров частиц при ост-

ровковом формировании пленок, осажденных на необогреваемую подложку (при закалке) в этих условиях, определяется практически только коалесценцией островков с ростом размеров последних. Увеличение размера частицы до критического значения приводит к кристаллизации и образованию твердой фазы. При слиянии разноименных металлов, находящихся в жидком состоянии в малые капли, размер которых меньше критического, происходит образование жидкого раствора. Достижение критического размера приведет к его кристаллизации. Поскольку растворимость металлов в жидкой фазе часто неограничена, кристаллизуется в таких условиях твердый раствор высокой концентрации, значительно пересыщенный относительно величин, приведенных на равновесных фазовых диаграммах, полученных плавлением компонентов. Непременным условием образования раствора высокой концентрации при этом является присутствие обоих металлов в жидкой фазе, так как коалесценция твердого зерна и жидкой капли (размер первого уже больше критического) сопровождается получением только твердого кристаллита.

Т. М. Лабура, д-р техн. наук

УДК 621.791.009(100)

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИТАН-2008 В СНГ»

18–21 мая в Санкт-Петербурге (Россия) прошла традиционная ежегодная Международная конференция «Титан-2008 в СНГ», организованная Межгосударственной ассоциацией «Титан». В конференции приняли участие более 250 участников из России, Украины, Беларуси, Таджикистана, США, Германии, Италии, Японии, Люксембурга, Польши и других стран. На конференции выступили с докладами ученые и специалисты в области титана из ведущих научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России, Украины, Беларуси и других стран: ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов», ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, ОАО «Всероссийский институт легких сплавов», «МАТИ» — Российского государственного технологического университета им. К. Э. Циолковского, Уральского государственного технического университета «УПИ», ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА», ФГУП «Гиредмет», ОАО «Уралредмет», ЗАО «Зубцовский машиностроительный завод», ОАО «Калужский турбинный завод», Государственного научно-исследовательско-

го и проектного института титана, Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Института металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, Института геологических наук НАН Украины, Запорожской государственной инженерной академии, КП «Запорожский титаномагнийевый комбинат», АНТК им. О. К. Антонова, ОАО «Украинский графит», ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси» и др. Всего было представлено более 100 докладов.

Традиционно большое количество докладов на конференции представили специалисты ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА». В настоящее время она является одним из ведущих мировых производителей титановых полуфабрикатов ответственного назначения, которая обеспечивает 100 % потребностей в титановых деталях для судостроительных и авиастроительных предприятий России, Украины и Узбекистана, 40 % — для фирмы «Boeing», 60 % — для фирмы «EADC» (включая «AIRBUS»). ОАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА» является предприятием полного технологического цикла по выпуску титановой продукции: от производства губчатого титана до из-