

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ЧТО МОГУТ СЕГОДНЯ, ЧТО СМОГУТ ЗАВТРА?

П.Кириллов, В.Мейлицев

Юбилейный X Международный симпозиум Асолд в этом году собрал промышленников-инноваторов, которые совершенствуют аддитивные технологии и стремятся полнее раскрыть их потенциал. Технологии послойного синтеза – одно из самых быстроразвивающихся направлений цифрового производства – активно применяются в автомобилестроении, авиастроении, космической отрасли, а также в радиоэлектронном производстве, приборостроении и медицине. В симпозиуме приняло участие более 130 специалистов из российских и зарубежных компаний, применяющих аддитивные технологии или собирающих информацию об их возможностях.

Группа компаний Остек идет в ногу со временем и старается удивить самого искушенного российского промышленника, предлагая новинки ведущих индустриальных экономик. Асолд 2016 – далеко не первое мероприятие, которое включает в повестку дня вопрос о перспективах и реальных достижениях аддитивных технологий в мировой экономике. На территории выставочного центра "ИнфоПространство" собрались представители ведущих российских промышленных компаний, исследовательских институтов, в той или иной степени применяющих аддитивные технологии. Иностранные производители активно делились опытом в относительно новых для России направлениях 3D-печати.

В этом году на Асолде рассматривались следующие темы: преимущества и недостатки аддитивных технологий в литейном производстве, трехмерная печать металлами, технологии 3D-печати пластиком, керамическая 3D-печать для НИОКР и производства, опыт контрактного аддитивного производства, 3D-сканирование и компьютерная томография как уникальные методы контроля изделий, произведенных с помощью аддитивных технологий.

Симпозиум открыл Антон Большаков, директор по маркетингу Группы компаний Остек. Он представил результаты маркетингового исследования, основанного на онлайн-опросе, который был проведен перед симпозиумом среди его потенциальных участников. Выяснилось,

что 42% ответивших на вопросы уже используют аддитивные технологии, а еще 51% – планируют их внедрение в более или менее близком будущем. Максимальное число ответов на вопрос о степени готовности аддитивных технологий к практическому применению пришлось на середину шкалы, простиравшейся от оценки "Сырая, неотработанная" до "Надежная, проверенная". А среди факторов, которые могли бы ускорить распространение этих технологий в России, на первые места были поставлены подготовка специалистов, производство отечественных материалов и выпуск отечественного оборудования.

Исследование позволило определить факторы, в наибольшей степени влияющие на распространение аддитивных технологий в России, и на этой основе сделать пред-

положения на перспективу. Одним из таких факторов стал образ мышления, вторым – степень зрелости технологии. Сценарный прогноз был представлен в виде диаграммы, координатами которой стали эти факторы: степень зрелости технологии отображалась на оси X, образ инженерного и управленческого мышления – на оси Y.

В левом нижнем квадранте оказалось состояние, названное "Младенчеством"; на этой стадии передовые технологии продвигает небольшая группа энтузиастов, и еще непонятно, станут ли они серьезным производственным ресурсом. С большой долей вероятности можно предположить, что российские производители находятся в основном на этой стадии.

Состояние, поместившееся в правом верхнем квадранте диаграммы, соответствующее высокому уровню совершенства технологий в сочетании с адаптированным к ним уровнем мышления пользователей, получило название "Расцвет". И автор задается вопросом: возможен ли сценарий, предполагающий попадание в "Расцвет" прямо из "Младенчества"? Сама диаграмма наводит на мысль, что такой форсированный переход маловероятен. Скорее может реализоваться движение к "Расцвету" через промежуточный этап, названный "Юностью". Это интересный этап, требующий в первую очередь изменения образа мышления. В это время прогресс двигают именно люди, осознавшие возможности новых технологий и сумевшие найти соответствующие им подходы во всем – от дизайна детали до бизнес-модели компании. И это осознание становится стимулом не только к применению технологий, но и их совершенствованию.

Но есть и пессимистический сценарий, названный автором словом "Пропасть" – мрачным, но верно отражающим суть явления. Сценарий попадания в "Пропасть" реализуется тогда, когда достаточный парк совершенных аддитивных машин используется в рамках старых методов разработки, производства и управления проектами. В таком случае не приходится ждать ничего, кроме частых технических недоразумений и очень больших избыточных расходов.

– Слоган Группы компаний Остек: "Будущее создается". Все мы, кто присутствует в этом зале, – полноценные участники создания будущего. Это нам предстоит реализовать позитивный сценарий развития аддитивных технологий. Развитие нашего мышления будет подстегивать совершенствование технологий, а они, в свою очередь, будут открывать нам новые подходы к конструированию, построению технологических процессов, управлению проектами, развитию бизнеса, работе с клиентами. И это в конечном итоге должно привести нас к "Расцвету" – времени зрелости аддитивных технологий и рационального, эффективного их использования, – таким посылом завершил свое выступление Антон Большаков.

После такого вступления на трибуне появились первые докладчики – представители компании Prodways Барт Леферинк и Татьяна Толошняк. Они рассказали о технологии 3D-печати пластиком, а также о керамической 3D-печати – как в рамках собственных НИОКР, так и по заказам сторонних производителей для различных сфер применения.

– Prodways – дочерняя компания французской фирмы Groupe Gorgé. Мы предлагаем исключительно точные технологии самого высокого уровня. Международный опыт и охват Prodways может открыть новые возможности для инноваций в российском производстве. Уникальные решения для промышленного производства можно выгодно использовать на российском рынке. Prodways постоянно занимается освоением 3D-печати новыми материалами. По генетике мы схожи с Остеком – мы всегда принимаем новые вызовы и воплощаем передовые идеи в жизнь. Компания разрабатывает системы трехмерной печати, ориентируясь на стратегию взаимодействия B2B, – так начал свое выступление Барт Леферинк.

Помимо создания промышленного технологического оборудования, Prodways инвестирует в 3D-индустрию и перспективные стартапы, проектирует трехмерные детали по заказу и занимается НИОКР, производством материалов, ведь важно в первую очередь иметь качественные материалы, которые можно использовать в агрессивных средах и жестких условиях эксплуатации. Но все же самым интересным в выступлении Барта Леферинка было описание инновационной технологии послойного синтеза MOVINGLight:

– MOVINGLight использует в качестве материала фоточувствительные смолы и полимеры, которые изменяют свою структуру под воздействием интенсивного ультрафиолетового излучения. Луч с длиной волны 365 нм продуцируется мощным УФ-светодиодом и направляется на DLP-проектор, состоящий из 2 млн. микрзеркал и в каждый момент времени формирующий растровое изображение участка будущего изделия. Преломляющее зеркало направляет лучи-пиксели на платформу построения, и слой материала – жидкого акрилата, гибридной смолы или керамической массы – полимеризуется под воздействием ультрафиолета. Покрытие всей рабочей зоны принтера осуществляется за счет перемещения матрицы пикселей, для чего источник УФ-излучения и DLP-проектор перемещаются по двум осям, а преломляющее зеркало – вдоль ширины рабочей зоны. Точность выдерживания геометрии изделий, получаемых на установках MOVINGLight, составляет 32 мкм, причем она неизменна для изделий любых габаритов, доступных для изготовления на данном принтере. MOVINGLight функционирует под управлением специального программного обеспечения, разработанного Prodways. Данная технология в десятки раз быстрее и эффективнее, чем классическое лазерное спекание.

Барт Леферинк отметил, что MOVINGLight подходит для создания производственных прототипов, инновационная технология может успешно использоваться в стоматологии, ювелирной промышленности, медицине, электронике. Но больше всего Леферинк говорил о применении MOVINGLight в литейном производстве.

Другие сферы применения установки более подробно описала Татьяна Толошняк. Ее выступление вызвало настоящий шквал активности участников симпозиума. По окончании презентации сидящие в конференц-зале буквально засыпали Татьяну градом технических вопросов; "атаки" на специалиста продолжились и позже, в кулуарах. Столь большой интерес легко объясним: предлагается оригинальный и многообещающий метод изготовления керамических изделий, а керамика обладает целым рядом качеств, важных для различных областей применения:

– Керамические материалы выдерживают высокие температуры: оксид алюминия до 1700°C, оксид циркония – до 1500°C. Что касается сферы применения, то керамика активно используется в производстве деталей для двигателей. Если сравнить с классическим литьем, при 3D-печати вы экономите до половины материала и время. Для применения в электронике подходит окись алюминия (Al₂O₃). Этот керамический материал обладает высокой термостойкостью, низкой теплопроводностью, великолепными диэлектрическими свойствами, высоким сопротивлением к истиранию, химической инертностью. Окись алюминия может использоваться для печати жаропрочных электрических изоляторов, кронштейнов поддержки нагреваемых элементов, изоляционных колец, керамических сердечников, СВЧ-фильтров, – так Татьяна пояснила преимущества керамических материалов для некоторых промышленных приложений, где применение 3D-печати из них может дать большой технический и экономический эффект.

Игорь Волков из ООО "НИИИТ" – одного из подразделений Группы компаний Остек – оценил перспективы применения аддитивных технологий в производстве микроэлектроники, выступив с докладом на тему "Быть или не быть напечатанной трехмерной электронике". Работа коллектива, которым руководит Волков, направлена на поиск подходов к технологии, которая пока что не реализована, но должна появиться в ближайшем будущем, в течение пяти-десяти лет. Вот как он описывает свое видение состояния и перспектив вхождения аддитивных технологий в индустрию производства электронных устройств:

– 3D-печать готовых электронных изделий изменит привычный ход вещей, изменит мир. Сегодня возможность добавления электронной функциональности на трехмерную поверхность ассоциируется прежде всего с технологией 3D-MID, реализуемой в широко распространенном варианте LDS (прямое лазерное структурирование), а также в варианте IJP (печать электропроводящими чернилами), применяемом пока по боль-

шей части для прототипирования и малых серий. Однако это не совсем трехмерная технология, скорее ее следует называть 2,5D-технологией, поскольку она не использует внутреннее пространство изделия. Как бы то ни было, устройства, изготовленные с ее помощью, активно применяются в автоэлектронике, светотехнике, при производстве антенн различных мобильных устройств и в ряде других областей.

Для получения же действительно трехмерных электронных модулей сегодня существуют два способа. Первый из них – интеграция компонентов в процессе печати трехмерного основания по известным технологиям – FDM, SLS, SLM и т.д.; те наработки, которые сегодня можно найти на рынке, осуществляются именно по этому направлению. Но будущее, видимо, принадлежит второму способу – прямой 3D-печати компонентов, когда в одном производственном цикле печатается не только основание, но и встроенные в него компоненты. На данный момент это, фактически, экспериментальная технология: идет отработка процессов, используется лишь очень ограниченный перечень материалов. Наши зарубежные партнеры уже прошли некоторый путь в этом направлении, получат работающие устройства, но и у нас в институте есть наработки, есть программа действий, позволяющая надеяться на достижение значимых результатов. Так что наш ответ: трехмерной электронике – быть!

Стоит отметить, что НИИИТ – один из активных участников российского рынка высоких технологий. Институт проводит собственные поисковые и опытные работы, ориентированные на технологическое лидерство, участвует в совместных исследовательских проектах, сотрудничает с российскими и международными R&D-структурами, осуществляет трансфер самых современных технологий, внедряет технологическую поддержку инноваций в реальном производстве.

Транснациональная компания Renishaw в лице руководителя аддитивного направления Александра Куранова продемонстрировала свои принтеры трехмерной печати



металлических изделий. По словам спикера, машины Renishaw для селективного лазерного плавления обладают широким техническими возможностями:

– В наших системах реализовано множество технических решений, способствующих их высокой эффективности. Это прежде всего оптическая система с лазером мощностью 500 Вт, двойная фильтрующая система Dual SafeChange, рециркуляция порошка, ультразвуковое сито, камеры построения размерами до 250×250×350 мм, интеллектуальная система дозирования и пневматическая подача порошка. Аддитивная технология, реализованная в машинах Renishaw, предоставляет уникальные возможности при производстве изделий из реактивных материалов. До начала процесса создается вакуум – из всей системы удаляются воздух и влага,



затем камера заполняется 600 л аргона высокой чистоты. Вакуумирование и продувка камеры обеспечивают идеальную атмосферу и уменьшают пористость материала по сравнению с безвакуумными установками. Принтеры Renishaw работают с разными видами металлических порошков, такими как кобальт хром, кобальт хром DG1 и различные виды титановых материалов, нержавеющая сталь 316L, инконель 625, инконель 718, алюминий AlSi10Mg.

Менеджер по продажам еще одной крупной мировой компании – Voxeljet – Максимилиан Фишер предложил использовать формы для отливки металла, произведенные на 3D-принтерах. Они позволяют уменьшить время при производстве форм и готовых изделий от пяти недель до пяти дней, что в конечном итоге приводит к значительному снижению производственных издержек. Компания Voxeljet является одним из партнеров Остека и предлагает российскому высокотехноло-

гичному рынку принтеры с широким спектром размеров рабочих зон: от 300×200×150 до 4000×2000×1000 мм. Для работы на машинах трехмерной печати производства Voxeljet можно использовать разнообразные материалы: оксид кремния, керфалит, фуран, фенольную смолу, PDB, ПММА (акриловое стекло).

Тему литья продолжила Александра Башкирова, главный специалист ООО "НИИИТ". Она презентовала услуги Производственного центра 3D-печати ООО "НИИИТ", на мощностях которого, в числе прочего, можно печатать оснастку для высокоточного мелкосерийного литья из черных и цветных металлов:

– Мы предлагаем заказчикам услуги по производству изделий из высококачественного ПММА на 3D-принтере Voxeljet VX500. ПММА – прекрасный материал для изготовления форм и вкладышей, применяемых в процессе прецизионного литья. Но этим, конечно, наши возможности не ограничиваются. Например, технология печати из ПММА идеально подходит для визуализации и макетирования. Модели, напечатанные на принтере Voxeljet, хорошо поддаются покраске, возможна печать функциональных прототипов, причем размеры рабочей камеры принтера позволяют изготавливать объекты большого размера.

Закономерным заключением стал доклад ведущего специалиста Центра технологий контроля компании ООО "Остек-СМТ" Павла Косушкина, который представил технологию для эффективной и точной проверки продукции аддитивного производства. Аппаратная база этой технологии – компьютерный томограф, анализиру-

ющий готовое изделие с помощью объемного рентгеновского снимка. Технология позволяет увидеть все мельчайшие поры, включения, трещины внутри конструкции, не требуя даже минимального нарушения ее целостности, а также с высокой точностью установить структуру металлических порошков.

Представленные на Асолд 2016 проекты действительно впечатляют. Если первоначально 3D-печать воспринималась как альтернатива механической обработке, литью, то теперь эта прорывная, но в то же время основанная на довольно простых принципах технология все больше проявляет свой потенциал как одно из наиболее перспективных направлений развития конструкций и потребительских качеств самых разнообразных машин и устройств. Сегодня аддитивные технологии используются ведущими мировыми концернами, такими, например, как BMW, как для изготовления разного рода элементов механических конструкций, так и в производстве электронных приборов: датчиков, выключателей, антенн.

Безусловно, есть некоторые трудности, связанные с относительной новизной применения аддитивных технологий в ряде направлений; тем не менее, внедрение 3D-печати – это колоссальные перспективы. Аддитивные производства развиваются очень быстро, со временем они изменят мир и сделают привычные нам вещи компактнее, функциональнее, дешевле.

Одним словом, будущее создается.

Аддитивные технологии уже используются во многих производствах, относящихся к самым разным отраслям промышленности, и мы еще далеки от понимания того, насколько широко они распространятся в будущем, дополняя и замещая другие способы создания материальных объектов. Однако, в соответствии со спецификой журнала, в коротких беседах с участниками симпозиума мы интересовались преимущественно их применением в одной отрасли – в производстве электронной техники.

Говоря с докладчиками, мы задавали вопрос: что вы уже делаете или собираетесь делать для электроники, – а также старались уточнить отдельные тонкости представленных технологий, определяющие их применимость в производстве электронных компонентов и устройств. У гостей интересовались, что привело их на симпозиум, что они нашли здесь полезного для себя и как оценивают проведенное мероприятие. Интересно было проследить, как некоторые ответы, высказанные очень разными словами, по сути говорили об одном и том же.

Представляем вашему вниманию несколько интервью с участниками симпозиума Асолд 2016.



Игорь Волков,
директор направления
производства трехмерных
схем на пластиках
ООО "НИИИТ"

Игорь Анатольевич, заинтересовал график экспансии аддитивных технологий, который вы показали в своем докладе. Как можно объяснить две зоны

очевидного роста, при том, что в другие периоды их популярность практически не увеличивалась?

Примерно к 1990 году в области трехмерной печати закончился период экспериментирования и конструкторских поисков – того, что по-английски называется этапом Research&Development. Появилась возможность монетизации накопленных технических решений, на рынок вышли первые 3D-принтеры, стоившие разумных денег. Это были настольные установки и им подобные – небольшие, с ограниченным функционалом, но уже практически применимые. И их стали приобретать те, кто осознал возможность их использования, в первую очередь для прототипирования – архитектур-

ные бюро, различного рода лаборатории и дизайнерские отделы и т.п. Этим обусловлен рост предложения от 0,5 до 100 тыс. установок в год, наблюдавшийся в последнее десятилетие прошедшего века.

Далее наступил период более или менее установившегося рынка. В это время отрабатывались новые идеи, которые должны были принципиально расширить функциональность техники для 3D-печати и вывести ее в новые области применения. И примерно с 2010 года разработчики стали предлагать модели для промышленного использования, позволяющие производить конечные изделия и дающие те или иные преимущества по сравнению с традиционными технологиями. Начался второй этап расширения рынка машин, реализующих аддитивные технологии, и достаточно достоверные прогнозы обещают рост их производства и потребления до 500 тыс. единиц в год к концу текущего десятилетия.

Судя по первым словам вашего доклада, да и по самому названию организации, тематический "кругозор" вашего института достаточно широк. Почему сегодня НИИИТ сосредоточился именно на аддитивных технологиях?

Мы начинали с анализа всех или, по крайней мере, многих технологических новаций в электронном производстве. Решили, что надежная перспектива есть у двух из них: у печатной электроники и 3D-MID – группы методов изготовления трехмерных литых пластиковых оснований с системой межсоединений. Последнее показалось нам особенно обещающим в плане рыночных перспектив, и мы приняли его для серьезного изучения.

Любая разработка требует создания прототипа. Как его получить? Делать пресс-форму, чтобы изготовить одно или несколько изделий, и так на каждой стадии доведения опытного образца? Невыгодно, нецелесообразно. Выточить? Тоже дорого, долго. Напечатать?

Напечатать – понравилось: образец можно получить достаточно быстро и достаточно дешево. Стали разбираться, увидели, что напечатать можно разными способами. И так получилось, что, задумавшись над этапом прототипирования для технологии 3D-MID, мы погрузились в тему аддитивных технологий, которая оказалась не менее, а скорее более востребованной, чем собственно 3D-MID. И мы начали ее развивать.

И что же сегодня может сделать НИИИТ на своих мощностях?

Технология 3D-MID реализуется в нескольких различных вариантах. Вариант LDS – прямого лазерного структурирования – включает этап химического осаждения меди. Это "мокрый" гальванический процесс,

для которого нужно специальное помещение, мощная система водоподготовки и очистки стоков и т.п. Затраты такого уровня оправданы при серийном производстве, но НИИИТ – исследовательское учреждение, и для нас они избыточны – по крайней мере, на данном этапе. Мы выбрали другой вариант, IJP – печать проводящими чернилами: на 3D-принтере изготавливается основание, на которое струйным принтером наносится топологический рисунок. По этой технологии мы уже производим не только образцы для собственных нужд, но и разного рода изделия для сторонних заказчиков.

А то устройство, которое вы показывали в своей презентации, оно же выполнено по другой технологии, не IJP?

Это устройство – контроллер для игрушечного квадрокоптера. Да, он изготовлен по технологии прямой печати, которая представляет для нас особый интерес. Судите сами. Самая массовая 3D-MID-технология – LDS – подразумевает, что сначала изготавливается пластиковое основание, затем на его поверхности, там, где должна быть металлизация, при помощи лазера из металлоорганического комплекса высвобождаются частички меди, потом на эти частички химически осаждается уже работоспособный проводящий слой и, наконец, производится монтаж компонентов. Четыре технологических этапа, а прямая печать позволяет создать изделие за один цикл.

Конечно, мы пока не можем печатать активные элементы схемы. В показанном контроллере мы напечатали серебряными чернилами проводящую структуру внутри корпуса устройства. В установке, на которой он сделан, две "головы": одна печатает конструкционный материал, а вторая – это диспенсер для проводящих чернил. Первая "голова" создает требуемое число слоев конструкционного материала, диспенсер наносит на них проводящие дорожки, и заготовка передается опять первой "голове", которая завершает формирование корпуса.

Таким образом, часть элементов, обеспечивающих функционирование устройства – в данном случае система межсоединений, – находится внутри корпуса, и это уже настоящая 3D-технология. Это серьезный шаг – как сам по себе, так и потому, что ранее этого никто не делал.

Продолжая наши опыты в этой области, мы собираемся как минимум научиться печатать пассивные компоненты. В частности, мы обсуждали с нашими партнерами, компанией Mass Portal, возможность доработки их принтера под новые задачи, новые материалы. Первоочередная наша задача – разработать материал для изготовления проводников, обладающий нужными характеристиками, как с точки зрения эксплуатации

в изделия, так и в плане применимости в рамках технологии прямой печати.

То есть вы не собираетесь пользоваться материалами, имеющимися на рынке? Ведь есть же множество видов проводящих чернил, паяльных паст...

Пасты, чернила – всё это создано под определенные технологические процессы, оптимизировано под них. Нам нужен материал, которым можно именно печатать, а не выдавливать диспенсером.

Надо сказать, что проблема материалов критична и для НИИИТа, и для Остека, и вообще для всей отечественной промышленности. Для всех технологий, в том числе и для 3D-печати, стоит вопрос создания собственных материалов. Ведь политику санкций пока никто отменять не собирается, и в любой момент нам могут сказать – стоп!

По "железу" дело идет – 3D-принтеры разрабатываются в Томске, в Санкт-Петербурге, в Зеленограде. А с материалами пока проблема, об этом говорят и их разработчики, и государственные организации, занимающиеся сертификацией. Нужны материалы для авиакосмоса, для медицины, электроники и т.д., а для этого нужны соответствующие требования, стандарты, технические условия.

Если говорить о материалах для 3D-печати, то для них в стране есть хороший базис; например, в случае металлической печати это материаловедческие разработки для литейного производства. Поэтому мы считаем, что создание уникальных, с хорошими характеристиками материалов для 3D-печати – решаемая задача. С другой стороны, наши коллеги и партнеры, в частности, из Mass Portal, говорят, что их принтеры – открытой конфигурации, то есть допускают применение материалов пользователя. Таким образом, создаются все необходимые условия для этой работы.

Вы чувствуете интерес заказчиков к этому направлению вашей деятельности?

Конечно! Даже сейчас, на симпозиуме, подходят люди, специалисты из разных отраслей. Им нужны материалы с определенными свойствами, причем такими, за которыми угадывается область применения, находящаяся под санкциями, так что купить необходимое на внешнем рынке, скорее всего, не получится. И они спрашивают нас о возможности сотрудничества по их проблемам.

Мы, конечно, соглашаемся, мы рады таким предложениям. Когда у одних есть потребность, а другие хотят ее удовлетворить и представляют себе путь, который может привести к результату, появляются все шансы для того, чтобы задача была решена. А для нас это – еще один аргумент, подтверждающий, что мы находимся на правильном пути.



Татьяна Толошнюк,
специалист по применению,
компания Prodways

В силу специфики журнала, который я представляю, меня, естественно, в первую очередь интересуют работы вашей компании для электронной отрасли. Скажите, Татьяна, часто ли к вам обращаются

с практическими проблемами специалисты этой отрасли?

Все те радиодетали, которые я сегодня показала, – керамические резонаторы, волноводы, фильтры полосно-пропускающие и полосно-заграждающие, в том числе фильтры Чебышева, – все эти элементы являются результатом выполнения конкретных заказов. Так что – да, электронщики проявляют к нам большой интерес. Даже сегодня после моего доклада ко мне подходили с вопросами в основном по тематике такого рода изделий.

Преимущества керамики как материала понятны, и вы описали их в докладе, так же, как и преимущества изготовления изделий при помощи аддитивных технологий. А можно ли назвать преимущества, которые предлагает именно технология, развиваемая компанией Prodways, перед аддитивными технологиями других видов?

В нашей технологии MOVINGLight® исходная смесь, состоящая из керамического порошка и связующего полимера, полимеризуется при помощи матрицы микроскопических зеркал, каждое из которых направляет на материал ультрафиолетовый луч с длиной волны 365 нм. Это дает точность выдерживания контура 32 мкм – очень высокое значения для аддитивных технологий. Еще лучше у нас разрешающая способность по высоте: толщина слоя, получаемого за один проход матрицы, составляет всего 20 мкм. Для сравнения: широко применяемая при работе с порошками технология – селективное лазерное спекание – позволяет получать слои толщиной не менее 75 мкм.

Такие точности – как они совмещаются с усадкой, которая, как вы сказали в докладе, составляет от 18 до 25%?

Здесь все просто. Мы знаем свойства материалов, которыми пользуемся, а когда не знаем – изучаем их. И в процессе формирования исполнительной программы для принтера мы производим перерасчет размеров изделия на величину усадки. Точность этого перерасчета такова, что разница в размерах изделий в двух партиях не превышает 0,05% от расчет-

ного значения. Таким образом, погрешность, вносимая усадкой, не выходит за пределы технической точности процесса спекания даже на изделиях большого размера.

Вы сказали, что работаете с изделиями из металла, конкретно – из титана. Почему именно из титана?

Сейчас мы только начинаем работать с металлическими порошками, пока напечатали один образец. Титан был выбран потому, что изделия из него пользуются спросом у специалистов в области медицины – здесь у нас уже есть постоянные заказчики по керамической продукции. Мы оцениваем возможные применения этого процесса на основе технических ограничений: пористость, плотность, механические свойства и т.д. Поэтому сейчас для этого направления нашей деятельности стоит задача – определиться с металлом для следующего этапа исследований. Нужно, чтобы он был перспективен с точки зрения будущих заказов и одновременно соответствовал особенностям нашей технологии.

Вообще, на данном этапе Prodways ведет обширные исследования по печати изделий самых разнообразных форм из различных смесей порошков. Самое главное – подобрать температурный профиль, как для цикла удаления связующего, так и для цикла окончательного спекания материала. Неправильно подобранный профиль приводит к возникновению поверхностных напряжений, отчего может возникнуть растрескивание изделия. Поэтому, если заказчик намерен приобрести нашу машину и программу обучения, то мы проводим множество итераций настройки процесса, печатая прототип до тех пор, пока не достигнем наилучшего результата.

Это наш принцип: мы предпочитаем строить с заказчиками доверительные, партнерские отношения: мы посвящаем их в тонкости нашей технологии, проводим исследования тех характеристик продукта, которые их интересуют; они делятся с нами секретами своих материалов, проводят тестирование наших изделий. Таким образом обе стороны процесса извлекают из сотрудничества наибольшую пользу.



Александра Башкирова,
главный специалист
ООО "НИИИТ"

Александра, интересно понять, почему выбор пал именно на принтер этой модели – VX500?

Во-первых, принтер Voxeljet VX500 позволяет печатать

из материала ПММА – полиметилметакрилата (оргстекло), изделия из которого используются как для задач литейных цехов, так и для макетирования и визуализации. ПММА обладает очень низкой зольностью, благодаря чему модели из него отлично подходят для производства металлических отливок методом ЛВМ (литье по выплавляемым моделям). Вторым важным преимуществом VX500 является цена печати: сегодня на рынке нет предложений по 3D-печати из пластика с более низкой стоимостью. Третье преимущество – высокая производительность принтера. Помимо того, что он может печатать со скоростью 15 мм в час, он также обладает большой камерой – 500 × 400 × 300 мм, что позволяет печатать довольно габаритные изделия за один раз, без сборки. Наконец, VX500 отличается высокой точностью, которая не превышает 0,3% от габарита изделия.

Ваше подразделение занимается контрактным производством. А наш журнал, как вы знаете, называется "ЭЛЕКТРОНИКА". Поэтому – вопрос: приходилось ли вам выполнять заказы, так или иначе связанные с производством электронных устройств? Корпусные детали, оснастка, что-то еще?

Да, конечно. Нам заказывают корпусные изделия из металла, обычно используемые в устройствах ответственного значения. Это детали сложной формы, в которые потом устанавливаются платы с электронными компонентами, соединители и т.п.

Вы делаете для них литейные формы из ПММА?

Мы оказываем услуги не только по печати, но и по литью из различных металлов. Если у заказчика есть возможность лить по выплавляемым моделям самостоятельно, то мы можем просто напечатать формы из ПММА. Если такой возможности нет, мы готовы поставить уже законченный продукт. Специализируемся мы в основном на изготовлении мелких (от 1 шт.) партий изделий со сложной геометрией.

Можно ли оценить, какова доля продукции такого рода в общем объеме выполняемых вами заказов?

Если просуммировать все работы, так или иначе связанные с заказами от производителей электронных устройств, то их доля составит порядка 30%. Полагаю, что по мере развития других направлений работы института, в частности, продвижения в освоении технологии 3D-MID, количество и разнообразие задач по изготовлению конструктивных элементов электронных устройств в нашей загрузке может значительно увеличиться.



Павел Косушкин,
ведущий специалист
Центра технологий контроля
ООО "Остек-СМТ"

Павел, вы рассказали о методе контроля, который позволяет узнать буквально всё о форме и внутреннем строении предмета сколь угодно сложной формы. Но применим ли этот

метод, если речь идет, например, об основании электронного устройства, выполненного по технологии 3D-MID? Ведь такое изделие состоит из разных материалов. Отличит ли система компьютерной томографии медь проводящего рисунка от пластмассы основания?

Конечно. Различение происходит по плотности материала, а плотности пластика и меди отличаются в несколько раз. На рентгеновском снимке плотность отображается в градациях серого: более плотные материалы будут темными, менее плотные – светлее. Мы увидим медные элементы как на поверхности, так и внутри объема пластмассы, что может иметь место, например, в случае изделия, изготовленного по методу прямой печати, о котором рассказывал Игорь Волков. Мы увидим все подробности их расположения в трехмерном пространстве, а это уже возможность, которой не располагает поверхностный рентгеновский контроль, который обычно применяется в сборочных электронных производствах.

Предположим, необходимо провести контроль детали, изготовленной по технологии 3D-MID, с габаритными размерами порядка 100 мм. Проверить нужно как однородность материала в объеме детали, так и качество металлизации. Допустим, параметры ее таковы: дорожки шириной 100 мкм, допуск по их ширине 10 мкм, по толщине – 3 мкм. Сколько времени займут замеры?

Названные вами условия – это высокая степень детализации. Должно быть сделано очень большое количество рентгеновских снимков, объект придется поворачивать внутри контрольной установки очень медленно. При таких условиях сканирование займет час-полтора.

Такое значительное время, безусловно, не жалко потратить, когда идет отработка технологии, когда подбираются режимы установок производственной линии для выпуска нового изделия. Применив здесь компьютерную томографию, специалисты получают данные такого объема и качества, какого не даст, пожалуй, никакой другой метод контроля. А вот для рутинного технического контроля каждого изделия

при серийном выпуске томография вряд ли подходит, кроме разве что тех случаев, когда она прямо записана в технологическом маршруте – например, если серийность изделия невелика, а стоимость и требования к надежности особо высоки.

Продолжим наш пример. Мы смонтировали устройство – установили на него компоненты – и хотим проверить качество пайки. Поможет ли здесь компьютерная томография?

Ситуация такая же, как и в предыдущем случае: как один из процессов серийного изготовления она вряд ли окажется эффективной; помимо всего прочего, здесь еще надо оценить влияние рентгеновского излучения на работоспособность установленных микросхем, ведь за сравнительно большое время сканирования накопленная доза может оказаться значительной. А на этапе отладки режимов пайки томография может быть очень полезной. Сегодня применяется много хороших технологий контроля, которые дают качественную информацию о форме паяного соединения в трех измерениях, но ни одна из них не покажет вам, "что там внутри". А внутри много чего может быть, особенно если вы экспериментируете с новыми материалами: проводящими чернилами, паяльными пастами и т.п. И тут информация, предоставленная томографической установкой, может оказаться просто незаменимой.

Говоря о применении компьютерной томографии в производстве электронных устройств, надо указать еще одну область, где она также может быть полезна, – это поиск неисправности в том случае, когда факт ее наличия уже установлен в ходе какой-то из традиционных проверок. Так, нам случалось томографировать устройства на обычных многослойных печатных платах – тогда заказчика интересовало состояние металлизации переходных отверстий. Вот, кстати, пример того, что наш метод может применяться не только для контроля продуктов аддитивных технологий, но и в более традиционных производствах – в данном случае для проверки качества гальванического процесса.

Если же возвратиться к электронике, произведенной с помощью технологий 3D-печати, то не надо забывать, что многие из этих технологий базируются на использовании металлопорошковых композиций. А наш метод, как я показал в докладе, обладает высокой эффективностью при анализе качества порошков. В целом, можно утверждать, что неразрушающий контроль средствами компьютерной томографии может найти применение в большом количестве различных процессов при производстве изделий электронной техники.



Антон Большаков,
директор по маркетингу
Группы компаний Остек

Антон, в процессе подготовки к симпозиуму вы провели очень интересное маркетинговое исследование, результаты которого представили в своем сообщении. Было ли что-то в этих результатах, что вас удивило?

Например, тот факт, что наибольшее число тех, кто заинтересовался темой и приехал сюда – 43% от всех участников – представители радиоэлектронной промышленности?

Да, это было до некоторой степени неожиданно. Вы могли обратить внимание, что в докладах симпозиума по большей части говорилось о других областях применения – от литейного производства до ювелирии. А ведь докладчики – это представители компаний, практически занимающихся аддитивными технологиями, многие их проекты связаны с реальным рыночным спросом. Поэтому вполне можно было ожидать, что это будет, скажем симпозиум машиностроителей, или симпозиум медиков.

Следует ли из этого, что в нашей стране аддитивными технологиями больше всех интересуются именно разработчики и производители радиоэлектроники?

Вот тут я бы не стал делать категорических выводов. Да, мы давали информацию о предстоящем мероприятии по разным каналам, но одним из основных был канал коммуникации с нашими клиентами; а сфера деятельности Группы компаний Остек на данный момент, как известно, относится преимущественно к этой отрасли промышленности.

Но ведь люди же могли попросту не откликнуться на приглашение, не приехать, счесть, что эта тема далека от них. И столь высокий интерес радиоэлектронщиков к аддитивным технологиям заставляет задуматься: что они хотели бы узнать здесь? Какие свои проблемы решить, что получить?

У вас до сих пор нет ответа на этот вопрос?

Нельзя сказать, что ответа совсем нет. Судя по результатам нашего предварительного опроса, наибольшее внимание привлекает возможность быстрого прототипирования – одна из самых очевидных задач для аддитивных технологий, с которой, собственно, и началось их продвижение в мир. С другой стороны, в реакции зала на доклады, в диалогах гостей со спикерами во время перерывов между презентациями совершенно отчетливо прозвучал интерес к этим технологиям как к средству производства конечного продукта.

Может быть, это эффект симпозиума? У меня сложилось впечатление, что многие приехали, не имея конкретной

проблемы, решение которой они рассчитывали найти здесь. Приехали, чтобы углубить свои представления об аддитивных технологиях и подумать, чем они вообще могут помочь в их деятельности. И такие мысли стали возникать прямо в ходе симпозиума и породили конкретные вопросы по тонкостям работы оборудования, по характеристикам материалов, по возможностям организовать какие-то совместные работы...

Если так, то это значит, что наше мероприятие принесло немедленную практическую пользу. Я рад этому; естественно, для этого мы его и организовывали. Как бы то ни было, вопрос о том, что именно хотят найти производители, в частности, из радиоэлектронной промышленности, в аддитивных технологиях – этот вопрос заслуживает дальнейшего исследования. Что ж, дирекция маркетинга непременно будет этим заниматься.

Антон, вы – директор по маркетингу, то есть, в определенном смысле, стратег. Скажите, есть ли, по-вашему, какое-то свойство, какая-то грань у аддитивных технологий, которая недостаточно осознана теми, кто их применяет или планирует применять?

В моем докладе была такая тема – возможные сценарии развития аддитивных технологий. И там в качестве одного из фундаментальных условий этого развития фигурирует формирование нового образа мышления, соответствующего новым возможностям технологии. В частности, управленческого мышления. Для него я пытался показать потенциал аддитивных технологий, делающий возможным, а лучше сказать – насущно необходимым переход к новой, набирающей популярность модели управления проектами – методологии гибкого управления. Ее цель – максимально быстро вывести на рынок гарантированно востребованный продукт, наиболее точно соответствующий ожиданиям целевого клиента. Суть методологии, говоря коротко, – смена линейного планирования на оперативно-итерационное.

Прописанный заранее план создания продукта по самой своей природе ограничивает возможность быстрой реакции на появляющиеся инновации, с одной стороны, а с другой – на изменения рынка: смещение акцента покупательских требований, выход конкурирующих образцов и т.п. Гибкое управление проектом предусматривает движение небольшими, быстрыми итерациями, результат каждой из которых проверяется тем или иным способом тестирования. Первоначально это могут быть обсуждения среди собственных специалистов, далее – экспертные фокус-группы, исследования с использованием качественных и количественных методов; на зрелых стадиях разработки очередные версии продукта могут демонстрироваться клиенту.

Такое построение процесса позволяет уже на ранних его стадиях выявлять недостающие функции изделия, и наоборот – предупреждать расходование ресурсов на то, что,

как выясняется, не встречает потребительского энтузиазма. Но ведь аддитивные технологии как будто именно для этого и созданы! Можно быстро сделать прототип, соответствующий некоторой стадии разработки, и показать его экспертам, клиентам – пусть возьмут в руки, покрутят, понажимают кнопки... Это совсем не то, что показывать чертежи и таблицы или даже красиво раскрашенные 3D-картинки на экране компьютера.

По-вашему, этот потенциал остается непонятым?

Скорее, недопонятым. В нашем опросном листе был вопрос: какие преимущества аддитивных технологий для вас важны? На первое место специалисты-производители ожидаемо поставили возможность создания изделий любой геометрической формы. Но что оказалось на втором, третьем, четвертом местах? Сокращение времени на разработку; гибкость производственного процесса; сокращение продолжительности производственного цикла.

Именно те свойства, которые делают технологию идеальным "производственным базисом" гибкого управления проектами!

Это означает, что люди уже видят и приветствуют мобильность и гибкость аддитивных технологий как качества, позволяющие усовершенствовать процесс производства. Но делают ли они следующий шаг? Есть ли понимание того, что это – ключ к совершенствованию не только производства, но и всего бизнеса в целом? Я пытался донести до слушателей эту мысль, даже сделал специальный слайд в презентации. Не знаю, насколько это у меня получилось...

Вы считаете это важным?

Для меня этот слайд, эта тема были одной из самых главных позиций в докладе. Умение спроектировать и изготовить первоклассный продукт – одного этого сегодня недостаточно. В условиях перенасыщенного рынка надо построить бизнес так, чтобы суметь опередить конкурентов, чтобы точнее, чем они, "попасть" в максимум потребительского спроса. Один из современных инструментов для этого – метод гибкого управления проектами и непрерывного изучения потребителей. И аддитивные технологии во многих случаях становятся той "физической основой", без которой невозможна или крайне затруднена его реализация в практической деятельности компании.

Исследования, подобные тому, которое мы представили на симпозиуме, позволяют лучше понимать среду, в которой развивается новая технология, обоснованно выбирать направления дальнейших усилий, строить и своевременно корректировать стратегию научно-технического развития предприятий. Мы будем продолжать пристально следить за развитием аддитивных технологий, за динамикой отношения к ним российских производителей и предоставлять аналитическую информацию заинтересованным партнерам. И мы благодарны тем, кто помогает нам в этой работе.



Татьяна Смирнова,
руководитель
производственного отдела
новых технологий
АО "НИИ ВЕКТОР"

Что привлекло ваше внимание к аддитивным технологиям?

Мы ведем разработки в области создания средств, комплексов и систем мониторинга электромагнитных излучений в широком диапазоне частот. Поскольку антенны – наиболее значимый компонент систем приема-передачи, к ним предъявляются наиболее жесткие требования по уровню потерь и усилению. Такие задачи требуют от базового материала конструкции антенны прежде всего стабильных значений диэлектрической проницаемости, наименьших значений уровня потерь, обеспечения возможности соответствующей обработки поверхности. Это означает, что надо искать новые материалы и новые технологии, и в начале 2015 года руководство поставило перед нами такую задачу – тем более, что Федеральная целевая программа, участником которой стало предприятие, предполагает проведение технического перевооружения производства.

Определиться с вектором будущего развития помогло общение с коллегами на других предприятиях, посещение выставок и конференций соответствующей тематики. Мы работали с несколькими компаниями – производителями и поставщиками оборудования, изучили и отвергли три метода 3D-печати. Наконец, вошли в контакт с компанией Prodways, получили от них образцы четырех материалов. Интересно, что характеристики, которые важны для нас, в технических описаниях, как правило, отсутствуют – компания ориентирована на медицинские приложения, для которых диэлектрические свойства не имеют значения.

Мы провели необходимые измерения, и новые конструктивные решения с учетом полученных параметров композиционных материалов дали более чем обнадеживающие результаты. Поэтому мы выбрали технологию цифровой светодиодной проекции, которую предлагает Prodways – метод, основанный на использовании фотополимерных смол, затвердевающих при облучении ультрафиолетовым светом. К настоящему времени мы изготовили и протестировали первые 3D-прототипы изделий.

Как вам понравился симпозиум? Нашли что-то полезное для себя?

Мы получили ответы от представителей фирмы Prodways по теме устойчивости фотополимеров к внешним воздействующим факторам. Представители компании пригласили посетить ее производство и продол-

жить сотрудничество в области разработки материалов с заданными параметрами. Кроме того, для нас оказалась актуальна информация представителей фирмы по технологии получения литья по выплавляемым моделям и технологии изготовления литьевых форм из пластика.

А еще было общение с другими гостями симпозиума, и там тоже было много полезного. Например, познакомилась с представителями московской компании ООО "РЭК". Недаром говорят: если нужен ответ, надо правильно задать вопрос. Компания занимается производством собственных, российских материалов – не надо объяснять, насколько это важно в сегодняшней реальности. Они разрабатывают материалы для 3D-печати, тестируют их, и они имеют государственный сертификат на проведение таких работ. Мы очень рассчитываем на плодотворное сотрудничество с РЭК.

Может быть, есть какие-то пожелания к организаторам на будущее?

Наверное, хотелось бы, чтобы в раздаточных материалах был перечень участников мероприятия с краткой информацией о том, чем они занимаются и каких достигли результатов. Мы бы с удовольствием предоставили такую информацию о себе. Безусловно, исключительно полезно пообщаться с Остеком, со специалистами компаний – его партнеров, выступившими на симпозиуме. Но не менее, а порой и более интересно поговорить с производителями радиоэлектронной продукции – с теми, кто решает те же проблемы, что и мы. Такой обмен опытом просто бесценен, и их много здесь, в зале Асолда. Но без хотя бы минимальной информации обо всех участниках выйти на такой контакт можно разве что случайно...



Леонид Горский,
заместитель руководителя
Центра прототипирования
Корпорации развития
Зеленограда

Леонид, почему вас интересуют аддитивные технологии?

Я представляю Корпорацию развития Зеленограда, которая в 2015 году по программе Минэкономразвития начала реализовывать инфраструктурный проект – Центр прототипирования.

Корпорация – это компания-координатор Инновационного территориального кластера "Зеленоград", в который входит 170 компаний разной величины. Основная специфика их деятельности – микроэлектроника и смежные области: приборостроение, авиация, медицина, космос. Задача Центра прототипирования – оказы-

вать предприятиям услуги по прототипированию изделий с использованием аддитивных технологий. У нас есть три единицы высококлассного оборудования: для печати металлических изделий из порошков металлов, для печати из фотополимеров и для печати из термопластичных материалов.

А что привело вас на Асолд?

Прежде всего, его организатор – Группа компаний Остек, с которой мы начали активно сотрудничать в мае этого года. Задача сотрудничества – максимально разобрататься в возможностях применения различных видов аддитивной технологии, в рыночных предложениях, вероятно, приобретение оборудования, наиболее подходящего для удовлетворения потребностей компаний, в первую очередь входящих в кластер Зеленограда.

Тогда следующий вопрос: почему вы выбрали в партнеры именно Остек?

Преимущество Остека как партнера состоит в том, что они не просто продавцы: компания предоставляет инженеринговые и консультационные услуги, может предложить и создать целый комплекс производства с использованием аддитивных технологий, адаптированный к конкретным задачам заказчика.

Например, сейчас мы прорабатываем возможность развертывания в нашем Центре новой для России технологии – печати сложных керамических изделий. Причем нам нужна не просто керамика, мы хотим выйти на изготовление металлокерамических изделий, характерных для микроэлектронной отрасли: корпусов, подложек, СВЧ-фильтров и т.п. Нам нужен законченный технологический процесс, позволяющий не только соединить в одной производственной линии работу с разными материалами, но и обеспечить высокие точности, характерные для микроэлектронных устройств. И здесь нам очень полезно взаимодействие с Остеком – фактически, мы вместе ищем пути оптимального решения этой задачи.

Зеленоградские компании ведут множество НИР и ОКР, и возможность быстро изготавливать уникальные корпуса для своих разработок станет серьезнейшим ресурсом, освобождающим их от значительных затрат, связанных с изготовлением новых типов корпусов по традиционным технологиям, либо от ограничений, накладываемых необходимостью выбора корпуса из имеющейся номенклатуры, доступной на рынке.

Ваши впечатления от симпозиума?

Мы стараемся посещать почти все конференции, связанные с аддитивными технологиями, так что нам есть, с чем сравнить. Наше ощущение – это одно из лучших мероприятий, которые мы посетили в этом году. Очень

понравилось, что организаторы смогли пригласить зарубежных представителей компаний, которые рассказали не только об оборудовании – о нем, в принципе, могли рассказать и специалисты Остека; важно, что докладчики много сообщили о перспективных направлениях его применения.

Это очень актуально для России. Ведь не секрет, что масса работ по 3D-печати у нас проводится многими компаниями зачастую просто из интереса. Но "из интереса" – не работает! Настоящая польза получается тогда, когда ты не просто что-то печатаешь, а создаешь работающую технологию под конкретную практическую задачу. К тебе начинают обращаться, и оказывается, что конкурентов нет – перед тобой чистое поле возможностей. Мы в Центре уже почувствовали это на примере наших работ, и здесь, на симпозиуме, увидели несколько направлений, о которых можно подумать на перспективу, попробовать, поэкспериментировать.

Последний вопрос: чего не хватило? Что еще хотелось бы увидеть?

Мне бы хотелось видеть в демонстрационном зале побольше компаний-потребителей представленного оборудования, например, поставщиков услуг 3D-печати. Посмотреть, как и для чего они используют эти технологии, эти машины. Ведь разные люди могут использовать одно и то же оборудование разными способами, с разным результатом, для разных целей – иногда так, что и в голову тебе прийти не могло.

Ну и, конечно, можно было бы и себя показать...



Андрей Колмаков,
директор по продажам
ООО "Современное
оборудование",
группа компаний "Солвер"
**Андрей, чем объясняется ваше
участие в симпозиуме?**

Мы работаем с технологией аддитивного производства уже 19 лет – с тех пор, как в 1997 году привели на российский рынок компанию Stratasys. Так что для нас естественно посещать мероприятия такого рода. Мы и сами активно участвуем во многих из них. Так, на выставке "Интерпластика", которая будет проведена в феврале следующего года в рамках конференции 3D fab+print (Современные технологии трехмерной печати в России и мире: возможности и практический опыт для высокоэффективного производства будущего) наша компания будет модератором по секции аддитивных технологий – приходите, будет много интересного.

Ваше мнение о сегодняшнем мероприятии?

Приехало много специалистов, это вызывает оптимизм. Вообще, очевидно повышение интереса к 3D-печати, что не может не радовать – ведь все эти годы мы и занимались формированием рынка аддитивных технологий в России. Поначалу люди удивлялись, когда видели сложную деталь из настоящего производственного пластика, способную выдержать реальные нагрузки. Переспрашивали – а не макет ли это? Теперь – поверили; но еще далеко не все понимают, как можно применить эти технологии с пользой для себя. Однако приезжают на выставки, на конференции, потому что считают, что надо разбираться, не хотят отстать от общей тенденции. И выясняют подробности, делятся проблемами – как это было сегодня, когда после каждой презентации вокруг докладчика собиралась немалая группа слушателей, так что даже не все успевали задать свои вопросы.

Можете ли выделить особо понравившиеся доклады?

Многие доклады были достаточно профессиональными и интересными. Я бы выделил доклад Яниса Гринхофса, генерального директора компании Mass Portal. Очевидна его высокая компетентность, ведь он возглавляет компанию-производитель, ведущую самостоятельные разработки, создающую машины с уникальными характеристиками, причем, что важно, эти машины работают по принципу открытых систем. Для того, чтобы достигать успеха в такой работе, необходимо постоянно совершенствовать, модифицировать оборудование, проводить исследования по материалам, по режимам; в таких условиях рождается действительно доскональное понимание технологии. Слушать Яниса было очень интересно.

Раз вы так глубоко погружены в тему, спрошу: с какими трудностями, по-вашему, сталкивается распространение аддитивных технологий в России?

Самое главное – необходима сертификация процесса печати и пластиковых материалов профильными институтами (ВИАМ, ВИЛС, Институт пластмасс и др.) для использования "напечатанных" образцов в качестве конечных деталей. Сейчас многие потенциальные пользователи уже поняли, проверили и подтвердили для себя, что эти детали можно ставить на конечное изделие. Но отсутствие сертификации удерживает конструкторов и технологов от массового использования 3D-печати пластиками.

Но это временное явление. Будут появляться новые стандарты, разработки и линейки машин; оборудование и материалы будут дешеветь. Не сомневаюсь, у аддитивных технологий большое будущее, в том числе и в России. ●