

at

аддитивные
технологии

Станок для лазерной наплавки
и прямого выращивания из металлического порошка



СЕРИЯ МЛ7

производится
с 2016

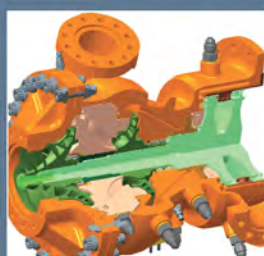
www.laserapr.ru

 **ГРУППА КОМПАНИЙ
ЛАЗЕРЫ
И АППАРАТУРА**

Разработано и произведено в России



Комплексное
решение для
аддитивного
производства
22



Аддитивные
технологии
для печати
ракет
32



Аддитивные
технологии в
строительстве:
примеры и
перспективы
применения
36



Настольные 3D-принтеры высокого разрешения

- Лучшее качество поверхности в своем классе
- Печать высокоэффективными полимерами и стандартными материалами
- Пластик для 3D-печати Verbatim и Polymaker

 **MASS PORTAL®**

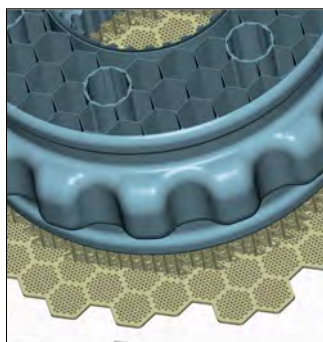
ООО «Шевалье.ру»
129626, Москва, ул. 2-я Мытищинская
д. 2, стр. 1, оф. 502
(495) 967-55-62, 755-77-31, 755-58-10
www.mass-portal.ru
info@mass-portal.ru



16



18



29

СОДЕРЖАНИЕ

- 9** Практический семинар
Practical seminar
- 10** Formnext-2017
Formnext-2017
- 14** Аддитивные технологии требуют томографии
Additive technologies require a tomography
- 15** Развитие технологий — расширение возможностей
Technology development — empowerment
- 16** Поможем воплотить ваши идеи в жизнь!
We will help you translate your ideas into reality!
- 18** Быстро и точно: когда 3D-сканирование становится основой
реверс-инжиниринга
Fast and accurate: when 3D scanning becomes the basis for reverse
engineering
- 22** Autodesk Netfabb. Комплексное решение для аддитивного
производства
Autodesk Netfabb. Complete solution for additive production
- 29** Triangulatica — новый двигатель 3D-технологий
Triangulatica — the new engine of 3D technologies
- 30** Развитие металлургии гранул
Development of metallurgy of granules
- 32** Аддитивные технологии для печати ракет
Additive technologies for printing missiles
- 36** Аддитивные технологии в строительстве: примеры и
перспективы применения (часть 2)
Additive technologies in construction: examples and prospects
of application

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:

Т. Карпова

Э. Сацкая

С. Куликова, Е. Ерошкина

консультант:

Максимов Н.М.

nikamax@gmail.com

отдел рекламы

т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 101000, Москва

Милютинский пер., 18А, оф. 8

т/ф (499) 55-9999-8

(многоканальный)

e-mail: info@additiv-tech.ru

www.additiv-tech.ru

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС 77-67106 от 15.09.2016.

Тираж 5000 экз.

Распространяется бесплатно.

Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.

Все права защищены ©

Редакция не несет ответственности

за достоверность информации
в рекламных материалах

и оставляет за собой право
на редакторскую правку текстов.

Мнение редакции может

не совпадать с мнением авторов.

Производство непроизводимого

Команда из Вирджинии (инженерный и научный колледж, США) впервые синтезировала теплоизолирующий материал каптон, который можно использовать для 3D-печати, в том числе в космосе. Это открывает новые возможности для электроники и аэрокосмических приложений, где каптон часто применяется.

Если раньше каптон можно было получать только в виде больших тонких листов типа золотой фольги, то теперь из полученного по новой технологии материала можно печатать различные детали и компоненты, которые сохраняют свои уникальные теплоизолирующие свойства.



Золотистые листы каптона на элементах спутника



Структура каптона

Сложность создания материала состоит в его молекулярной структуре: это ароматический полимер, состоящий из углерода и водорода внутри бензольного кольца, что дает исключительную термическую и химическую стабильность. Обычный термопластик для 3D-печати начинает терять свои механические свойства начиная с температуры в 300F, новый материал сохраняет их до температуры 1020F.

Материал может быть использован для печати отдельных структур спутников, таких как высокотемпературные фильтры, обеспечивающие оптимальные эффективные условия течения, или высокотемпературные профилированные сопла для достижения большей скорости истечения газов.

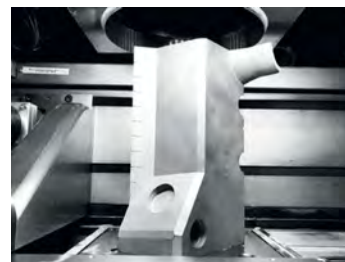
Advanced Materials Journal

Прочные и пластичные

Обычно в рамках одного изделия приходится выбирать приоритетом одно из качеств в ущерб другому.

Работа, выполненная в университете Бирмингема (UK), показывает новые возможности 3D-печати из металлов и сплавов, которые позволяют получить структуры следующего поколения, обладающие улучшенными свойствами по прочности и пластичности. Суть технологии в быстром охлаждении с уровня в 1000°C со скоростью 100 миллионов градусов в секунду. При таком охлаждении создается микроструктура металла из неравновесного жидкого состояния, которая и придает изделию улучшенные механические свойства.

Образец из нержавеющей стали, обработанный по новой технологии.



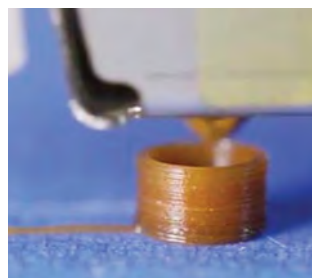
www.birmingham.ac.uk

Новый материал

В России создали из целлюлозы новый материал PEF (polyethylene-2,5-furandicarboxylate) для 3D-печати.

Материал обладает более высокой химической стойкостью, чем традиционные ABS, PLA, PETG материалы. Другие достоинства: высокая адгезия, термопластичность, отсутствие расслоения, низкий коэффициент температурного расширения (незначительные усадки). Высокая термостабильность материала и относительно низкая температура экструзии позволяют легко утилизировать изделия, напечатанные из PEF-материалов, и снизить отходы.

Материал легко выдерживает несколько циклов утилизации и печати.



Печать материалом PEF

<http://onlinelibrary.wiley.com>

Прогноз Gartner на 2018 год

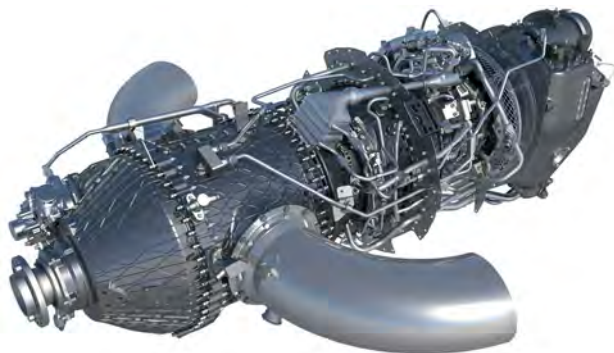
Компании, использующие аддитивное производство (АМ) в своей деятельности, конечно, меняют и модель бизнеса. АМ-технологии дополняют традиционную модель за счет новых возможностей, которых нет у других технологий. По-прежнему три главных приложения АМ: медицинское оборудование, авиакосмос и потребительские товары.

Прогноз для авиации: к 2021 г. почти 75% гражданской и военной авиации будут использовать отпечатанные на 3D двигатели, корпусные детали и другие компоненты. Примеры:

1. Boeing использует 20 центров АМ в 4 странах и произвел более 50000 деталей, которые реально используются в авиации сегодня.

2. GE Aviation для двигателя Advanced Turboprop вместо 855 деталей по старой технологии разработала 12 компонентов, которые печатаются на 3D-принтере. За счет этого на 10% повышена мощность двигателя, на 20% снижен расход топлива, уменьшен цикл разработки двигателя и снижена стоимость конструкторских работ.

Авиадвигатель GE Advanced Turboprop



Прогноз для медицины: к 2021 г. более четверти хирургов будут практиковаться на 3D-моделях органов пациентов до проведения операции. На сегодня около 3% больших медицинских центров имеют свои АМ-лаборатории. Например, в детском госпитале в Бостоне имеется и АМ-центр, и обучающая структура, к работе которых привлечены не только медики, но и инженеры из производственных компаний, конструкторы, эксперты по моделированию, визуализаторы, специалисты по уходу за пациентами. АМ-технологии становятся существенной частью стратегии развития обучения и моделирования для хирургов.

Прогноз для рынка потребительских товаров: к 2021 г. не менее 20% производителей товаров, входящих в мировой топ 100 компаний, будут использовать АМ-технологии для их создания, в том числе и кастомизированных. Примеры таких крупнейших компаний: Unilever (товары для жилья), Fishman (элек-

троника для гитар), обувные гиганты Nike и Adidas. АМ-технологии влияют не только на производство товаров, но и на сети поставки и распределения, как, например, обувь для спорта, фитнеса и отдыха. Здесь реализуется принцип «местное производство для местного потребления».

Прогноз: к 2021 г. 20% предприятий создадут у себя стартапы для использования АМ в производстве новых продуктов и услуг. Компании встраивают новые технологии в существующие производственные процессы создания изделий, которые сложно создавать традиционными методами либо слишком дорого.

Прогноз: к 2021 г. 40% производственных предприятий создадут центры качества с использованием АМ-технологий. Цель таких центров — сфокусироваться на улучшении внедрения инноваций, стандартизации ключевых производственных процессов и улучшении их качества и инспекции.

АМ-технологии дают возможность компаниям сделать переход от конструирования идеального производства к производству идеальных изделий.

<https://blogs.gartner.com>

3D-НОГТИ

Toshiba запустила проект по 3D-печати накладных ногтей по выбору заказчика. Технология позволяет печатать на 3D-принтере накладные ногти, идеально подходящие для ваших ногтей. Как хрустальные башмачки для Золушки, только для ногтей.



Данные для печати создаются в программе распознавания образов — форма и контуры изображения ногтя каждого пальца позволяют получить набор 3D-файлов для каждого заказчика. Идея реализована как сервис по обслуживанию клиентов не только в Японии, но и за ее пределами, используя возможности интернета и облачных технологий. После печати ногти расписываются художником и отправляются заказчику. Причем заказчики не только женщины, немало мужчин хотело бы пользоваться такой услугой для себя. Технология, похоже, способна кардинально изменить устоявшийся мир моды на накладные ногти в первую очередь из-за удобства и быстроты пользования.

<http://www.mynewsdesk.com>

Печать на основе голографии

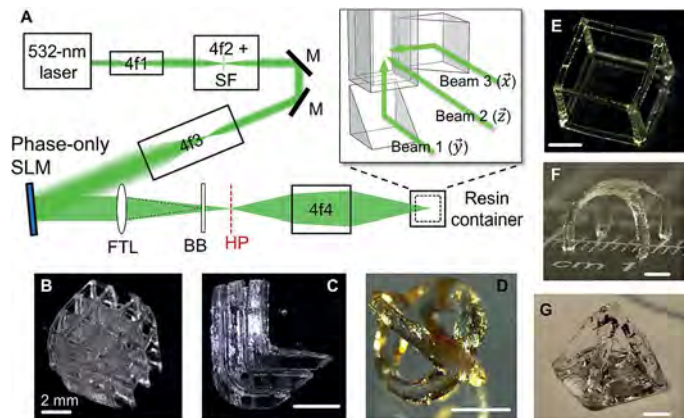
Технология объемной печати с использованием голографии позволяет создавать реальные объекты за секунды в отличие от традиционной послойной печати (FDM, SLM, SLA и т. д.). При этом 3D-изображение проецируется в объем фотополимерной смолы, и объект создается полностью и сразу. Технология была разработана в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (LLNL) при участии университетов Беркли и Рочестера, а также Массачусетского технологического института.

Эволюция в источниках света в применении к АМ развивалась от лазера (1D) к обычному проектору (2D) и далее к голографическому проектору (3D).

Суть процесса в следующем: три перекрывающихся лазерных луча направляются на объект с трех разных направлений (схема приведена на рисунке) и формируют объемное изображение внутри фотополимерной смолы. Энергии лазерного излучения достаточно для отверждения смолы в нужных местах. Время экспозиции от 1 до 25 сек при мощности лазера 6–25 милливольт на каждый луч. Первые образцы имели шероховатость поверхности 100–200 мкм.

Новая технология устраняет два основных ограничения для традиционных АМ-технологий — низкую скорость печати и геометрию объектов. Не требуется ни подложка, ни поддерживающие структуры. Работа находится на начальной стадии, требуется немало сделать по подбору материалов, отработке параметров процесса, по реализации технологии в виде работающего оборудования.

Схема процесса печати и образцы отпечатанных структур с временем экспозиции 5-10 сек.



<http://advances.sciencemag.org>

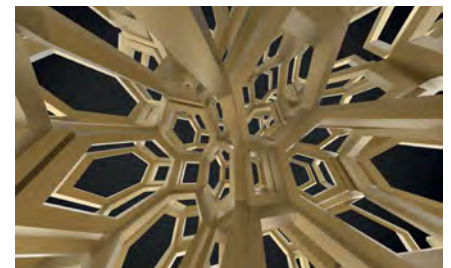
С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИКИ ОРИГАМИ

Компания TU Delft из Нидерландов разработала новый метод создания объемных сетчатых структур (рис. 1), который основан преимущественно на японском искусстве складывания бумаги в сложные формы (оригами) и в меньшей степени на 3D-печати. Процесс начинается с печати плоских форм, которые затем могут быть сложены в трехмерные объекты со сложной внутренней структурой (рис. 2).

Рис. 1. Примеры плоских листов в процессе трансформации



Рис. 2. Пример сетчатой структуры →



<http://insights.globalspec.com>

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ARMY

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ «АРМИЯ-2018»**

**21–26 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**

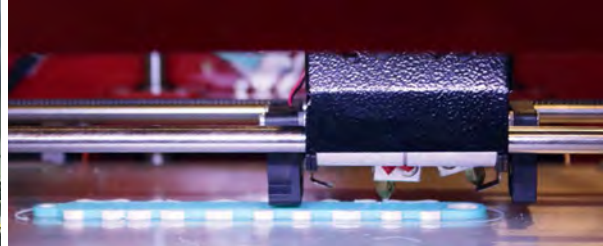
WWW.RUSARMYEXPO.RU

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ



3D-ИНДУСТРИЯ: ЧТО НОВОГО

Более 50 экспонентов из разных стран, 3D-напечатанные подводные лодки и ракеты, презентация 3D-принтера на ОС Android и хирургического симулятора, выступления европейских экспертов, церемония 3D Print Awards, фэшн-показ 3D-одежды и розыгрыш принтера — так в КВЦ «Сокольники» в Москве с 13 по 14 октября прошла ежегодная международная выставка аддитивных технологий 3D Print Expo.

Ее посетители приняли участие в мастер-классах по 3D-печати, благодаря компаниям Picaso 3D и Autodesk прошли четыре уровня пользования 3D-принтером: от нулевого «в глаза его не видел» до продвинутого «дома появился 3D-принтер», оценили самые необычные экспонаты в 3D Art Gallery, определили производителя самой качественной 3D-продукции. В конкурсе производителей приняли участие восемь компаний: «Шевалье.ру», Picaso 3D, Total Z, Herz Labs, «ПРОТОТИП», Maestro, Idea-Z и MAGNUM. Большинство голосов набрала статуэтка от компании «ПРОТОТИП» и принесла победу своим создателям. Среди гостей был разыгран флагманский 3D-принтер Hercules Strong от компании IMPRINTA. Его забрал Максим Фролов, правильно ответивший на большинство вопросов викторины по аддитивным технологиям.

Впервые на выставке прошел показ модной 3D-одежды 3D Fashion Show с участием работ дизайнеров Снежаны Педериной из Нью-Йорка и Ирины Тошевой из Скопье. Также состоялась видеопрезентация коллекции LYSIS COLLECTION от амери-

канского модельера Алексис Уолш. Развили тему 3D-технологий в сфере искусства, моды и дизайна на медиаплатформе Simension Link и презентации проекта Palmette Art.

По итогам пятой ежегодной церемонии награждения лидеров аддитивной индустрии — 3D Print Award победителями названы:

- «Бренд года» — компания IMPRINTA;
- «Лучший отечественный производитель 3D-принтеров» — Magnum 3D;
- «Лучшая инновационная компания года» — «Тен.МедПринт»;
- «Лучшая разработка года» — Picaso;
- «Самый востребованный производитель расходных материалов» — REC;
- «Лучшая компания по 3D-сканированию объектов» — Thor3D;
- «Новичок года» — Raise3D
- «Стартап года» — Harz Labs.

В рамках выставки прошла отраслевая B2B конференция с участием 19 спикеров, в т. ч. из Германии, Бельгии, Южной Кореи. Они рассказали о разработках компаний и применении 3D-печати для целого ряда задач, обсудили пути повышения эффективности внедрения аддитивных технологий в различные отрасли производства.

Организатор Smile-Expo благодарит всех гостей и участников выставки и уже готовится к 3D Print Expo 2018.

<https://3d-expo.ru>

Приближая будущее

II Международная конференция «Аддитивные технологии и 3D-печать: в поисках новых сфер применения» прошла на территории технопарка «Калибр» 26 октября 2017 г.

Ее насыщенная деловая программа, которую посетили более 200 человек, была разделена на тематические треки. Участники обсудили такие актуальные темы, как развитие аддитивных технологий на государственном уровне, результаты их использования для ракетно-космической отрасли, медицины, литейного производства, образования, основные проблемы внедрения отечественного программного обеспечения и т.д. С докладами выступили представители компаний – лидеров отрасли: госкорпорация «Роскосмос», «Сименс Индастри Софтвар» (Siemens), ПАО «ОДК – Сатурн», ООО «НИССА Диджиспейс», Shanghai Union Technology Corporation, ООО «РЭК» (REC), ООО «Темпо», «ЗД Биопринтинг Солюшенс» и др. Специальными гостями мероприятия стали спикеры из Республики Сингапур: М-р Кай Йи Эг – председатель правления и основатель Key ASIC, и М-с Виннео Тео – главный технический директор компании Winrigo, крупнейшего производителя 3D-принтеров и материалов в Сингапуре.

Благодаря трансформируемому пространству площадки у посетителей была уникальная возможность

ознакомиться с выставочной экспозицией рядом с конференц-залом, не пропустив ни одного выступления, пообщаться с ведущими представителями компаний в области аддитивных технологий и 3D-печати в неформальной обстановке в перерывах.



Соорганизаторами конференции выступили Российско-Сингапурский Деловой Совет при Торгово-промышленной палате РФ и Московский политехнический университет при поддержке Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства города Москвы. Компания «Синтерра Медиа», стратегический партнер мероприятия, организовала онлайн-трансляцию, благодаря которой за ходом дискуссий наблюдали зрители разных городов России.

По мнению председателя Совета директоров ОАО «Калибр» М.А. Когана, глобальная конкурентная борьба заключается сегодня не столько в создании новых 3D-принтеров или инновационных материалов, но и в поиске рыночных ниш применения аддитивных технологий. Поэтому проведение данной конференции – это не только обмен передовым опытом, но и возможность наметить стратегические планы, приблизив будущее еще на один шаг.

<http://www.kalibroao.ru>



V Международный технологический форум «Инновации. Технологии. Производство»

16-18 апреля 2018 года

г. Рыбинск, Ярославская область



Программа и информация по участию в форуме доступна на сайте <http://itp-forum.ru>

Дополнительная информация по телефонам: 8 (4855) 292-438, 292-404

rosmould

Международная выставка форм, пресс-форм, штампов, оборудования и технологий для производства изделий

15–17 мая 2018

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

От идеи до готового изделия



Формы, пресс-формы и штампы



Аддитивные технологии



Сырье и материалы



Оборудование и оснастка



www.rosmould.ru



messe frankfurt

mesago

Messe Frankfurt Group



Практический семинар

8 декабря 2017 года на базе компании «Лазеры и аппаратура» совместно с Высшей школой системного инжиниринга МФТИ был проведен семинар по аддитивному производству.

Более тридцати человек — представителей ведущих российских предприятий авиационно-космического сектора посетили производство и аддитивный технологический центр ГК «Лазеры и аппаратура», где смогли наглядно ознакомиться с выпускаемой линейкой оборудования для послойного сплавления и прямого выращивания и пронаблюдать его в работе. ГК «Лазеры и аппаратура» является изготовителем первой серийной отечественной аддитивной машины для послойного сплавления, и на данный момент развитие в этом направлении — одна из приоритетных задач.

Во второй половине дня на территории инновационного территориального кластера «Зеленоград» прошел круглый стол, где были освещены как основные тенденции развития аддитивных технологий (АТ) в мире, возможности и актуальное состояние российского станкостроения, так и опыт внедрения АТ на ряде ведущих российских заводов. Так, начальник отдела филиала НИИД АО «НПП Газотурбостроения «Салют» С. И. Щербаков рассказал об опыте, актуальных и перспективных задачах использования лазерных аддитивных технологий на своем предприятии, где уже внедрено оборудование для прямого выращивания. А руководитель лаборатории «НПО» Сатурн» П. Ю. Козляков представил опыт применения АТ

в ПАО «ОДК-Сатурн», где ведутся работы по лазерному сплавлению металлических и полимерных материалов и по прямому выращиванию. Речь шла прежде всего о производстве технологически сложных изделий, об особенностях моделирования технологических процессов, проведении испытаний. В завершение выступающие ответили на множество вопросов выпускников школы.

Как отметили участники мероприятия, семинар имел большую практическую ценность как с точки зрения расширения знаний в области аддитивных технологий, так и возможности обмена опытом применения 3D-печати с использованием отечественного и импортного оборудования. По мнению заместителя генерального директора ГК «Лазеры и аппаратура» А. Л. Цыганцовой: «Важным моментом для эффективного внедрения аддитивных технологий является интенсивная совместная работа между разработчиком и производителем оборудования и разработчиком и изготовителем конечных изделий. Многие решения, как в части оборудования, так и в части технологии, ее эффективного использования, могут появиться только благодаря их совместным действиям. Поэтому обсуждение с потенциальными потребителями актуальных задач, технологических и экономических аспектов — это один из этапов такой работы. Такие семинары — один из ключей к обоюдному пониманию возможностей этой перспективной, но пока еще молодой технологии, и мы планируем в дальнейшем проводить их регулярно».

Н.М. Максимов, ООО «Ника-Рус»

Специализированная выставка аддитивных технологий и конференция проводились 14–17 ноября 2017 г. во Франкфурте-на-Майне в третий раз. Это действительно крупнейшая мировая выставка АМ-технологий. Количество участников — 470 компаний, посетителей — 21,5 тысяч человек, что на 60% превысило итоги прошлого года. Ниже приводим неполный обзор наиболее интересных решений в области АМ, предложенных участниками выставки.

Компания **GE Additive** показала бета-версию (как часть их проекта ATLAS — система АМ с большой рабочей зоной) 3D-принтера, работающего по принципу лазерного спекания металлического порошка в ванне (рис. 1). Оборудование было разработано совместно со специалистами Concept Laser. Первые машины проходят тестирование в нескольких компаниях, серийный выпуск планируется на 2018 год. Основная задача разработчиков была в создании гибкого оборудования, которое можно настраивать под запросы потребителей.

Некоторые технические характеристики: рабочая зона принтера 1,1×1,1×0,3 м, может быть увеличена по оси Z до 1 м; лазер 1 кВт; лучшее разрешение в своем классе; контроль за работой и состоянием оборудования ведется с помощью программы PREDIX и облачного хранилища GE [1].

Renishaw представила 3D-принтер с 4 лазерами RenAM 500Q, рассчитанный на увеличение производительности примерно в 4 раза для машин со средними размерами рабочей зоны. Основная выгода для потребителей заключается в снижении стоимости единичного изделия при тех же параметрах качества и точности [2].

SLM Solution объявила о получении заказов на сумму 37 млн евро только за первый день. В эту сумму входят 20 заказов из Азии на новый металлический принтер SLM 800 для энергетического сектора. В компании ожидают получения еще нескольких заказов на принтеры SLM 500.

Особенностью принтера SLM 800 является высокий уровень автоматизации производственных процессов. Система включает встроенный фильтр, мониторинг расплавленной зоны и мощности лазера, улучшенную систему контроля машины и как

опцию — вакуумную систему подачи порошка. По словам руководства компании, новая машина позволит SLM Solutions стать технологическим лидером на рынке металлических 3D-принтеров в ближайшие годы за счет полной интеграции существующих производств и производственных процессов с новыми технологиями, которые называют «производство 4.0» [3].

Компания **Xact Metal** из госуниверситета в Пенсильвании (США) продемонстрировала металлический принтер XM300 со средними размерами рабочей зоны, с 2 или 4 оптоволоконными лазерами [4]. Система оснащена двумя подвижными зеркалами, которые позволяют сохранять ортогональность лазерного потока к поверхности спекаемого порошка по площади рабочей зоны. Это дает возможность получать однородные характеристики детали со скоростью до 1,5 м/с (рис. 2). При стоимости от \$400 до \$600 тысяч принтер будет вполне конкурентоспособен с другими представленными на рынке системами.

Adira из Португалии представила систему для печати крупногабаритных изделий из металла (рис. 3) [5]. Оборудование использует TLM-процесс — рабочая зона разбивается на небольшие сегменты, в которых печать происходит последовательно. Это позволяет выращивать большие детали, создавая защитную локальную зону только в области плавления порошка без ухудшения характеристик детали. Наличие встро-

Рис. 1. Бета-версия большого металлического 3D-принтера от GE Additive

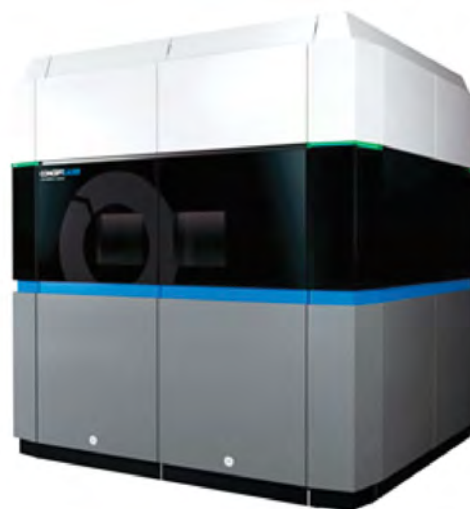


Рис. 2. Образец изделия

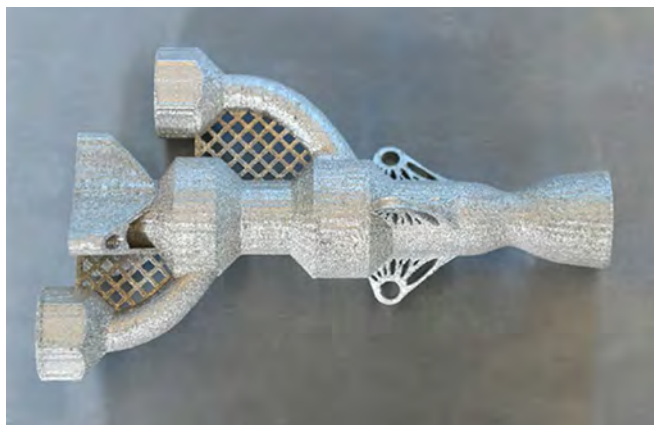


Рис. 4. Система TruPrint 5000 для печати металлическими порошками



енной автоматической системы очистки использованного порошка, возможность применения внешнего робота для удаления готовых изделий, а также оборудования для финишной обработки делает систему привлекательной для пользователей.

Компания **Trumpf** (Германия) показала систему TruPrint 5000 (рис. 4) – наиболее быструю и производительную машину среднего формата для печати металлическими порошками. Мультилазерная система, состоящая из 3 волоконных 500 Вт лазеров собственной разработки, позволяет сократить время изготовления изделий в три раза. В планах компании занять лидирующие позиции с долей от мирового рынка в 20% в области производства металлических 3D-принтеров среднего формата в ближайшие 5–7 лет (рис. 5). Это вполне реальные планы для огромной компании, в которой над АМ-технологиями работают более 200 сотрудников совместно с университетом RWTH в Аахене и институтом Фраунгофера там же [6].

Компании **Materialise** и **Simufact Engineering GmbH** договорились о сотрудничестве в области АМ. Пользователи программы Materialise Magics теперь смогут моделировать процесс построения,

применяя симулятор от Simufact. При этом поддерживаемые структуры будут создаваться с помощью функций Magics. Регулярное использование процессов моделирования может значительно сократить количество прототипов для отработки производственного процесса, а также повысить качество и продолжительность жизненного цикла изделия. Особенно привлекательным такой симбиоз будет для исследовательских организаций, университетов и конструкторов. Применение нового программного продукта позволит предсказывать возможные ошибки еще до начала изготовления реального изделия [7].

9 ноября ООО «НИК» и крупная немецкая компания в области аддитивного производства **FIT AG** подписали юридические документы, необходимые для создания совместного предприятия FITNIK Ltd (рис. 6). Оно будет расположено в городе Жуковском и позволит реализовывать комплексные услуги в области 3D-технологий. Сочетание уникального опыта двух ведущих компаний позволит наладить процесс разработки и производства изделий как для авиационной, так и для других отраслей промышленности

Рис. 3. Большой металлический 3D-принтер

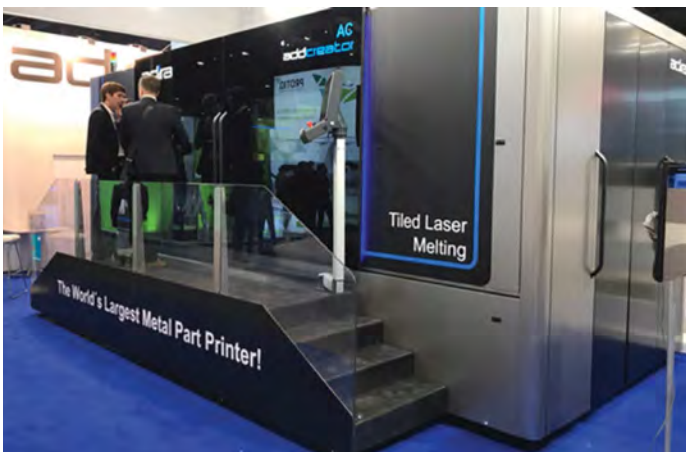


Рис. 5. Пример лазерной наплавки: а – технология LMD и выращивания в ванне с порошком; б – технология LMF

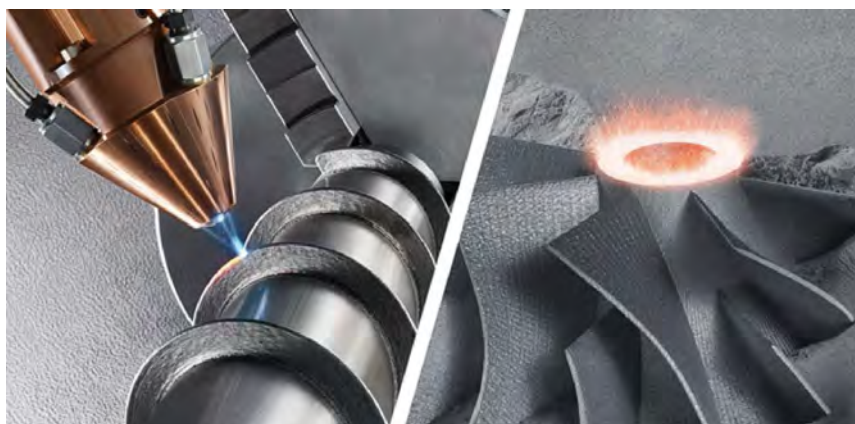
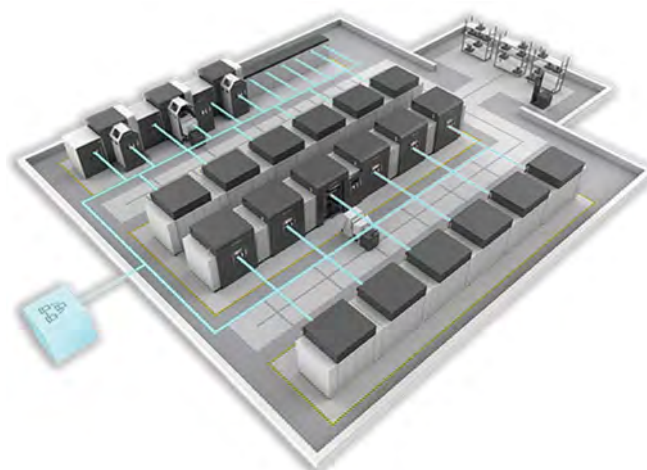


Рис. 6. Основатель и директор компании FIT Group (Германия) Carl Fruth и А. Корнеев, директор компании «Ник» (Россия)



Рис. 7. Модульное решение ProX DMP 8500 для АМ-производства



с использованием всех преимуществ аддитивных технологий [8].

В рамках Formnext-2017 было объявлено о ряде проектов по сотрудничеству, о реорганизации компаний, например:

– **Additive Industries** (Нидерланды) и **SMS Group** объявили об объединении усилий по серийному производству компонентов для АМ-металлических систем и оборудования по производству металлических порошков.

– Компании из Германии **SLM Solutions**, **Rosswag GmbH**, **Cronimet Holding GmbH** договорились о совместной разработке специальных высокотехнологичных сплавов для АМ. При этом Rosswag GmbH будет заниматься производством порошков из сплавов, которые будет поставлять Cronimet Holding GmbH. SLM Solutions занимается разработкой технологических процессов применения порошков и их эксклюзивным продвижением на рынок АМ [9].

– Производитель металлических порошков **PyroGenesis** подписал NDA-соглашение с компанией **Rolls-Royce** с целью выработки условий полномасштабного договора по обеспечению партнера необходимыми порошками из металлов и сплавов. PyroGenesis использует плазменное распыление для получения порошков нужного качества.

– Компания из Швейцарии **Oerlikon** и **LENA Space** (UK) – разработчик ракетных двигателей – договорились о партнерстве по выпуску оптимизированных деталей для силовых систем. Подобные системы используются для вывода полезной нагрузки на низкие околоземные орбиты. LENA Space конструирует и разрабатывает турбины, насосы, камеры сгорания, регенеративные системы охлаждения и многое другое. Oerlikon вкладывает в сотрудничество свои возможности в АМ-технологиях: дизайн и инжиниринг, быструю разработку нужных сплавов, опыт и знания в АМ-технологиях по созданию высококачественных

повторяемых изделий и, наконец, опыт в работе с покрытиями [10].

– Компания из США **Arconic** объявила о соглашении с **Airbus** по сотрудничеству в производстве компонентов для авиации с помощью металлических АМ-технологий [11]. АМ-технология Arconic основана на использовании электронного пучка и предназначена для производства крупных узлов и деталей с высокой скоростью. При этом предполагается для улучшения свойств полученных изделий комбинировать АМ и традиционные методы обработки металлов, такие, какковка.

3D Systems (США) представила производственную платформу следующего поколения для металлических принтеров, которая легко встраивается в производственную цепочку и позволяет масштабировать производство продукции с помощью АМ-технологий (рис. 7). Процессы производства полностью автоматизированы – от доставки порошка до создания высококачественных повторяемых изделий со значительным снижением их себестоимости. Большая рабочая зона 500×500×500 мм принтера обеспечивает возможность его применения в первую очередь в авиастроении, автомобильной индустрии и других отраслях машиностроения. Платформа включает следующий набор модулей [12]:

– RPM – модули для перемещения порошка и изделий между отдельными блоками;

– модули печати обеспечивают непрерывную работу платформы;

– PMM – модуль обработки порошка очищает изделие от порошка, направляет его на переработку и готовит модуль печати к следующему циклу работы;

– транспортные модули обеспечивают перемещение модулей RPM между принтером и модулем с порошком.

Платформа DMP 8500 для АМ-производства была создана экспертами производства с глубокими зна-

ниями, пониманием и опытом в производственных процессах. Платформа также интегрирована с инновационным программным продуктом 3DXpert, который оптимизирует подготовку к печати и саму печать изделий. Платформу планируют к выходу на рынок в конце 2018 г.

Компания из Австралии **SPEE3D** объявила о создании металлической АМ-системы, первой в мире реализовавшей технологию сверхзвукового нанесения порошков для выращивания объемных изделий с большой скоростью (в 100–1000 раз быстрее традиционных металлических принтеров). Использование сопла Лавая позволило получить поток газа с порошком со скоростью в 3 раза выше скорости звука [13].

Также хотелось бы отметить расширение российского представительства на выставке. Из отечественных компаний свою продукцию и услуги в 2017 году представили Anisoprint, Cyberon Group, Imprinta, PICASO, POLEMA, RangeVision, Институт передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ Петра Великого из Санкт-Петербурга.

С пресс-стенда распространялся журнал «Аддитивные технологии». ■

Следующая выставка formnext состоится во Франкфурте-на-Майне 13–16 ноября 2018 года.

Источники

1. www.geadditive.com
2. www.renishaw.com/additive
3. www.slm-solutions.com
4. www.xactmetal.com/xm300
5. www.adira.pt
6. www.trumpf.com
7. <http://software.materialise.com/3d-printing-software>
8. www.avianik.com/ru/news/61/
9. <https://slm-solutions.com/news-and-events/news/slm-solutions-expands-its-strategic-alliances>
10. <http://lenaspace.com>
11. www.metal-am.com/arconic-airbus-sign-multi-year-research-agreement-advance-aerospace/
12. www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-unveils-next-generation-additive-metal-platform-high-productivity
13. www.spee3d.com/

Composer: первый отечественный 3D-принтер для печати изделий из углепластика



Федор Антонов, ООО "Анизопринт", к.ф.-м.н., генеральный директор, antonov@anisoprint.ru

В ноябре прошлого года на выставке Formnext во Франкфурте-на-Майне российская компания «Анизопринт» объявила о начале продаж 3D-принтеров Composer — своей первой линейки настольных 3D-принтеров на основе патентованной технологии коэкструзии композитного волокна.

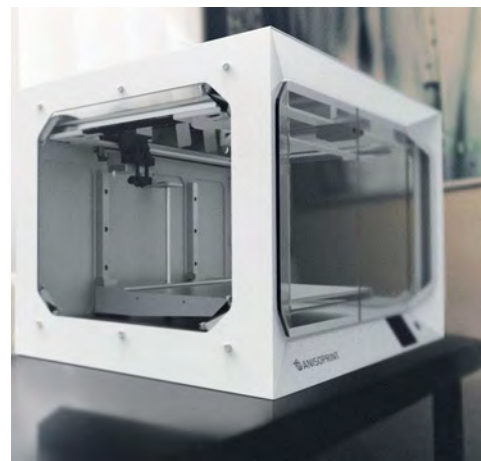
Специальная печатная головка с двумя соплами позволяет не только печатать обычным пластиком, но и армировать его во время печати непрерывными углеродными волокнами, что делает материал до 25 раз прочнее и жестче по сравнению с чистым пластиком. Composer — первый на рынке 3D-принтер, позволяющий армировать различные пластики, такие как АБС, ПЛА, ПА, ПЭТ-Г, ПК, ПП, а также пластики, наполненные короткими волокнами или частицами. Линейка включает в себя 3D-принтеры с различными размерами рабочей области: компактный Composer A4 с областью печати 297×210×148 мм,

универсальный Composer A3 с рабочей областью 420×297×210 мм и Composer A2, рабочая область которого составляет 594×420×297 мм.

Собственное программное обеспечение Anisoprint Auga для подготовки модели к печати позволяет оптимизировать ориентацию волокон в каждом слое, печатать отдельные элементы без армирования с большей точностью, создавать различные типы заполнений: как неармированные, так и армированные — сетчатые или сплошные. Подготовка моделей и запуск печати может осуществляться с локального компьютера, что обеспечивает конфиденциальность данных. ■

 **ANISOPRINT**

Тел.: +7 (495) 142-57-31
Моб.: +7 (926) 587-29-76



Аддитивные технологии требуют томографии

Зинаида Сацкая

Если промышленная компания начинает проводить международные научные конференции, значит, она вышла на уровень лидера. «Применение компьютерной томографии в промышленном производстве и для решения научно-исследовательских задач» — так звучит название конференции, которую во второй раз организовала и провела компания «Совтест АТЕ».

Скажи мне, кто твой друг

Компания «Совтест АТЕ» известна рынку электроники России и стран СНГ как разработчик, производитель и поставщик тестового оборудования, имеющий в активе 5 запатентованных изделий и 7 опытно-конструкторских разработок. В 2015 году ООО «Совтест АТЕ» инвестировало в строительство нового завода по серийному производству инновационных продуктов, основанных на технологиях неразрушающего контроля. Но главным активом компании видятся связи с исследовательскими центрами мирового уровня. Так, летом был введен в эксплуатацию уникальный промышленный томограф Nikon XT H 320 PentaSource. Как сказал руководитель центра технологий неразрушающего контроля компании «Совтест АТЕ» Андрей Алексейчик, «в этом томографе пять томографов. Таких машин всего четыре в мире, в том числе в «Совтест АТЕ». Да и состав спикеров конференции тоже свидетельствовал о нерядовом статусе компании-организатора. С ключевым докладом выступил представитель Манчестерского университета, по числу нобелиатов входящего в первую тройку университетов Великобритании после Оксфорда и Кембриджа. За «Новые методы рентгеновской визуализации материалов, важных для энергетики, транспорта и других ключевых отраслей», созданные Манчестерским центром рентгеновской визуализации (Manchester X-ray Imaging Facility), университет в 2014 году был удостоен самой престижной награды высшей школы Великобритании — Юбилейной премии королевы (Queen's Anniversary Prize). В числе спикеров были также эксперты компаний Nikon, инновационное оборудование которой работает на мировую науку, и компании Materialise, которая разрабатывает программное обеспечение для 3D-печати, специалисты МИСиС и МАИ.

Компьютерная томография и аддитивные технологии
Эксперт Манчестерского университета не зря ска-

зал, что центр рентгеновской визуализации, который возглавляет британскую сеть компьютерной томографии, «находится на переднем крае разработки технологий 3D-визуализации для инновационной инженерии». Суть изложенного в докладе сводилась к тому, что эксперименты проводятся в динамике, в режиме реального времени. Одновременно идут сканирование и внешние воздействия: нагрев, охлаждение, сжатие, кручение и др. Под каждый вид эксперимента соответствующая оснастка устанавливается внутри томографа. У нас пока практикуется сначала воздействие, а потом оценка полученного.

Представитель МИСиС рассказал о разработке и изготовлении опытного образца мультилазерного автоматизированного комплекса для послойного синтеза полиметаллических изделий из отечественных материалов, в частности порошков из титанового сплава ВТ6. КТ использовалась при отработке технологических режимов селективного лазерного плавления. С помощью КТ исследовались последствия различных воздействий на выращенный образец. Сначала КТ показывает, что выращенный образец обладает высокими прочностными характеристиками, но слишком хрупок, то есть пластичность практически нулевая. После отжига для снятия остаточных напряжений прочностные характеристики сохраняются и пластичность возрастает, но после выращивания обнаружены дефекты: трещины, непролавы, частицы порошка, пористость. Для устранения дефектов применили прессование. Прочность сохранилась, пластичность возросла в разы, на вязком изломе уже не видны дефекты. Докладчик высказал суждение, что «горячее прессование — это палочка-выручалочка для аддитивных технологий».

Представитель МАИ рассказал о применении компьютерной томографии в разработке и исследованиях ракетных двигателей. Целью одного из экспериментов было узнать температуру нагрева металлической однофорсуночной смесительной головки РДНТ, выращенной из кобальт-хрома, для чего были проведены «огневые испытания». Испытания выявили некоторые недостатки проектирования конструкций под аддитивные технологии и дали массу материала для анализа.

Оба российских докладчика подчеркнули, что томографические исследования были проведены при содействии компании «Совтест АТЕ». Но и всем

участникам конференции была предоставлена возможность привезти на бесплатную инспекцию образцы своей продукции. Выгода носит обоюдный характер: участники конференции получают уникальный шанс проверить свою продукцию на лучшем оборудовании, которое есть сегодня в мире, а «Совтест АТЕ» таким образом накапливает статистику.

Что впереди: и в шутку, и всерьез

На конференции отчетливо прозвучала мысль, что пока не удастся совместить быстрое сканирование и высокое разрешение. Представители промышленности сетовали, что пока невозможно сканирование изделий больших размеров. Участники конференции сошлись во мнении, что компьютерные томографы



полезны во многих сферах, но аддитивные технологии буквально требуют томографии.

Модератор подытожил конференцию следующим выводом: «Покупая 3D-принтер, вы должны понимать, что следующей покупкой должен быть томограф». ■

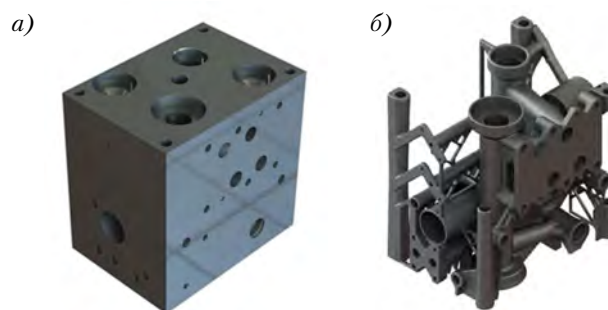
Развитие технологий – расширение возможностей

Татьяна Карпова

Конференция «Аддитивные технологии. Интеграция в современное производство», организованная ООО «Райт Солюшн» совместно с ассоциацией ARIAT, проходила 11 октября в Москве в рамках выставки «Станкостроение». Информационная площадка была предоставлена ведущим производителям и поставщикам 3D-принтеров и комплексов аддитивного выращивания. Специалисты рассказали о своих компаниях, технических характеристиках и технологических особенностях предлагаемого оборудования, преимуществах аддитивных технологий (АТ) и различных применениях 3D-печати в промышленности. Выступления подготовили представители активно работающих на российском рынке компаний: Renishaw, iGo3D, 3DQuality, DDM.lab, «Терем». Были показаны возможности таких технологий, как SLM, PolyJet, FDM, SLM, LMD/DED, отмечено постоянное расширение областей их применения, приведены впечатляющие решения.

Так, по данным компании «Ренишоу», применение АТ и бионического дизайна при проектировании коллектора (рис. 1) обеспечило такие преимущества изделия, как: снижение объема – 79%, снижение веса – 37%, повышение эффективности протоков жидкости – 60%, использование более прочного материала 316L, исполнение цельной конструкции – уменьшение вероятности возникновения дефектов, совместимость с существующей конструкцией. Применение FDM-принтеров производства BigRep (Германия) с большой камерой печати, предлагае-

Рис. 1. Коллектор (данные компании Renishaw): а – оригинальный; б – выполненный по аддитивной технологии



мых в России компанией «Терем», позволило осуществить целый ряд промышленных проектов: изготовление макетов гребных винтов в судостроении (Великобритания), сканирование и печать автожира (авиастроение, Россия), изготовление формы для литья бетона (строительство, Германия), изготовление ландшафтного макета (музейное дело, Греция) и др. Камера печати профессионального принтера ONE.3–1050×1050×1050 мм, разрешение 0,2–1 мкм. Высокоточная скоростная модель 2017 года STUDIO имеет камеру печати 490×1000×500 мм, разрешение 100 мкм–1 мм. И таких примеров было приведено множество.

Хочется отметить, что в выступлениях докладчиков прозвучала готовность подробно информировать клиентов о новинках и перспективных разработках, осуществлять тесное взаимодействие по поиску лучших решений и оказывать помощь в целях эффективного внедрения оборудования. ■



Контактная информация:
телефон: 8 (831) 437-17-02
8 (800) 700-38-41
e-mail: info@ap-proekt.ru
www.ap-proekt.ru

Поможем воплотить Ваши идеи в жизнь!

Компания «АП-Проект» начала свою работу в 2009 году. Мы занимаемся созданием изделий с помощью 3D-печати и литья в силиконовые формы, а также поставкой 3D-принтеров, SLA-установок и машин для литья в силиконовые формы.

Наша компания предлагает Вам:

- ✓ услуги 3D-сканирования
- ✓ услуги 3D-печати по различным технологиям и различными материалами
- ✓ изготовление копий деталей по Вашему образцу
- ✓ изготовление изделий методом литья в силиконовые формы от 1 до 500 штук
- ✓ литьё на ТПА партией от 1000 штук

Сотрудничать с «АП-Проект» удобно и выгодно, так как мы обладаем рядом преимуществ.

Мы можем напечатать Ваше изделие по технологии лазерной стереолитографии (SLA) из фотополимеров белого, чёрного и прозрачного цветов, термостойкого и ударопрочного материала, а также фотополимера, имитирующего резину.

Предложим послонную печать по технологии FDM из ABS и PLA-нити различных цветов, также из нейлона, карбона и резиноимитирующего материала.

Срок 3D-печати по любой из технологий от одного дня.

Изготовим для Вас партию изделий методом вакуумного литья в силиконовые формы.

Учитывая требования заказчика, выполним изделия любого цвета из каталога RAL, различного типа поверхности (матовая, глянцевая, мелкий песок), с заливкой закладных элементов.

Подберём свойства полиуретана (АБС, ПК, ПА, ПЭ, резина, УФ и термостойкость), исходя из условий эксплуатации изделий.

Срок изготовления изделий данным методом от 5 рабочих дней.

Изготовим детали весом не более 36 г. на мини-ТПА Babyplast.

В качестве сырья для данного мелкосерийного производства, мы используем полиэтилен (HDPP, LDPP), полипропилен (PP), полистирол (PS), полиамид (PA), АБС-пластик, полиэфирэфиркетон (PEEK), поликарбонат (PC), полиацеталь, полиоксиметелен (POM), полибутилен (PBT), литьевые фторопласты (PPS).

Подберём наиболее подходящий для заказчика цвет материала по каталогу RAL.

Компания «АП-Проект» предлагает инженеринговые услуги и 3D-сканирование.

В инженеринговые услуги входит:

- ✓ разработка 3D-модели по Вашим чертежам
- ✓ доработка и исправление поверхностей модели до соответствия требованиям Заказчика
- ✓ сохранение 3D-модели в удобном для Вас формате
- ✓ обсуждение окончательной модели с конструктором
- ✓ печать прототипа на 3D-принтере

В услугу 3D-сканирования входит:

- ✓ консультация технологов по вопросам сканирования
- ✓ 3D-сканирование детали
- ✓ сохранение модели в нужном формате (OBJ, PLY, STL)
- ✓ доработка и подготовка 3D-модели к печати

Срок 3D-сканирования и разработки 3D-модели от трёх рабочих дней.

Более подробную информацию об услугах компании «АП-Проект» и условиях сотрудничества можно узнать на сайте www.ap-proekt.ru.



**ИНЖИНИРИНГ
3D-СКАНИРОВАНИЕ**



**3D-ПЕЧАТЬ
ЛЮБОЙ
СЛОЖНОСТИ**



**ПОСТАВКА
ОБОРУДОВАНИЯ**



**Технологии FDM,
SLA, SLS**



**срок изготовления
от 1 дня**

**ЛИТЬЕ
В СИЛИКОН**



**Изделия
из пластика любой
СЛОЖНОСТИ**

- Профессиональное оборудование для 3D-печати
- Технологические линии для вакуумного литья в силиконовые формы
- Чиллеры
- Термопласты



**срок изготовления
от 5 дней**

Контактная информация:
телефон: 8 (831) 437-17-02
8 (800) 700-38-41
e-mail: info@ap-proekt.ru
www.ap-proekt.ru

Быстро и точно: когда 3D-сканирование становится основой реверс-инжиниринга

Немного о 3D-сканировании

Объемное сканирование физического объекта подразумевает под собой сбор информации для составления его детализированной цифровой копии с учетом его геометрических размеров. В зависимости от спецификаций сканера точность получаемых полигональных моделей варьируется от десятков до сотен мкм.

На данный момент основным видом 3D-сканирования является бесконтактное сканирование, которое применяется в инженерном проектировании и производстве, архитектуре и искусстве с целью решения задач по двум направлениям — контроля геометрии и реверс-инжиниринга.

Задачи обратного проектирования

Цель реверс-инжиниринга (обратного проектирования) — в получении точных габаритов и составлении чертежной документации на основании физического образца изделия. Результатом данного процесса является формирование редактируемой CAD-моде-

ли с деревом построения, поэтому к реверс-инжинирингу прибегают, когда нужно отмасштабировать или изменить геометрию изделия, а техническая документация отсутствует. Также реверс-инжиниринг применяется для контроля изготовленных изделий, то есть сравнения полученного изделия с исходной 3D-моделью. Данный метод позволяет еще на этапе тестирования изделий определить соответствие получаемых деталей и их математической модели, а также определить, к примеру, износ пресс-формы после отливки десятков и сотен тысяч корпусов.

Поскольку обратное проектирование не всегда является копированием, это ключ к импортозамещению: давая представление о строении объекта, реверс-инжиниринг не раскрывает технологию его производства и дает возможность видоизменить изделие, тем самым не нарушая прав на интеллектуальную собственность.

Также обратное проектирование используют при необходи-

мости создания деталей, которые давно были сняты с производства. Как пример, компания Thompson Precision восстановила компонент рулевого управления поезда для подвижного состава лондонского метро. К реверс-инжинирингу пришлось прибегнуть ввиду отсутствия документации и невозможности приобретения детали у ее первоначального производителя. Как итог — изготовлен компонент с улучшенными по сравнению с оригиналом характеристиками.

Как это работает

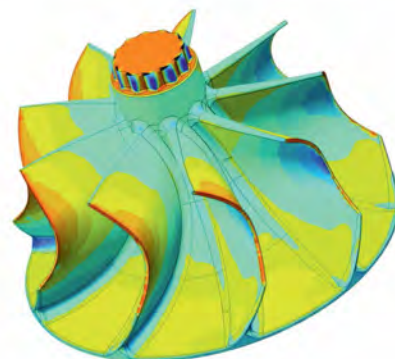
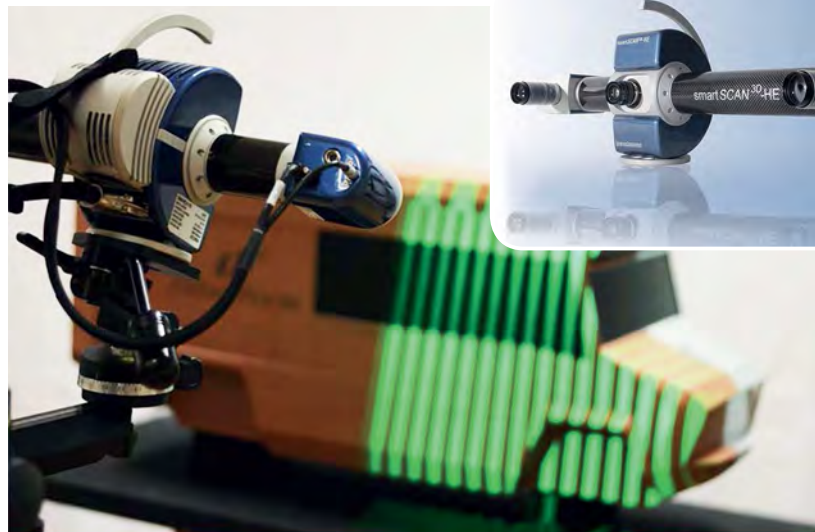
Процесс делится на несколько этапов:

1. Подготовка модели к 3D-сканированию (нанесение антибликового спрея).

2. Сканирование объекта для создания облака точек, содержащего данные о поверхностях и геометрии детали.

3. Перевод полигональной модели в твердотельную 3D-модель через специальное программное обеспечение, например, Geomagic Design X.

4. Работа с полученной информацией: моделирование, редактирование и анализ модели, при необходимости создание документации.





5. Производство объекта на аддитивной установке или с помощью традиционных методов обработки.

Бесконтактные сканеры не наносят какого-либо урона сканируемой модели, а полученная в результате обратного проектирования CAD-модель передает мельчайшие детали исходного объекта.

После перевода результатов сканирования через специальное ПО мы получаем CAD-модель, которую можно либо дорабатывать, либо сразу отправлять на производство.

Итак, реверс-инжиниринг, реализуемый с помощью 3D-сканера, — это метод быстрого получения цифрового представления физического объекта. Безусловно, можно использовать различный измерительный инструмент и создать 3D-модель вручную, но это приводит к лишним затратам времени и человеческих ресурсов.

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПАНИИ

Специалисты Центра аддитивных технологий 3Dvision выполняют 3D-сканирование объекта в самые кратчайшие сроки, а также помогут подобрать 3D-сканер, если есть необходимость в его покупке. Для 3D-сканирования мы используем различное оборудование в зависимости от конечных требований клиента. Для решения задач с повышенной точностью нашими инженерами используется одна из топовых линеек 3D-сканеров — Breuckmann smartSCAN-HE.

Небольшая информационная таблица возможностей данного сканера на наиболее часто используемых габаритах. ■

Горизонтальный размер зоны сканирования, мм	48×36	160×120	380×285
Глубина зоны сканирования, мм	30	100	235
Разрешение по x, y, мкм	20	70	160
Предельное разрешение по Z, мкм	1	4	8
Шум по Z, мкм	± 2	± 8	± 18
Предельное отклонение (точность сканирования), мкм	± 7	± 15	± 35



3DVISION

Центр Объемной Печати

Услуги: mail@3dvision.su

Поставки оборудования и расходных материалов: info@3dvision.su

Тел.: +7 (812) 385-72-92, +7 (495) 662-98-58, 8 (800) 333-07-58

<https://3dvision.su>

<https://www.instagram.com/3dvision.su/>

<https://vk.com/3dvisionsu>

Организатор конференции:
ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена»
Минздрава России (г. Санкт-Петербург),
ФГБУ «ПФМИЦ» Минздрава России
(г. Нижний Новгород), «Ассоциация специалистов
по 3D-печати в медицине» (г. Нижний Новгород)

16 марта 2018 года

Научно-практическая конференция с международным участием «Прототипирование и аддитивные технологии в травматологии и ортопедии»

Место проведения конференции:
Санкт-Петербург
ул. Академика Байкова, 8

Основные вопросы:

- Технологии 3D-визуализации и прототипирования
- Возможности аддитивных технологий в травматологии и ортопедии
- «Custom — made implants» — результаты при артропластике

Оргкомитет:

научная программа:

+7(965) 0733881, med-03@yandex.ru

Алексей Олегович Денисов

сервис-партнер: ООО «Альга Астра»
(812) 386-38-31, 386-38-32

Farsoon Technologies: open for industry innovate with Farsoon

Hunan Farsoon High-tech Co., Ltd является поставщиком решений для селективного лазерного спекания. Компания основана в 2009 году доктором Ху (Dr. Xu Xiaoshu) — одним из ведущих специалистов в этой области, который имеет более чем 15-летний опыт разработки технологий в США и за рубежом. Он был менеджером перспективных процессов в DTM (один из пионеров технологии лазерного спекания), где отвечал за критические системы управления, используемые сегодня во многих лазерных спекающих машинах.

Farsoon специализируется на инновациях и вкладывает значительные средства в НИОКР, производство оборудования и материалов. В 2010 году Farsoon успешно разработала первую в Китае высокопроизводительную машину селективного лазерного спекания.

Farsoon была основана с четким видением создания открытой платформы, которая предоставит полную свободу действий. Это означает, что пользователь имеет доступ ко всем настройкам параметров на машине, а также может использовать материалы из любых источников. Мы считаем, что только благодаря открытой системе и поиску новых, лучших и более экономичных материалов отрасль может расти в целом. Для этого Farsoon активно сотрудничает с ведущими производителями для разработки следующего поколения материалов для лазерного спекания.

Компания постоянно развивает свои производственные и технические возможности, а также находит новые рынки для этой технологии. Farsoon работает и разрабатывает уникальные проекты для таких отраслей, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность, промышленный дизайн, производство, медицина, архитектура и т.д. Мы считаем, что тесное партнерство имеет жизненно важное значение для поиска инновационных решений.

В настоящий момент продуктовая линейка компании состоит из двух серий — печатающих металлом и пластиком, в совокупности десять машин, отличающихся по размеру камеры построения и мощности. Флагманом пластикового семейства является аддитивная машина Farsoon 403, которая имеет увеличенную камеру построения 450x450x600 мм и возможность работать с материалами при температуре до 230 градусов. Материалы, предлагаемые Farsoon, — это полиамиды PA6 и PA12, стеклонаполненный полиамид, карбонаполненный полиамид, нейлоны и TPU. В 2017 году компания Farsoon анонсировала концепцию производственного участка CAMS, способного наладить серийное производство изделий. Презентация оборудования состоится в марте 2018 года на выставке TCT Asia. Также в линейке производственных аддитивных машин Farsoon есть две модели, работающие по технологии селективного ла-

зерного сплавления металлических порошков. Машина FS271M имеет камеру построения размером 275x275x320 мм и работает с любыми материалами, которые есть в наличии, благодаря открытой архитектуре. Машина FS271M успешно протестирована с такими материалами, как алюминий, титан, медь, бронза, нержавеющей сталь, жаропрочная сталь, никелевый сплав, тантал и вольфрам.

Наличие достаточного количества модификаций и материалов в сочетании с открытой архитектурой и низкой стоимостью оборудования дают возможность клиентам компании Farsoon решать все поставленные задачи. Компания «СИНКАМ» — официальный дистрибьютор Farsoon в России — имеет в своем штате квалифицированных специалистов, которые подберут для вас оптимальную конфигурацию оборудования, проведут тесты и пусконаладочные работы, а также будут сопровождать оборудование на протяжении всего периода эксплуатации. ■

ООО «СИНКАМ»
г. Москва, Хлебозаводский проезд,
дом 7, строение 9, офис XV
Телефон: +7 (495) 768-77-43
sales@farsoon.ru
www.farsoon.ru



ООО «СИНКАМ»
г. Москва, Хлебозаводский проезд
дом 7, строение 9, офис XV
Телефон: +7 (495) 768-77-43
sales@farsoon.ru, www.farsoon.ru

3D-ПЕЧАТЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



FS/HS/SS/HT 403 P



FS 271 M



eForm



FS 252 P



FS 121 M

**3D-принтеры,
использующие полиамид**

**3D-принтеры,
использующие металл**



Autodesk Netfabb. Комплексное решение для аддитивного производства

Алексей Никулин, ведущий инженер-консультант по направлению «Машиностроение» компании «ПОИИТ»

Компания Autodesk представлена на рынке инструментов автоматизации проектирования и производства давно и широко. Количество ее инструментов в этой области уже настолько велико, что перечислить все их без запинки довольно сложно. И это количество постоянно растет. Причем среди этих инструментов есть не только те, которые изначально родились в лабораториях Autodesk. Наблюдая за потребностями отрасли и стремясь предоставлять своим пользователям только лучшие решения, Autodesk в некоторых случаях не изобретает велосипед, а приобретает готовые, надежные, лидирующие на рынке и уже зарекомендовавшие себя у пользователей инструменты других разработчиков и затем постепенно интегрирует их в свое портфолио, давая им новый мощный импульс к дальнейшему развитию. Чего стоят только такие имена, как Moldflow, Nastran, Delcam, Netfabb... Autodesk не обошла вниманием молодую и стремительно развивающуюся область аддитивных технологий производства. В портфолио решений Autodesk для этой области появился мощный комплексный инструмент «всё в одном» — Autodesk Netfabb. В этой статье будет рассмотрен весь спектр непростых вопросов, встающих перед компаниями, открывающими для себя аддитивные технологии, и широкий набор ответов, которые может дать своим пользователям новое решение компании Autodesk.

«Зоны ответственности»

Autodesk Netfabb

«Autodesk — первая компания, предложившая решение «всё в одном» для аддитивного производства путем поглощения ряда ведущих производителей ПО в этой области».

Roland Berger Consulting

Сегодня инструменты Autodesk Netfabb могут использоваться на всех ключевых этапах процесса подготовки аддитивного производства — от выхода модели из САПР и до входа файла модели в 3D-принтер. Стоит отметить, что Netfabb был приобретен компанией Autodesk относительно недавно и не всегда обладал таким широким спектром функционала. Но за последние несколько лет продукт значительно вырос, дополнился целым рядом новых технологий и стал мощнейшим комплексным решением в области аддитивных технологий.

Функционал современного Autodesk Netfabb можно условно поделить на 5 основных зон:

- **Создание** (или импорт) модели, исправление сетки (при необходимости) и доработка после САПР.

- **Оптимизация** детали под аддитивное производство — с точки зрения соотношения массы/объема/прочности/технологичности. Также на этом этапе деталь может приобрести новые свойства, иногда неожиданные — например,

упругость, пористость, теплопроводность, гигроскопичность и другие.

- **Подготовка** модели к печати — создание системы поддержек для нависающих частей геометрии, пакование множества деталей в рабочее поле принтера для одновременной печати, «слайсинг» («расслоёвка») моделей и др.

- **Цифровой анализ** детали и виртуальная имитация процессов печати из металлов для предсказания и исключения возможных ошибок.

- Завершающая и/или предварительная **обработка** детали. Это доработка детали (сверлением, фрезерованием), удаление временных структур и поддержек, температурная или химическая обработка, зачистка и полировка поверхностей, выходной инструментальный контроль.

Рассмотрим эти этапы последовательно.

Создание

Для пользователя Autodesk Netfabb этот этап чаще всего начинается с импорта модели из САПР. Здесь неоценимую помощь ему окажет возможность прямого импорта данных из самых распространенных САПР других производителей (SolidWorks, Catia, NX, Creo и др.) и поддержка широкого набора нейтральных форматов файлов — как триангулированных (например, STL, OBJ, 3DS и др.),

так и поверхностных (STEP, SAT, IGES и др.). Кроме того, поддерживается широкий набор форматов распространенных 3D-принтеров для передачи моделей уже после так называемого «слайсинга» («расслоёвки»).

Благодаря широким возможностям импорта в различных форматах пользователям Netfabb не придется тратиться на приобретение дополнительных лицензий САПР или конверторов сторонних производителей.

Модели в виде триангулированных сеток наиболее широко распространены в области подготовки моделей к трехмерной печати. Самый распространенный формат здесь — STL. Его поддерживает практически каждая программа, более или менее связанная с 3D. Обратной стороной широкой популярности этого формата является то, что каждая программа понимает его немного по-своему. Это ведет к тому, что при передаче моделей из одной системы в другую в них могут накапливаться различные ошибки. Например, отверстия в оболочках модели, вывернутые нормали отдельных граней, наложения граней и др. Если их не устранить, они вполне могут привести к ошибкам или даже невозможности печати модели.

В Netfabb есть широкий набор инструментов исправления каждой такой ошибки. Их можно использовать не только вручную, но и в автоматическом режиме, что гораздо быстрее. Достаточно загрузить модель и выбрать нужный скрипт исправления. Система сама «вылечит» модель от всех известных «болячек» в течение нескольких секунд. Причем о том, что модель нуждается в исправлении, Netfabb предупредит вас заранее, отметив ее специальным значком еще в диалоговом окне открытия файла. Более того, возможно автоматическое па-

кетное исправление сразу группы одновременно открываемых файлов.

Оптимизация

Функционал оптимизации деталей Netfabb позволяет превращать обычные САПР-модели в облегченную систему из оболочек и внутренней решетчатой структуры переменной плотности при сохранении необходимой прочности. Детали в этом случае могут быть оптимизированы по массе, объему, прочности, технологичности и по еще целому ряду характеристик. Конструктор может даже изменить свойства самого материала печати как для всей модели, так и для отдельных ее участков. Например, можно будет создавать на металлической или полимерной детали пористые участки и гладкие, упругие и жесткие, причем упругость может быть анизотропной (неравной по разным осям). Перечислять возможные области применения утилиты оптимизации Netfabb можно долго, и перечень все равно не будет полным, так как пользователи Netfabb постоянно открывают все новые и новые. Но основным применением, безусловно, останется снижение массы детали при сохранении необходимой надежности под заданными нагрузками.

Работает утилита под управлением решателя Autodesk Nastran,

что, согласитесь, внушает доверие к результатам. Типовой процесс оптимизации представлен на рисунке 1.

Это позволяет быстро получать сложнейшие детали с удивительными свойствами, в том числе с необычной эстетикой. На рисунке 2 можно увидеть пористую структуру костного импланта и произведение искусства от Sarat Babu, Richard Beckett и Vasilis Chlorokostas.

Netfabb уже «из коробки» поддерживает множество различных типов заполняющих структур. Кроме них в Netfabb можно создавать и свои собственные типы. Для этого в комплекте есть специальный удобный и интуитивно понятный редактор.

Рассмотрим еще один метод оптимизации деталей. Это так называемое «порождающее моделирование» (его еще называют оптимизацией топологии детали или Generative Design). При использовании этой технологии программа сама создает форму детали, исходя из заданных человеком пространственных и нагрузочных условий. В портфеле решений Autodesk этот функционал появился уже относительно давно. Раньше он назывался «проект DreamCatcher». Также упрощенный функционал порождающего моделирования уже давно входит в состав системы трехмерного проектирования

Рис. 1. Оптимизация структуры крепежного элемента

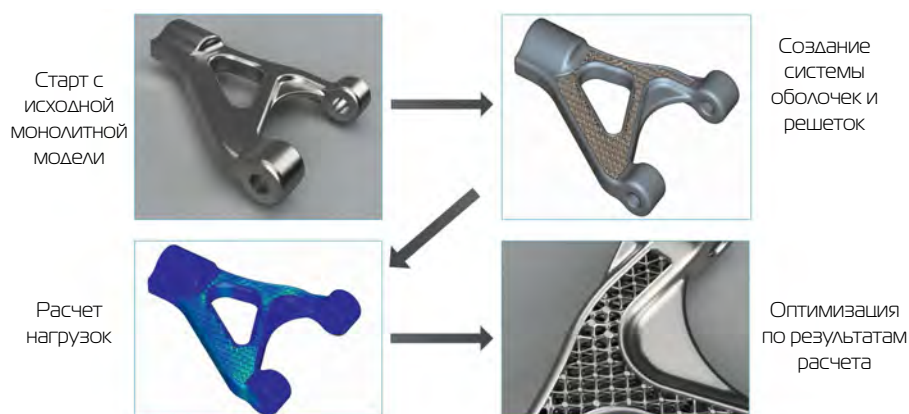
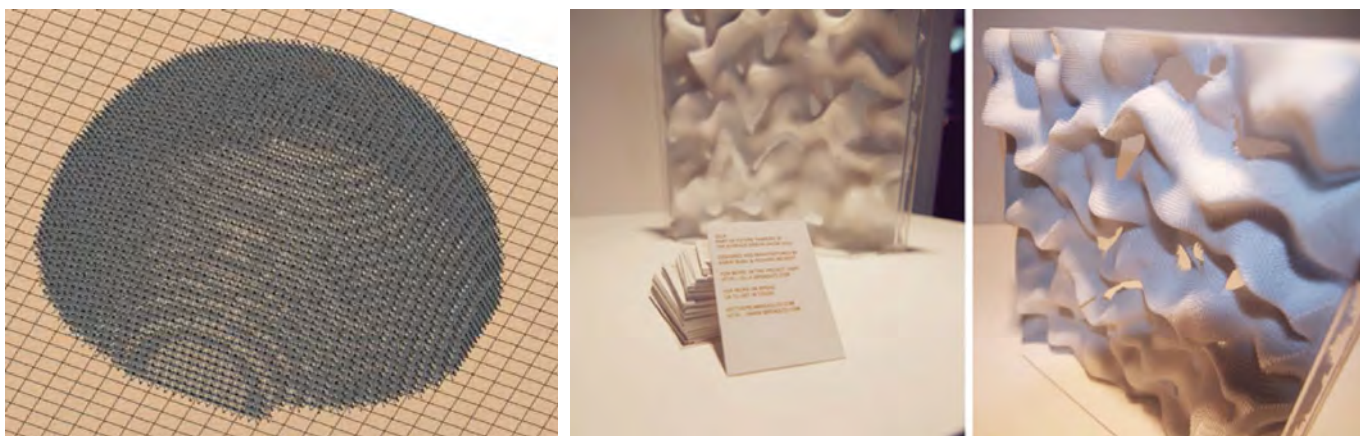


Рис. 2. Пористая структура костного импланта (слева), проект Sarat Babu, Richard Beckett u Vasilis Chlorokostas (справа)



Autodesk Inventor Professional. Недавно этот функционал пришел и в Autodesk Netfabb¹.

Autodesk Netfabb, оснащенный технологией оптимизации топологии, самостоятельно создает для конструктора форму детали под заданные им условия её функционирования. Причем делает это так, как никогда не пришло бы в голову самому человеку. Детали, которые получаются в результате, не только максимально эффективны, но часто обладают и красивейшими бионическими формами, напоминающими костную структуру животных. Дикий,

природный, «порождающий» дизайн (рис. 3).

Почему функционал порождающего проектирования DreamCatcher перенесен именно в Netfabb — решение для аддитивного производства? Очевидно, что такие формы просто невозможно произвести средствами обычного традиционного производства. Ни один суперсовременный фрезерный станок с ЧПУ не справится с такой сложной деталью, будь в нем хоть десятки управляемых осей. Здесь применима только трехмерная печать, которая может произвести эту надежную

и одновременно легкую деталь за одну операцию. И вся уникальная форма детали при этом будет ориентирована на поддержание прочности — каждый кубический сантиметр материала будет расположен там, где он необходим для обеспечения безопасности конструкции. Ни одного лишнего грамма.

Подготовка

Продолжим рассказ про Netfabb областью его функционала, связанной с непосредственной подготовкой уже готовой модели к печати на аддитивном оборудовании.

Рис. 3. Примеры сгенерированных компьютером форм изделий



¹ Правильнее будет сказать, что сам проект DreamCatcher теперь полностью переключался в Netfabb. Отдельно он больше не существует, а в Netfabb он уже сейчас доступен некоторым пользователям в виде предварительного тестирования технологии. Но, по обещаниям разработчиков, уже в ближайшие месяцы станет неотъемлемой частью пакета.

Рис. 4. 3D-модели деталей с поддержками



Начнем с совершенно необходимого. Структура поддержек для частей детали, которые нависают над платформой, не имея снизу уже пропечатанного материала. Чтобы эти части во время печати не отвалились от модели или не покособили всю модель, под ними создаются временные, тонкие и легко удаляемые после производства структуры — так называемые «поддержки» (рис. 4). В Netfabb они в большинстве случаев создаются автоматически. Хотя, конечно, инструменты ручного их создания и редактирования тоже предусмотрены. Поддержки бывают разных типов: прямые, ветвящиеся, древовидные, стеночные, объемные и комбинированные.

Кроме того, Netfabb даже может сам предложить пользователю оптимальные варианты ориентации детали при печати, исходя из соотношения объема поддержек, общей поддерживаемой площади и общего времени печати. Пользователю останется только выбрать наиболее подходящий вариант ориентации из списка, предложенного системой.

Каждая операция печати — длительный и дорогой процесс.

Поэтому очень важно «упаковать» в одну операцию максимально возможное количество деталей, сэкономив не только время, но и материалы. Инструменты Netfabb для автоматического пакования деталей в рабочее пространство принтера позволяют размещать детали с высочайшей плотностью, недостижимой в случае ручного расположения. Причем Netfabb делает это несравнимо быстрее человека — за считанные секунды.

Для этого могут использоваться различные алгоритмы пакования: плоские, трехмерные, контурные. Для технологий печати, не требующих поддержек, можно располагать детали друг над другом. При трехмерном размещении Netfabb будет следить даже за тем, чтобы детали не сцепились и не переплелись между собой. Вокруг групп мелких деталей можно автоматически генерировать временные легкие коробки, чтобы детали при извлечении не растерялись.

В Netfabb встроена также обширная библиотека оборудования, что позволяет при подготовке печати учитывать параметры и специфику конкретной машины. Если же вы не найдете в ней

своего принтера, вы сможете задать его параметры вручную.

Анализ

Каждому, кто сталкивался с трехмерной печатью, знакомы эти проблемы:

- Множество неудачных попыток печати требует огромных затрат времени!

- Иногда даже после успешной печати вдруг выясняется, что был выбран слишком хрупкий материал для таких тонких стенок детали.

- В процессе проб и ошибок требуется постоянная подстройка моделей, чтобы они наконец напечатались как надо!

- Приходится всё и всегда печатать по несколько раз, чтобы получилось хорошо.

И самое обидное здесь заключается в том, что все эти ошибки чаще всего выявляются слишком поздно. То есть когда вы уже потратили деньги, время и материалы.

Аддитивное производство — область достаточно тонкая, и высокого качества результата она позволяет добиться только после серьезной оптимизации процесса. Без применения средств цифрового анализа и имитации процессов печати обычно это требует до десятка и более пробных попыток печати, каждая из которых не только длительна, но и очень затратна. В некоторых случаях стоимость каждой попытки может достигать десятков тысяч долларов. Большая аддитивная машина может производить сотни деталей за один цикл построения (а это много часов). Одна-единственная ошибка может уничтожить целый цикл и даже повредить саму машину. А это ой как недешево.

Аналитический модуль Netfabb Simulation² предназначен для ис-

² Модуль локального решателя Autodesk Netfabb Local Simulation приобретается отдельно. Он может использоваться совместно с Netfabb версий Premium или Ultimate. В ближайшее время пользователям Autodesk Netfabb Premium и Ultimate станет также доступен и облачный решатель модуля. На момент написания статьи облачный решатель находится в стадии тестирования, и политика предоставления пользователям доступа к нему пока не опубликована.

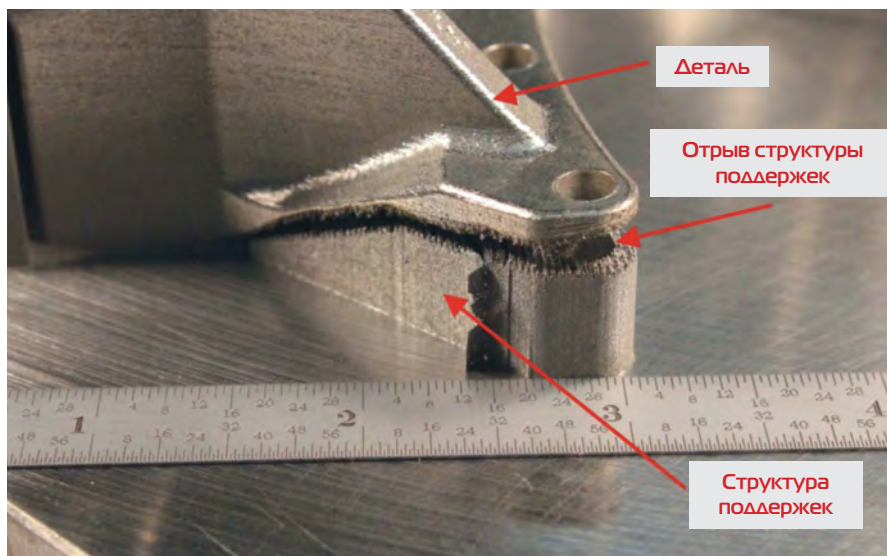
следования и имитации печати из металлов. Он позволяет заранее обнаружить и исключить множество потенциальных проблем. На основании виртуальной имитации процесса печати он предскажет, рассчитает и визуализирует остаточные напряжения и деформации детали, возникающие от неравномерного нагрева в процессе печати. Более того, он предложит автоматически компенсировать эти деформации, особым образом изменив модель перед печатью. Netfabb Simulation также сможет предсказать разрыв системы поддержек в результате деформации детали.

Предсказание и предотвращение возможных проблем печати еще на этапе подготовки позволяет в разы сократить количество требуемых итераций печати до получения идеального результата. Это заметно снижает себестоимость всего производства и радикально ускоряет его.

На рисунке 5 представлен пример отрыва структуры поддержек от детали в связи с ее деформацией. В данном случае эту дорогую титановую деталь, которая печаталась много часов, можно просто выбросить, так как она безнадежно деформирована.

А на рисунке 6 видно, что деформация детали оказалась очень большой. В реальности это привело даже к столкновению дета-

Рис. 5. Пример отрыва поддержек, вызванный деформацией во время процесса 3D-печати



ли с покрывным ножом принтера и его повреждению.

Машина после этого инцидента, вероятнее всего, надолго выбыла из строя и потребовала дорогостоящего ремонта. Расчетный модуль Netfabb Simulation мог предсказать эту ситуацию, но в данном случае не был применен вовремя.

На рисунке 7 показан еще один пример разрыва системы поддержек детали. Расчет и анализ процесса печати мог бы предсказать и предотвратить эту ситуацию.

Аддитивная машина в процессе печати управляется специальной программой, по сути, аналогичной ЧПУ. Эта программа

содержит траекторию инструмента, стратегии (паттерны) заполнения сплошных участков, режимы работы луча (например, мощность, скорость, фокус).

В Autodesk Netfabb встроен мощный низкоуровневый редактор этих программ, позволяющий в интуитивно понятном дружелюбном интерфейсе на уровне машинных кодов тонко настраивать работу машины над вашей деталью.

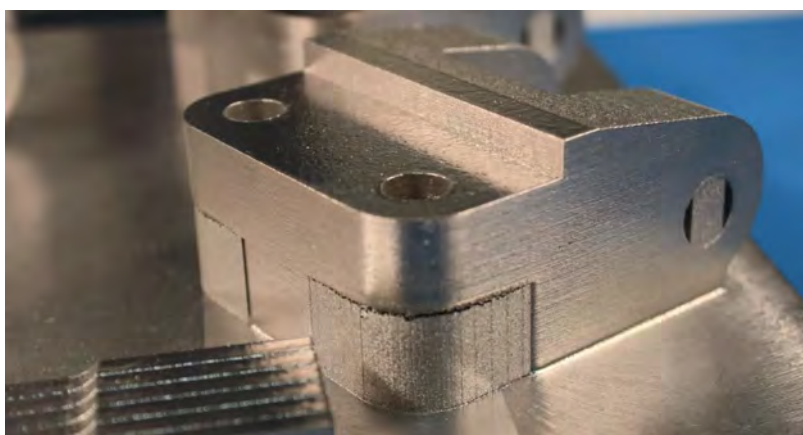
Обработка

Завершающий этап работы в области 3D-печати — обработка и контрольные измерения готовой детали. Autodesk Netfabb способен

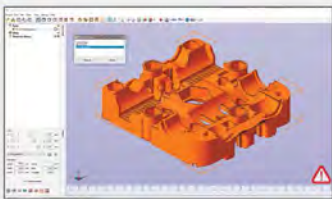
Рис. 6. Деформированная деталь



Рис. 7. Отрыв системы поддержек напечатанной детали

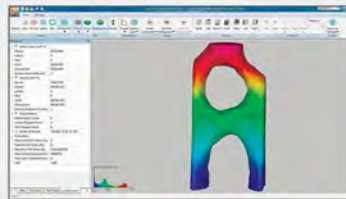


Netfabb – революционное решение для аддитивного производства: от 3D-модели до успешно напечатанной детали



Импорт и корректировка моделей

Netfabb импортирует модели из большинства известных CAD-систем и автоматически преобразует их в триангулированную сетку, что существенно экономит время. При этом интеллектуальные скрипты могут автоматически анализировать поверхности, исправлять ошибки сеток, улучшать точность моделей путем повторной триангуляции, устранять пространственные коллизии и прочие ошибки.



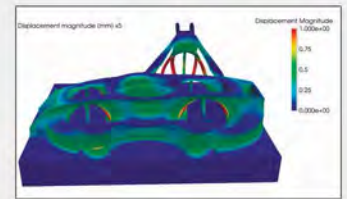
Оптимизация топологии деталей

Netfabb создает оптимизированные формы изделий, перебирая тысячи возможных вариантов, исходя из заданных параметров веса, жесткости, нагрузок и других возможных ограничений.



Оптимизация внутренней структуры и поверхности

С помощью Netfabb и 3D-печати создавайте детали с уникальной решетчатой структурой, позволяющей снизить вес, при этом сохранив характеристики прочности и производительности.

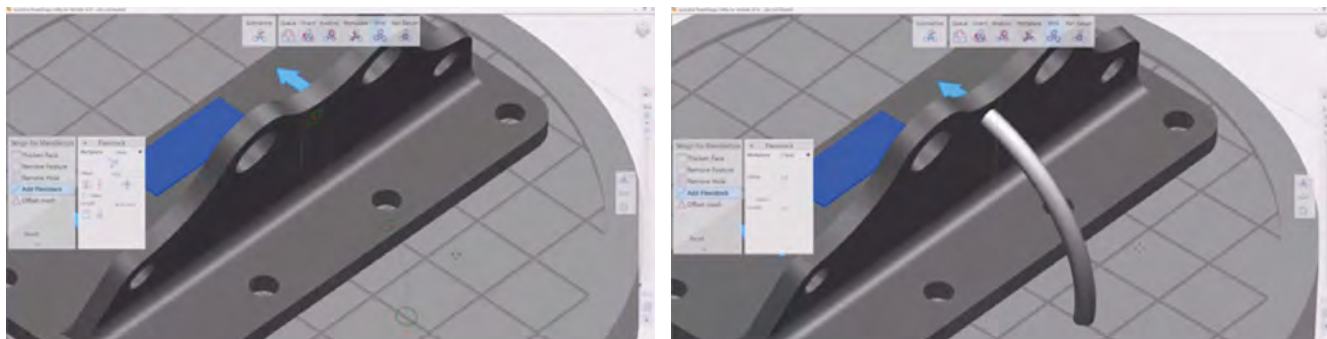


Моделирование процесса 3D-печати металлами

Быстрое моделирование процесса нанесения слоев позволяет прогнозировать напряжения и деформации в металлических деталях, помогая снизить потребность в дорогостоящих физических испытаниях и избежать повторения ошибок.

Хотите узнать больше?
pointcad.ru/product/autodesk-netfabb





помочь пользователям и на этом этапе.

Например, с помощью встроенной в него утилиты PowerShape³ можно смоделировать на детали легко удаляемые после обработки конструктивные элементы, упрощающие последующую доработку. В данном случае это временная подпорка, облегчающая сверление отверстий в тонкой наклонной стенке детали.

PowerShape уникален тем, что работает с триангулированной моделью как с обычной твердотельной или поверхностной, автоматически распознавая в ней геометрические элементы.

Кроме того, Autodesk Netfabb также способен работать в тесной связке с ЧПУ-продуктами Autodesk PowerMill и Autodesk FeatureCAM, а также с утилитой инструментального контроля Autodesk PowerInspect. В связке эти инструменты способны на порядок ускорить процесс завершающей обработки деталей.

Заключение

Autodesk Netfabb доступен в трех вариантах по нарастанию функционала и, соответственно, стоимости.

• Netfabb Standard — это вариант начального уровня для

исправления моделей, их ориентации в пространстве принтера и простейшей подготовки модели к печати.

• Netfabb Premium, кроме того, способен уже автоматически работать с подпорками, автоматически паковать детали в рабочее пространство принтеров, и к нему может подключаться отдельно приобретаемый модуль имитации и анализа процессов печати.

• Netfabb Ultimate кроме всего перечисленного также способен работать с оптимизацией формы и структуры деталей.

В данной статье приведено лишь краткое описание функционала Autodesk Netfabb. За более подробной информацией на русском языке (о Netfabb или других продуктах Autodesk в области промышленного проектирования и производства) вы можете обратиться на сайт компании ПОИНТ — www.pointcad.ru

Давайте подведем итоги всего, о чем мы поговорили. Autodesk Netfabb способен помочь пользователям практически на каждом этапе работы в области аддитивного производства — от выхода модели из САПР и до входа её в 3D-принтер. И даже немного дальше. С помощью Netfabb мы можем оптимизировать геоме-

трию и внутреннюю структуру детали, подготавливать ее к печати, анализировать процесс печати в цифровом виде, избегая дорогостоящих натуральных ошибок, и даже помогать на этапе последующей обработки успешно отпечатанной детали.

В любом пути важен каждый из составляющих его шагов. Один медленный шаг важного и сложного процесса задержит весь путь. Особенно это заметно на больших проектах, где таких шагов великое множество. В аддитивном производстве долгая подготовка моделей к печати или множество долгих и дорогих неудачных попыток печати значительно повышают длительность и стоимость производства. А с помощью Autodesk Netfabb, решения «всё в одном» в области аддитивного производства, можно не только быстрее подготавливать модели к печати, но также быстро и безошибочно печатать их наиболее эффективным способом.

Autodesk Netfabb — комплексное решение, которое позволит вам извлечь максимум из аддитивных технологий. ■

³ До приобретения Autodesk компании Delcam это был продукт Delcam PowerShape.



Triangulatica — НОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ

Денис Власов, «3DSL.A.RU – Российские 3D-принтеры»

Система подготовки и нарезки печатных столов для всех технологий 3D-печати Triangulatica в начале 2018 года станет доступна как полнофункциональный пробный продукт для всех желающих. Программный продукт развивался как внутренний проект «3DSL.A.RU – Российские 3D-принтеры» и был предназначен для полной замены импортных решений в нашей продукции продакшен-класса (это основной софт наших систем печати металлами RussianSLM). В 2018 году Triangulatica будет выделена в отдельную компанию, которая займется развитием и продвижением этого программного продукта.



Что такое Triangulatica и почему мы называем его слайсером для всех технологий?

1. В первую очередь, это мощная и удобная оболочка для подготовки рабочих столов. Мы думаем, что произвели революцию в построении интерфейсов 3D-софта – почти все операции с объектами в Triangulatica осуществляются только колесом мышки.

2. На базе Triangulatica любой 3D-стартап сможет строить свои новые модели принтеров. Любая компания сможет сделать Triangulatica софтом, поставляемым со 3D-принтером собственной разработки. Уже сейчас Triangulatica поддерживает SLM, SLA, SLS, DLP, LCD-технологии, технологии растровой и векторной печати. На очереди поддержка MJM, FFF, технологии печати фотоотверждаемыми гелями, Color Jet Printing, технологий биопечати.

3. Большая часть тяжелой математики Triangulatica осуществляется на GPU, что позволяет производить сложные расчеты без нагрузки на центральный процессор и получить хороший выигрыш в производительности. Такой подход позволит нам сделать для

Triangulatica мощные плагины, симулирующие физические процессы, протекающие при 3D-печати металлами и полимерами, а также разработать алгоритмы, реализующие автоматическую топологическую оптимизацию моделей при печати по той или иной технологии.

4. Реализована гибкая система автоматической генерации поддержек под любую технологию 3D-печати. Готовится модуль установки ручных поддержек.

5. Менеджеры и базы данных существующих 3D-принтеров и материалов станут тоже доступны в этом ПО. Ряд отечественных компаний уже прислали нам свои каталоги.

6. Софт снабжен средствами калибровки лазерных сканеров и математикой устранения нелинейности, готовится модуль калибровки матричных 3D-принтеров, где необходимо соблюдать равномерный световой поток по зоне печати. В 2018 году мы доведем эти решения до идеала и выпустим на рынок USB-приставки для калибровки машин средствами Triangulatica.

7. Уже сейчас в системе реализованы алгоритмы распределения тепловой нагрузки на изготавливаемую модель с целью подавления деформаций (доступно для SLM, SLS и SLA).

8. Triangulatica выходит с англоязычным интерфейсом, но мы готовим локализации: русская, французская, немецкая, испанская, японская, китайская, на очереди арабская и иврит. Вначале мы будем работать только на Windows, но версия для Mac тоже планируется.

9. В системе реализованы методики учета размера лазерного пятна для получения точных размеров изделия, возможны различные типы векторных и растровых заполнений моделей для реализации жестких пустотелых изделий или изделий со сложной сотовой внутренней структурой.

Мы уверены, что Triangulatica будет принята отечественным рынком и сможет завоевать мировую популярность. Мы для себя решили, что Triangulatica в 3D-отрасли должна стать аналогом Photoshop'a в полиграфии, и уже два года мы идем к этой цели. Мы сделаем это! ■

info@triangulatica.com
info@3dslda.ru

Развитие металлургии гранул

М.В. Зенина, ОАО «Всероссийский институт легких сплавов»

В последние годы технологии аддитивного производства (АП) стали стремительно завоевывать реальную экономику, в том числе и металлургию. В качестве расходных материалов для АП в металлургическом производстве используются высококачественные порошковые композиции, производство которых представляет собой важную самостоятельную задачу.

ОАО «ВИЛС» располагает соответствующим оборудованием и технологией производства деталей ответственного назначения из порошковых металлокомпозиций, получившей наименование «металлургия гранул», основанной на предприятии более 40 лет назад. Ее можно назвать преемницей технологии аддитивного производства, так как наибольшая часть операций технологического маршрута гранульной технологии, включая получение исходных порошков-гранул, газостатическое уплотнение, термическую и механическую обработку, необходимы и для аддитивного производства.

Производство порошков (гранул) предусматривает использование установок плазменного центробежного распыления типа УЦР. Они позволяют получать высококачественные порошки (гранулы) из жаропрочных никелевых сплавов, в основном для производства заготовок дисков и валов авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) по серийной гранульной технологии.

Тот факт, что свойства порошков, изготовленных методом плазменного центробежного распыления, отвечают требованиям, которые предъявляются к материалам для АП, подтвердили тестирования в различных организациях: SLM Solutions GmbH (Германия), АО «ИРЭ-Полус» (г. Фрязино), УРФУ (г. Екатеринбург), ИЛиСТ (г. Санкт-Петербург), АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь).

В таблице представлены результаты тестовых испытаний порошков ОАО «ВИЛС», которые проводились в Уральском федеральном университете (г. Екатеринбург).

Сравнительный анализ порошков, при производстве которых использовались разные методы атомизации, показал, что у порошков, полученных методом центробежного распыления, есть преимущества:

- выше коэффициент однородности частиц (для фракций –70 и –100 мкм);
- более низкие значения удельной поверхности частиц;
- выше значения пикнометрической и насыпной плотности.

Это подтверждает более высокие показатели плотности упаковки частиц и их низкой пористости. Содержание кислорода в порошках, полученных методом плазменного центробежного распыления, на порядок ниже, чем в порошке, полученном распылением газом («Atomizin»).

Металлографические исследования показали, что гранулы, полученные методом центробежного распыления, имеют правильную сферическую форму и на них практически отсутствуют сателлиты. Процент закрытой пористости частиц на порядок мень-

Характеристики порошков, полученных методом центробежного распыления (ОАО «ВИЛС») и газового распыления

Метод атомизации	Марка сплава	Фракция, мкм	Пикнометрическая плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Средний размер частиц порошка, д _{ср} , мкм	Среднее квадратичное отклонение, (мкм)	Степень однородности порошка	Удельная поверхность, м ² /г	Массовая доля кислорода, %
Газовое распыление Atomizin	Stainless Steel типа PH1	-70	7,81	3,87	30,30	10,71	2,83	0,01	0,025
Центробежное распыление ОАО «ВИЛС»	ВВ751П	-70	8,17	4,80	47,60	15,10	3,1	0,0066	0,006
	ВВ751П	-100	8,28	5,23	61,03	18,75	3,26	0,0053	0,007
	ЭП741НП	-140+50	8,28	4,90	58,90	22,60	2,60	0,0046	0,005

ше, чем при газовом распылении, и в основном она носит усадочный характер.

В настоящее время ОАО «ВИЛС» серийно изготавливает на имеющемся оборудовании гранулируемые жаропрочные сплавы на основе никеля. В 2015 году на предприятии были разработаны и выпущены технические условия ТУ 1-809-56 «Порошки из жаропрочных сплавов на основе никеля для использования в аддитивных технологиях», которые по основным характеристикам удовлетворяют требованиям заказчиков.

Нельзя не отметить, что никелевые сплавы являются сложнолегированными, с высоким содержанием алюминия и титана. Эти элементы, взаимодействуя с никелем, образуют до 45–60% γ -фазы $Ni_3(AlTi)$, что обеспечивает достижение высоких значений характеристик длительной прочности. Вместе с тем никелевые сплавы обладают низкой технологической прочностью при сварке, что требует разработки специальных способов и технологических приемов выращивания деталей аддитивными методами.

Тем не менее имеется положительный опыт применения порошков этих сплавов в АП.

Так, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева изготовил жаровую трубу камеры сгорания турбореактивного двигателя ДГ-4 М из порошка жаропрочного никелевого сплава ВВ751 П фракции менее 50 мкм [1] методом селективного лазерного сплавления (Selective Laser Melting). Изделие успешно прошло стендовые испытания в условиях работы, приближенных к реальным.

В результате совместных работ, в ходе которых «ВИЛС» выступал в роли поставщика порошка, а также разработчика тех-

нологий высокотемпературной газостатической (ВГО) и вакуумной термической (ТО) обработок изделий, были получены высокие механические характеристики, соответствующие требованиям, которые предъявляются к современным материалам для двигателестроения.

Предел прочности, $\sigma_b = 1540$ МПа

Предел текучести, $\sigma_{0,2} = 1180$ МПа

Относительное удлинение,
 $\delta = 16,0\%$

Относительное сужение,
 $\psi = 20,0\%$

Длительная прочность,
 $\sigma_{100}^{650} = 1084$ МПа

В ОАО «ВИЛС» были проведены совместные работы с «Центром технологической компетенции аддитивных технологий» (г. Воронеж) в части изготовления образцов и моделей изделий с использованием технологии селективного сплавления, а также с «Институтом лазерных и сварочных технологий» (г. С-Петербург) по получению деталей из порошка жаропрочного никелевого сплава ЭИ698 П методом лазерной гетерогенной порошковой металлургии. Эти работы требуют продолжения, но уже имеются заключения от вышеперечисленных организаций о положительном опыте применения порошков производства ОАО «ВИЛС» в аддитивных технологиях.

В настоящее время ОАО «ВИЛС» ведет работу по техническому обновлению производства, которое способно вывести производство порошков-гранул на новый, более высокий качественный уровень, а также решить поставленную задачу — создание замкнутого производственного цикла получения деталей из порошковых металлокомпозиций с использованием аддитивных технологий.

В 2017 году при участии дочерней структуры госкорпорации «Ростех» — АО «РТ-Проектные технологии» создан «Инжиниринговый центр аддитивных технологий» (ИЦ АТ). Он уже начал действовать на базе «ВИЛС» как центр координации, создания, подбора и адаптации решений по использованию 3D-моделирования и печати. Доля «ВИЛС» в структуре акционерного капитала ИЦ АТ составит 34%, остальные 66% акций, согласно плану, будут принадлежать холдингам «Ростеха» и частным партнерам.

Опыт ИЦ АТ будет использоваться в интересах всех участников рынка, заинтересованных в системном подходе к развитию аддитивных технологий в металлургии. Среди компаний, заинтересованных в сотрудничестве, крупнейшие российские предприятия: «Росатом», «Роскосмос», «Транснефть» и другие. Также ведется совместная работа с научными институтами, в том числе входящими в структуру Российской академии наук, Министерства образования и науки России. Укрепляются связи с отдельными лабораториями.

В задачи ИЦ АТ входит полный комплекс деятельности — от выявления потребностей по использованию аддитивных технологий на предприятиях до внедрения готовых решений «под ключ» и дальнейшего сервисного обслуживания заказчиков. Такой подход будет использоваться в том числе и для решений, связанных с применением гранулируемых жаропрочных никелевых сплавов, что позволит максимально быстро и эффективно развивать это направление. ■

Литература

1. Патент РФ № 2368683 от 05.03.2006 г.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ для печати ракет

А.В. Федотов, НПФ «Элан-Практик»

В 2012 году Национальное космическое агентство США начало проект LCUSP (Low Cost Upper Stage Propulsion) по разработке демонстратора криогенного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) верхней ступени с низкой себестоимостью. Целью данного проекта является проверка возможности снижения стоимости и сокращения сроков изготовления основных деталей ракетного двигателя за счет использования аддитивных технологий (АТ).

Благодаря АТ в случае успеха планируется уменьшить количество деталей в конструкции ЖРД

на 80%, а затраты при его изготовлении — почти в 10 раз, до 3 млн долларов США [1, 2]. Завершение испытаний опытных образцов ЖРД было запланировано на конец 2017 года.

Если исходить из предпосылки, что с помощью аддитивных технологий печатать можно всё, то пять лет — слишком большой срок на подобную разработку. Чего уж проще: есть 3D-модель деталей, металлический порошок, принтер. Запускай процесс и печатай! Но уже в самом начале проекта выяснилось, что необходимо заново сконструировать все

основные узлы и агрегаты ЖРД с учетом аддитивного способа производства. Поэтому после изготовления пробных образцов деталей была значительно откорректирована технология и модернизировано используемое в процессе оборудование.

В результате этой работы в конструкцию ЖРД были внесены значительные изменения и удалось значительно снизить число деталей (рис 1).

На рис. 2–8 показаны узлы, которые изготавливались с использованием аддитивных технологий.

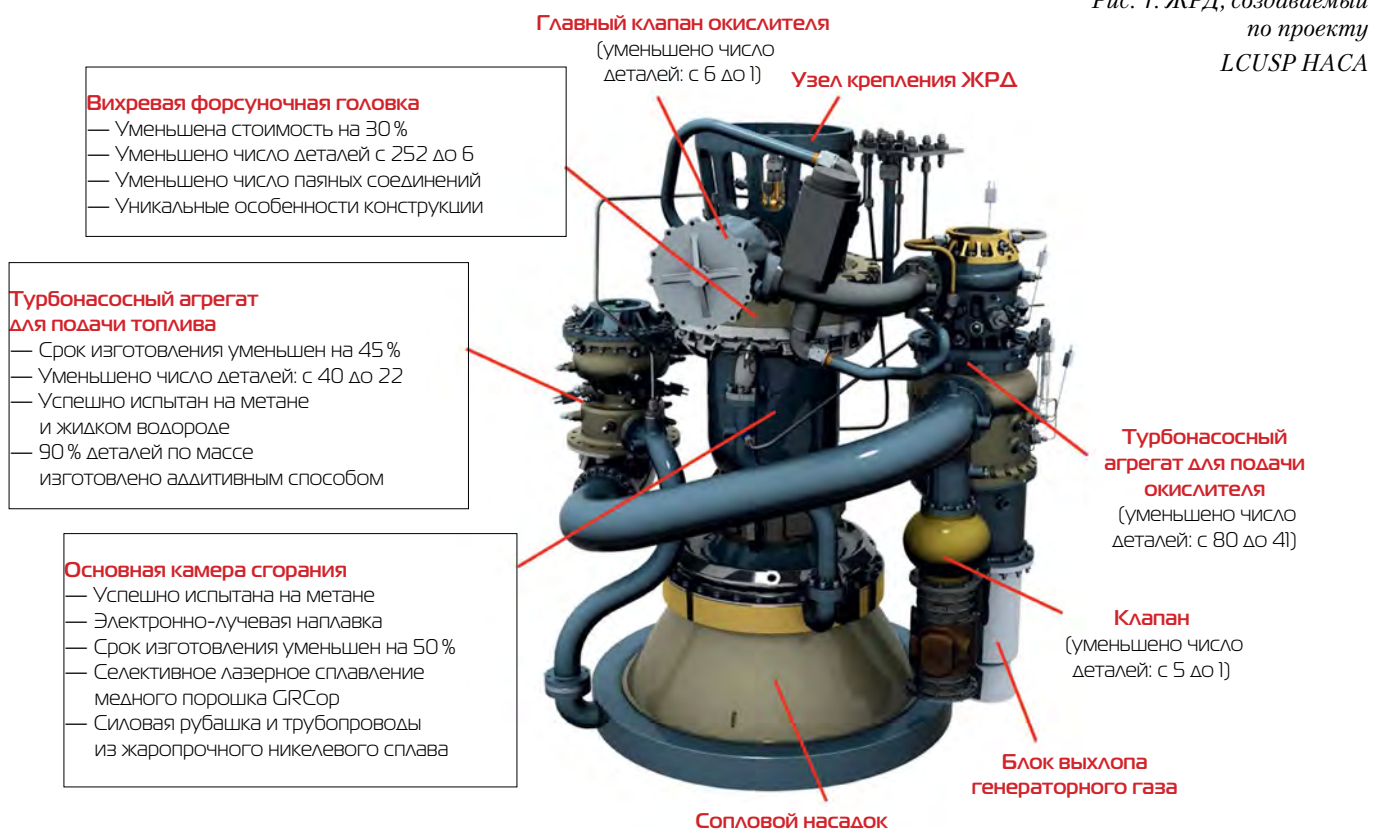


Рис. 1. ЖРД, создаваемый по проекту LCUSP НАСА

Рис. 2. Вихревая форсуночная головка

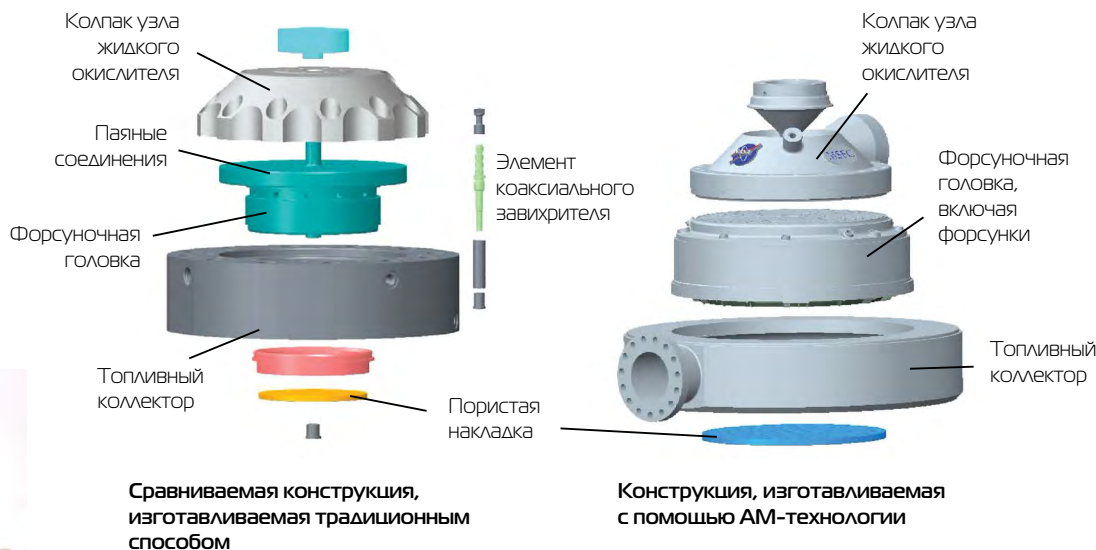


Уменьшения числа деталей удалось добиться благодаря использованию одного из главных преимуществ АТ – возможности построения монолитных конструкций со сложной внутренней структурой, а таких в ЖРД очень много.

В качестве примера рассмотрим три узла: вихревая форсуночная головка, камера сгорания и турбонасосный агрегат.

Вихревая головка, изготавливаемая традиционным способом, имеет около 260 отдельных деталей. Главным образом это детали форсунок. При сборке отдельные детали форсунки и сами форсун-

Рис. 3. Конструкция вихревой форсуночной головки



ки соединяются между собой методом пайки. Применение аддитивной технологии селективного лазерного сплавления порошка жаропрочного сплава Inconel позволило сразу получить монолитные детали со множеством внутренних каналов – форсунок, и общее число собираемых компонентов снизилось до шести (рис. 2–3).

В конструкции камеры сгорания ЖРД также есть множество спаянных профилированных трубок, используемых для потока охлаждающей жидкости, поэтому ее изготовление всегда затратно и трудоемко.

Аддитивные технологии позволяют сделать монолитную камеру сгорания с внутренними каналами, но для обеспечения

хорошего охлаждения конструкции ЖРД необходимо использовать медный сплав, который обладает более высоким коэффициентом теплопроводности по сравнению с жаропрочным никелевым сплавом.

В итоге перепроектирования камеры сгорания для обеспечения заданных температурных характеристик конструкторы сделали ее корпус двойным: внутренний корпус изготавливается из медного сплава GRCop-84 и имеет каналы охлаждения, а внешняя рубашка, несущая силовую нагрузку, изготовлена из жаропрочного сплава Inconel 625.

При разработке и изготовлении камеры сгорания ЖРД были использованы две технологии аддитивного производства:



Научно-производственная фирма «Элан-Практик»

- ✓ Разработка и изготовление промышленных и исследовательских вакуумных установок для нанесения многофункциональных наноструктурированных покрытий и ионно-плазменного диффузионного насыщения
- ✓ Разработка и внедрение промышленных технологий многофункциональных наноструктурированных покрытий с новыми свойствами для широкого спектра применений (упрочнение, защита от коррозии и износа, снижение трения, «антисхватывание», новый дизайн и др.)



г. Дзержинск Нижегородской обл., ул. Бутлерова, 51
тел.: 8313-20-44-44, 8313-20-50-45
www.elanpraktik.ru, www.эланпрактик.рф, praktik@sinn.ru

Рис. 4. Схема камеры сгорания ЖРД LCUSP

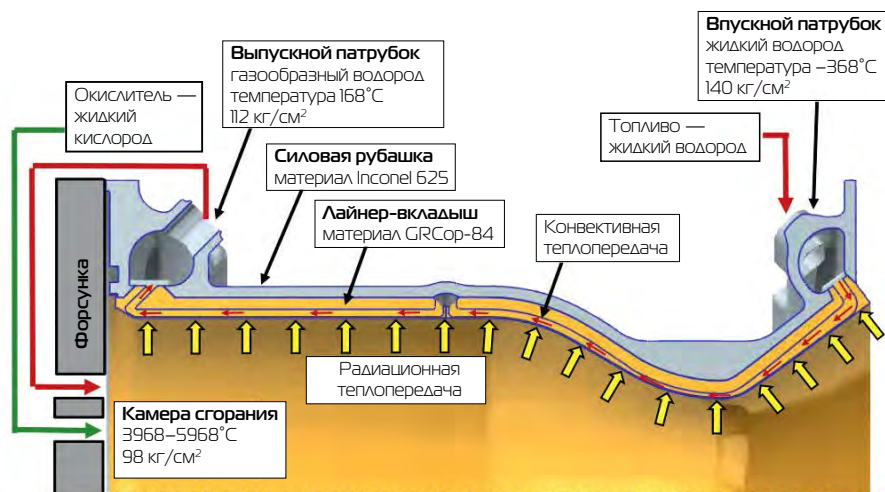


Рис. 6. Камера сгорания после наплавки проволоки из сплава Inconel 625



— селективное лазерное сплавление (SLM) порошка меди GRCo-84 для изготовления лайнера с контуром охлаждения камеры сгорания;

— электронно-лучевая наплавка Electron Beam Freeform Fabrication (EBF 3) проволоки из жаропрочного материала Inconel 625 на медный лайнер для создания силового корпуса ракетного двигателя.

Благодаря использованию аддитивных технологий при производстве турбонасосного агрегата удалось снизить в два раза количество изготавливаемых деталей по сравнению с аналогичными изделиями, сделанными по традиционным технологиям.

В проекте LCUSP широко использовались численные методы моделирования не только параметров тепловых процессов,

термических и механических напряжений в готовой детали, но и влияние параметров тепловых процессов при нагреве и плавлении порошка меди в процессе SLM, а также расчеты тепловых нагрузок и деформации конструкции при наплавке методом EBF 3. Также была создана база данных по механическим и термическим свойствам материалов Materials and Processing Technical Information System (MARTIS), которые потом будут использованы для проектирования и изготовления ракетных двигателей с использованием АТ.

В процессе разработки были решены технологические проблемы, среди которых следует отметить проблему более высокого коэффициента отражения в оптическом диапазоне медного порошка по сравнению с другими материалами, из-за которой параметры нагрева и плавления меди в процессе SLM не позволяли получить более плотный сплавленный слой. Это потребовало вне-

Рис. 5. Детали камеры сгорания, изготовленные из медного сплава



Рис. 7. Поперечное сечение стенки камеры сгорания



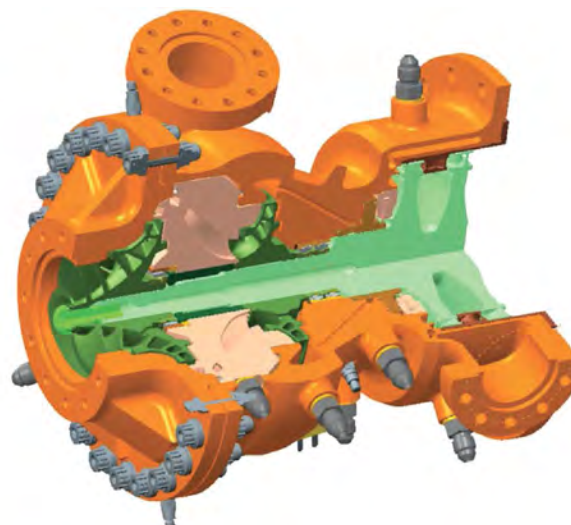
сения изменений в конструкцию установки SLM.

Еще одной решенной проблемой является проблема свариваемости жаропрочного сплава и меди, сохранения геометрических характеристик внутренних каналов в медном лайнере в процессе наплавки жаропрочного сплава.

Всего этого удалось добиться благодаря точным тепловым расчетам во время математического моделирования техпроцесса и последующему точному контролю температуры плавления проволоки из жаропрочного материала во время электронно-лучевой наплавки.

В результате широкого использования математического моделирования удалось значительно снизить срок разработки нового ЖРД.

Если идти традиционным путем: разработка — изготовление — испытания, то для отдельно взятой детали в случае неудачных испытаний нужно каждый раз возвращаться в начало разработки



детали (рис 9), и каждая итерация требует испытаний как отдельной детали, так и в составе изделия.

Компьютерное моделирование и аддитивные технологии позволяют быстро изготовить каждую деталь и изделие в целом, внести изменения в компьютерную модель после испытаний, в случае необходимости быстро повторить отработку (рис. 10).

В настоящее время работы НАСА в области аддитивных технологий сосредоточены на следующих задачах [2]:

1. Фундаментальные исследования с целью получения данных по взаимодействию лазерного излучения с металлами и исследование параметров процесса сплавления порошков для использования в математической модели автоматизации установки SLM (чтобы добавить в техпроцесс обратную связь по температуре и времени).

2. Разработка оборудования для повышения производительности порошковых установок SLM (с использованием нескольких лазерных наплавочных головок).

3. Разработка методик и стандартов контроля качества исходных материалов, оборудования и технологий.

4. Сертификация изготовленных аддитивными методами изделий с использованием нового обо-

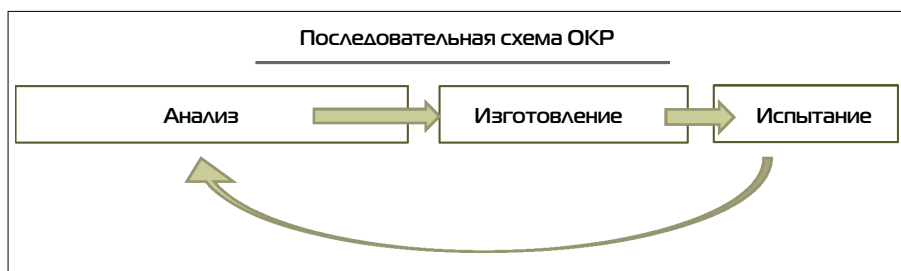
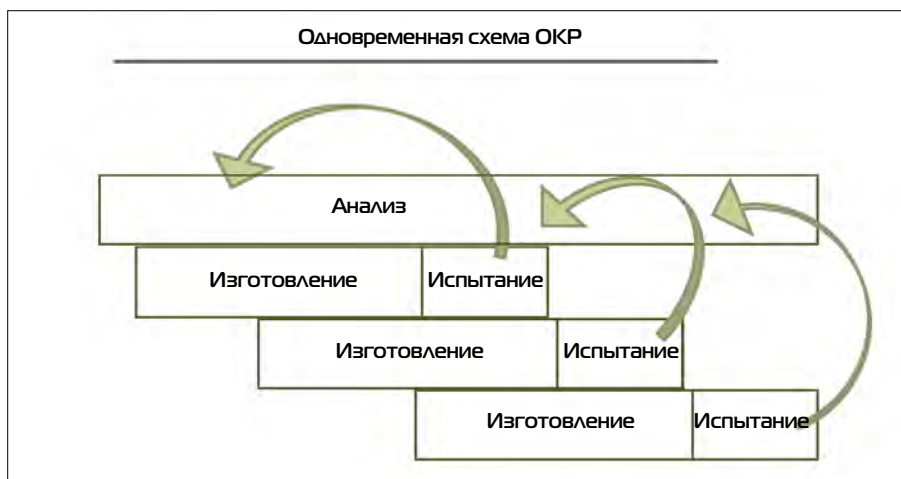


Рис. 10. Блок-схема ускоренного (одновременного) цикла проектирования



рудования для неразрушающего контроля (рентгеновская компьютерная томография высокого разрешения).

После завершения этих НИОКР будет понятно, станут ли АТ стандартным производственным процессом при изготовлении ЖРД. ■

Литература:

1. Carl P. Jones, Elizabeth H. Robertson, Mary Beth Koelbl, Chris Singer «Additive manufacturing a liquid hydrogen rocket engine», обзор NASA Marshall Space Flight Center, 2015.
2. Elizabeth H. Robertson. Additive Manufacturing Demonstrator Engine, презентация NASA Marshall Space Flight Center, 2016.

Аддитивные технологии в строительстве: примеры и перспективы применения (часть 2)

Н.М. Максимов, ООО «Ника-Рус»



Как было показано в первой части статьи (журнал «Аддитивные технологии», № 4'2017), аддитивные технологии (АМ) в строительстве уже получили серьезный импульс к развитию. Создается оборудование различных типов и применений, появляются новые материалы, в предлагаемых проектах стирается грань между фантазиями архитекторов и реальностью.

В продолжение темы рассмотрим преимущества и перспективы применения АМ-технологий в строительной индустрии, а также примеры успешно выполненных работ.

Преимущества использования АМ-технологий

1. Факт: 6–9 месяцев в среднем занимает строительство дома в США. Перспектива: спроектированный с учетом запросов заказчика дом построен за 1 день (без отделки).

2. Факт: около 30 миллионов владельцев домов в США испытывают такие проблемы, как

финансовое бремя, перенаселенность, недостаточность пространства. По оценкам, ежегодный рост в 5% больших городов в развивающихся странах приведет к росту трущоб и незаконных поселений в 10% в год.

Перспектива: достойное и приемлемое жилье для людей с низкими доходами.

3. Факт: жертвы стихийных бедствий (землетрясений, наводнений, войн и т.д.) вынуждены месяцами и годами жить во временных убежищах.

Перспектива: комфортабельные жилые убежища (не тенты) для длительного пользования пострадавшими от стихии; строятся очень быстро.

4. Факт: традиционное строительство производит чрезмерное количество разного рода отходов. Например, строительство дома для одной семьи дает от 3 до 7 тонн отходов. На мировом рынке более 40% сырьевых материалов идет в строительство.

Перспектива: строительство без отходов, шума, пыли и загрязнений воздуха.

5. Факт: больше всего несчастных случаев, в том числе с фатальным исходом, встречается в строительстве. Например, только в США ежегодно получают серьезные травмы или погибают на строительстве примерно 400 000 рабочих, и это несмотря на строгие требования по безопасности.

Перспектива: нет инцидентов и травм на строительных площадках, нет соответствующих судебных разбирательств.

6. Факт: любое отклонение от стандартного проекта (например, использование криволинейной поверхности вместо прямой стены) значительно удорожает стоимость традиционного строительства.

Перспектива: всестороннее влияние технологий АМ может быть значительным для рынка жилого сектора, который оценивается в \$300 млрд в год, и для коммерческого рынка с оценкой в \$700 млрд в год.

Возможные применения технологии АМ.

1. Построение высоких бетонных опор для ветряных станций, пилонов мостов, водонапорных башен, силосов, дымовых труб и т.д. Метод заключается в установке нескольких роботов, взбирающихся по строящейся опоре вверх и перемещающих платформу с печатающей головкой (рис. 1). Метод особенно актуален для строительства опор в труднодоступных местах, где традиционный метод строительства с помощью кранов неприменим.

Стоимость опоры ветрогенератора (~\$500 000) составляет большую часть в совокупных затратах, включающих фундамент, гондолу генератора и ротор. Высота опор ветрогенератора сегодня

Рис. 1. Построение башни ветрогенератора по технологии Contour Crafting [1]



Рис. 2. Панорама стройки



ня ограничена высотой крана, который можно смонтировать в данном месте (максимальная высота 85–100 м), и размерами секций башни, которые изготавливаются на заводе и должны быть доставлены на строительную площадку. Для доставки секций башни и крана требуется построить специальную широкую дорогу на ветроферму. Ее стоимость для фермы со 100 установками обойдется в \$30 млн.

2. Использование роботизированных технологий для создания безопасных надежных и доступных строительных структур на Луне и Марсе для проживания, для размещения лабораторий и других целей, которые должны быть созданы еще до прибытия людей. Предполагается исполь-

зовать местные материалы в качестве сырья для строительных смесей. Созданные структуры должны включать в себя защиту от радиации, электропитание, водоснабжение и сеть различных датчиков. Одна из компаний получила от NASA грант на технологию Contour Crafting (2014 г.) и грант на технологию Selective Separation Shaping (SSS) в 2016 г., оба гранта на применение роботизированных строительных технологий в космосе и для первых поселений на Луне и на Марсе (рис. 2).

Технология использует метод 3D-печати с помощью головки с последующим спеканием керамики другой головкой за счет микроволнового излучения. Например, робот сможет напечатать

посадочную площадку из сцепленных друг с другом отдельных керамических плиток для приема космических аппаратов (рис. 3). В противном случае велик риск потери аппарата, в частности, если он опустится на склон кратера. В качестве строительного материала используется местный грунт, который спекается излучателем. Границы плитки определяются печатной головкой, она наносит порошок высокотемпературной керамики, тем самым отдельные плитки не будут спекаться (рис. 4). Таким образом, получается прочная структура посадочной площадки, которая не треснет под действием газов двигателя спускаемого аппарата от термического расширения.

Рис. 3. Посадка аппарата на подготовленную площадку



Рис. 4. SSS-процесс печати

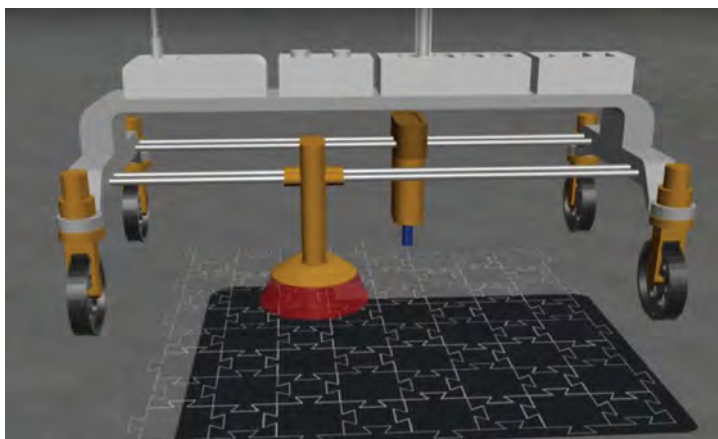


Рис. 5. Офисный комплекс в Дубае



Рис. 6. Жилой блок площадью (~50 кв м) отпечатан на 3D-принтере



Примеры успешного использования АМ-технологий в строительстве

Офисный комплекс в Дубае [2]. Компания Winsun (Китай) занимается оказанием услуг по строительству, используя порталные 3D-принтеры собственной разработки. Офисный комплекс в Дубае был построен с помощью порталного 3D-принтера за 17 дней и использовался для временного размещения Фонда будущего Дубая (рис. 5). Интерьер был изготовлен также с помощью аддитивных технологий. В настоящее время «Офис будущего» эксплуатируется фондом Future Foundation и исполь-

зуется для проведения выставок, конференций и других мероприятий.

Временные казармы для Пентагона [3]. В Пентагоне американские военные инженеры готовятся возводить временные казармы с помощью строительных 3D-принтеров и с использованием местных строительных материалов (рис. 6). 3D-принтер способен наносить бетон с наполнителем из частиц размером до десяти миллиметров, при этом предусматривается армирование бетона как в гори-

зонтальной, так и вертикальной плоскостях. Мобильные аддитивные строения могут оказаться полезны и при возведении временного жилья для гражданского населения.

Сельский экомод компании WASP (Италия) в технопарке Шамбала (рис. 7). Рабочий материал — смесь соломы с клеем. Цель проекта показать, как можно построить дома, имея ограничен-

Рис. 7. Использование 3D-принтера (дельта типа) компании WASP высотой 12 м для строительства экомоды



Рис. 8. Проект дома «бесконечная лента» и принтер VAM, разработанный для реализации проекта

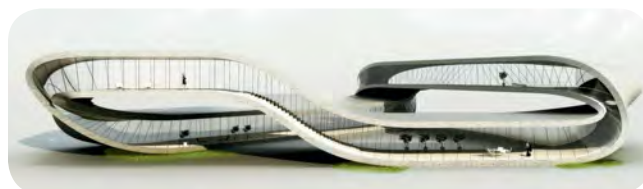




Рис. 9. Дом Curve Areal снаружи и внутри, структура стены дома

ный бюджет, с экономией электроэнергии и минимальными отходами стройматериалов.

Сельский дом в виде бесконечной ленты [4] (рис. 8). Пример этого проекта показывает, как можно реализовать фантазии нидерландского архитектора напечатать дом в форме ленты Мёбиуса. Концепцию своего проекта архитектор объясняет так: «Планета Земля не имеет начала и конца, и мы стремимся к такой же форме». Принтер, разработанный для проекта инженером Энрико Дини, может печатать квадраты размером 7 на 7 метров. Фирма Universe Architecture совместно с инженерной компанией BAM испытывают его в одном из производственных помещений Амстердама. Работа принтера основана на послойном отверждении рабочего порошка, который насыпается в ванну, разравнивается и отверждается в нужных местах с помощью робота. Инструментом является прямоугольная матрица с соплами, через которые подается отверждающий раствор.

Дом в Чикаго [6]. Дизайн дома Curve Areal был разработан архитектурной фирмой из Чикаго WATG. Реализацией проекта занимается компания Branch Technology. В основе технологии использование роботизированной руки Kuka KR 90 для выстраивания пространственных структур

с помощью ABS-пластика, армированного углеволокном (рис. 9). С ее помощью можно легко строить элементы дома свободной формы объемом до 237 куб. м, которые можно сочетать с другими строительными материалами. Отличие рассматриваемой технологии от других послойных технологий в том, что она выстраивает с высокой скоростью внутренние сотовые структуры конструкции, имеющей сложную геометрию. После чего они покрываются традиционным способом с помощью распыления любого недорогого строительного материала типа теплоизолирующей строительной пены и бетона. В результате получаем прочную гибридную конструкцию. Branch Technology готовит к реализации проект такого дома площадью 60–80 кв м для одной семьи. Этот проект заставит пересмотреть традиционные взгляды архитекторов на эстетику, эргономику, методы конструирования и строительства. Прозрачные внутренние стены создают мягкое освещение, а внешнее покрытие в виде катящихся арок естественным образом вписывает дом с его обитателями в окружающую среду.

Павильон Вулкан в Пекине [8]. Павильон Вулкан (рис. 10) напоминает облака при извержении вулкана. За 30 дней на 20 принтерах (FDM) были изготовлены более 1000 деталей павильона

Рис. 10. Павильон в Пекине высотой 2,88 м и длиной 8,08 м



и затем собраны вместе. Авторы павильона, Laboratory for Creative Design (LCD), использовали 20 крупных 3D-принтеров.

Жилой дом, Окридская национальная лаборатория (ORNL): проект AMIE (интеграция аддитивных технологий и энергии) [5]. Проект состоит из напечатанного здания (рис. 11) и автомобиля, изготовленного с применением AM. Компания SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP) разработала структуру здания, которая состоит из объемных полимерных панелей, напечатанных на 3D-принтере. Панели выполняют несколько функций, присущих традиционной стеновой панели: несущая нагрузка опора, тепло-, гидро- и звукоизоляция, внешняя облицовка.

Комбинация панелей общей площадью 79% всей поверхности и остекления (доля в 21%) позволила увеличить энергоэффективность здания. Панели создавались с помощью принтера размерами

Рис. 11. Дом-автомобиль и сборка дома из панелей на шасси, комплект



11,6 м (длина) × 3,7 м (ширина) × 3,7 м (высота). Они прошли все необходимые испытания, соответствующие стандартным строительным нормам.

Электроэнергию поставляют дому солнечные батареи, установленные на крыше.

Автомобиль, который входит в комплект дома, был разработан и построен компанией ORNL (с применением технологий AM). Он также может подключаться к системе электропитания дома и обеспечивать любую необходимую дополнительную мощность.

Напечатанный мост [6]

В дополнение к удивительным мостам через каналы в Амстердаме вскоре добавится ажурный стальной мост (рис. 12), построенный с помощью 3D-принтера. Принтер MX3D оборудован 6-осевым роботом ABB, который

позволяет создавать из металла за счет наплавки пространственные структуры. Объем не ограничен традиционным «кубиком» рабочей зоны обычного 3D-принтера, поэтому печать реального моста явилась хорошим шансом продемонстрировать неограниченные возможности этой технологии. Дизайн моста через канал Oudezijds Achterburgwal был разработан в лаборатории Joris Laagman Lab. Символизм моста в соединении технологий будущего со старым городом.

Строительная 3D-печать в России

Первый порталный малоформатный строительный 3D-принтер разработала и представила на рынок в 2015 г. компания из Ярославля ООО «Спецавиа», ныне резидент Сколково, торговая марка «АМТ» [9]. Первоначальная ориентация была на малый

бизнес как основного потребителя оборудования для создания малых форм элементов ландшафтного дизайна. После того, как гиганты строительного рынка проявили интерес к крупноформатным принтерам, компания разработала линейку из 7 основных типов порталных 3D-принтеров, выпускаемых как серийно, так и по специальным требованиям заказчиков. Это машины:

- малого формата (объем строительных конструкций до 36 м³) для печати частей зданий, которые за счет разработанных технических решений могут быть интегрированы в типовые проекты домов индивидуального жилищного строительства;

- принтеры для строительства домов площадью до 140 м² и более до 2-х этажей:

- а) стационарные для печати домов площадью до 140 м² в 2 этажа;

Рис. 12. Строительство моста через канал



Рис. 13. Жилой дом, построенный с помощью 3D-печати



Рис. 14. Фасад дома



Рис. 15. Пример печати из термопластика на 3D-принтере «Бегемот», высота букв 300 мм



Рис. 16. Здание офиса-отеля в Копенгагене (в процессе печати на принтере АМТ)



б) мобильные, позволяющие печатать дом или серию домов без ограничения площади застройки и высоты объекта.

Это профессиональное оборудование, рассчитанное на непрерывную эксплуатацию в условиях производства. Целиком дом на строительной площадке размером 12×12 м можно напечатать за одну установку принтера. На сегодня компания продала свыше 50 принтеров заказчикам из РФ, Казахстана, Молдовы, Дании.

Первый в Европе реальный жилой дом был построен в Ярославле в 2017 г (рис. 13, 14) [12].

Для печати архитектурных форм, макетов, для моделирования компания «Спецавиа» разработала и выпускает промышленным способом 3D-принтеры большого формата, работающие

по технологии FDM с любыми термопластиками. Рабочая зона принтера «Бегемот» 1×1×2 м (наибольшая среди выпускаемых в мире аналогичных принтеров), имеется подогреваемый стол, две печатающих головки (можно печатать разными цветами или разными материалами). Пример печати на рис. 15. Другой такой же принтер большого формата «Хомяк» имеет меньшую рабочую зону 0,3×0,3×0,45 м и обладает всеми характеристиками большой модели принтера.

В Копенгагене (Дания) компания 3D Printhuset на 3D-принтере компании «Спецавиа» печатает первый в Европе дом (рис. 16) — офисное здание площадью 50 кв. м.

Компания Apis Cor [10] из Иркутска напечатала дом

площадью 32 кв м в Подмоскowie (рис. 17), используя 3D-принтер собственной разработки.

Андрей Руденко (РФ), проживающий сейчас в Миннесоте (США), разработал порталный 3D-принтер и построил несколько объектов (рис. 18).

Рис. 17. Дом площадью 32 м² в подмосковном Ступино





Рис. 18. Замок в Миннесоте, построенный с помощью портального принтера



Тенденции в строительной индустрии

Подробный анализ состояния строительной индустрии и направлений ее развития был проведен консалтинговой компанией McKinsey [11]. Некоторые важные тенденции отмечены ниже:

- зеленое строительство (снижение выбросов углерода при производстве материалов);

- эффективность затрат — выбор правильных материалов, например, вместо стеклянных панелей использовать этилен-тетрафторэтилен (ETFE). Он получил широкое распространение после того, как использовался для создания части водного здания для Олимпийских игр в Пекине в 2008 году. ETFE весит менее 1 процента эквивалентной стеклянной панели, стоимость установки в разы меньше;

- оптимизация логистики;

- повышенные прочность и надежность: проекты должны иметь более длительную коммерческую жизнь;

- изготовление сборных модулей, строительных элементов за пределами стройплощадки. Этот метод также можно адаптировать для модульных зданий, таких как отели и бюджетные кондоминиумы. Полные подмодули большого здания собраны на за-

воде или рядом с ним перед окончательной сборкой на строительной площадке. Такие методы, как сборные, предварительно сконструированные объемные конструкции (PPVC), объединяют возможности для трансформации строительной площадки в производственную систему. Как результат — большая эффективность, меньше отходов и повышенная безопасность.

Результаты обзора аддитивных технологий для строительной индустрии и опыта их применения показывают хорошие перспективы для развития этого направления. Материалы практически те же, как и при монолитном строительстве. Экономия возникает только за счет автоматизации производства, возможности быстро и без особых трудозатрат сделать сложные формы фасадов, конструктив стен. На коробке зданий можно сэкономить около 30–40%, что в общем объеме строительства даст 7–10%. Но и это уже немало. Кроме того, 3D-печать — это некий дополнительный инструмент, с помощью которого удобно решать ряд строительных задач. Ее удел — не только единичные авторские постройки, но и массовые применения, например, очень сложные многокамерные стены с большим количеством полостей под коммуникации. Трех-

мерная печать в строительстве станет привычной и будет широко использоваться, как только появится строительный стандарт на аддитивную строительную технологию. ■

Источники

1. www.contourcrafting.com
2. www.officeofthefuture.ae
3. <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-army-corps-of-engineers-us-army-will-adopt-construction-3d-printin/>
4. <http://www.universearchitecture.com/projects/landscape-house>
5. http://www.som.com/news/oak_ridge_national_laboratory_unveils_som-designed_3d-printed_building_powered_by_a_car
6. www.mx3d.com/projects/bridge/
7. www.3dpulse.ru
8. Norman Hacka, Timothy Wanglerb, Jaime Mata-Falcónc, Kathrin Dörflera, Nitish Kumard, Alexander Nikolas Walzera, Konrad Graserere, Lex Reiterb, Heinz Richnerb, Jonas Buchlid, Walter Kaufmannc, Robert J. Flattb, Fabio Gramazioa, Matthias Kohlera MESH MOULD: AN ON SITE, ROBOTICALLY FABRICATED, FUNCTIONAL FORMWORK
9. <https://specavia.pro>
10. <http://apis-cor.com>
11. <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>
12. <http://tass.ru/ekonomika/4674212>



ТЕРМООБРАБОТКА

12-я международная
специализированная выставка

2 – 4 октября 2018

Россия, Москва,
ЦВК «Экспоцентр»,
павильон 7, залы 1, 2

Единственная в России выставка
термического оборудования
и технологий

**2–3
октября**

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ»

Тематика выставки:

- Термическое, химико-термическое, индукционное оборудование
- Вакуумная техника и компоненты вакуумных систем
- Лабораторные печи, сушильные шкафы; лабораторное оборудование
- Установки нанесения покрытий
- Оборудование для электронно-лучевой сварки и сварки в среде аргона
- Лазерно-технологическое оборудование
- Комплексы глубокого охлаждения (криогенная обработка)
- Оборудование для исследования свойств материалов, неразрушающий контроль
- Центробежное литье коррозионных, жаропрочных и специальных сталей и сплавов
- Отливки из жаропрочной стали, технологическая оснастка
- Огнеупоры, теплоизоляция и футеровка тепловых агрегатов
- Изделия из графита, углеродного войлока и углерод-углеродных композитов



Факты о выставке 2017 года:

110 экспонентов из **10** стран мира

3022 кв.м. экспозиции

Информационная поддержка:

2830 посетителей-специалистов



Организатор: «Выставочная Компания «Мир-Экспо», ООО

115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд,

дом 7, строение 10, офис 507 | Тел./факс: 8 495 988-1620

E-mail: info@htexporus.ru | Сайт: www.htexporus.ru

Твиттер: @htexpo_ru | YouTube: youtube.com/user/termoobrabotka



XVIII Международная конференция «ОПТИКА ЛАЗЕРОВ» ICLO 2018

Санкт-Петербург, Россия, 4-8 июня 2018

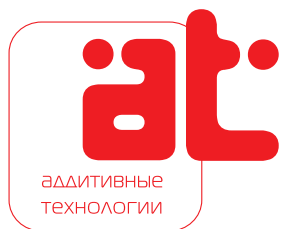
<http://www.laseroptics.ru>
conference2018@laseroptics.ru

Тел.: +7 (812) 323 6348
Факс: +7 (812) 334 0824

Твердотельные лазеры
Высокомощные лазеры
Полупроводниковые материалы, лазеры и устройства
Управление лазерным излучением
Сверхсильные поля и сверхбыстрые процессы
Лазеры в мониторинге окружающей среды
Лазеры для космических систем локации, геодезии и навигации
Нелинейная фотоника
Оптические наноматериалы
Лазеры на свободных электронах
Мощные волоконные лазеры
Нелинейная и квантовая интегральная оптика
Лазеры в медицине
Биофотоника
Выставка

Последний срок подачи тезисов – 22 января 2018 г.

Официальный язык конференции - английский



ПОДПИСНОЙ КУПОН

Вы можете оформить подписку на журнал «Аддитивные технологии» с любого месяца.
Стоимость одного номера – 250 рублей, стоимость годовой подписки – 1000 рублей.

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 101000, г. Москва,
Милютинский пер., 18А
Почт. адрес: 101000, г. Москва,
Милютинский пер., 18А, оф. 8
ИНН 7708266787
КПП 770801001
Р/с 40702810400120033781
ПАО АКБ «АВАНГАРД»
г. Москва
К/с 3010181000000000201
БИК 044525201

Подписка на:

номер год

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: info@additiv-tech.ru.
Частные лица могут подписаться без счета, оплатив подписку в Сбербанке по указанным реквизитам.

101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 8, т/ф (499) 55-9999-8 (многоканальный)
e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru



INNOPROM

9–12 июля 2018, Екатеринбург
Страна-партнер: Республика Корея

ГЛАВНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА **ИННОПРОМ**

ТЕМА:
**ЦИФРОВОЕ
ПРОИЗВОДСТВО**

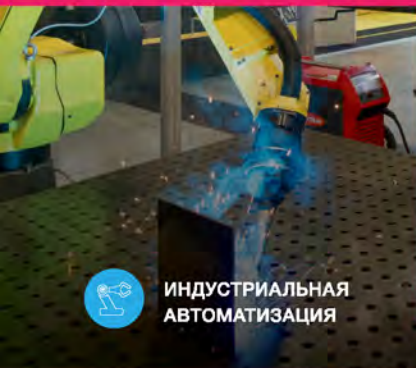


600+
индустриальных
компаний-
экспонентов

50 000
посетителей:
профессиональная
аудитория более 60%

Более 100
стран мира

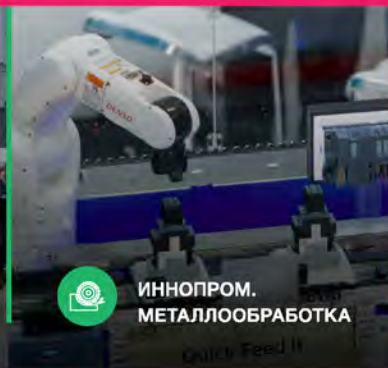
160+
деловых
мероприятий



**ИНДУСТРИАЛЬНАЯ
АВТОМАТИЗАЦИЯ**



**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И ПРОИЗВОДСТВО
КОМПОНЕНТОВ**



**ИННОПРОМ.
МЕТАЛЛООБРАБОТКА**



**ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ**

Организатор



**МИНПРОМТОРГ
РОССИИ**

Оператор

business event
ГРУППА КОМПАНИЙ **FORMIKA**

WWW.INNOPROM.COM

#ИННОПРОМ2018

#ЦИФРОВОЕПРОИЗВОДСТВО

Телефон горячей линии:
8-800-700-82-31

#DIGITALMANUFACTURING

РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

www.ritm-magazine.ru
ritm@gardesmash.com



ritmmagazine

rhythm_of_machinery