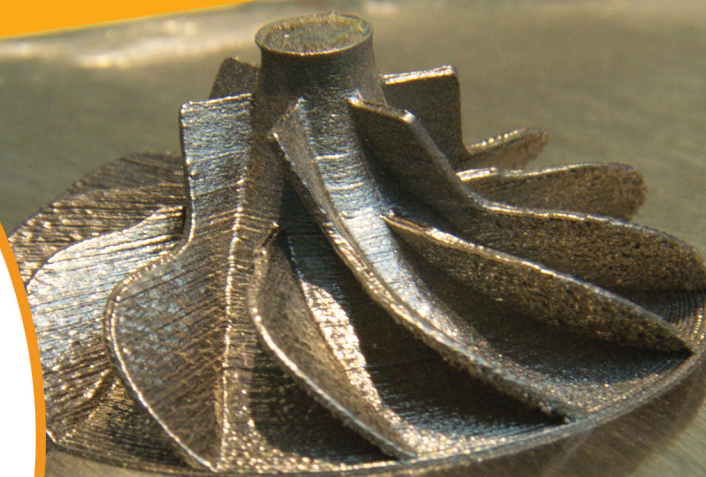


at

аДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

1 / 2016



премьера! ПЕРВЫЙ СЕРИЙНЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ

Лазерные аддитивные технологии:
перспективы применения **стр. 10**



Технология лазерного спекания металла вышла на уровень промышленного применения **13**



Новинка в мире расходных материалов для 3D-печати **28**



Аддитивные технологии для авиакосмической техники **30**



3D-принтеры высокого разрешения

- Лучшее качество поверхности в своем классе
- Открытые материалы разных производителей

 **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.stanki-chevalier.ru
info@stanki-chevalier.ru



аддитивные
технологии

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:
Т. Карпова, З. 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

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникации (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.

Дорогие читатели!

Вы держите в руках новый журнал «Аддитивные технологии». Идея создания этого проекта родилась в редакции журнала «РИТМ Машиностроения», которая известна своим энтузиазмом и стремлением к развитию. Вот и на этот раз сотрудники редакции не смогли пройти мимо технологий, за которыми будущее. Мы старались наполнить новый журнал так, чтобы он был интересен всем: и тем, кто использует технологии на производстве, и тем, кто несет их в массы, и представителям вузовской школы.

В первом номере вы найдете материалы о лазерных аддитивных технологиях, алюминиевых порошках, внедрении 3D-печати в ювелирной отрасли и медицине, о новых материалах и их применении, о роли технологий в авиакосмической отрасли, новости, в том числе о выращивании коралловых рифов на дне океана с помощью 3D-печати и много других интересных и полезных статей.

Приглашаем к участию в журнале «Аддитивные технологии» профессионалов отрасли, авторов, рецензентов. Принимаем на публикацию не только специализированные статьи, но и эссе для обсуждения, дискуссионные материалы, новости с производств, информацию о новых разработках. Помимо регулярных номеров рады представить интернет-страницу с новостями из области аддитивных технологий. Журнал будет развиваться, чтобы быть интересным и полезным для всех категорий читателей.

Читайте наши новости на

<https://www.facebook.com/additivetechnologies>

Ищите журнал «Аддитивные технологии» на выставках:

- FormNext — www.mesago.de/en/formnext/ (Германия, 15–18 ноября)
- 3d print expo — <http://3d-expo.ru> (Москва, 17–18 ноября)
- Конференция «Аддитивное производство. Методы обеспечения качества изделий аддитивного производства. Применение компьютерной томографии» — (Москва, ЦИФМ им. П.И. Баранова, 17 ноября)
- Машиностроение. Металлообработка. Техносварка — www.expokazan.ru (Казань, 7–9 декабря)
- 3D fab & print — www.interplastica.ru/3d_russia (Москва, 24–27 января 2017 г.)

*С уважением,
редакция журнала «Аддитивные технологии»*



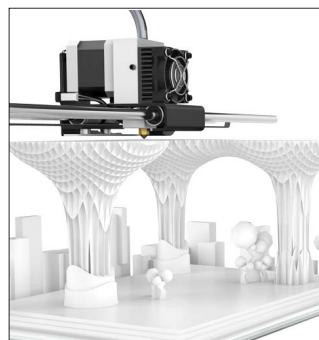
10



13



16



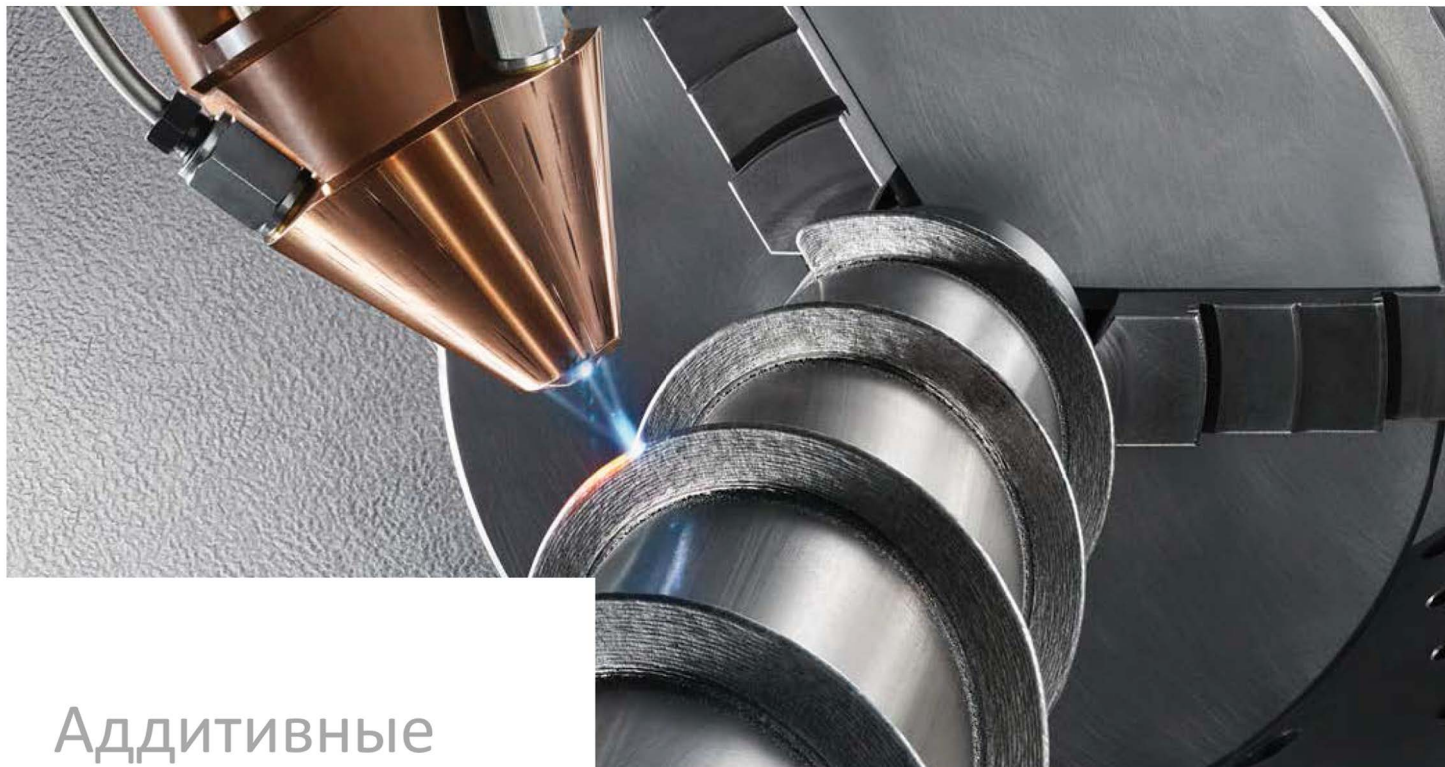
20



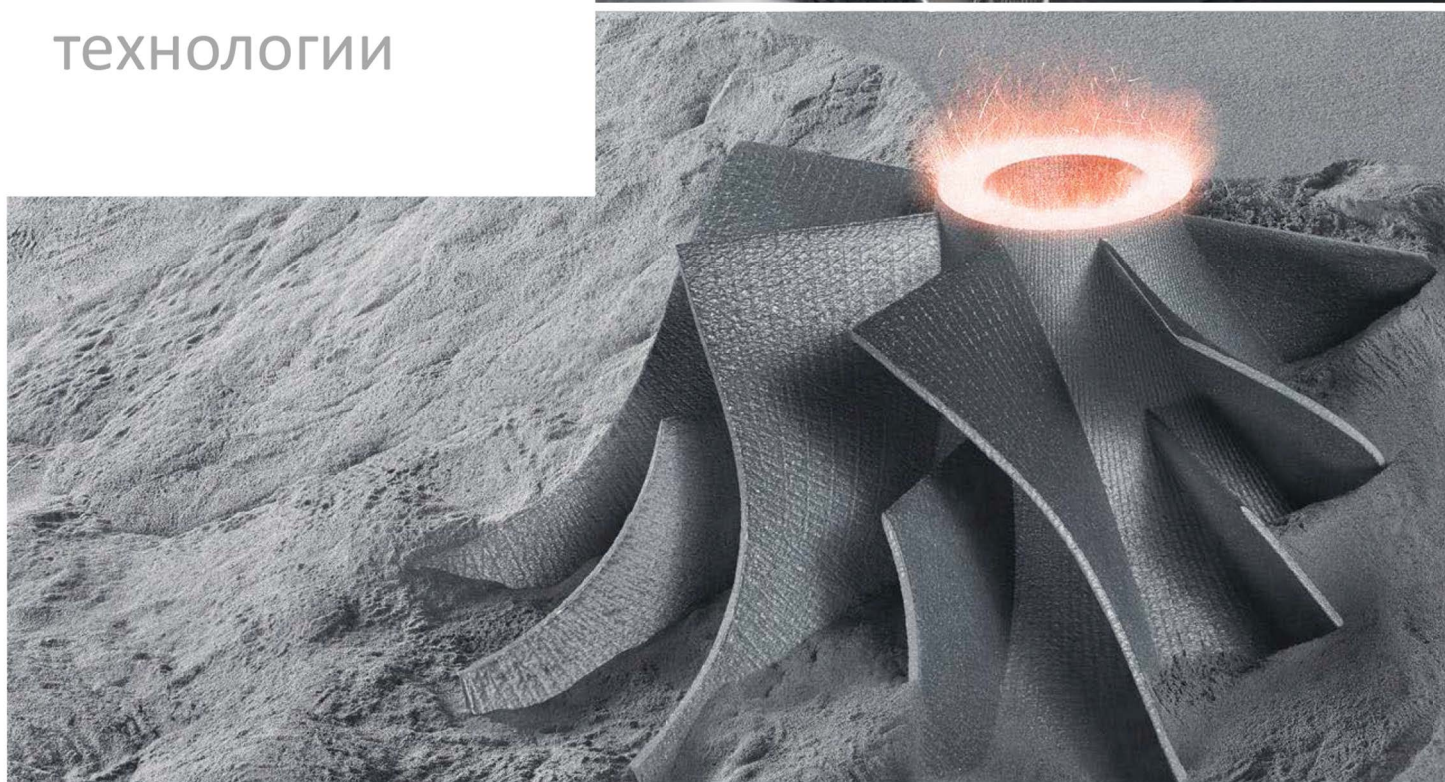
24

СОДЕРЖАНИЕ

- | | |
|--|---|
| <p>8 От научных разработок к производству будущего</p> <p>10 Лазерные аддитивные технологии: перспективы применения</p> <p>13 Технология лазерного спекания металла вышла на уровень промышленного применения</p> <p>16 Renishaw: от имплантата до крыла самолета</p> <p>18 Амбиций не занимать</p> <p>19 III Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее»</p> | <p>20 Новые возможности для себя и бизнеса</p> <p>24 3D-печать меняет экономику и производство</p> <p>27 H.C. Starck... там где формируются идеи</p> <p>28 Новинка в мире расходных материалов для 3D-печати</p> <p>30 Аддитивные технологии для авиакосмической техники</p> |
|--|---|



Аддитивные технологии



ООО «ТРУМПФ»
+7 495 234 5713
www.ru.trumpf.com
info@ru.trumpf.com



Шаг к глобальному рынку



Стартап 'Carbon3d' в Силиконовой долине получил очередные инвестиции в размере 81 млн долларов. Среди новых инвесторов GE, BMW, Nikon, JSR, что вместе с прежними инвесторами дало возможность собрать 222 млн долларов для развития компании. Цель компании — дать возможность потребителям использовать современную технологию печати в объеме для получения изделий с высочайшим качеством поверхности с применением широкого спектра материалов.

Участие компаний Nikon и JSR в раунде С инвестиций в Carbon открывает двери для CLIP технологии на азиатский рынок через Японию. Nikon привносит

свои разработки в области метрологии и обработки данных в 3D, JSR, как производитель чистых химических соединений для микроэлектроники, будет идеальным партнером для разработки новых материалов для технологии CLIP.

По словам Nobu Koshiba, президента JSR Corporation, «Нынешний рынок 3D-печати за малым исключением является рынком прототипирования. Carbon кардинально меняет подход к 3D-печати. Компания со своей CLIP-технологией и принтером M1 представила решение, которое реально произвело революцию в промышленности».

<http://carbon3d.com/>

Аддитивные технологии в индустрии 4.0

Аддитивные технологии рассматриваются сейчас как технологии с высоким рейтингом с потенциалом оборота в \$100–200 млрд (оценка агентства McKinsey & Co).

Существуют два пути реализации технологии:

1. Поиск продуктов и моделей бизнеса, где можно использовать преимущества АМ. Что сейчас и делается.
2. Адаптация АМ технологии в будущем к конечным целям, чтобы удовлетворить потребности производителей.

Почему именно сейчас происходит такой поворот в технологиях, хотя сами аддитивные технологии начали развиваться 30 лет назад? С одной стороны, изменилось само сообщество: рост населения, старение, новые болезни — все это привело изменению менталитета людей как потребителей товаров и услуг. Глобализация экономики также заставляет компании мыслить по-разному, настраивая свои производства под конкретные потребности потребителей. Мы находимся в самом начале промышленной революции 4.0 в мире, в которой АМ, а правильнее сказать цифровое производство, будут играть ключевую роль.

Какова должна быть стратегия АМ? Компании должны оценить свои потребности в АМ по ряду критериев: наличие мелкосерийного производства, необходимость оснастки, сложность изделий, экономически выгодная кастомизация, устойчивая окружающая среда, оптимизация логистики поставок и сбыта. Иметь у себя в компании АМ технологии становится не просто модным трендом, но реальной необходимостью.

www.themanufacturer.com/

Solidscapе® High Precision 3D Printers

Прецизионные 3D принтеры

Когда требуется **Точность**

125466, Москва, Воротынская улица, 5
Тел.: +74957401109
info@nikarus.com, www.solid-parts.ru

3D ТЕХНОЛОГИИ

Продажи металлических принтеров в 2015 году увеличились на 51% по сравнению с предыдущим годом, при этом общие продажи всех типов 3D-принтеров только в III квартале 2015 года выросли на 45%.

Хотя доля металлических принтеров в общем количестве проданных машин составляет 7%, доход от их продажи составляет 31% от суммы всех продаж за III квартал 2015 года (всего продано 2743 промышленных принтеров). Рост доходов — 22%.

Северная Америка лидирует по количеству поставленных в III квартале промышленных 3D принтеров (44%). Западная Европа является лидером по поставке металлических принтеров (более 56%).

Cris Conner, вице-президент компании CONTEXT, отметил: «По мере перехода от прототи-

пирования к использованию объемной печати для производства готовых изделий, прямого производства отдельных деталей все больше 3D-принтеров, особенно металлических, находят свое место среди традиционного металлообрабатывающего оборудования в компаниях». При этом лидирующими отраслями, где широко применяются металлические аддитивные технологии, являются авиакосмос, автомобилестроение и медицина.

Причина этого в возможности массовой кастомизации и/или детализации, а также в возможности производства единичных изделий или мелких серий, что, как правило, не возможно при традиционном производстве. Безусловные лидеры здесь — GE, Boeing и Airbus.

www.prnewswire.com

Импортозамещение

Завод порошковой металлургии «Полема», входящий в «Промышленно-металлургический холдинг», в текущем году начал выпуск сплава кобальт-хром-молибден, применяемого в медицине для изготовления имплантатов тазобедренных и коленных суставов. Данный сплав также применяется в виде порошков для 3D-печати различных эндопротезов. Ранее эта продукция на территории страны не производилась, что не позволяло организовать производство российских имплантатов и ставило отечественную медицину в высокую зависимость от импорта.

«В случае запуска производства в России отечественными компаниями, перспективные объемы потребления можно грубо оценить в размере порядка 50–60 тонн сплава в год», — рассказал управляющий директор АО «Полема» Алексей Лапынин.

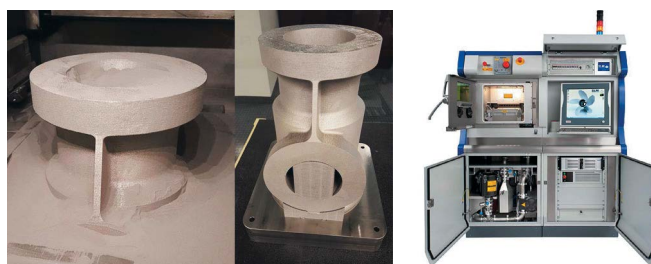
Сплав также могут использовать российские машиностроительные предприятия, которым необходимы высокопрочные коррозионностойкие сплавы для изделий, работающих в особо агрессивных средах — судостроители (винты и валы), производители оборудования для нефте- и газодобычи (соединительные детали подводных трубопроводов), производители оборудования для химического производства — задвижки и клапаны и др.

<https://ria.ru>

Деталь для космического корабля

Быстрое изготовление уникальных деталей для космических аппаратов и самолетов — одна из самых актуальных задач 3D-печати металлом. Но часто возможности современных систем порошковой печати ограничены скромными рабочими объемами. Специалисты компании SLM Solutions продемонстрировали, как можно использовать размеры камеры построения установки SLM 280HL на полную мощность, напечатать титановый корпус клапана для космического корабля высотой 30 см всего за 6,5 дней.

«3D-печать изделий подобного размера в такой короткий срок ранее не производилась», — говорит Майк Хансен, инженер SLM Solutions. По его мнению, создание подобного корпуса с помощью традиционных инструментальных методик заняло бы 4–6 недель, а отливка аналогичного объекта растянулась бы до полугода.



<http://3d.globatek.ru>

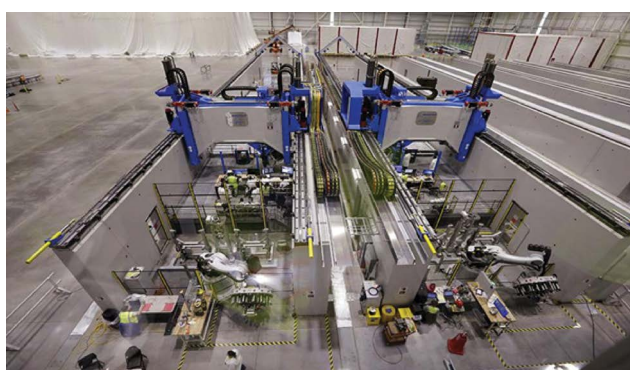


Мировой рекорд

Для книги Гиннеса зарегистрирован новый мировой рекорд — изготовление самой большой детали оснастки для самолета с помощью объемной печати (Oak Ridge National Laboratory и The Boeing Company). Размер детали: 5,3×1,7×0,5 м, вес 750 кг. Изготовлена оснастка за 30 часов из углеродного волокна и композитных термопластиков на основе ABS. Традиционная технология использует металлическую оснастку и требует около трех месяцев на изготовление.

Изделие будет использоваться в качестве оснастки при установке обшивки крыльев нового самолета Boeing 777X на новом производстве St. Louis. Начало производства Boeing 777X планируется на 2017, а поставка — на 2020 год. Компания получила 320 твердых заказов.

Новый центр Boeing для производства самых больших крыльев для 777X стоимостью в один миллиард долларов. Площадь центра более 100 000 кв.м. На переднем плане — 3D-принтер.



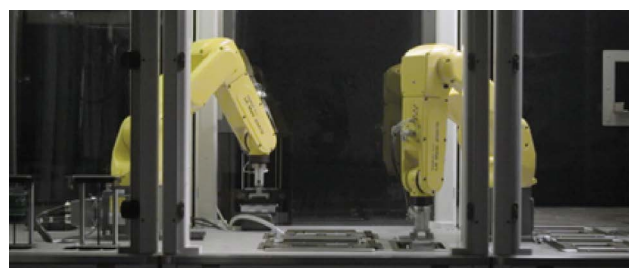
www.networkworld.com

Департамент военно-морских исследований США провел летом прошлого года совещание по более глубокому использованию аддитивных технологий в ВМС.

Планируется дать возможность кораблям в море изготавливать необходимые запчасти, причем не только для случаев реальной поломки, но и про запас, даже если некоторые из этих запчастей и не понадобятся никогда. Обычно такие запчасти изготавливаются на заводах и потом авиацией доставляются на суда в море. Наиболее важные запчасти, такие как крыльчатки, опоры двигателя и корпуса редукторов планируется изготавливать с помощью АМ в море. Отдельно стоит вопрос о безопасном складировании порошков для АМ, многие из которых типа титановых или алюминиевых пожаро- и взрывоопасны.

www.defensetech.org

От прототипирования к производству



Компания 3D Systems провозглашает новую стратегию, новые решения, привлекает новых партнеров и обновляет команду управленцев, чтобы помочь своим покупателям оборудования АМ сделать переход от прототипирования к производству. Одним из ключевых направлений в этом будет подход к вопросу о сотрудничестве. В частности, компания только что объявила о партнерстве с PTC (компания в США, специализирующаяся на 2D/3D-программах конструирования). По словам нового гендиректора 3D Systems Vyomesh Joshi: «Объемная печать в промышленности привлекает сейчас пристальное внимание, поскольку потребители совершают переход от прототипирования к производству с помощью АМ. И 3D Systems является центром такого поворота, и мы можем капитализировать такую возможность».

<https://techcrunch.com>

Чтобы сохранить океаны

Коралловые рифы чрезвычайно важны, поскольку содержат наиболее разнообразную экосистему на Земле, предохраняют береговую линию от волн и тропических штормов. К сожалению, сейчас коралловые рифы находятся на грани исчезновения из-за деятельности человека, изменений климата и загрязнения. Пример решения этой проблемы показал внук знаменитого океанографа Жака Кусто — Фабьен Кусто на острове Vouaige. На первом этапе Кусто напечатал на принтере отдельные элементы искусственных кораллов, которые имели такую же форму, текстуру и даже органические покрытия, как и природные кораллы. Они стали привлекательными для мальков коралловых полипов и других морских микроорга-



низмов, включая водоросли, крабов и т. д. Тем самым возрождаются новые коралловые рифы.

Подобный опыт был проведен также в 2012 году австралийской компанией Reef Design Lab, которая построила первый искусственный риф в Бахрейне.

«Мы смогли достичь «органического» сходства, создав более сложную структуру с полостями и каналами, в сравнении с традиционными литейными методами», — заявили в RDL.

<http://futurism.com>



Напечатали двигатель

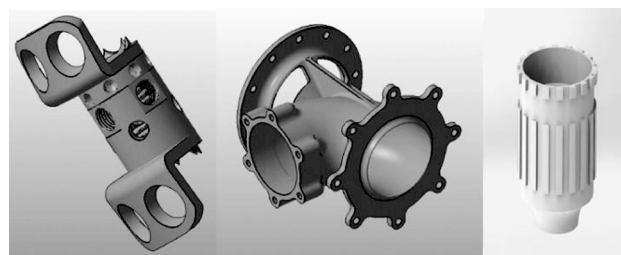
Специалисты «Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов» (ВИАМ) представили на выставке «Армия» малогабаритный газотурбинный двигатель для беспилотных летательных аппаратов, изготовленный методом селективного лазерного сплавления.

Перед разработчиками стояли цели повышения производительности изготовления МГТД (в 10–30 раз) и оценка работоспособности изготавливаемых по технологии СЛС деталей МГТД.

В проекте использовались металлопорошковые композиции жаропрочных сплавов на никелевой основе ЭП648 и ВЖ159 и алюминиевый сплав АК9ч, созданные в институте. Применение фракционного состава порошка 10–63 мкм позволило обеспечить толщину стенки камеры внутреннего сгорания 0,3 мм, что невозможно достичь традиционными методами. Время изготовления МГТД увеличено в 10 раз. Испытания успешно прошли на специально разработанном демонстрационном стенде.

Рейтинг ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Лидерами первого в России рейтинга промышленных задач в сфере аддитивных технологий «CML AT Additive Challenge» стали разработки в области медицины и двигателестроения. Наибольшее число баллов набрал имплант шейного отдела позвоночника, спроектированный в Самарском аэрокосмическом университете. На втором и третьем местах – клапан для топливной системы (ОКБ Сухого) и горелка для реактивного двигателя (компания «Темпо»).



Организаторами рейтинговых исследований выступили Фонд инфраструктурных и образовательных программ (ФИОП) и Технологическая инжиниринговая компания «ЛВМ АТ», в экспертный совет вошли представители ФИОП, фонда «Сколково», Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

www.rusnano.com

От научных разработок к производству будущего

Завершилась работа международной конференции «Аддитивные технологии на российском рынке: от научных разработок к производству будущего», которая прошла на территории Технопарка «Калибр» 17–18 октября 2016 года.

Насыщенная деловая программа конференции, которую посетили более 200 человек, была разделена на тематические треки, посвященные применению аддитивных технологий в промышленности, медицине, а также в техническом творчестве и образовании. Участники обсудили такие актуальные темы, как развитие трехмерной биопечати, инновации на основе компьютерного моделирования, аддитивное производство для рынка потребителей, топологическая оптимизация изделий, промышленный дизайн и т. д.

Спикерами Конференции стали представители компаний — лидеров отрасли: ООО «ПрогрессТех», Stratasys, «АБ Универсал», Altair EngineeringInc., AM Ventures, ConceptLaser, МГТУ Станкин и др. Специальными гостями мероприятия стали спикеры из Центра 3D-печати Наньянского технологического

университета (Сингапур) во главе с профессором Чжао Кай Чуа, которые осветили тему современных трендов развития аддитивных технологий и поделились опытом.

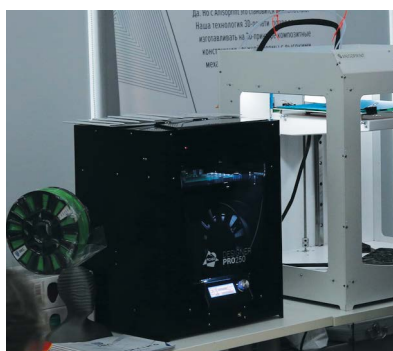
Благодаря трансформируемому пространству площадки у посетителей была уникальная возможность ознакомиться с выставочной экспозицией рядом с конференц-залом, не пропустив ни одного выступления, и пообщаться со спикерами в неформальной обстановке в перерывах между тематическими треками.

Соорганизаторами конференции выступили Российско-Сингапурский деловой совет и московский политехнический университет при поддержке Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства г. Москвы, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и ГК CompMechLab (г).

ЗАО «Синтерра Медиа» выступили стратегическим партнером мероприятия, организовав онлайн-трансляцию, благодаря которой за ходом дискуссий наблюдали зрители США, Чехии, Великобритании, Франции, Голландии, России.

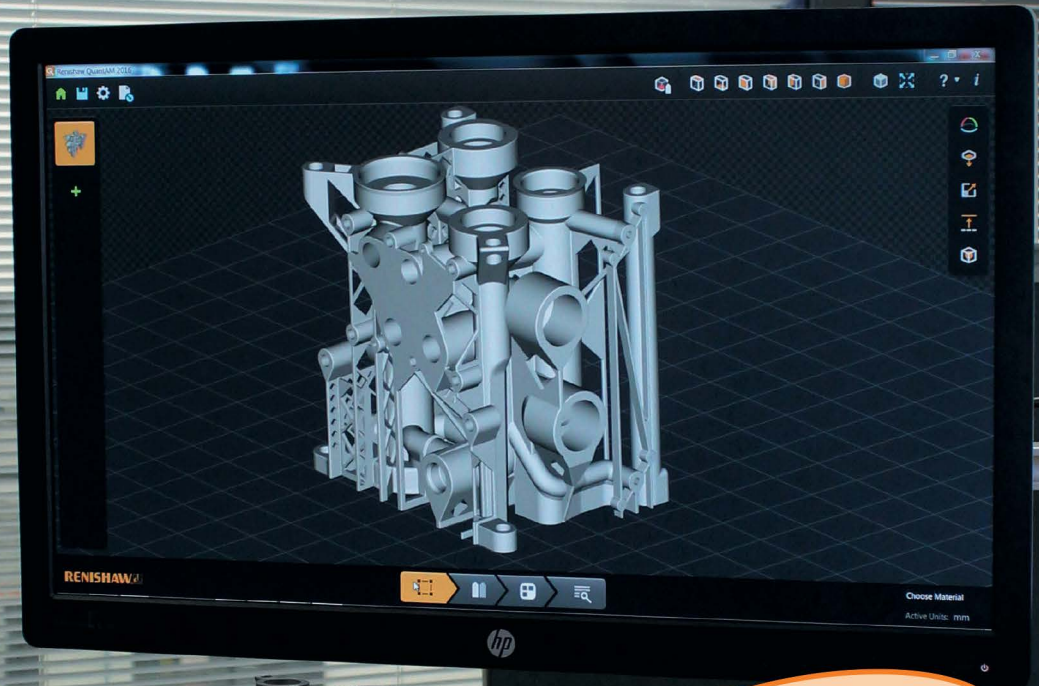
С целью развития сотрудничества в области применения аддитивных технологий Технопарк «Калибр» подписал двусторонние соглашения с Московским политехническим университетом, Российско-сингапурским деловым советом, трехстороннее соглашение с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого и ГК CompMechLab, тем самым обозначив новые векторы развития предприятия. Также было подписано соглашение о партнерстве между Казенным предприятием города Москвы «Корпорация развития Зеленограда» и резидентом Технопарка — компанией ООО «Эндопринт».

«В России отрасль находится в активной стадии формирования и для настоящего технологического прорыва необходимо регулярное взаимодействие государства и делового сообщества. Надеюсь, что конференция станет ежегодным мероприятием, объединяющим на одной дискуссионной площадке как российских, так и зарубежных специалистов» — отметил руководитель Технопарка «Калибр» Алексей Родос.



QuantAM для подготовки файла построения...

...легко осваиваемое, простое
в использовании



Будем рады видеть вас
на выставке **Formnext 2016**
Зал 3.1, Стенд F68



QuantAM – ваш кратчайший путь к подготовке файла построения

QuantAM – это продукт, предназначенный для подготовки файлов к построению на AM системах Renishaw с интуитивно понятным рабочим процессом и простым интерфейсом QuantAM. Поддерживает работу с CAD-файлами формата STL и позволяет подготовить ваши модели к процессу построения.

QuantAM разработан специально для платформ AM компании Renishaw, что позволяет достичь более плотной интеграции с управляющим ПО и дает возможность точного и быстрого просмотра всех файлов построения для систем AM Renishaw, в том числе, полученных из программного обеспечения сторонних производителей. QuantAM может быть использован также в качестве инструмента для разработки ваших собственных технологических процессов аддитивного производства, позволяя раскрыть все преимущества этой захватывающей технологии.

Подробная информация представлена на сайте www.renishaw.ru/quantam

Лазерные аддитивные технологии: перспективы применения

Е.В. Раевский, А.Л. Цыганцова
Группа компаний «Лазеры и аппаратура»

Аддитивные технологии появились еще в 80-е годы XX века, однако только в последние несколько лет это направление начало разворачиваться в полную мощь. Тема аддитивных технологий стала центральной для крупных исследовательских институтов, конференций, прикладных изданий во всем мире.

Для России это технологическое направление также актуально. Развивается рынок оборудования и технологий 3D-печати пластиком. На выставке «Металлообработка-2016» показан первый серийный российский станок для послойного спекания металлопорошков производства группы компаний «Лазеры и Аппаратура» (рис. 1). Институтами ИЛИСТ, ЦНИТМАШ, УрФУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана созданы опытные установки аддитивного лазерного выращивания из металлических порошков. Создается опытное оборудование для

аддитивного выращивания электронно-лучевым методом. Работы осуществляются в направлении разработки отечественных материалов, технологий производства деталей для различных актуальных приложений, сертификации изделий и т.д. Проводятся многочисленные конференции как научные с целью обмена достижениями, так и для широкого круга специалистов для популяризации технологий и демонстрации их новых возможностей. Безусловно, в данной ситуации мировой опыт чрезвычайно интересен. Одной из ведущих конференций в области лазерной техники в мире является Международный конгресс лазерных технологий в Аахене (Германия), который проходит раз в 2 года и собирает всех основных и значимых исследователей и представителей производителей. Его организатором является Институт лазерных технологий Фраунгофера (ILT)

[Fraunhofer Institute for Laser Technology]. В 2016 году одной из основных тем конференции стали аддитивные технологии: текущее состояние, основные тенденции и перспективы.

Настоящей статьей мы начинаем обзор **ЛАЗЕРНЫХ** аддитивных технологий и оборудования, а также актуальных проблем и задач, связанных с их применением.

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОТЛИЧИЯ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ

Лазерные аддитивные технологии можно разделить на две группы. Различные производители могут использовать некоторые другие термины, что связано в первую очередь не с разницей в технологическом процессе, а с вопросами патентования названий.

1) **SLM — Selective Laser Melting** — селективное лазерное сплавление (синтез или спекание)

Рис. 1. Станок для послойного спекания ML6-1 фирмы «Лазеры и Аппаратура»



Рис. 2. Схема построения детали по SLM-технологии

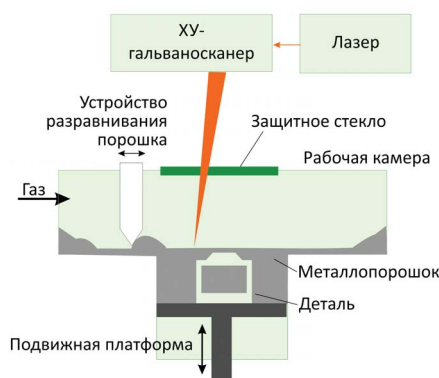
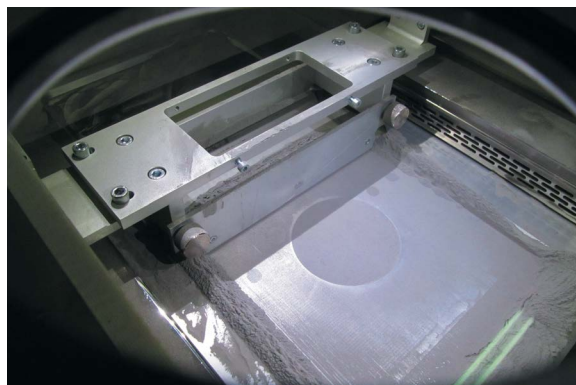


Рис. 3. Рабочая камера станка ML6-1 фирмы «Лазеры и аппаратура»



с использованием ванны расплава (рис. 2, 3). Речь идет о наличии некой поверхности, на которой сначала формируют слой, а затем в этом слое выборочно отверждают (фиксируют) материал. К этой категории относятся такие обозначения технологии, как SLS и SLA, DMLS, Laser Cusing, SPLA и другие.

2) **LMD – Laser Metal Deposition** – прямое лазерное осаждение или прямое лазерное выращивание с использованием прямой подачи порошка или проволоки непосредственно в место построения (рис. 4, 5). К этой категории

относятся технологии: DMD – Direct Metal Deposition, LENS – Laser Engineered Net Shape, DM – Direct Manufacturing, MJS – Multiphase Jet Solidification.

На настоящий момент мировые лидеры в области аддитивных технологий отмечают в качестве основных преимуществ **метода SLM** высокую точность и качество построения. С помощью этой технологии возможно создавать практически сколь угодно сложные изделия с полостями внутри, нависающими частями. Однако скорости построения и размер выращиваемых деталей в таких системах ограничены.

Прямое осаждение, в свою очередь, позволяет вести построение с большими скоростями и в боль-

шем объеме, исследованно значительное число материалов, однако точность здесь ниже и сложность выращиваемых деталей ограничена (рис. 6, таблица 1).

Показателен опыт изготовления одной и той же детали с применением SLM и LMD технологий. В этих целях была изготовлена опорная деталь самолета Airbus A 320, предназначенная для крепления двигателя под крыло из сплава Инконель 718. Полученная деталь должна быть устойчива к высоким температурным, химическим и механическим воздействиям. На текущий момент изготавливается при помощи литья и фрезеровки.

Кроме определенной разницы в структуре полученного материала (рис. 6) и прочности на разрыв и сжатие, обращают на себя внимание следующие различия:

LMD. Время построения составило 14 часов, скорость построения составила 146,7 мм³/сек. В ходе построения требовалась корректировка параметров, отсутствовали некоторые отверстия (требовалась дополнительная обработка).

SLM. Время построения составило 40 часов, скорость – 15 мм³/сек. При этом уровень и качество детализации были очень высокими.

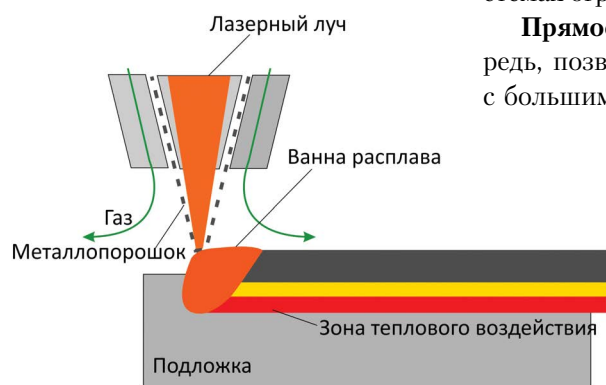


Рис. 4. Схема построения детали по LMD-технологии

Рис. 5. Лазерная коаксиальная LMD наплавка сферическими порошками

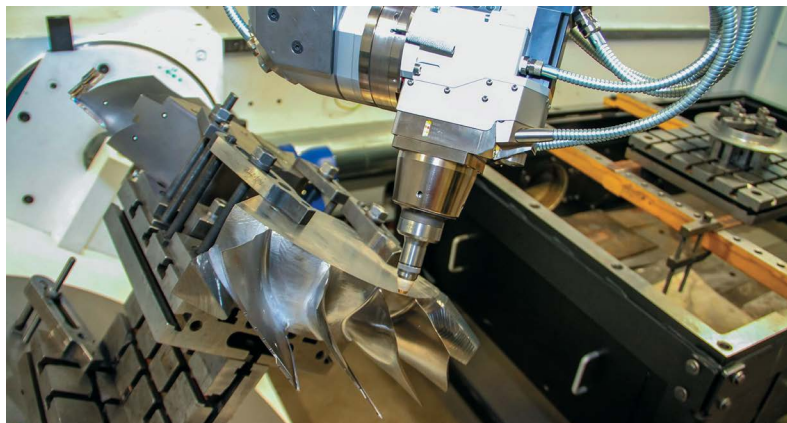
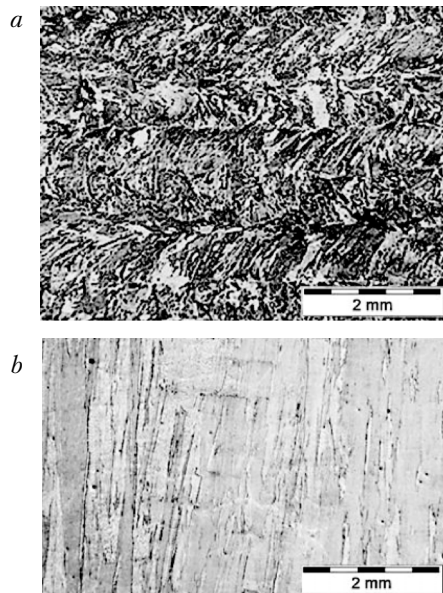


Таблица 1

	LMD	SLM
Материалы	Большой выбор порошков	Ограниченное количество порошков
Размеры детали	Ограничен ходом осей	Ограничен размером камеры
Сложность	Ограничена	Не ограничена
Точность	$\geq 0,3$ мм	$\geq 0,1$ мм
Скорость построения	10–40 см ³ /час	2–10 см ³ /час
Субстрат	Поверхности сложной формы Уже существующая деталь	Плоская поверхность Специальная платформа
Rz	60–100 мкм	30–50 мкм
Толщина слоя	0,1–1 мм	0,03–0,1 мм

Рис. 6. LMD (a) и SLM – структуры (b)



ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Вопросов стоит много: от сложности внедрения и сертификации деталей, производимых новым методом до ограниченного числа экспертов-технологов. Однако по большому счету эти вопросы — сопутствующие и решение их — дело времени. При этом ключевой является перспективность технологии как таковой, целесообразность и эффективность внедрения аддитивных технологий в производство.

В целом производство деталей с помощью лазерных аддитивных технологий конкурентоспособно по стоимости в первую очередь в тех случаях, когда речь идет о производстве небольшого количества деталей, имеющих сложную геометрию (рис. 7). Именно этим объясняется значительный спрос на установки послойного лазерного синтеза металлических изделий в авиационной промышленности, космической индустрии, стоматологии и производстве имплантов.

В последние годы большое внимание в самолетостроении и автомобилестроении уделяется технологиям, позволяющим создавать облегченные конструкции. Их применение обеспечивает дополнительную экономию горючего. При создании Airbus A380 в начале 2000-ых активно внедрялась технология лазерной сварки некоторых де-

Рис. 7. Графики эффективности применения аддитивных технологий

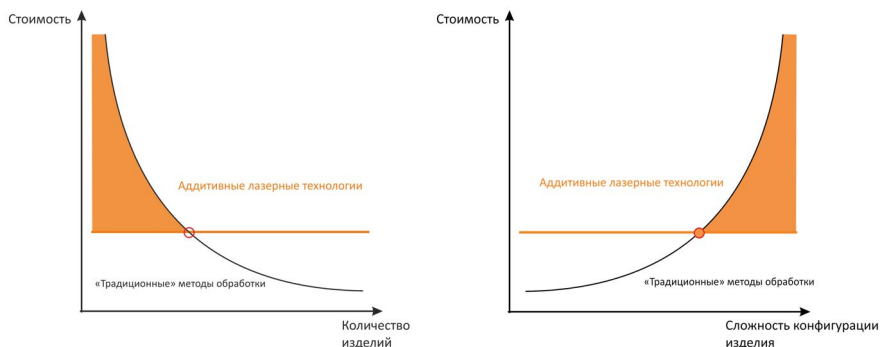


Рис. 8. Снижение веса конструкций с применением аддитивных технологий



талей фюзеляжа взамен традиционной клепки. Тогда это позволило уменьшить вес на 15%. В самолетостроении уменьшение веса на 1 кг позволяет сэкономить до 100 литров топлива в год, а в автомобилестроении уменьшение веса на 10% дает экономию на топливе на 4%. Внедрение таких облегченных конструкций, как правило, требует их изготовления с помощью аддитивных лазерных технологий (рис. 8, 9, 10).

В следующих номерах журнала «Аддитивные Технологии» мы продолжим обзор материалами об оборудовании и особенностях SLM-технологии.

Использованы материалы International Laser Technology Congress 2016 (AKL16):

1. SLM and LMD Manufacturing Processes, Dr. Wilhelm Meiners, Fraunhofer ILT, Aachen.
2. Lightweight in Automotive and Aerospace, Dr. E. h. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen.
3. Digital Photonic Production in Aachen, Prof. Dr. Reinhard Poprawe, Fraunhofer Institut fuer Lasertechnik ILT, Aachen. RWTH Aachen University Lehrstuhl fuer Lasertechnik LLT.
4. Comparison LMD and SLM in Additive Manufacturing, Dipl.-Ing. Moritz Alkhatat, Fraunhofer ILT, Aachen.

Рис. 9. График снижения стоимости изделий за счет снижения веса

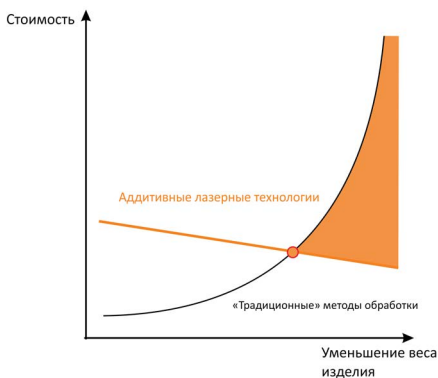


Рис. 10. Кронштейн крепления элементов авиационного кресла, изготовленный с помощью технологии SLM

Технология лазерного спекания металла вышла на уровень промышленного применения

Аддитивный метод лазерного спекания (Laser Metal Fusion, далее — LMF) теперь может быть использован и в серийном производстве. Даниель Лихтенштейн, руководитель отдела продаж и развития рынка аддитивных технологий компании TRUMPF, рассказывает о видах применения и продуманных технологических цепочках.

Господин Лихтенштейн, в каких сферах применения технология LMF представляется особенно привлекательной?

Мы видим очень широкий спектр: начиная с инструментального производства и изготовления моделей, где необходимы сложные изделия с охлаждением по контуру, до применения в сфере стома-

тологии для производства зубных коронок или мостов. Кроме того, большой потенциал есть в возможности изготовления сложных деталей для авиационной промышленности и турбиностроения. Даже субпоставщики начинают постепенно использовать аддитивные технологии. Интерес идет из очень разных областей.

Но так было не всегда

Еще в 1999 году мы совместно с Институтом лазерной техники им. Фраунгофера (ILT) занялись проблемой селективного спекания металла, которое теперь именуется Laser Metal Fusion, или LMF. На основании полученных знаний мы разработали наш первый LMF-станок, TrumaForm. Станок появился на рынке

в 2003 году, и, таким образом, мы уже давно смогли предложить решение для промышленного применения аддитивных технологий. Однако тогда время для них еще не пришло. Рынок был ориентирован на применение разработок в исследовательских и проектных, а также в некоторых узкоотраслевых сферах. По этой причине мы приостановили дальнейшее развитие данной технологии.

Почему в 2014 году TRUMPF снова вернулся к теме LMF?

Абсолютно очевидно, что 3D-печать все больше завоевывает рынок, так что два года назад для нас было абсолютно логичным снова заняться LMF. Клиенты компании TRUMPF хотят производить уже не только опытные образцы, но и внедрять детали в серийное производство. А потому они ожидают от нас решений для промышленного применения, что мы и сделали — мы предложили своим заказчикам готовое технологическое решение, при помощи которого они могут экономично производить сложные детали.

В целях дальнейшего развития технологии LMF мы основали собственное подразделение в головном офисе в Дитцингене. Там под одной крышей собран весь основной функционал, включая производственные мощности. Работа научно-конструкторского отдела сосредоточена над существующими и будущими станками.

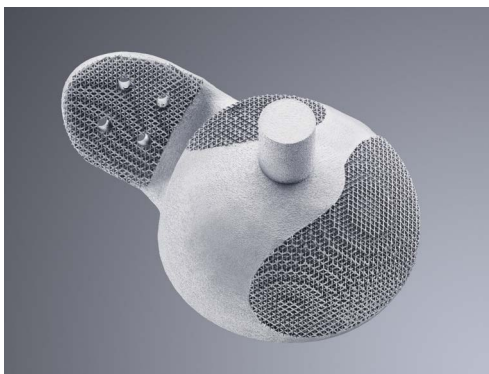
*Даниель Лихтенштейн руководитель отдела продаж и развития рынка аддитивных технологий в компании TRUMPF.
Тобиас Баур — руководитель нового департамента*



Облегченная конструкция: монтажные уголки в самолетостроении должны быть особенно легкими. Благодаря использованию LMF материал расположен только в направлении линий силовых потоков, что дает экономию в весе.



Медицинская отрасль: Быстрое изготовление имплантатов по индивидуальным меркам. При этом изделия отличаются улучшенной биологической функциональной интеграцией: структура облегчает вращение в ткани.



Изготовление опытных образцов: Рабочее колесо — прототип конструктивного элемента из области проектирования деталей силовых трансмиссий. Геометрия конструктивного элемента была испытана компанией «Volkswagen AG» в целях оптимизации условий обтекания в моторном отсеке.



Экономия материалов: расположение граней данного элемента турбины в разных плоскостях снижает чрезмерный расход материала, который мог бы возникнуть, например, при изготовлении с применением технологии резки.



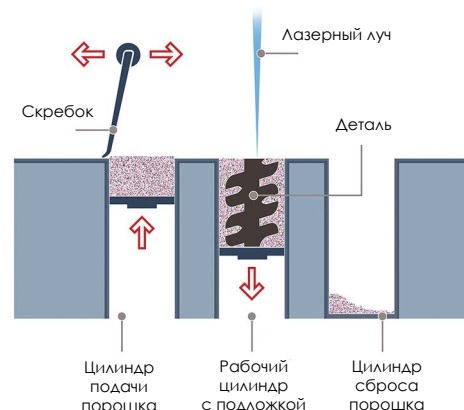
Гибкость: Аддитивные Технологии — это гибкое производство без использования каких-либо инструментов.



Кроме того, мы собрали большую команду из инженеров — прикладных специалистов, являющихся экспертами в своих областях, что позволяет нам оказывать нашим заказчикам поддержку в узкоспециализированных областях.

Как работает LMF

Так называемый скребок наносит порошок из резервуара на рабочий цилиндр. Затем лазер расплавляет первый слой порошка согласно контуру детали. На следующем этапе рабочий цилиндр опускается. Данный процесс повторяется до тех пор, пока деталь не будет полностью создана. При каждом возврате к цилиндру с запасом порошка умная механика слегка поворачивает скребок для сокращения времени цикла и снижения риска столкновения с рабочим цилиндром или деталью. Чтобы обеспечить высокое качество детали весь процесс осуществляется в камере, наполненной защитным газом.



Что производят заказчики при помощи LMF?

При помощи технологии 3D-печати из металла пользователи могут создавать функциональные детали напрямую из моделей в формате 3D-CAD. Они имеют возможность действовать значительно более гибко по сравнению с классическими технологиями, когда для начала необходимо обеспечить наличие инструментов и оснастки. К тому же LMF дает свободу в плане конструирования различных геометрических форм, которую не дают никакие другие технологии. Остальные преимущества относятся, скорее, к специфическим особенностям

отраслей: возможность конструировать бионические компоненты, которые открывают новые возможности для производства исключительно легких конструкций в сфере самолетостроения. Здесь экономия по весу может достигать от 30 до 50 процентов при сохранении или даже улучшении механических характеристиках. В других отраслях неоспоримым преимуществом является кастомизация, т.е. возможность изготовления деталей в соответствии с запросами конкретного потребителя. Так, например, в протезировании появляется возможность за более короткий срок изготавливать индивидуально подогнанные имплантаты. Также производители украшений благодаря технологии LMF могут просто изготавливать оригинальные изделия.

Компании, внедрившие новую производственную технологию, благодаря LMF, получают неоспоримые конкурентные преимущества.

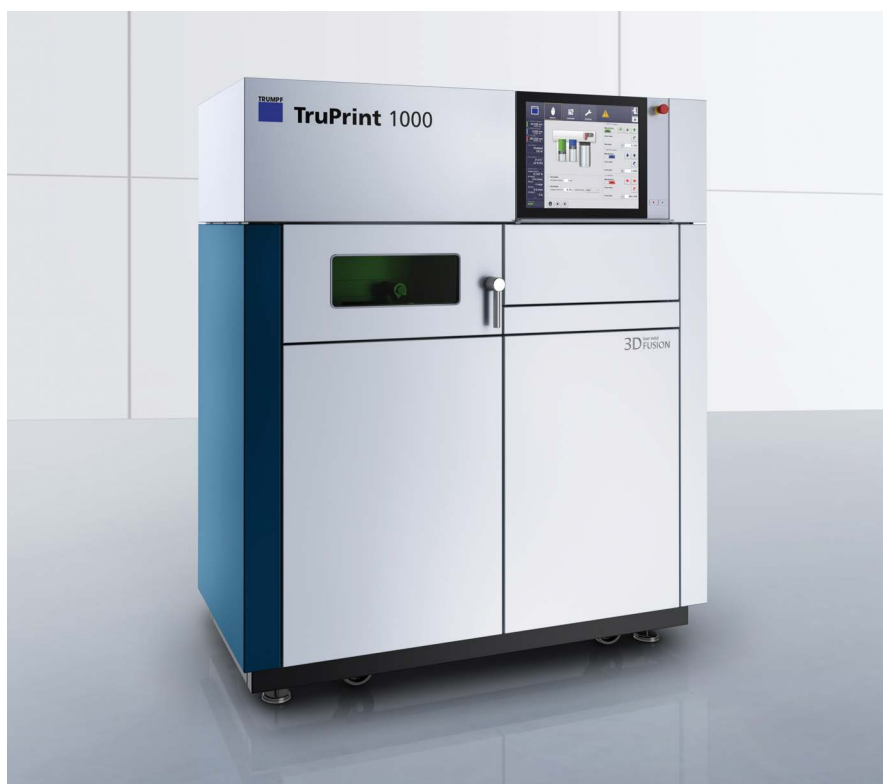
То есть в будущем для производства нет иного пути, кроме 3D-печати?

Не нужно думать, что 3D-печать это — священный Грааль, при помощи которого не сегодня-завтра будет совершен переворот в производстве. Наряду с самой технологией как минимум важно принимать во внимание предшествующие и последующие процессы. Нет никакого смысла быстро за одну ночь печатать деталь, если потом целую неделю будешь заниматься доработкой.

Звучит почти пугающе.

Совсем наоборот: предприятия, на которых внедрена новая технология, благодаря LMF имеют возможность получить неоспоримое преимущество в конкурентной борьбе. И здесь мы можем оказать клиенту полную поддержку. Мы хотим помочь вам

TruPrint 1000 от компании TRUMPF — это компактный станок для производства мелких металлических деталей методом лазерного спекания, т.е. с применением так называемой технологии Laser Metal Fusion. Станок способен за короткое время с использованием металлического порошка и лазерного луча изготовить деталь практически любой геометрической формы. Даже сложные фигуры можно легко преобразовать из проекта в САД в готовую деталь.



сделать первые шаги в мир аддитивного производства. Чаще всего этот путь начинается с совместной с заказчиком разработки технологии производства его специфической детали по технологии LMF. Когда правильное решение найдено, вместе со станком компании TRUMPF можно заказать также программное обеспечение и подходящие порошковые материалы.

Какие LMF-станки предлагает компания TRUMPF своим заказчикам?

С конца 2015 года на рынке присутствует модель TruPrint 1000. Это очень компактная машина, способная экономично производить небольшие детали, которые можно вписать в цилиндр 100 мм в диаметре и 100 мм в высоту. Кроме того, мы уже изготовили прототип станка TruPrint

3000. Станок располагает большей рабочей поверхностью диаметром 300 мм при рабочей высоте 400 мм, а также большей по сравнению с TruPrint 1000 мощностью лазера. Кроме того, мы продолжаем работать над следующими моделями, которые будут еще более производительными. Основными условиями для этого является интеграция нескольких лазерных источников, а также предварительный прогрев рабочей камеры для стабильной и надежной обработки широкого спектра материалов.

ООО «ТРУМПФ»
+7 495 234 5713
www.ru.trumpf.com
info@ru.trumpf.com

Renishaw: от имплантата до крыла самолета

Зинаида Сацкая



*Михаил
Злотский,
Генеральный
директор
ООО «Ренишоу»*

Лавинообразный интерес к аддитивным технологиям и оборудованию на их основе требует последовательного и квалифицированного осмысления как самих технологий, так и состояния рынка. Вот почему нам важны мнения экспертов, видящих рынок изнутри. Сегодня на вопросы обозревателя журнала «Аддитивные технологии» отвечает генеральный директор ООО «Ренишоу» Михаил Злотский.

Как глобальный и российский рынок аддитивных технологий видится глазами глобального игрока? Как выглядит доля России в мировом объеме аддитивного производства?

Применение технологий аддитивного производства в мире с каждым годом набирает обороты. Примеров их использования становится все больше, причем не только в традиционных отраслях, таких как аэрокосмическая промышленность, машиностроение, медицина и энергетика, но и в новых областях, например, для создания эксклюзивных аксессуаров. Прирост рынка АМ-технологий в последние годы составляет в среднем 25–30% в год. Признан-

ными лидерами рынка считаются США, Германия, Япония и Китай, доля России составляет пока менее 2%.

Ваша технологическая ниша в сфере АТ и ее конкурентное преимущество?

Renishaw, будучи ведущей компанией в области метрологии, уделяет значительное внимание качеству выпускаемых изделий. Именно поэтому при производстве АМ-оборудования используются собственные энкодеры Renishaw, позволяющие добиться максимального соответствия готового изделия его 3D-модели. Кроме того, в конструкции нашего АМ-оборудования используются уникальные решения, выгодно отличающие нас от изделий конкурентов. В частности, хотелось бы упомянуть создание инертной среды путем вакуумирования камеры построения, способствующее сокращению времени на под-

готовку системы и последующего расхода аргона, а также использование резинового скребка для равномерного распределения порошка по платформе, что сводит к минимуму возможные нарушения процесса построения.

Несколько лет назад вы купили компанию MTT Technologies. Получила ли у вас разработанная ими технология или технологический потенциал приобретения еще не исчерпан, и вы пока эксплуатируете то, что приобрели?

Впервые потребность в использовании аддитивных технологий у Renishaw возникла в 2000-х годах. А поскольку со временем она возрастала, в 2011 году нами было принято решение о приобретении компании MTT Technologies с целью организации на её базе производства АМ-оборудования не только для собственных нужд, но и для удовлетворения расту-



Гидравлическая система, изготовленная методом аддитивного производства без использования поддержек

щих потребностей рынка. В первую очередь, мы доработали существовавшую на тот момент машину AM250. Изменения коснулись повышения быстродействия системы и создания более экологичного процесса построения изделия, для чего, помимо прочего, были оптимизированы ПО, устройства подачи и фильтрации аргона. Мы также полностью переработали оптическую систему машины. Тогда же мы начали разработку и производство собственной машины, которая в дальнейшем получила название RenAM500M.

[В каких промышленных сферах ваша продукция максимально реализует свои возможности?](#)

Renishaw активно внедряет аддитивное производство в аэрокосмическую промышленность. Однако, будучи связанными соглашениями о конфиденциальности по подавляющему большинству проектов, мы не можем называть ни наших партнеров, ни области разработок. Мы благодарны компании Airbus, разрешившей нам опубликовать информацию о подписании контракта стоимостью 17,7 млн фунтов стерлингов на разработку инновационных структур крыльев самолетов.

В целом, использование адаптированных под изготовление методом АМ изделий из титана позволяет значительно, порой в разы, облегчить деталь, сохранив, а в ряде случаев и улучшив, ее механические свойства, такие, как жесткость, прочность и пластичность. Благодаря способности воспроизводить сложные объекты и точные детали 3D-печать идеально подходит также для производства медицинских имплантатов и стоматологических изделий из титана и кобальтохромового сплава. В компании Renishaw существует отдельный департамент Medical Dental Product Division,



Уникальные медицинские имплантаты, созданные с помощью аддитивного производства

который занимается вопросами применения АМ для изготовления медицинских изделий по индивидуальному заказу, например, черепно-лицевых имплантатов и направляющих устройств. В работе со своими клиентами компания Renishaw стремится не только к совершенствованию существующих устройств, изготавливаемых по индивидуальным требованиям заказчика, но также к поиску и исследованию новых областей применения.

[Какими, по вашему мнению, перспективы продвижения аддитивных технологий в российскую промышленность? Что этому может способствовать и что может тормозить?](#)

Основными препятствиями, с нашей точки зрения, являются отсутствие производства отечественных металлических порошков и национальных стандартов для аддитивного производства. Несмотря на значительное количество НИОКР в этой отрасли, а также определенный интерес со стороны предприятий, до изготовления порошков в промышленных масштабах дело еще не дошло. В России есть все предпосылки для развития данного направления, но трудностей, как в любом новом деле, не избежать. Компания Renishaw готова оказать российским предприятиям всяческое содействие в продвижении по этому трудному, но очень перспективному пути.

RenAM 500M – машина для промышленного аддитивного производства поддожержек



Зинаида Сацкая



Крупнейший в мире производитель алюминия РУСАЛ вплотную подошел к выпуску алюминиевых порошков для 3D-печати. О перспективах развития направления рассказывает директор по новым проектам РУСАЛа Алексей Арнаутов.

— Глобальный и российский рынок производителей алюминиевых порошков для аддитивных технологий сравнительно молод. Что можно сказать о перспективах этого направления и роли РУСАЛа в этом сегменте?

Сейчас мировой рынок алюминиевых порошков для 3D-печати составляет всего 150 тонн в год и 500–700 тонн в год порошков из других сплавов. Рынок очень маленький, молодой, но технология 3D-печати прижилась, перешагнула из категории технологической роскоши в категорию технологии, которая хоть и медленно, но завоевывает популярность. Поэтому очень важно выйти на этот рынок на этапе его становления, занять свою долю и постепенно ее наращивать. Таким образом, можно не только занять доминирующее положение в производстве, но и лидировать в сфере разработок, определять пути развития рынка. У РУСАЛа

для этого есть все предпосылки. В перспективе компания способна производить ежегодно до 20 тысяч тонн алюминиевых порошков различных марок, в том числе — любой требуемый рынком объем порошков для 3D-печати.

— Как сегодня видится доля России в общем объеме производства алюминиевых порошков? Какую долю на российском рынке Вы предполагаете занять?

РУСАЛ обладает сегодня сильнейшей научно-производственной базой для выпуска алюминиевых порошков. Объединив усилия по расширению применения 3D-печати в промышленности с крупнейшим изготовителем оборудования для производства гибридных 3D-установок — компанией Sauer GmbH, входящей в концерн DMG MORI, мы надеемся занять лидирующую позицию в мире по этому направлению. Соглашение о намерениях с Sauer GmbH было подписано в июле 2016 года, сейчас налаживается сотрудничество. Если говорить о среднесрочной перспективе, РУСАЛ намерен занять до 25% мирового рынка алюминиевых порошков для 3D-принтеров.

— В соответствии с соглашением о намерениях компания Sauer обязуется предоставить соответствующее оборудование. Не могли бы вы подробнее рассказать о том, что это за оборудование?

Одним из пунктов соглашения является разработка РУСАЛом алюминиевых сплавов для соз-

дания порошков, предназначенных для сертификации на оборудовании Sauer GmbH. В первую очередь, речь идет об оборудовании для оценки качества алюминия, алюминиевых сплавов и порошков для использования в 3D-принтерах. Стороны будут вести этот процесс совместно.

Кроме того, соглашение о намерениях предусматривает предоставление со стороны Sauer GmbH специального оборудования для производства образцов деталей аддитивными технологиями из порошка алюминиевого сплава, произведенного на мощностях РУСАЛа. Целью данной работы является с одной стороны отработка технологии применения алюминиевого порошка производства РУСАЛа, с другой стороны получение необходимой информации для разработки новых алюминиевых порошков для аддитивных технологий.

— На каком заводе предполагается реализация проекта?

Реализация проекта затронет несколько производственных площадок РУСАЛа. В частности, для получения малотоннажных партий порошков алюминиевых сплавов для аддитивных технологий планируется создать специализированный участок в ООО «СУАЛ-ПМ», расположенного в городе Шелехов в Иркутской области. Также для получения опытных образцов порошков алюминиевых сплавов, необходимых для изучения свойств перед запуском в производство, планируется использование специальной крупнолабораторной уста-

новки по производству порошков на Волгоградском алюминиевом заводе.

— В соответствии с соглашением предполагается также продвижение вашей порошковой продукции среди клиентов Sauer. А как вам сегодня видятся перспективы продвижения аддитивных технологий в российскую промышленность?

Действительно, данное соглашение призвано способствовать продвижению продукции РУСАЛа среди клиентов Sauer, с другой стороны мы получаем возможность активно развивать произ-

водство специальных порошков для аддитивных технологий, которые неизбежно найдут применение в российской промышленности. С новыми технологиями мы сможем изготавливать уникальные прототипы за короткое время, а это открывает практически безграничные возможности перед производителями. Кроме того, применение аддитивных технологий практически безотходно, что позволяет вести зеленые технологические процессы, повышая степень экологической ответственности компаний.

На сегодняшний день развитие аддитивных технологий сдерживается как высокой стоимостью

оборудования, так и высокой ценой порошков, которые могут применяться на этом оборудовании. Общий рост производства неизбежно приведет к снижению себестоимости, а, следовательно, и цены порошка. Также продвижению аддитивных технологий в российскую промышленность может способствовать создание консорциумов из предприятий потребителей изделий, производителей оборудования, производителей порошков и научных заведений, объединение усилий даст необходимый синергетический эффект и ускорит продвижение аддитивных технологий.



III Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее»

Дата: **23.03.2017**
начало — 10:00.
Адрес: г. Москва
ул. Радио, д. 17
(вход со стороны
ул. Доброслободская),
ФГУП «ВИАМ»

Темы:

- проблематика внедрения аддитивных технологий в производство;
- преимущества аддитивных технологий в качестве альтернативы традиционным технологиям;
- моделирование процессов изготовления изделий;
- технологии баротермической и термической обработки;
- технологии неразрушающего контроля;
- задачи и проблемы разработки и практического использования базы нормативно-технической документации, регулирующей изготовление, испытание

и применение изделий, полученных методами аддитивных технологий, в гражданских отраслях промышленности.

Организаторы: ФГУП «ВИАМ»
ГНЦ РФ совместно с технологической платформой «Материалы и технологии металлургии» и технологической платформой «Новые полимерные композиционные материалы и технологии».

Регистрация на сайте
<http://conf.viam.ru/conf/236>
до 28 февраля 2017 г.
Контактная информация:
(499) 263–89–17
Сумакова Алла Витальевна

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ для себя и бизнеса



*Ася Арутюнян, руководитель проектов по образованию
Компания «Галактика-3д»*

Недавно проведенные исследования показали, что прирост инвестиций в отрасль напрямую зависит от ее пластичности. Чем быстрее участники рынка приспосабливаются к новым условиям и внедряют новые технологии, совершенствуя линию производства, тем быстрее и мощнее рост капитала в отрасли.

Одной из последних тенденций десятилетия стало использование в разработке прототипов и внедрение в производство аддитивных технологий. Традиционное производство деталей, по сути, близко скульптуре: берется материал и от него отсекается все лишнее. Суть аддитивных технологий противоположна: здесь изделие «печатается» слой за слоем. За процессом следит компьютер, ориентируясь на точную 3D-модель. У метода есть несколько сильных сторон. Во-первых, сокращаются расходы материала (в зависимости от детали экономия может достигать 75%). Во-вторых, появляется возможность создавать более сложные изделия (например, с различными полостями). В-третьих, можно выпускать детали, не нуждающиеся в дополнительной обработке или сразу создавать выжигаемые модели под литье.

Недооцененные ранее технологии теперь предстают перед нами в новом свете. По данным PLC Group, компании, основное направление деятельности которой — решение задач в области автоматизации и управления технологическими процессами и производством. PLC GROUP

проектирует и изготавливает оборудование, на котором в дальнейшем нефть и газ подготавливаются к транспортировке на предприятия Крайнего Севера, — после внедрения технологии трехмерной печати в создание макетов оборудования длина цикла между PLC Group и некоторыми заказчиками, в числе которых ОАО «Газпром» и ОАО «Новатэк», сократилась в среднем в 9 раз.



Кроме того, существуют отрасли, в которых 3D-печать с успехом заменяет классические технологии производства ввиду своей доступности, универсальности и простоты в использовании. Уже сегодня специалисты, за чьи плечами есть хотя бы 3–5 лет использования в работе технологий быстрого прототипирования, ценятся выше своих коллег. Это люди, умеющие грамотно распределять свои силы и понима-

ющие всю линию производства от первого эскиза до готовой к использованию детали. Не зря же компания Ford Motors поставила на рабочий стол каждого своего инженера маленький 3D-принтер. Это позволило сократить время производства прототипов отдельных элементов салона с минимум 16 недель до 2–3 дней.

А между тем, за последние 15 лет только в нашей стране выдан 131 патент по различным аспектам аддитивной печати. И это только 0.14% от доли аналогичных патентов по миру. Лидер глобального рынка аддитивных технологий — США (доля немногим менее 40%). И это направление в стране продолжает развиваться.

Сегодня у многих на слуху биопечать, 3D-печать из металлов (титан, алюминий, инструментальная сталь), из нейлона, из фотополимеров (высокоточные мастер-модели и восковки), 3d печать из полиамида (промышленная технология лазерного спекания пластика), эластичных FLEX материалов и из термополимеров. Например, совсем недавно, настольный 3D-принтер Witbox 2, испанской компании BQ, помогал юному модельеру Данит Пелег в создании платья из эластичного материала FilaFlex для Эми Пурди, открывавшей параолимпиаду в Рио танцем с промышленным роботом-манипулятором KUKA. Это событие не только привлекло внимание миллионов к параолимпийским играм, но и позволило проверить в деле технику более доступного сегмен-



Witbox 2

Большие проекты, слой за слоем

Скорость печати до 200 мм/с

Разрешение до 20 мкм

Объем печати: 297 x 210 x 200 мм

Гарантия - 2 года



 EUROPEAN
PRODUCT

bq.com

bq

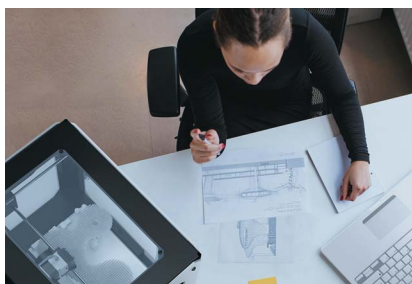
та. Ведь если говорят о 3D-печати, то думают в первую очередь о дорогостоящем промышленном оборудовании. И совсем забывают, что преимущества 3D-печати заключены даже в самом, на первый взгляд, «домашнем звере».

И пока весь мир замороженно следит за новыми масштабными проектами с использованием возможностей 3D-печати, грамотные руководители приобретают именно ту технику, которая действительно нужна их компании. И получают колоссальный прирост производительности, не тратя на это полугодового бюджета фирмы.

Тенденция очевидна: мир смещает фокус внимания от гуманитарных специальностей к инженерным. И вскоре каждому придется не только знать, где купить ту или иную вещь, но уметь создавать ее самому. Технологии позволяют творить даже, не выходя из дома. А границы возможного сегодня распахнулись необычайно широко. И если раньше специалисты по трехмерному моделированию учились долгие годы своему ремеслу, то теперь, с появлением новых программных продуктов, умных роботов, 3D-принтеров, 3D-сканеров, smart-приложений — мир трехмерного стал ближе и доступней. Любой ребенок через пару лет будет уметь обращаться с высокотехнологичным оборудованием так же легко, как с компьютером или смартфоном.

Сегодня же — только формируется рынок специалистов по 3D-печати, а людей, кто умеет обращаться с такой техникой — пересчитать по пальцам, и все они — заметные, узнаваемые и ценные кадры, которые с каждым годом становятся все более востребованными.

Одна из первых в России компаний, которая доказала, что учиться работать с 3D-принтерами может каждый и всерьез занялась обучением специали-



стов в данной области — команда ГАЛАКТИКА 3D. Поработав в разных крупных и значимых проектах, в том числе над циклом первых свободных вебинаров для российского 3D-сообщества, и сотрудничая со всеми участниками рынка 3D-печати, команда собрала немалый уникальный опыт. Десятки успешных примеров внедрения программ в образовательный или производственный процесс и отзывы выпускников Академии 3D-печати — лучшее доказательство, что даже молодая команда, за плечами которой почти 10 лет работы с 3D-принтерами, может научить многому.

И в этом вся суть 3D-печати: она открывает новые возможности роста перед всеми, будь то состоявшийся специалист крупной промышленной компании или всего только студент второго курса университета.

И, в заключение, следует развенчать уже давно не актуальный миф, будто 3D-печать — это дорогое удовольствие, недоступное для простых смертных. Даже в крупных компаниях не обойтись без грамотного использования ресурсов и оптимизации. Например, по отчету AGCO (корпорация AGCO является одним из клю-

чевых игроков США по производству оборудования в сельском хозяйстве), алюминиевый прототип детали может стоить от 5000\$ до 7000\$ за единицу. В это же время пластиковые части, созданные на 3D-принтере, обойдутся в 1000\$-2000\$. И создание таких прототипов на принтере займет всего 1 день. А время, как мы знаем, самый ценный и невосполнимый ресурс.

Сегодня качество 3D-принтеров постоянно растет, а стоимость становится все более доступной. Средняя цена оборудования от 80 000 до 200 000 рублей. При этом такие 3D-принтеры в равной степени подходят и для обучения, из-за удобного интуитивного интерфейса, и для создания рабочих деталей благодаря высокой точности позиционирования печатающего сопла и большого количества поддерживаемых материалов. Одна из таких демократичных компаний-производителей — BQ, давно известный мировой бренд. Это компания, которая завоевала европейский рынок и, имея многолетний опыт работы с электроникой, создавая современные телефоны и смартфоны, теперь уверенно заняла нишу 3D-принтеров. В ее арсенале конструкторы, программируемые роботы, 3D-принтеры для образования и полупрофессиональные настольные машины.

Поэтому, если можно приблизить будущее и открыть для себя и своего бизнеса новые возможности, то почему не сделать этот шаг уже сейчас?



WWW.3D-GALAXY.RU
VK.COM/3DPGALAXY



СКЛАДОЧНАЯ УЛ, 1С1
БЦ "СТАНКОЛИТ"

НОВАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА
КОФЕ & ТЕХНОЛОГИИ

- УЮТНАЯ АТМОСФЕРА КАФЕ •
- ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЗОНА РАЗРАБОТОК •
- ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ •
- 3D-СКАНИРОВАНИЕ • 3D-ПЕЧАТЬ •
- МАСТЕР-КЛАССЫ •
- КОВОРКИНГ • ЛЕКТОРИЙ •

Почувствуй себя частью Галактики ...

Авторизованный Академический Партнер Autodesk

Autodesk® Fusion 360

3D-печать меняет ЭКОНОМИКУ И ПРОИЗВОДСТВО

Денис Власов

ООО «Эксклюзивные Решения»

Еще не наступило время, когда умные 3D-принтеры будут выпускать изделия с реальными эксплуатационными характеристиками и качеством поверхности со скоростью существующих пластавтоматов, фрезерных и токарных обрабатывающих центров и другого современного производственного оборудования. Но мы все (разработчики 3D-оборудования) идем к этой заветной цели, диктуемой нам рынком. Важно понимать, что 3D-печать надо интегрировать в производственные процессы предприятий, а для этого надо понимать возможности каждой из технологий 3D-печати. Сейчас десятки компаний обратили свое внимание на аддитивные технологии, и начали «этап изучения возможностей и экспериментов». Этот этап — время проб и ошибок, но именно сейчас формируется заказ от промышленности на определенную функциональность машин и материалов.

Сфера разработок нашей компании — это фотополимерная сте-

реолитографическая (SLA) печать (разработка оборудования и химии для 3D-печати). Если по-простому, то это получение твердых изделий высокой детализации из жидких полимеров под воздействием селективной ультрафиолетовой маски. Технология стара, как мир и первые патенты по этой технологии уже потеряли свою силу по прошествии 25 лет с момента их регистрации. Но бум развития этого метода 3D-печати пришелся только на последние годы и оказался связан, в первую очередь, с появлением элементной базы высокого качества и разумной цены: УФ-полупроводниковые лазеры, DLP и LCOS матрицы высокого разрешения, пропускающие УФ-свет матрицы высокого разрешения. Вторым фактором развития технологии стало появление широкого спектра материалов с заданными физико-механическими свойствами и компаний, которые активно подключились к разработкам этих материалов.

Я могу выделить несколько путей наших разработок, которые инициированы именно запросом рынка:

1. Универсальные фотополимеры для печати моделей под дальнейшее снятие форм;

2. Фотополимеры с низкой зольностью для точного промышленного литья металлов по выплавляемым формам;

3. Высоконаполненные композитные материалы для 3D-фотопечати;

4. Синтеризируемые материалы для фотопечати;

5. Материалы для печати корпусов для кастомной носимой и устанавливаемой электроники, прототипов и корпусов для малотиражных изделий;

6. Бионейтральные, биозамещаемые и биоразлагаемые материалы для применения в медицине.

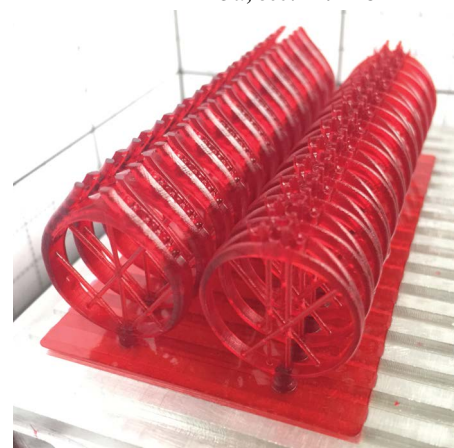
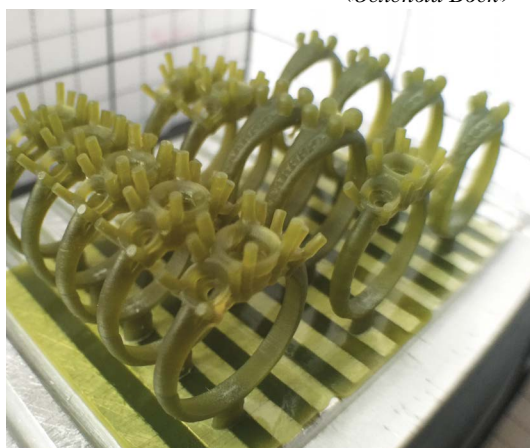
Все материалы из этого списка заточены под малую серию или полную кастомность.

Двадцать четыре модели колец, отпечатанные за 3 часа на 3D-принтере RussianDLP из материала «Ой, всё!» КРАСНЫЙ

Модели колец, напечатанные техническим фотополимером «Ой, всё!» ЧЕРНЫЙ



Образцы печати фотополимером «Зеленый Воск»



Приведу примеры областей, где фотополимерные 3D-принтеры уже стали стандартным оборудованием.

1. Самое массовое применение: **ювелирное производство**. Причины успеха входа 3D-печати в ювелирное дело много, но двигателем стало именно изменение экономики ювелирного производства:

— по сравнению с фрезеровкой по воску, 3D-печать выигрывает в разы в скорости и в сотни раз обгоняет фрезер, если надо делать серийные изделия. Возьмем задачу сделать серию колец в размерах от 13 до 23 с шагом 0,5 — всего 22 размера. Одна мастер-модель (эталон) хорошего качества фрезеруется 5–6 часов. На 22 модели потребуется уже 120–150 часов. За одну смену мастер сможет сделать 2 мастер-модели. Таким образом, подготовка серии займет 15–20 рабочих дней (месяц). На 3D-принтере такую серию спокойно можно отпечатать на одном столе за одну рабочую смену. Тут надо понимать, что за этими днями скрываются зарплаты работников, аренда площадей, электроэнергия и т.д., в итоге себестоимость одного эталона сокращается с 1500–5000 руб до 20–50 руб.

— 3D-печать оптимизировала ювелирный производственный процесс, когда мировые вендоры предложили первые выжигаемые фотополимеры. Многие ювелирные компании вместо нескольких

рабочих единиц (моделлер, фрезеровщик или резчик, восковщик) теперь имеют просто моделлера, который сразу печатает изделие и отдает его на литейный участок;

— 3D-печать позволила активным компаниям быстро развивать ассортимент за счет собственных разработок и покупок готовых моделей ювелирных изделий (часто целых библиотек моделей);

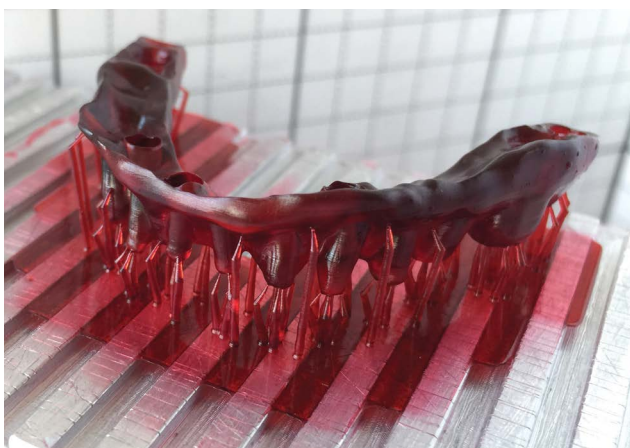
— 3D-печать сделала невозможное возможным. Не один фрезерный станок, сколько бы координатный он не был, не сделает пустоты и полости с небольшими входными отверстиями (для фрезера такие модели делят на части, а потом спаивают лазером, что усложняет процесс). Свобода проявления таланта и меньшее число ограничений при моделировании — еще один огромный плюс.

2. **Стоматология**. Тут ситуация постепенно улучшается, но далека до идеала. В первую очередь она связана с тем, что работа зубного техника в лаборатории задействует в разы большее количество материалов: резина для снятия быстрых слепков, гипсовые массы для отливки моделей, массы для моделирования протезов, материалы для снятия форм с отмоделированных протезов, заливочные материалы для конструкций временного ношения, материалы для литья оснований протезов, материалы для синтеризации протезов, материалы для покрытия оснований эмалью, абатманты и т.д.

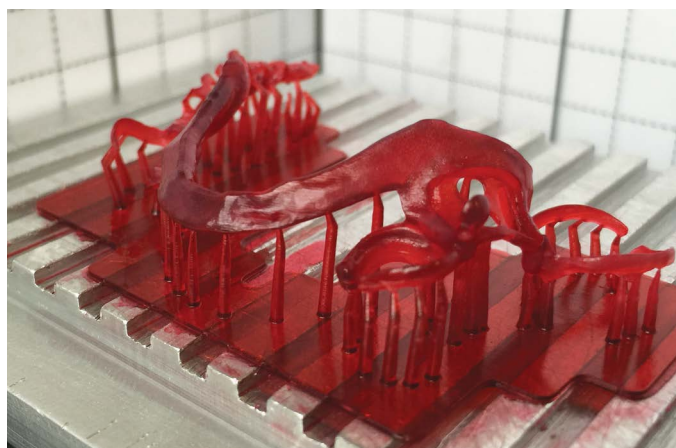
По словам ведущих стоматологов можно сделать простой вывод: вся стоматология готова к переходу в цифру (есть замечательные интeроральные сканеры и отличный софт), но не может этого сделать, т.к. до сих пор не существует идеального исполнительного устройства, которое покрывало бы все задачи. Помогут ли тут полимеры? Отчасти да. В мире уже созданы, опробированы и сертифицированы полимеры для печати конструкций временного ношения, уже решены задачи печати выплавляемых моделей протезов, хирургических шаблонов. Для каждой из этих задач разработаны соответствующие полимерные материалы. Пока все это разнообразие материалов только некоторые вендоры смогли упаковать в удобный формат работы на одной машине, но эти машины дороги. Проблема в том, что есть только единицы производителей (3DSL.A.RU в их малом числе), кто занимается не только разработкой техники, но и производством полимеров под нее.

3. **Прототипирование и малосерийное производство**. Тут активно применяются фотополимеры для 3D-печати с различными физическими и химическими свойствами. Пока пользователи выбирают из имеющихся материалов, но все логично идет к тому, что производители фотополимеров будут принимать запросы на физические свойства матери-

Распечатанный хирургический шаблон для стоматологии



Бюгельный протез



алов. В лаборатории 3DSL.ARU идет активная разработка высоконаполненных армированных материалов и материалов, имеющих высокие физико-механические свойства, также мы не забываем эластичные материалы, т.к. уверены, что очень скоро из наших фотополимеров будут печатать обувь или функциональные эластичные элементы для промышленности.

4. Крайне интересным рынком представляется **рынок полимеров и 3D-принтеров для медицины**, но выход на этот рынок крайне ограничен в РФ тем, что не существует даже методов сертификации фотополимерных материалов для использования изделий из них в открытой ране например. А представьте, сколько травмированных людей поставили бы на ноги идеально подогнанные кастомные протезы, соединительные элементы или хирургические шаблоны.

Теперь я хочу вернуться к большой промышленности и поговорить о том, как туда возможно интегрировать 3D-печать. Думаю, что мои слова могут быть всем крайне интересными, т.к. мы готовимся к релизу наших первых машин продакшен-класса — первых отечественных фотополимерных 3D-принтеров, которые должны начать конкурентную борьбу с традиционными средствами промышленного производства. Принципы работы у этих машин



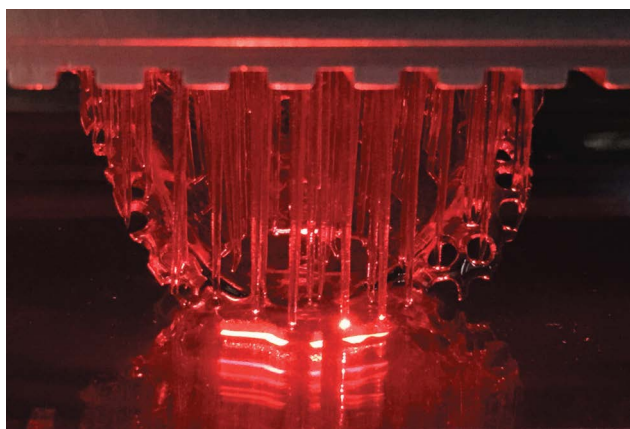
Калибровочная печать из фотополимера «Ой, всё!» КРАСНЫЙ

не отличаются от традиционной фотополимерной печати, но эти машины способны будут строить объекты, вписанные в объем до 2-ух кубометров (пока это наш технологический максимум, но и он уникален для мирового рынка) с потрясающей скоростью и точностью. Сейчас читатель, который прочитал про 2-кубовую рабочую камеру, наверно, усмехнулся: куда, зачем? Но давайте оценим возможности этих машин с точки зрения НИИ, занимающегося разработкой авиадвигателей, например: меняется процесс испытаний и затраты на эти испытания. Если для того, чтобы «продуть» турбинное колесо, ранее требовалось его изготовить, а это не один миллион (скорее даже не один десяток миллионов) рублей и полная невозможность сделать это изделие на территории НИИ, то теперь цена вопроса получения прототипа под

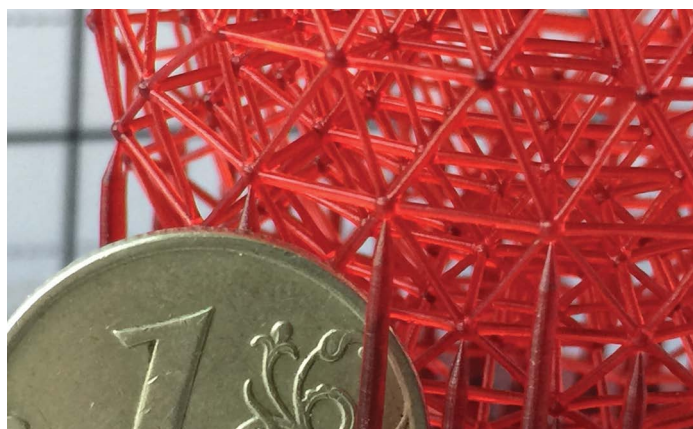
реальные испытания заключается только в цене фотополимера, который потребуется загрузить в принтер, и затратам на электроэнергию. А учитывая, что цена материала «от отечественной компании» не будет включать десятки процентов наценки (а то и разы) от таможни, доставки и импортера, то изделие, получаемое за одну рабочую неделю, обойдется предприятию в значительно меньше одного миллиона рублей. Интегральный экономический эффект для государства: прямая экономия в разы денежных средств, ускорение процессов разработки новинок, экономия на локализации разработки, поддержка отечественных производителей.

В завершении хочу призвать всех заинтересованных специалистов присоединяться к удивительному этапу проб и ошибок по внедрению 3D-печати в свои производства.

Печать бюгельного стоматологического протеза на 3D-принтере StarLight3D



Уровень детализации фотополимерной печати





H.C. STARCK...там, где формируются идеи

Аддитивные технологии открывают двери к абсолютно новым геометрическим формам деталей, их беспрецедентным характеристикам, в ряде случаев обеспечивают снижение расходов и т. д. Для превращения идеи в инновационный продукт предприятие должно ответственно подойти не только к выбору технологии, но и материалов.

H. C. Starck — один из ведущих поставщиков труднообрабатываемых металлов, высококачественной керамики, порошков для термического напыления и материалов для порошковой металлургии. Наша основная компетенция в порошковой металлургии — ориентированная на клиента разработка химических и физических свойств порошка, включая точно определенную форму зерна и морфологию, размер частицы и поверхностную структуру.

Как пионер в развитии и производстве AM металлических порошков, мы работаем в тесном сотрудничестве с крупными участниками этого инновационного рынка больше 10 лет. Наш ассортимент продукции включает:

- **AMPERSINT® высоколегированные металлические порошки (например: кобальт, никель и сплавы на основе железа);**
- **тугоплавкие металлы (W, Mo, Ta, Nb, Re) и их сплавы;**
- **высококачественные керамические порошки (не оксиды).**

Металлические пудры **AMPERSINT®** широко применяются в интенсивно развивающихся отраслях, таких как авиакосмическая отрасль, автомобилестроение, медицина, стоматология.

Мы предлагаем решения под клиента с адаптированной под требования заказчика химией и размером частиц для всех AM-процессов, включая:

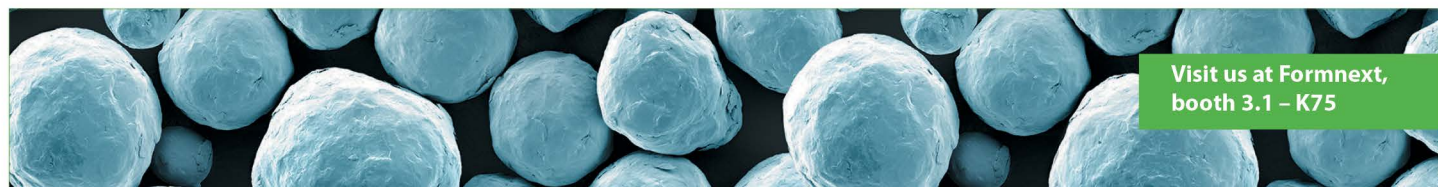
- **селективное лазерное спекание (SLS);**
- **селективное лазерное плавление (SLM);**
- **электронно-лучевая плавка (EBM);**
- **прямое нанесение металла (DMD);**
- **быстрое прототипирование.**

Компания имеет три завода с различными производственными мощностями, что позволяет запускать непосредственно в серию любые разработанные под заказчика порошки и производить их любыми партиями без потери качества, морфологического и гранулометрического состава, обеспечивая следующие параметры:

- **высокоосферичная форма порошка;**
- **хорошая сыпучесть;**
- **низкое поверхностное содержание кислорода;**
- **превосходная воспроизводимость.**

H. C. Starck помогает формировать ваши идеи! Работая в тесном сотрудничестве с нашей командой, извлекая выгоду из нашего инновационного духа, Вы сможете воплотить свою идею в реальность!

Обязательно посетите наш стенд 3.1-K75 на выставке Formnext 2016 во Франкфурте, Германия с 15 до 18 ноября. Вы сможете увидеть все наши продукты, наши технические эксперты и топ-менеджеры смогут ответить на ваши вопросы!



Visit us at Formnext,
booth 3.1 – K75

Technology Metals | Advanced Ceramics

AMPERSINT® – for Additive Manufacturing

Spherical atomized metal powders customized for your specific requirements

Contact us to learn more about our unique capabilities for customized powder development for lab and large scale production.

ampersint@hcstarck.com
www.hcstarck.com

H.C. Starck

Новинка в мире расходных материалов для 3D-печати

Мы решили выпустить сразу два совершенно новых материала, не имеющих аналогов ни в России, ни, пожалуй, во всем мире: CERAMO и CERAMO-TEX.

CERAMO

Из названия уже понятно, что это пластик, напоминающий керамику.

В распечатке тяжелый, прохладный, и на ощупь действительно напоминает керамику, особенно если печатать с 90–100% заполнением.

Если стукнуть чем-нибудь твердым по поверхности распечатки, то раздастся характерный для фаянса и керамики высокий звук.

Отлично обрабатывается шкуркой, наждаками и другими абразивными инструментами. Отлично шлифуется и полируется!

Отличная спайка между слоями распечатки и невысокая усадка!

В прутке достаточно хрупок. Критический радиус изгиба 25–30 мм. Температура печати 240–260°C. Температура стола

100–110°C. Мелкие детали можно печатать на холодном столе при условии использования адгезивов. Теплостойкость материала 102°C.

Этот материал найдет свое применение, как в печати декоративных элементов, так и для изготовления конечных изделий. Отлично подходит для печати деталей, требующих высокой твердости. Благодаря отличной податливости при постобработке удобен для изготовления прототипов для последующего снятия литейных форм.

CERAMO-TEX

Пожалуй, совершенно необычный по своим свойствам пруток!

Этот материал обладает одной весьма необычной характеристикой: при соблюдении особых условий печати на поверхности распечатки можно получить однородную стабильную естественную текстуру. Распечатки из CERAMO-TEX в большинстве случаев можно не обрабатывать.

Благодаря этой особенности и низкой усадке материал отлично подходит для печати предметов интерьера в том числе и приличного размера на больших принтерах.

Пруток определенно займет свое место в архитектурных бюро, использующих 3D-печать. Никогда еще не было так просто получить естественную текстуру с заданными свойствами!

Свойства поверхности распечатки можно регулировать вручную даже на лету.

Придать текстуре нужный цвет тоже не составит труда — на пластик отлично ложатся акриловые краски.

Также интересно и то, что получаемые распечатки имеют крайне низкую плотность и высокую твердость даже при 100% заполнении! Плотность распечатки, сделанной со 100% заполнением при соблюдении особых условий печати может составить 0.75–0.8 г/см³. Это свойство по достоинству оценят модельеры: печать корпусных деталей квадрокоптеров и авиамоделей, печать корпусов лодок,

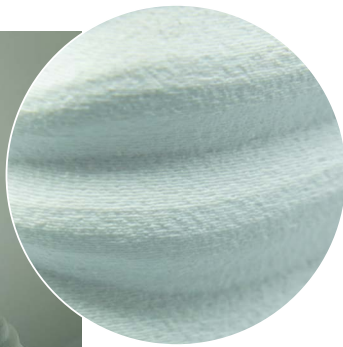




а также любых деталей, которым нужна гарантированная плавучесть при высокой конструкционной прочности.

Необычные свойства материала обусловлены прежде всего программируемым вспениванием. До 235°C материал чуть легче воды, но при повышении температуры печати до 250°C прутки начинают вспениваться непосредственно в экструдере принтера. Стабильная текстура получается при печати с температурой 260°C и печати внешнего периметра со скоростью 10–20 мм/с в зависимости от типа экструдера, высоты слоя и диаметра сопла. Экспериментируя с различной скоростью печати и высотой слоя, можно получать различные текстуры и свойства поверхности от «сатина» до «крупного песчаника».

На снимке кубик 20×20×20 мм, напечатанный слоем 0,25 мм и 100% заполнением. 8 кубических сантиметров — ~6 гр.



Плотность распечатки также варьируется температурой и скоростью печати: чем выше температура и ниже скорость печати, тем меньше можно выставлять подачу материала, тем самым обеспечивая низкую плотность при 100% заполнении без зазоров и пустот. Фактически, можно получить твердый и легкий пенопласт. Варьируя скорость печати, можно добиться как текстурных стенок и твердой тяжелой сердцевины изделия, так и наоборот — твердых глянцевых стенок и легкой, и при этом беззазорной конструкционно прочной сердцевины.

Благодаря ячеистой структуре материал обладает очень низкой теплопроводностью.

Отлично обрабатывается шкуркой, надфилями и другими абразивными инструментами

и даже ножом. Отлично и быстро шлифуется.

Бесподобная спайка между слоями распечатки и невысокая усадка!

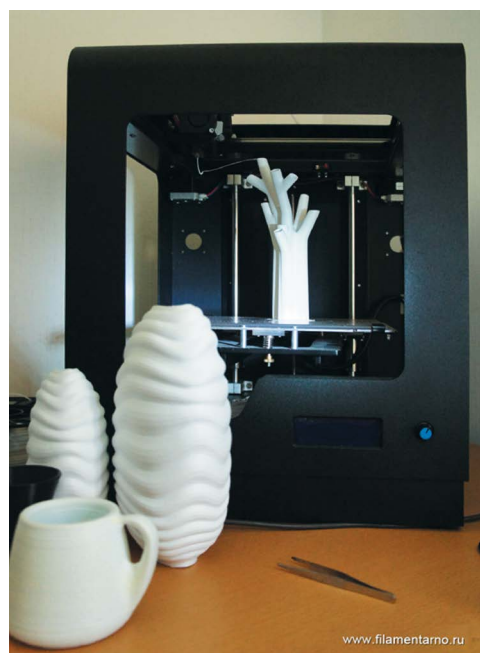
В прутке весьма хрупок. Критический радиус изгиба 30–35 мм. Температура печати 240–260°C. Температура стола 100–110°C. Мелкие детали можно печатать на холодном столе при условии использования адгезивов. Теплоустойчивость материала 102°C.

Отдельно хотелось бы выразить благодарность команде разработчиков 3D-принтеров завода МЗТО и лично Алексею Дорошину за предоставленные для всестороннего тестирования пластика отличные машины: надежную рабочую лошадку MZ3D-360 и их новую разработку на основе кинематики CoreXY MZ3D-PRO400. Принтеры отлично справились с возложенной на них задачей и превосходно показали себя в печати хрупкими прутками CERAMO и CERAMO-TEX.

В широкой продаже новые материалы появятся в ближайшие две недели. Уже сейчас доступно ограниченное количество катушек! Стоимость новых материалов составит порядка 2200 руб. за катушку 700/750 г. Образцы для тестирования можно получить при покупке других видов пластика, написав на почту info@filamentarno.ru

В ближайшее время на нашем сайте www.filamentarno.ru и на портале 3Dtoday.ru появятся мастер-классы по работе с этими новыми материалами. Следите за новостями!

Всегда готовая приятно вас удивить, команда Filamentarno!



АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.
Московский политехнический университет

Введение

Аддитивные технологии (производства) (далее АТ и АП) за последние 20 лет образовали интенсивно развивающийся инновационный сегмент технологии машиностроения: достигнуты впечатляющие практические результаты, сформирован мировой рынок технологий, оборудования и услуг, развернут широкий фронт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, начата подготовка квалифицированных кадров, появилась предметно ориентированная научная и учебно-методическая литература [1–3]. Развивается понятийный аппарат этой области технологических знаний, проводятся интенсивные работы по стандартизации и сертификации продукции [4, 5]. Приведенный ниже материал основан на определении аддитивных технологий, предложенном American Society for Testing and Materials — организацией, которая занимается разработкой технических стандартов для материалов, изделий, систем и услуг (стандарт ASTM F2792.1549323–1).

Два основных признака определяют этот сегмент технологий:

— признак аддитивности — конечная конфигурация изделия получается путем целенаправленного добавления дозированных объемов (масс) материала к исходной конфигурации или к подложке;

— признак виртуальности — в основе создания изделия лежит его цифровая модель.

В литературе представлены многочисленные классификационные модели аддитивных технологий. Так, по классификации ASTM аддитивные технологии разделены на 7 групп (русский перевод и пояснения М. А. Зленко [1]):

1. Material Extrusion — выдавливание материала или послойное нанесение расплавленного строительного материала через экструдер;

2. Material Jetting — разбрызгивание (строительного) материала или послойное струйное нанесение строительного материала;

3. Binder Jetting — разбрызгивание связующего или послойное струйное нанесение связующего материала;

4. Sheet Lamination — соединение листовых материалов или послойное формирование изделия из листовых строительных материалов;

5. Vat Photopolymerization — фотополимеризация в ванне или послойное отверждение фотополимерных смол;

6. Powder Bed Fusion — расплавление материала в заранее сформированном слое или последовательное формирование слоев порошковых строительных материалов и выборочное (селективное) спекание частиц строительного материала;

7. Directed energy deposition — прямой подвод энергии и материала непосредственно в место построения или послойное формирование изделия методом внесения строительного материала непосредственно в место подвода энергии.

Приведенный в работе материал касается, преимущественно, технологий шестой и седьмой групп, относящихся к производству изделий из металлов и сплавов. Этот сегмент АП развивается наиболее интенсивно, ориентирован на производство конечной продукции и представляет наибольший интерес для машиностроения [6].

Сравнительная характеристика аддитивных и субтрактивных технологий размерного формообразования

Согласно классификатору методов размерного формообразования [7], по характеру трансформации исходного объема заготовки в объем детали все существующие методы и технологии на их основе разделяют на четыре класса (табл. 1).

Наибольшее распространение получили методы формообразования второго и третьего классов, на которых основаны так называемые субтрактивные и аддитивные технологии.

Технологии второго класса преобладали и будут преобладать в обозримом будущем в машиностроительном производстве. Однако в 80–90-х годах прошлого века в связи с развитием и удешевлением цифровых технологий, появлением прецизионных мехатронных приводов, совершенствованием лазерной техники и другими факторами аддитивные методы и технологии размерного формообразования совершили качественный скачок и стали кон-

Таблица 1

Классы методов обработки по характеру трансформации исходного объема заготовки

Класс	Описание класса	Название	Примеры технологий
1.	В процессе обработки объем заготовки не изменяется по величине, но перераспределяется в пространстве.	Методы перераспределения объема. <i>Redistributive methods.</i>	Ковка, штамповка, гибка.
2.	Объем изделия получают путем удаления «лишнего» объема заготовки.	Методы удаления части объема заготовки. <i>Subtractive methods.</i>	Обработка резанием лезвийным или абразивным инструментом, химическое растворение.
3.	Объем изделия получают добавлением материала к исходной заготовке или нанесением материала на технологическую подложку.	Методы наращивания объема изделия. <i>Additive methods.</i>	Гальваника, газотермическое напыление, селективное лазерное спекание или плавление, лазерная стереолитография, лазерное осаждение металла из порошка.
4.	Изделие получают одновременно или последовательным удалением материала с одной части заготовки и нанесением его на другую.	Комбинированные (интегрированные) методы формирования объема изделия. <i>Combined (integrated) methods.</i>	Некоторые способы электрохимической обработки, модификации метода химических транспортных реакций, интеграция металлорежущих станков с ЧПУ с лазерной головкой и пр.

курентоспособными с классическими технологиями обработки со снятием стружки (табл. 2).

Как видно, АТ обладают рядом достоинств и недостатков по отношению к классическим субтрактивным технологиям. Математическим инструментом для выявления области их эффективного практического применения является аппарат и численные средства многопараметрической оптимизации [7].

Определяющими факторами применения АТ, выступающими в качестве главных критериев их выбора, являются существенное сокращение длительности технологической подготовки производства новых изделий, сокращение цикла их изготовления, возможность использования принципиально новых конструкторско-технологических решений, снижение, в конечном счете, трудоемкости и себестоимости изготовления от-

Таблица 2

Сравнительная характеристика технологий второго и третьего классов

Свойства (характеристики) технологии	Класс по табл. 1			
	2		3	
1. Возможность достижения высокой точности (10^{-7} м) методом последовательных приближений.	Выше	+	Ниже	-
2. Возможность формирования специальных свойств поверхностного слоя.	Выше	+	Ниже	-
3. Производительность и низкая себестоимость в условиях крупносерийного и массового производства.	Выше	+	Ниже	-
4. Развитый парк технологического оборудования.	Есть	+	Нет	-
5. Высокий уровень унификации и стандартизации изделий и средств технологического оснащения.	Есть	+	Нет	-
6. Возможность применения развитого и апробированного теоретического аппарата технологии машиностроения.	Выше	+	Ниже	-
7. Уровень развития программного обеспечения (CAD/CAM/CAE).	Выше	+	Ниже	-
8. Номенклатура методов, способов и технологических операций	Шире	+	Уже	-
9. Наличие развитой нормативно-справочной базы.	Есть	+	Нет	-
10. Развитая система производства и поставки исходных материалов (заготовок)	Есть	+	Нет	-
11. Количество единиц технологического оборудования в ТП.	Больше	-	Меньше	+
12. Затраты на логистику, складские и транспортные работы.	Выше	-	Ниже	+
13. Затраты на оснастку и инструменты.	Больше	-	Меньше	+
14. Занимаемые производственные площади.	Больше	-	Меньше	+
15. Затраты на сборку-разборку отдельных сборочных единиц.	Выше	-	Ниже	+
16. Длительность цикла и стоимость технологической подготовки производства новых изделий.	Выше	-	Ниже	+
17. Технологическая надежность*.	Ниже	-	Выше	+
18. Затраты трудовых ресурсов.	Выше	-	Ниже	+
19. Коэффициент использования материалов.	Ниже	-	Выше	+
20. Возможность получения изделий с градиентным составом и свойствами.	Ниже	-	Выше	+
21. Степень сложности изготавливаемых изделий.	Ниже	-	Выше	+
22. Технологическая возможность минимизации массы изделия при заданных показателях прочности и жесткости.	Ниже	-	Выше	+
23. Возможность сокращения номенклатуры деталей в изделии.	Ниже	-	Выше	+
24. Функциональная надежность конструкции.	Ниже	-	Выше	+
25. Количество (номенклатура) операций ТП	Больше	-	Меньше	+
26. Степень гибкости производства.	Ниже	-	Выше	+

*Вероятность отказа (брака), как правило, снижается с уменьшением числа операций в ТП

Рис. 1. Динамика мирового объема производства АП в 1993–2013 годах

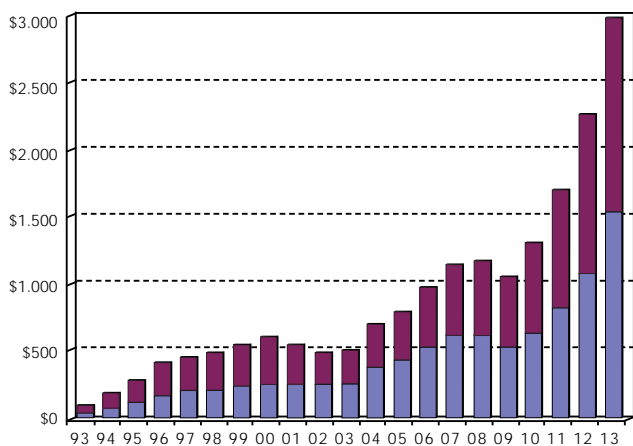
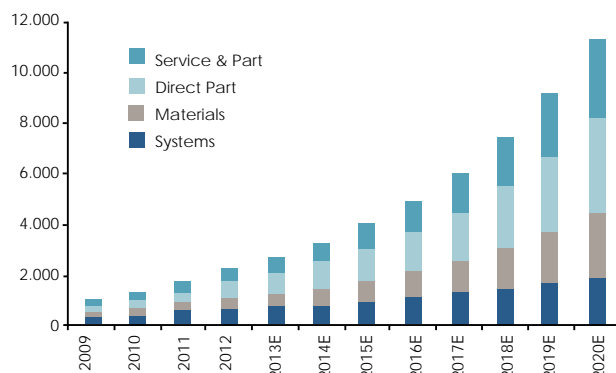


Рис. 3. Прогноз динамики структурных составляющих мирового рынка продукции и услуг АП (млрд. долл.)



ветственной продукции. Степень гибкости аддитивных технологий достигает уровня кастомизации, то есть, способности удовлетворять индивидуальные требования потребителей продукции.

Статистический анализ развития аддитивных технологий

Наиболее авторитетным источником информации о состоянии и развитии АТ, признанным мировым технологическим сообществом, является консалтинговая компания Wohlers Associates Inc. (WAI), издающая с 1996 года ежегодные статистические отчеты (Wohlers Report) (www.wohlerassociats.com). Согласно Wohlers Report-2014, мировой объем рынка продукции и услуг к 2013 году достиг 3 млрд долл. (рис. 1). Среднегодовой прирост рынка Δp за 26 лет составил 27%. Прогнозируется увеличе-

ние объема рынка от 3,07 в 2013 до 21 млрд долл. в 2020 году. В предыдущем отчете (2013 г.) объем рынка в 2012 оценивался в 2,26 млрд долл. с прогнозом объема рынка 10,8 млрд долл. на 2021 году (рис. 2).

Около 40% рынка продукции и услуг в 2013 году приходилось на оборудование и материалы и 60% – на услуги и производство продукта (рис. 3).

Статистические данные WAI приводятся во многих работах, посвященных АТ [1, 8, 9], однако методика прогнозирования нигде не обсуждается, хотя ее влияние на достоверность прогнозов является определяющим. На основе имеющихся статистических данных возможны два основных подхода к краткосрочному прогнозированию.

Первый из них основан на гипотезе об относительной устойчивости величины среднегодово-

Рис. 2. Прогноз развития мирового объема АП продукции и услуг (млрд. долл.)

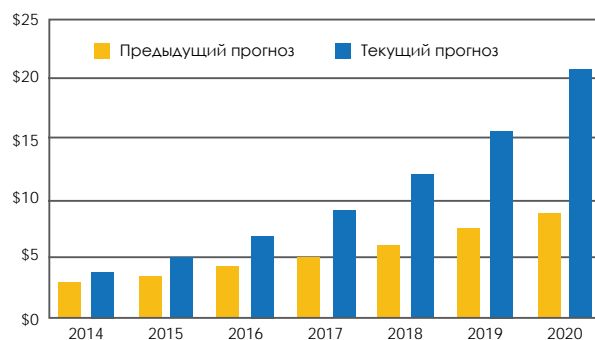
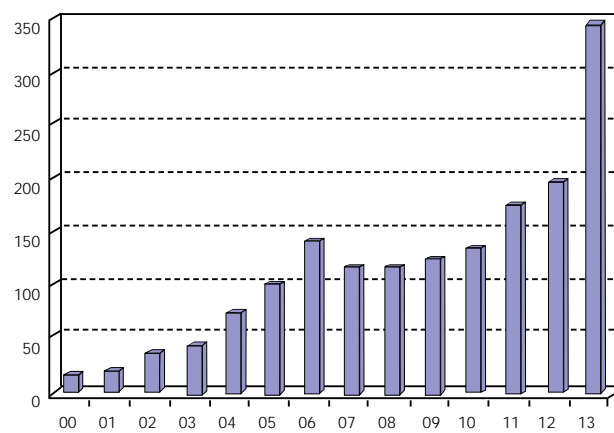


Рис. 4. Динамика продаж оборудования для АП металлических изделий



го прироста Δp мирового рынка продукции и услуг АП. Принимая на ближайшие 10 лет $\Delta p = \text{const}$, прогнозируемый объем рынка P можно описать выражением вида $P = P_0 (1 + \Delta p)^{(n-1)} = P_0 1,27^{(n-1)}$, (1) где P_0 – объем рынка в 2013 г., n – порядковый номер последующего года, начиная с 2013 (2013 г. принят за 1). Расчет дает 20,3 млрд долл. в 2021 году. По данным Wohlers Report-2014, прогнозируется увеличение рынка до 21 млрд долл. (рис. 2), что близко к значению, полученному по выражению (1). По данным некоторых других источников эта цифра значительно выше. Это означает, что в этих источниках прогнозируется увеличение не только объема рынка АП на указанный период, но и среднегодового прироста этого объема.

Второй подход базируется на гипотезе, широко используемой в наукометрии и заключаю-

Рис. 5. Динамика доли конечной продукции (%) на рынке АП

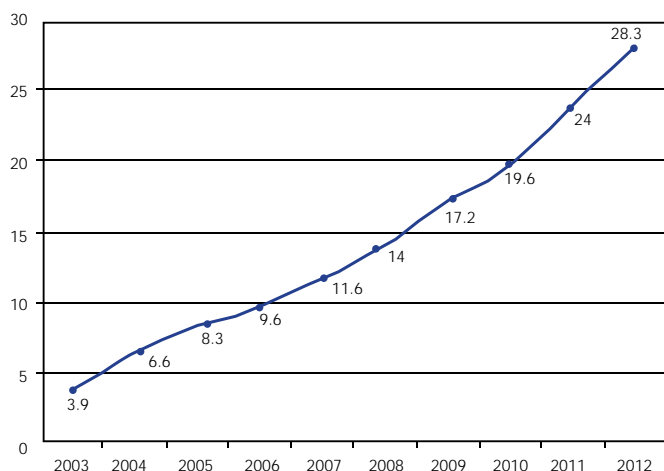
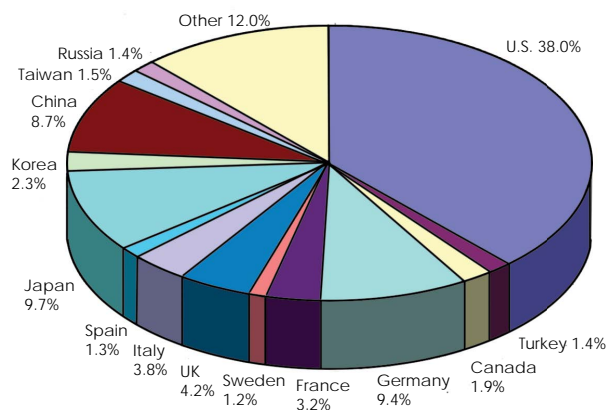


Рис. 6. Использование оборудования для АТ мировым технологическим сообществом



щейся в том, что скорость увеличения объема знаний в некоторой новой быстро развивающейся области науки и техники пропорциональна текущему значению этого объема [10], то есть

$$dV/dt = kV, \quad (2)$$

где V – текущий объем знаний, k – коэффициент пропорциональности.

Решение уравнения (2) имеет вид

$$V = V_0 \exp kt, \quad (3)$$

где V_0 – объем знаний в начальный момент времени t .

В первом приближении без учета инерционных процессов можно считать, что объем рынка изменяется подобно объему знаний.

Анализируя с этой точки зрения статистические данные (рис. 1) (без учета 2013 г.) и принимая в качестве точки отсчета 1993 г. (объем рынка V_0 принят 0,09 млрд долл.), находим $k = 0,17$ и выражение (3) преобразуем к виду

$$V = 0,09 \cdot 1,19^t. \quad (4)$$

Таким образом, выражение (1) является частным случаем (3). Однако, среднегодовой прирост в нашем расчете 19%, что заметно ниже 27%. Расчет дает для 2020 года 9,86 млрд долл., что хорошо согласуется с предыдущим прогнозом WAI (рис. 2).

Из рис. 3 видно, что соотношение долей отдельных компонентов мирового рынка АП перерас-

пределяется в сторону увеличения доли реализуемой продукции. Заметна тенденция ускоренного развития сегмента рынка АП, связанного с непосредственным изготовлением изделий из металлов и сплавов (рис. 4), быстро растет спрос на соответствующее оборудование. Отмечается тенденция к увеличению доли конечного продукта в товарной продукции АП (рис. 5).

Уровень развития АТ в различных странах мира характеризуется количеством установленных единиц соответствующего оборудования (рис. 6). Видно, что на долю США приходится (2013 г.) 38% мирового парка машин, в то время, как на долю России – 1,4% (преимущественно машины для лазерной стереолитографии).

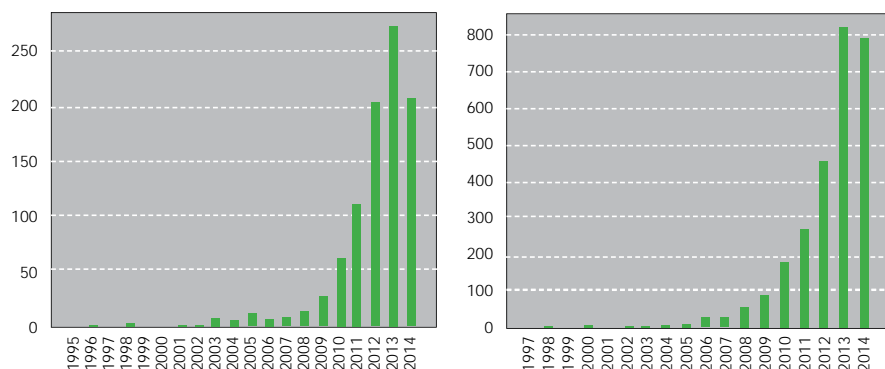
Статистические данные WAI раскрывают основные технологи-

ческие задачи, для решения которых используют АТ:

- визуализация – 10,4% (16,8% в 2004 г.);
- презентационные модели – 9,5% (в 2004 г.);
- контрольные сборки – 17,5% (11,4% в 2004 г.);
- мастер-модели для изготовления оснастки – 11,3% (10,6%);
- мастер-модели для литья металлов – 10,8% (8,1%);
- компоненты инструментальной оснастки – 4,8% (6,9%);
- функциональные детали – 28,1% (16,4%) в том числе – конечное изделие – 19,2% (8,2% в 2004 г.);
- в обучении и исследованиях – 6,4%;
- другие задачи – 1,3%.

Совершенно очевидно, что промышленные успехи в области АП связаны и определяются созданием и быстрым развитием

Рис. 7. Динамика числа публикаций (слева) и числа цитирований за двадцать лет



соответствующей области знаний. На рис. 7 показана динамика расширения числа научных публикаций и числа цитирований в этой области знаний. Данные приведены в Wohlers Report-2014, поэтому 2014 год отражен не полностью.

Статистика получена путем поиска публикаций и цитирований с ключевой фразой *additive manufacturing*. Несмотря на то, что далеко не все публикации по рассматриваемой тематике были учтены, приведенную статистику следует рассматривать, как достоверную выборку в связи с распространенностью ключевого термина. Можно показать, что развитие научных знаний в области АТ соответствует экспоненциальному закону и количество новых знаний прогрессивно нарастает.

Отметим, что количество российских публикаций по вопросам АТ составляет всего 0,76% от общемирового. Россия занимает 26-е место в мире, разделяя его с Грецией, Израилем, Финляндией и Польшей. За последние 15 лет в России был выдан 131 патент по различным аспектам АТ (0,14% от мирового количества), причем 14 из них получены российскими заявителями, а 117 — иностранными. Для сравнения, Южная Корея, США, Япония

и Китай совместно владеют 90% патентов в этой сфере.

Аддитивные технологии в производстве авиакосмической техники

В производстве авиакосмической техники аддитивные технологии обеспечивают следующие основные преимущества:

1. Стоимость вывода 1 кг массы на орбиту Земли составляет от 12 до 25 тыс. долл. Поэтому возможность снижения массы изделия за счет повышения его конструктивной сложности является весьма актуальной для ракетно-космического машиностроения.

Анализ, проведенный в рамках проекта АТІКІNS, показал, что снижение массы магистрального самолета на 100 кг на протяжении всего жизненного цикла влечет за собой экономию \$2,5 млн на топливных расходах и сокращает выбросы углекислого газа на 1,3 млн тонн.

Однако степень усложнения конструкции изделия ограничивается возможностями существующих методов, технологий на их основе и средств технологического оснащения. Так, аддитивные технологии обеспечивают получение системы полостей произвольной формы в теле детали, а субтрак-

тивные — нет. Поэтому в последнем случае приходится использовать дорогостоящие заготовительные технологии с относительно низким уровнем технологической надежности и удорожанием производства из-за брака. В качестве примера рассмотрим одну из основных, лимитирующих деталей газотурбинного двигателя — лопатку турбины (рис. 8).

Лопатку с сечениями, формируемыми магистраль подачи охлаждающего воздуха, получают литьем по выплавляемым моделям. Отверстия для входа воздуха на передней кромке лопатки изготовляют малопродуктивным электроэрозионным прошиванием с последующей доводкой абразивной суспензией. К настоящему времени созданы опытно-экспериментальные образцы лопаток с применением SLS и SLM — технологий. Обсуждается вопрос о ремонте лопаток турбин с применением АТ.

2. Коэффициент использования материала (КИМ) при традиционном производстве основных деталей двигателей авиакосмической техники составляет 0,05–0,2. Применение АТ позволяет повысить этот коэффициент до 0,7–0,9, что обеспечит значительное сокращение затрат на дорогостоящие материалы. Значение КИМ при изготовлении металлических

Рис. 8. Сечения лопатки турбины ГТД



Рис. 9. Вариант конструкции поддержек соединительного блока

а)



б)



деталей с применением АТ определяется, главным образом, массой поддержек, подлежащих удалению (рис. 9).

3. Сокращение длительности цикла и стоимости технологической подготовки производства новых изделий имеет первостепенное значение, особенно в опытно-экспериментальном производстве. С развитием АТ опытно-конструкторские организации могут не только осуществлять быстрое натурное моделирование составных частей опытного изделия, но и значительно ускорить как изготовление сложных деталей, так и введение изменений в их конструкции в процессе доводки и испытаний изделия.

Так, по данным ОАО КБХА применение АТ при изготовлении 5 основных деталей двигателя позволяет в среднем сократить цикл изготовления в 5 раз.

4. Замена сборочной единицы деталью одного наименования повысит надежность составной части изделия и также сократит цикл ее изготовления. Так, на рис. 9 показан соединительный блок, который при традиционном исполнении представляет собой сборочную единицу, состоящую из 8 наименований деталей.

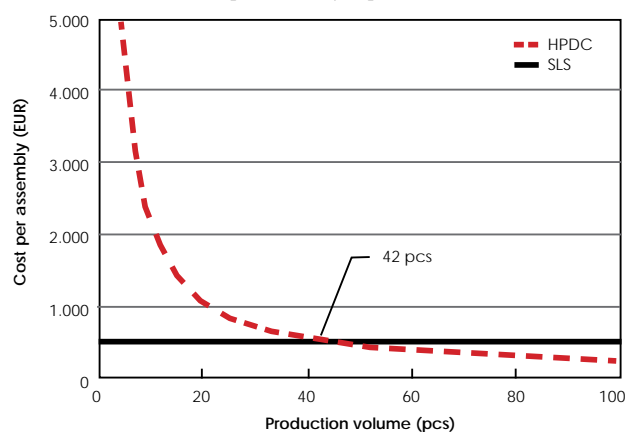
АП смесительной головки позволяет сократить число наименований деталей с 138 при классической технологии до 1–3 при АП.

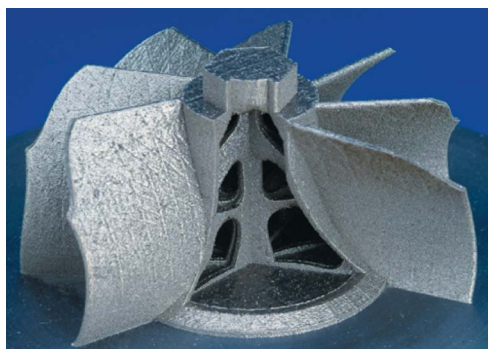
5. Основные детали горячей части двигателей современных летательных аппаратов, работающие, как правило, в экстремальных условиях, изготавливают из материалов с низкой обрабатываемостью резанием, поэтому понятен интерес создателей ГТД и ЖРД к АТ, позволяющим в ряде случаев снизить трудоемкость и себестоимость технологии. Так, компания GE Aviation часть деталей нового двигателя LEAP производит с применением АТ (рис. 10).

Производство авиакосмической техники характеризуется, как правило, единичным и серийным (мелко- и среднесерийное) типами производств. Поэтому при выборе альтернативных технологий следует учитывать степень их гибкости. Гибкость технологий аддитивного формообразования выше, чем традиционных, поскольку при переходе на новую деталь нет необходимости подготавливать новую заготовку и средства технологического оснащения. АТ-технологии эффективны при обработке относительно малых партий изделий, когда высокая стоимость материалов компенсируется снижением постоянных затрат, связанных с традиционными технологиями (рис. 11). Как видно, 42 единицы – тот размер партии самолетных шасси, при котором себестоимость изготовления методом литья под давлением и селективного лазерного спекания одинакова [11].



Рис. 11. Критический размер партии деталей, определяющий рентабельность АТ

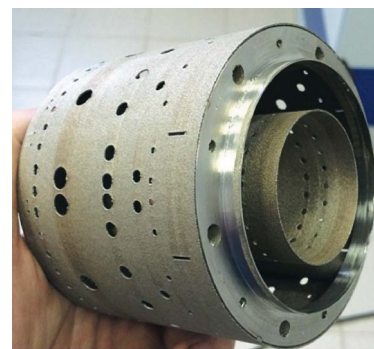




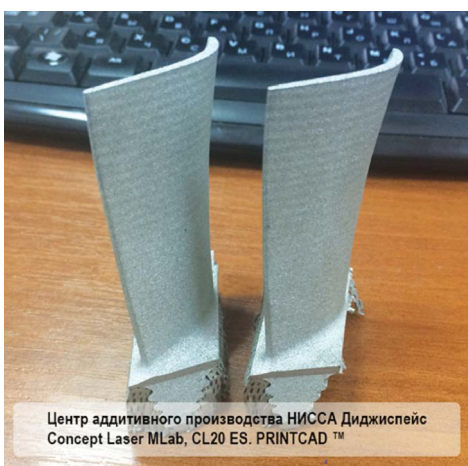
а) крыльчатка



б) лопаточный ротор



в) охлаждающий элемент



г) лопатка турбины



д) топливная форсунка



е) элементы СПТ

Рис. 12. Изделия авиационно-космической техники, полученные с применением АТ

Доля аэрокосмической отрасли на мировом рынке аддитивных технологий составляет около 12% (2013 г.) и имеет тенденцию к росту [12–14]. Некоторые детали авиационно-космической техники, изготовленные с привлечением АТ, показаны на рис. 12.

Рассмотрим состояние дел с практическим внедрением АП в авиационно-космическую индустрию промышленно развитых странах мира [8, 12].

Впервые о полномасштабном внедрении АТ сообщила корпорация General Electric (GE). Это привело к возрастанию в 2012 году стоимости ее акций с 19,87 до 23 долл. за акцию. Такая реакция рынка привела к вовлечению в инновационный процесс АП ряда других компаний (Siemens, Mitsubishi и др.).

В 2013 году в подразделении GE Aviation была создана лаборатория Additive Lean Lab, которая занялась внедрением ад-

дитивного производства в АПК. К 2016 году лабораторией подготовлены условия для промышленного изготовления топливных форсунок двигателей нового поколения LEAP самолетов Airbus A320 NEO, Boeing 737MAX и COMAC C919 (www.voxelfab.com). Используя АП, GE может производить до 25 000 форсунок в год (комплект форсунок на двигатель — 19 шт.). Согласно прогнозу специалистов GE Aviation, в ближайшем будущем половина всех деталей современных авиадвигателей будет изготавливаться с применением АТ.

При помощи SLM-технологии изготовлен и успешно протестирован инжектор двигателя для ракеты RL-10. Центр космических полетов им. Дж. Маршалла (Хантсвилл) и компания Directed Manufacturing провели огневые испытания инжектора, разработанного по государственной американской программе сверх-

тяжелого ракетносителя (РН) для пилотируемых полетов Space Launch System (SLS). Был представлен самый большой компонент РД, изготовленный средствами АП, состоящий из двух частей, в то время как похожие инжекторы включают в себя 115 деталей. При экстремальных условиях были проверены свойства материала инжектора (сплав никеля и хрома).

Другим инновационным подходом создания АТ-технологий является метод прямого лазерного спекания металла (DMLS), разработанный крупнейшей компанией EOS. С его помощью компания Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX) изготовила методом послойного синтеза камеру сгорания двигателя SuperDraco (рис. 13) многоразового космического корабля (КК) Dragon, что позволило получить тягу 7257 кГ (www.3dprintingindustry.com).

Камера сгорания (КС) является ключевым лимитирующим элементом ЖРД. Поэтому ряд компаний проводят интенсивные работы по внедрению аддитивных технологий в производство КС. Так, европейский аэрокосмический концерн Airbus Group подтверждает возможность снижения себестоимости при использовании технологии DMLS для производства конструкций сложной геометрической формы типа КС в условиях единичного или мелкосерийного производства.

Снижение массы и улучшение аэродинамического качества деталей летательных аппаратов, характерные для применения АП, приводят к экономному расходу топлива (на 15%) и снижению уровня загрязнения окружающей среды (на 3%) (по данным компаний Snecma и GE Aviation). Специалисты Института физики атмосферы космического агентства Германии (IAP DLR) показали, что подобное сокращение выбросов в атмосферу сэкономит авиакомпаниям до 1 млн долл. ежегодно. Помимо этого, в АТ деталей планируется использовать новый керамический композиционный материал, который позволит работать при более высоких температурах.

Метод DMLS активно используется при изготовлении спутников. Инженеры Airbus Defence and Space (подразделения Airbus Group) применили метод для оптимизации конструкции кронштейнов, связывающих корпус спутника с солнечными батареями и радиантеннами. Созданные на установке EOSINT M 280 детали соответствовали требуемым техническим условиям: выдерживать силовую нагрузку до 20 кН в температурном диапазоне от -180°C до $+150^{\circ}\text{C}$. В дополнении к техническим характеристикам АП позволило на 20% сократить расходы на производство и трудоемкость изготовления кронштейнов.

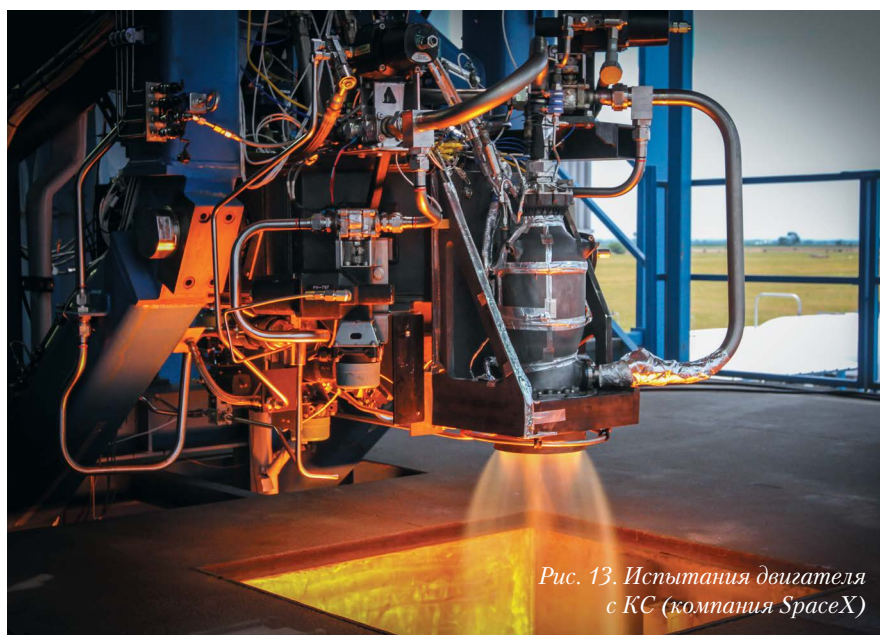


Рис. 13. Испытания двигателя с КС (компания SpaceX)

Компанией RedEye этим же методом изготовлены топливные баки для спутников Lockheed Martin Space Systems с двухкратным снижением расходов на их производство.

Развитием инновационных аддитивных технологий интересуются не только отдельно взятые компании. Как показывает практика, интерес к 3D-печати получил статус государственного значения в мире, поэтому каждое космическое агентство считает стратегически необходимым использовать его в производстве космической техники (КТ). Европейское космическое агентство (ESA) объявило о запуске проекта AMAZE, целью которого является АП металлических частей для космических кораблей, двигателей самолетов и ракет. Проводятся работы по созданию и доводке космического спутника, собранного полностью из таких частей.

В 2014 году 3D-принтер компании Made In Space доставлен на Международную космическую станцию (МКС) для создания деталей КТ в условиях невесомости. По мнению специалистов есть реальная возможность изготавливать на орбите до 30% запчастей.

С 2016 года на орбите функционирует спутник российского производства, изготовленный с применением АТ специалистами Томского научного центра.

В январе 2014 года совершил первый полет истребитель Tornado GR4 военно-воздушных сил Великобритании, при изготовлении которого использованы металлические детали, изготовленные компанией Rolls-Royce с привлечением АТ. На основе успешных испытаний принято решение о серийном производстве части запчастей для британских истребителей с применением АТ. Показано, что это позволит экономить до 0,3 млн фунтов стерлингов в год.

Технологии послойного наложения расплавленной полимерной нити (Fused Deposition Modeling — FDM) позволяет использовать материалы производственного класса для изготовления деталей, работающих в условиях воздействия агрессивной среды и высоких температур. Среди продукции, созданной по данной технологии, особо важной для ОПК считается изготовление боевых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и учебных «дронов». К конкретным примерам относятся кронштейны видеокамер

для наступательных БЛА Taranis компании BAE Systems (www.defensetech.org), антенны и «дроны» двойного назначения RDASS 4 компании Lepton. В 2014 году БЛА, построенный по технологии FDM, представлен специалистами Шеффилдского университета (рис. 14, а).

Подобные работы проводятся и в нашей стране. ОАО «КБ «Луч», входящим в состав государственной корпорации «Ростех», создан экспериментальный образец беспилотного летательного аппарата, планер которого изготовлен с использованием аддитивных технологий (рис. 14, б). Возможности аддитивного производства обеспечили значительную экономию финансовых средств и времени на создание финального образца беспилотной авиационной техники, а также перспективы изготовления (восстановления поврежденных) непосредственно в районе боевых действий.

Следует отметить, что в авиакосмической промышленности широко используются и в ряде случаев являются критическими технологии, аддитивные по своей сути, которые практически не обсуждаются и не рассматриваются в работах по аддитивной тематике. Это технологии, связанные с намоткой изделий из углеродного, стеклянного, полимерного волокна на многошпульных намоточных машинах с пропиткой связующим веществом и последующим отверждением [15].

Заключение

В производстве авиационно-космической техники проявляется повышенный интерес к применению АТ. Ведущие компании мира проводят широкий круг НИОКР в этой области, появились промышленные образцы

изделий АТ, начат серийный выпуск ряда наименований деталей, прогнозируется расширение сферы их эффективного применения. Сдерживающими факторами являются высокие цены на материалы, оборудование, сложная и длительная процедура сертификации продукции.

Литература:

1. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. М. Аддитивные технологии в машиностроении. — С.-Пб.: Издательство С.-Пб. политехнического университета. 2013. — 222 с.
2. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. — СПб.: Изд-во Питер, 2015. — 348 с.
3. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Пер. с англ. Под ред. И. В. Шишковского — М.: Техносфера, 2016. — 656 с.
4. Additive fabrication terminology unraveled. www.additive3d.com/nm_01.htm.
5. ASTM Additive manufacturing committee approves terminology standard. Электронный ресурс: www.astmnewstroom.org/default.aspx?pageid=1944.
6. W. E. Frazier, Metal Additive Manufacturing: A Review, J. Mater. Eng. Performance, 23 [6], 1917–1928 (2014).
7. Научно-технические технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии/Под ред. Б. П. Саушкина. — М.: Форум. 2013. — 920 с.
8. Публичный аналитический доклад по развитию новых производственных технологий/Сколковский Институт науки и технологий, 2014. — 202 с.
9. Михайлов Ю. М. Перспективы использования аддитивных технологий в ОПК. 2015. Электронный ресурс: federalbook.ru/ОПК-11/111/Mihaylov.pdf.
10. Новый справочник химика и технолога/Под ред. А. В. Москвина/Раздел 8. Саушкин Б. П. Основы технологии. — СПб.: НПО «Профессионал», 2006. — 1464 с.
11. E. Atzeni and A. Salmi, Economics of Additive Manufacturing For End-Usable Metal Parts, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 62 [9], 1147–1155 (2012).
12. Сироткин О. С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий/Авиационная промышленность. 2015, 2. — С. 22–25.
13. Чумаков Д. М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники/Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 78 www.mai.ru/science/trudy/.
14. Исаченко В. А., Астахов Ю. П., Саушкин Б. П. Технологии ракетно-космического машиностроения — проблемы и перспективы/Технология машиностроения, 2016, № 1. — С. — 10–14.
15. Панов Д. В., Саушкин Б. П. Коротков А. Н. Композиты и станки для их обработки/Ритм, 2014, 7. — С. 32–36

Рис. 14. Беспилотные летательные аппараты, созданные на основе АТ

а)



б)





PROFIILIKESKUS OY

УНИКАЛЬНОЕ ПОНИМАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

В компании **Profiilikeskus** мы прекрасно понимаем практические потребности производителей изделий из листового металла. Дополнительно к производству оборудования для изготовления изделий из листового металла для мирового рынка мы производим изделия из листового металла в Финляндии на машинах собственного изготовления.

Более чем 20-летний опыт практической работы по производству изделий из листового металла помог нам сделать нашу продукцию наиболее эффективной, надежной, максимально простой в управлении и обслуживании и оптимально использующей производственные площади. Мы также уделяем большое внимание качественному обслуживанию и срочному реагированию на запросы, касающиеся приобретения, доставки и обслуживания производственного оборудования.

В нашем оборудовании используется современная высокопродуктивная система автоматизации. Весь процесс производства, включающий работу размотчиков, роликовых профилировочных и приемно-стапелирующих машин, полностью согласован, что позволяет избежать поломок, задержек и лишней работы. Мы определили и устранили все возможные слабые места оборудования и процессов.

Мы предлагаем широкий спектр решений как для малых, так и для больших объемов производства. Наш огромный опыт и ноу-хау к вашим услугам для оптимизации вашего производства.

At **Profiilikeskus**, we have a unique understanding of the practical needs for sheet metal manufacturing. In addition to producing sheet metal manufacturing machinery for the world market, we produce sheet metal products for our home market in Finland using our very own machines.

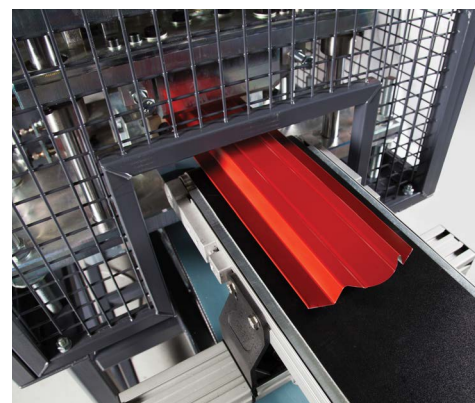
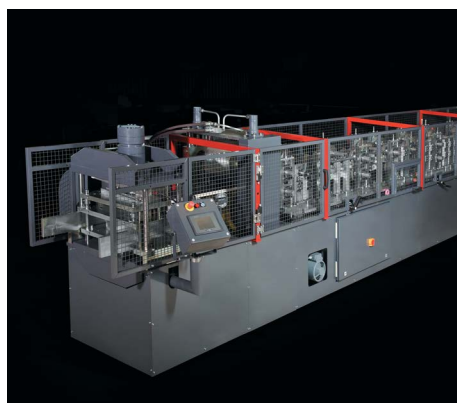
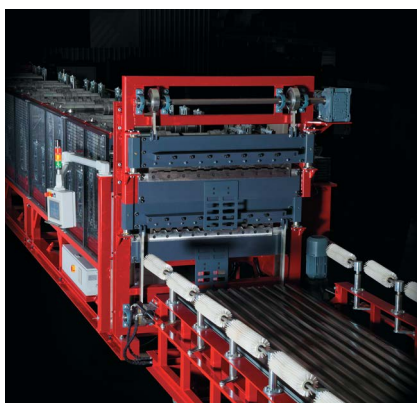
This practical experience of over 20 years has guided our product development toward the best possible cost-efficiency, very high reliability, maximal ease of use and maintenance and optimal use of factory floor space. We also thoroughly appreciate the importance of quality service and fast response times regarding purchase, delivery and maintenance of production equipment.

Our products utilize advanced high-productivity automation, where the whole production process thought decoilers, roll formers and stackers operate in full unison avoiding any breaks, delays or unnecessary work. We have identified and removed any possible weak points in the equipment and process.

We offer a wide range of solutions for small- to large-scale production volumes. Our vast experience and know-how is at your disposal to help optimize your production.



PROFIILIKESKUS OY
Teppolantie 4, FI-90440 Кемпеле **Финляндия/Finland**
Tel/Тел. +358 8 5634 700
Fax/Факс +358 8 5208 752
info@profiiikeskus.fi





МИНПРОТОРГ
РОССИИ



UFI
Approved
Event



IR
Expo Rating

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

15–19.05.2017

18-я международная
специализированная выставка

 **ЭКСПОЦЕНТР**

Организаторы:



При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- Союза машиностроителей России

Под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ

Реклама



12+



Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.metobr-expo.ru



Специализированная выставка
аддитивного производства
и трехмерной печати

24 - 27 января 2017

Москва, Россия

Ваше
трехмерное
пространство
в России

Место проведения:



www.interplastica.de/3D_Russia

www.interplastica.ru/3D_Russia

000 «Мессе Дюссельдорф Москва»
119021 Россия, Москва
ул. Тимура Фрунзе, д. 3, стр. 1
Тел.: +7 495 955 91 99 _ факс: +7 499 246 92 77
www.messe-duesseldorf.ru



РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

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



ritmmagazine



rhythm_of_machinery