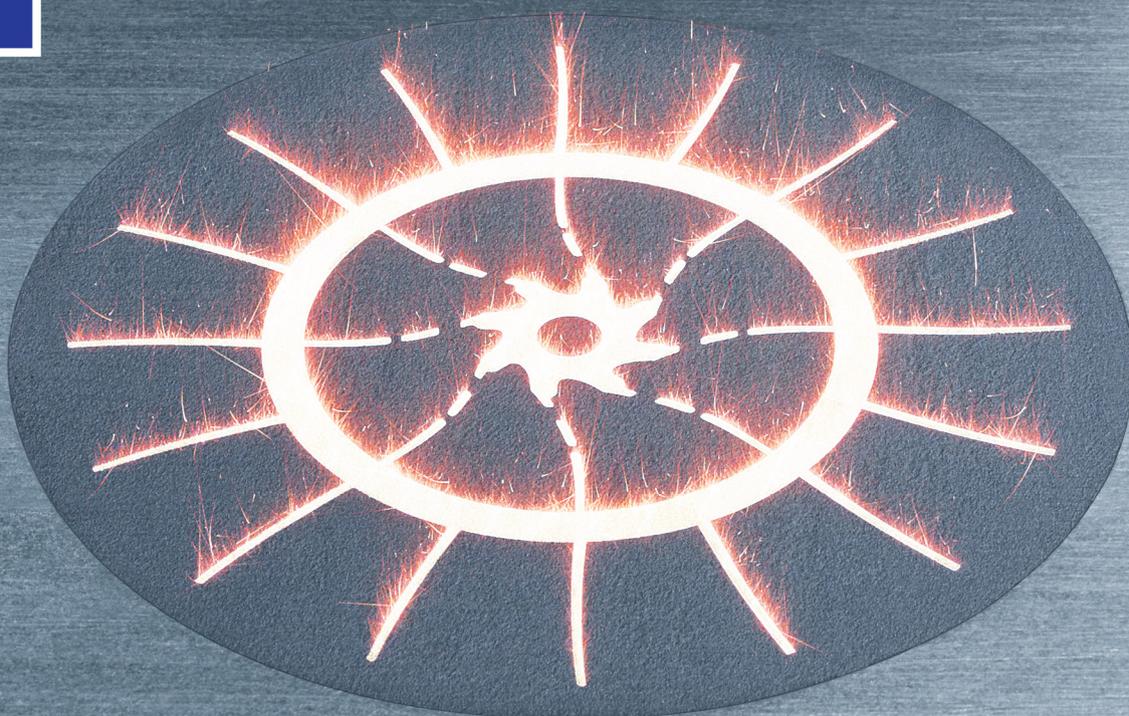


# at

АДДИТИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ



## Конструкторы света

Передовые решения TRUMPF  
в области аддитивных технологий стр. 12



Аддитивные технологии шагнули в гидравлику 49



Аддитивные технологии в ремонтном производстве 52



Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы 54

при поддержке

formnext 

Франкфурт, Германия, 14 – 17 ноября 2017

[formnext.de](http://formnext.de)

# Безграничные ВОЗМОЖНОСТИ.

Инженеры мыслят нестандартно, как и дети. Для них нет границ - только возможности. Присоединяйтесь к нам и зарядитесь вдохновением на formnext - международной выставке и конференции по аддитивным технологиям и производственным решениям будущего. производства нового поколения.

Where ideas take shape.



mesago  
Messe Frankfurt Group



# IMPRINTA

ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ 3D-ПРИНТЕРОВ

## HERCULES STRONG

## HERCULES



Получи бонус 3% на покупку 3D-принтеров  
HERCULES STRONG и HERCULES  
по промокоду: **впускной коллектор**

[www.imprinta.ru](http://www.imprinta.ru)



14



16



36

## СОДЕРЖАНИЕ

- 12** Конструкторы света  
Light designers
- 16** Производство объемных деталей сложной формы с помощью технологии выборочной лазерной плавки  
Production of bulk parts of complex shapes using selective laser melting techniques
- 18** Продолжать строить натуральное хозяйство или пять причин выбрать производственный аутсорсинг  
Continue to build subsistence farming or five reasons to choose production outsourcing
- 24** Каталог компаний, работающих в области аддитивных технологий  
The catalog of the companies working in the field of additive technologies
- 32** Аддитивные технологии: перспективы и тенденции  
Additive technology: prospects and trends
- 44** Горячее изостатическое прессование для аддитивного производства  
Hot isostatic pressing for additive manufacturing
- 49** Аддитивные технологии шагнули в гидравлику  
Additive technology stepped in hydraulics
- 52** Аддитивные технологии в ремонтном производстве  
Additive technology to repair production
- 54** Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы  
Additive technology in construction: equipment and supplies

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор  
М. Копытина

отдел редакции:  
Т. Карпова  
Э. Сацкая, С. Куликова  
Е. Ерошкина

консультант:  
Максимов Н.М.  
nikamax@gmail.com

отдел рекламы  
т/ф (499) 55-9999-8

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

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



# Настольные 3D-принтеры высокого разрешения

- Лучшее качество поверхности в своем классе
- Печать высокоэффективными полимерами и стандартными материалами



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

# Высокоскоростная наплавка

Компания TRUMPF (Германия) представила новый скоростной метод лазерной наплавки металлических порошков на тела вращения. Метод EHLA разработан в Институте лазерных технологий Фраунгофера (Германия). В отличие от стандартной лазерной наплавки, где порошок плавится на пути к поверхности изделия, в методе EHLA порошок плавится вместе с зоной на поверхности, что более эффективно и позволяет увеличить скорость наплавки с 10–40 см<sup>2</sup> в минуту



Высокоскоростная головка для лазерной наплавки

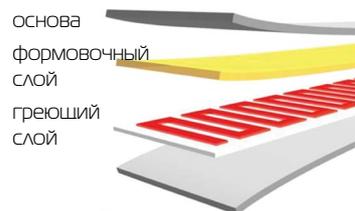
за счет уменьшения фокуса с 1 мм до 0.2 мм. Метод может быть применен на всех системах, разработанных компанией TRUMPF, а также в системах лазерной наплавки других разработчиков.

[www.metal-am.com](http://www.metal-am.com)

# Термочувствительный материал для 3D-печати

Японская компания Unitika создала материал, чувствительный к температуре. Таким образом, напечатанные объекты можно деформировать руками, поскольку материал размягчается уже при температуре тела.

Подобные материалы нужны в медицине, для скульпторов и дизайнеров — везде, где требуется вручную сделать тонкую финишную доводку готового изделия. Более того, форму изделия можно за-



фиксировать за счет высокой температуры, например, поместить изделие в кипящую воду или в печь.

Материал планируется выпустить на рынок в 2018 г. в виде нити диаметром 1,75 мм для печати при температуре 190–220°C, температура подложки не выше 45°C.

Две подобные попытки изготовить термочувствительные материалы были сделаны в Германии в компании Adam Beane Industries ([www.adambeaneindustries.com](http://www.adambeaneindustries.com)) и материал Hotflex в Saarland University (<https://hci.cs.uni-saarland.de/research/hotflex/>).

<http://www.unitika.co.jp/>

# Создание текстур с помощью технологии CLIP

Известно, что человек способен различать с помощью тактильных чувств текстуры материалов размерами 10 нанометров. Для сравнения — толщина человеческого волоса ~ 60–90 микрон.

При использовании производственного процесса литья под давлением существует ряд проблем, связанных с текстурой готовых изделий.

Проблема № 1. Нанесение текстуры на кривые поверхности. Традиционные способы — механическая обработка, травление. CLIP-текстуры непосредственно создаются во время построения детали независимо от ее геометрии с разрешением до 75 мкм.

Проблема № 2. Получение текстур, невозможных для процессов литья. Попытки решить такую задачу требовали огромных затрат на оснастку, постобработку и имели проблемы с конечным качеством изделий.

С использованием программных возможностей и опций технологии CLIP пользователи могут получать идеальную поверхность изделия с высоким разрешением текстур в виде подрезок и профилей с малыми углами. Это открывает новые перспективы для дизайнеров в таких областях, как биомимикрия, гидрофобность, управление трением, управление потоками.



Образец сложной текстуры с подрезками

[www.carbon3d.com/](http://www.carbon3d.com/)

Широко известно применение в медицине 3D печатных имплантатов, таких как металлические и пластиковые суставы, стоматологические протезы, корпуса слуховых аппаратов и т. д. В то же время несколько компаний занимаются созданием с помощью биопринтеров живых тканей — хряща, кожи и других.

3D-печать на биопринтере аналогична FDM-печати: с помощью шприца послойно наносится материал в виде геля — смеси клеточного материала и связующего. Другой способ создания объемных биообъектов — нанесение рабочего материала — геля на специально подготовленную поддерживающую структуру — скаффолды, которые растворяются, как только клетки размножатся достаточно, чтобы держать форму. Энтони Атала и его коллеги из Института восстановительной медицины Wake Forest в Северной Каролине (США) таким образом напечатали уши, кости и мышцы и успешно имплантировали их животным.

Важнейшей частью процесса является сохранение напечатанной ткани и ее интеграция с реципиентом при пересадке. Некоторые типы тканей, такие как хрящ, легко растут вне тела. Снабжение питательными веществами среды, в которой они содержатся, является достаточным для их поддержания, и они, как правило, хорошо переносятся в живой организм. Более сложные структуры, такие как сердце, печень и поджелудочная железа, требуют, чтобы их кровоснабжение осуществлялось изнутри органов. Для этого д-р Атала и его коллеги печатают каналы для доставки питательных веществ и кислорода, что способствует в дальнейшем развитию кровеносных сосудов. Следующим шагом, возможно в течение нескольких

лет, станет проверка такого биопечатного материала на людях.

Спрос на биоматериалы для исследований вызвал появление специализированной компании по их производству. Компанию Cellink основали Erik Gatenholm и Hector Martinez для коммерциализации материалов для биопечати, разработанных в Технологическом университете Чалмерса в Гетеборге, Швеция. Чернила Cellink изготовлены из наноразмерного альдегида целлюлозы, биоразлагаемого материала, содержащего древесные волокна, и сахарного полимера, обнаруженного в морских водорослях. Исследователи сначала смешивают свои клетки с биочернилами, а затем выдавливают результат в виде нити, из которой выстраивается желаемая форма. Компания продолжает разрабатывать биочернила, которые содержат факторы роста, необходимые для стимуляции определенных типов клеток, включая стволовые клетки. Это клетки, способные размножаться, чтобы продуцировать любые типы клеток, которые образуют определенную ткань. Если стволовые клетки получают от пациента, которому позже будет сделана трансплантация, это уменьшит риск отторжения.

Помимо создания биочернил, Cellink также выпускает собственный набор биопринтеров. Они продаются со скидкой университетам в обмен на обратную связь с исследователями. Это дает хорошее представление о том, что происходит. В частности, есть успехи в печати тканей для тестирования на наркотики. Один из принтеров позволяет использовать собственные раковые клетки пациента для печати нескольких версий его опухоли. На них будет отрабатываться оптимальный вариант лечения и подбираться набор лекарств.

[www.cellink.com](http://www.cellink.com)

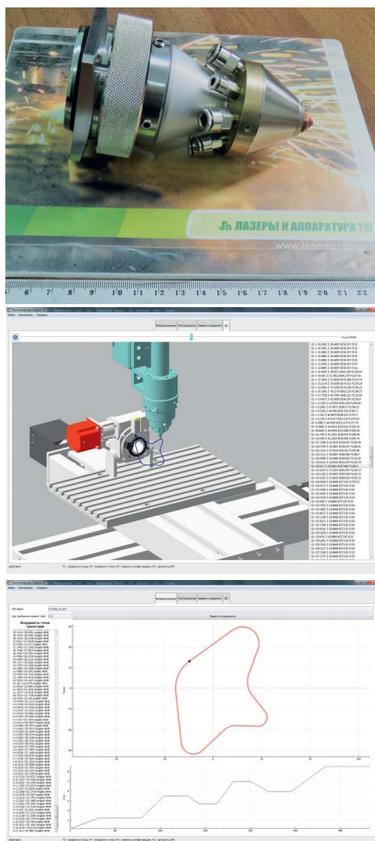
### 2017 год — 15 лет в области аддитивных технологий

- ✓ **Профессиональное промышленное прототипирование:**
  - 3d-печать изделий промышленного назначения;
  - доводка полученных прототипов изделий до необходимой высокой точности;
  - изготовление малых партий пластмассовых деталей методом литья специальных полиуретанов в силиконовые формы.
- ✓ **Помогаем разработчикам и изготовителям внедрять в серийное производство новые изделия.**
- ✓ **Готовы изготавливать прототипы и/или малые партии новых пластмассовых деталей любой сложности.**



**ИНЖЕНЕРНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**

194156, Санкт-Петербург  
пр. Энгельса, д. 27  
тел./факс: (812) 703-04-28  
mail@entech.spb.ru  
<http://entech.spb.ru/>



## Новинка

Для реализации режима наплавки компанией разработаны и изготовлены специальная лазерная головка и компактный автоматизированный дозатор порошка. В результате этого лазерная головка осуществляет фокусировку лазера и подачу порошкового материала с возможностью автоматизированного регулирования скорости потока, состава и фракции металлопорошковой смеси.

Группа компаний «Лазеры и аппаратура» представляет новую установку лазерной порошковой наплавки МЛК47 – компактный станок для сварки и лазерной наплавки путем прямого осаждения металлических частиц из газопорошковой струи. Разработка сделана на базе серии комплексов для сварки деталей сложной пространственной геометрии.

Станок МЛК47 предназначен для восстановления и наплавки режущих кромок, поверхностей валов, пресс-форм. За счет размещения системы лазерного излучателя на выносном кронштейне предусмотрена возможность обработки крупногабаритных деталей без закрепления их в рабочем поле станка.

<http://www.laserapr.ru/>

## Технология ремонта

Лаборатория в Окридже (Oak Ridge National Laboratory) разработала новый процесс 3D-печати для ремонта старых дизельных двигателей. Технология реализована в компании Cummins Inc, производящей дизельные двигатели для мощных машин. Ремонт таких двигателей после пробега в 1,8 млн км представляет собой сложную задачу, требующую затрат времени, иногда с заменой головки цилиндров.

Процесс заключается в удалении изношенной части двигателя и последующей печати высокотемпературного сплава на это место. Нанесенный материал в реальности лучше, чем первоначальный, он увеличивает прочность двигателей до уровней, которые они раньше не имели.



[www.ornl.gov](http://www.ornl.gov)



ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ







- Разработка аддитивных, лазерных и лазерно-дуговых технологий
- Проектирование, изготовление и внедрение технологических автоматизированных комплексов в производство
- Разработка программного обеспечения для контроля, управления и моделирования процессов лазерной и гибридной обработки материалов
  - Лазерная обработка материалов
- Курсы повышения квалификации в области лазерных технологий

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29 | тел.: +7 (812) 552-98-43 | [www.ilwt-stu.ru](http://www.ilwt-stu.ru), [www.rgltc.ru](http://www.rgltc.ru) | [ilist@ilwt-stu.ru](mailto:ilist@ilwt-stu.ru), [ilist@ltc.ru](mailto:ilist@ltc.ru)

# ЛАЗЕРНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Промышленный лазерный 3D-принтер по металлу



производится  
с 2016  
**СЕРИЯ  
МЛ6**

для послойного  
лазерного  
сплавания  
металлопорошков

## Разработано и произведено в России

- Серийное производство оборудования
- Разработка технологий
- Сервисное обслуживание
- Технологическое сопровождение
- Поставка «под ключ»
- Объем построения: 60×60×200 мм, 100×100×200 мм, 210×210×200 мм
- Российское программное обеспечение
- Открытые технологические настройки



www.laserapr.ru • sales@laserapr.ru • +7 499 731 20 19

Елена Пуртова, Татьяна Карпова

31 августа в Сколковском институте науки и технологий состоялся семинар по технологии керамической 3D-печати французской компании 3DCeram — ведущего производителя оборудования и материалов. Приглашенными докладчиками от 3DCeram стали президент 3DCeram Ришар Гэнё, генеральный директор компании «Аркон» Борис Козлов, руководитель Центра проектирования, производственных технологий и материалов Сколковского института Искандер Ахатов.

Участники семинара познакомились с технологией керамической стереолитографии и примерами ее применения в различных отраслях, посетили площадку Сколтеха, где демонстрировалась установка компании Ceramaker 900, узнали о работе компании, а также возможностях для российских клиентов, которые дает сотрудничество 3DCeram и Сколтеха в области печати керамики.

3DCeram расположена в городе Лемож. Здесь же находится крупный научный центр компетенции в области керамики, с которым компания сотрудничает на эксклюзивных условиях. Вместе создаются новые технологические решения, и 3DCeram реализует их по всему миру. Компания развивает три направления: 3D-принтеры и сопутствующее оборудование; керамические пасты специального состава — расходные материалы; оказание услуг 3D-печати. Десятилетний опыт выполнения 3D-печати на заказ дал глубокое понимание специфики процессов, что нашло отражение в разрабатываемых машинах.

В настоящий момент компания предлагает два типа оборудования — Ceramaker 900 и 100. Большая машина с рабочей зоной 300×300 мм и по вертикали 100 или 200 мм, а маленькая машина — 100×100×100 мм. В зависимости от материала толщина слоя составляет от 10 до 150 мкм. Диаметр лазерного пятна — 30 мкм. Качество необработанной поверхности  $Ra < 1$  мкм, обработанной:  $Ra = 0,02–0,4$  мкм. В отличие от других технологий, 3D-печати, создаваемые в процессе поддержки, не прикрепляются механически к самой детали. Таким образом, нет последующей деформации от механического удаления. Постобработка изделия включает выжигание фотополимера и спекание в процессе обжига. Важный момент в том, что во время постобработки происходит усадка изделия, но, что также важно, она контролируема.



Рис. 1. Керамический стержень для лопаток газотурбинных двигателей

Технология находит применение при изготовлении деталей со сложной архитектурой, с повышенными требованиями к точности в биомедицине, аэрокосмической отрасли, энергетике. Так, год назад в 3DCeram начаты интересные проекты по производству топливных ячеек, финансируемые Европейским Союзом. Их традиционный довольно сложный способ производства включает в себя более ста производственных операций и ручную сборку, обладает определенными ограничениями с точки зрения конструкции и, самое главное, имеет достаточно высокую стоимость. В результате был создан мультифункциональный процесс, который позволяет изготовить топливную ячейку практически только за счет печати. Это большой прорыв в индустрии микроэлектроники.

Также 3DCeram производит стержни для лопаток газотурбинных двигателей (рис. 1). У стержня достаточно сложная геометрия. Обычно он создается через пресс-форму, что подразумевает изготовление дорогостоящей оснастки и занимает до нескольких месяцев. Технология керамической печати позволяет внедрять изделие быстрее, а также получить те геометрии, которые недоступны стандартным методам производства. Пример печати стержня интересен еще и тем, что для литья нужно оставить пористость детали порядка 20–30%, а для технической керамики напротив — минимальную. Здесь с помощью оптимизации режимов обжига остаточную пористость возможно контролировать.

Еще один пример — черепной имплант. В этом случае также было необходимо иметь в одном изделии и пористую, и плотную части, чтобы ткани быстро росли и интегрировались с имплантом. Также требовалось создать отверстия для временной фиксации. Выполнение этих условий в одном цикле производства позволило сократить время операции и период реабилитации пациента.

Те работы, которые 3DCeram проводит во Франции, компания готова развивать и в России в сотрудничестве со Сколтехом и другими партнерами. Что касается Сколтеха, то в Центре проектирования, производственных технологий и материалов существует специальная лаборатория керамической 3D-печати, и здесь к партнерству с 3DCeram относятся с большим интересом. Остается ждать результатов.

# RosMould: перспективы развития

На пресс-конференции, проходившей 7 сентября в Москве, в торжественной обстановке было подписано соглашение между организатором выставки RosMould ООО «Экспомолд Групп» и Mesago, дочерней компанией выставочного концерна Messe Frankfurt GmbH, согласно которому выставочный бренд RosMould переходит в портфолио технологических выставок Mesago. Сумма сделки не разглашается.

Выставка RosMould организуется в России с 2006 г. и объединяет специалистов широкого круга отраслей, представляя инновационные решения в сфере дизайна и проектирования изделий, оборудования для прототипирования, производства форм, пресс-форм и штампов. В 2017 г. в ней приняли участие 162 компании из 18 стран мира. По словам президента Mesago Messe Frankfurt GmbH Петры Хаарбургер, в компании считают, что RosMould — перспективная платформа для бизнес-диалога и презентаций инновационных технологий, а опыт Mesago в организации выставки близкой тематики formnext powered by tct и хорошее знание российского рынка коллегами из «Мессе Франкфурт РУС» станут отличным дополнением для ее развития.

Такие понятия, как Индустрия 4.0, интернет вещей, аддитивное производство, будут определять будущее человечества. Именно с этими технологиями связана выставка formnext powered by tct, о которой подробно рассказал вице-президент Mesago Messe Frankfurt Саша Венцлер. Выставка еще молодая, ведет свою историю с 2015 г., но за это время ее основные показатели, такие как численность экспонентов, количество выставочных площадей и число посетите-



*Дмитрий Сокоренский, Ойген Аллес, Саша Венцлер, Петра Хаарбургер, Илья Нисифоров (слева направо)*

лей, практически удвоились. В 2016 году 13384 профессиональных посетителя пришли познакомиться с предложениями от 307 компаний-экспонентов, что подтверждает интерес как к тематике, так и к самому событию. Саша Венцлер подчеркнул, что formnext имеет много точек пересечения с RosMould, поскольку в центре ее внимания продукция, получаемая формованием. Параллельная реализация двух проектов в Германии и в России, несомненно, обогатит их. Кроме того, Россия — индустриальная страна, и производимые с помощью послойной трехмерной печати детали и компоненты могут повысить эффективность производства во многих отраслях промышленности, сделать продукцию дешевле и лучше. В связи с этим внимание специалистов к российскому проекту будет только расти. В общем, у RosMould прекрасные предпосылки и перспективы для дальнейшего развития!

Международная выставка и конференция formnext powered by tct пройдет в этом году во Франкфурте-на-Майне с 14 по 17 ноября. А выставка RosMould состоится в привычные сроки с 19 по 21 июня 2018 года в Москве в МВЦ «Крокус Экспо».

[www.rosmould.ru](http://www.rosmould.ru), [www.formnext.com](http://www.formnext.com), [www.messefrankfurt.com](http://www.messefrankfurt.com)

A large advertisement for Filamentarno. The background is a dark, close-up image of 3D printed parts with a grid-like pattern. The word "ФИЛАМЕНТАРНО!" is written in large, bold, white, italicized Cyrillic letters across the center. Below it, in smaller white text, is "РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТАБИЛЬНОЙ И КАЧЕСТВЕННОЙ 3D-ПЕЧАТИ". At the bottom, there is a red horizontal line, and below that, the website "www.filamentarno.ru" and phone number "тел.: +7 499 393 32 25" are listed in white.

## Аддитивные технологии для авиастроителей

В рамках авиасалона МАКС-2017 в подмосковном Жуковском в шале «Научно-инженерной компании» (ООО «НИК») прошел круглый стол «Индустриальное аддитивное производство» при участии мэра города Жуковский А. П. Войтюка, генерального директора «НИК» А. Н. Корнеева и генерального директора немецкой компании FIT AG К. Фрут.

Выступающие рассказали о развитии Жуковского как авиационного кластера и большом внимании, которое уделяется здесь развитию аддитивных технологий, о возможностях 3D-печати для авиастроения, изменениях в подходах к проектированию и созданию авиационных деталей.

Большим вниманием пользовался доклад, в котором К. Фрут представил свою концепцию индустриального аддитивного производства. FIT AG, основанная в 1995 году, специализируется на решениях в области дизайна, быстрого прототипирования и аддитивного производства. Как поставщик высокотехнологичной продукции для международных клиентов, FIT AG работает в автомобильной, аэрокосмической промышленности, машиностроении, производстве медицинской техники. Отвечая на вопрос одного из присутствующих журналистов, господин Фрут с удовлетворением отметил, что, в отличие от многих проектов, которые так и остаются проектами, компания FIT AG уже построила первое в мире умное производство на базе оборудования для аддитивных технологий.

В этом аспекте можно сказать, что подписанное в ходе мероприятия соглашение о намерении создать на базе ООО «НИК» в г. Жуковском совместное предприятие с FIT AG можно назвать историческим.



[www.avianik.com](http://www.avianik.com), [www.pro-fit.de](http://www.pro-fit.de)

## Новое подразделение для 3D-печати

Группа BASF SE — крупнейший в мире химический концерн — создала новое подразделение 3D Printing Solutions GmbH. Штаб-квартира новой дочерней компании подразделения BASF New Business GmbH расположена в Гейдельберге (Германия) на базе инновационного центра InnovationLab GmbH.

Компания будет заниматься созданием и расширением бизнеса в сфере 3D-печати, предоставляя материалы, системные решения, компоненты и услуги. BASF 3D Printing Solutions GmbH будет тесно сотрудничать с учеными и специалистами по внедрению из BASF и внешними партнерами, например, с университетами и потенциальными покупателями для разработки подходящих решений для широкого спектра потребностей.



«Сегмент 3D-печати для промышленного применения отличается высокой динамичностью и все еще находится в стадии формирования. Это значит, что нам необходима гибкая организационная структура, похожая на стартап, с междисциплинарной командой, способной быстро принимать решения. Объединение всех видов работ по 3D-печати, ориентированных на нужды клиентов, в одном месте в рамках специализированного подразделения — важный фактор успеха», — комментирует создание новой компании Фолькер Хаммес, директор BASF 3D Printing Solutions GmbH.

Клиентами компании в основном будут предприятия из таких отраслей, как автомобильная, воздушно-космическая и индустрия товаров широкого потребления, которые используют 3D-печать в промышленном производстве.

[www.basf.com](http://www.basf.com)

# ЛАЗЕРНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Станок для лазерной наплавки  
и прямого выращивания из металлического порошка



## СЕРИЯ МЛ7

производится  
с 2016

### Разработано и произведено в России

- Рабочий объем камеры построения  
 $500 \times 500 \times 500 \text{ мм}^3$

- Координатно-кинематическая система  
на базе линейных двигателей с  
ферромагнитными якорями

- 3-х- и 5-координатная кинематическая  
система

- Головка для лазерной наплавки Precitec

- Использование порошков российского  
и иностранного производства



ГРУППА КОМПАНИЙ

**ЛАЗЕРЫ  
И АППАРАТУРА**

[www.laserapr.ru](http://www.laserapr.ru) • [sales@laserapr.ru](mailto:sales@laserapr.ru) • +7 499 731 20 19



## Конструкторы света

**Правильная стратегия использования лазерного луча играет ключевую роль в вопросе повышения эффективности производства деталей методом 3D-печати. Рассмотрим, как это работает.**

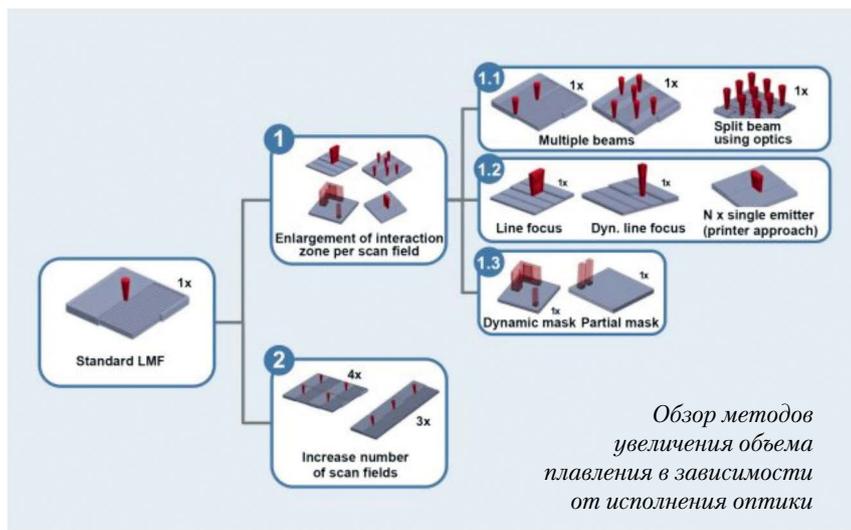
В стороне от стеклянных фасадов основного здания спрятана комната для «мозгового штурма» команды подразделения аддитивных технологий TRUMPF. Именно здесь идет кропотливая работа над развитием стратегий повышения эффективности этой перспективной технологии будущего с целью сделать ее более привлекательной для широких групп пользователей. Ведь, несмотря на широкую известность и обширное использование в области прототипирования и при производстве мелких партий, 3D-печать еще далека от того, чтобы полноценно конкурировать с основными технологиями обработки металла на малых и средних предприятиях. Ей не хватает отлаженности, воспроизводимости и экономичности.

Для значительного снижения себестоимости аддитивной технологии эксперты TRUMPF задействуют множество решений. Одним из примеров является идея объединения нескольких машин в единый комплекс 3D-печати, где принтер подключен к внешним системам подачи порошка и извлечения деталей. Это позволяет повысить коэффициент загрузки принтера и повысить его производительность. При этом концепция частичной автоматизации способствует снижению себестоимости производимой детали.

### Структурированный анализ

Однако наиболее существенные улучшения вносит применение правильной стратегии использования лазерного луча. Дамиен Бухбиндер и Флориан Крист, продукт-менеджеры подразделения аддитивных технологий компании TRUMPF, исследовали широкий спектр возможных вариантов воздействия лазерного излучения с различными характеристиками на деталь и структурировали их в зависимости от отрасли и сферы применения, геометрии деталей, материала и стоимости.

Они рассмотрели каждый возможный вариант с точки зрения его потенциала, ожидаемых затрат, эффективности для конкретной задачи и применения, его техническую осуществимость. «Нам повезло, что TRUMPF обладает таким широким спектром знаний и компетенций в области лазерных технологий и оптики. Благодаря им мы имели возможность провести



экспертное сравнение результатов симуляций, которые мы выполнили самостоятельно, с результатами многочисленных совместных разработок», — поясняет Крист.

#### Малярный валик или тонкая кисть?

Фокус внимания в вопросе стратегии воздействия на деталь сосредоточен на оптике и источнике луча. Они не только определяют скорость процесса, но и оказывают значительное влияние на качество деталей. Решающим здесь является соотношение мощности лазера, распределения удельной мощности, диаметра луча, количества лучей, а также шаг между лучами. И здесь начинается дилемма, как называет это Дамиен Бухбиндер: «Представьте, что для выполнения заказа по покраске у вас на выбор есть малярный валик и тонкая кисточка. Валиком можно за один раз нанести много краски, но при этом получается не очень аккуратно и точно. С тонкой кисточкой процесс покраски займет много времени, но зато результат будет точным и аккуратным». Краской в аддитивных технологиях можно назвать мощность лазера.

Баланс между инструментами, то есть между валиком и кисточкой, и количеством наносимой краски является балансом удельной мощности лазера. Как бы ни был размер инструмента — в нашем случае это лазерный луч, — он должен всегда обеспечивать подачу необходимой энергии для расплавления материала. «Как мы выполняем это требование? Именно в этом и заключается правильная стратегия использования лазерного луча — она учитывает, что различные материалы требуют различного количества энергии для плавления, а также различной интенсивности лазерного излучения. Требования по точности деталей и скорости обработки, необходимые в каждом отдельном случае, определяют мощность лазера, плотность мощности и яркость», — говорит Бухбиндер.

#### Сегодня мы в наилучшем положении

Резюмируя, можно сказать, что сопоставление результатов расчетов Бухбиндера и Криста говорит об одном: в настоящее время нет общепринятой формулы, оптимальной для всех материалов, геометрий и отраслей. Не все то, что в теории звучит идеально, реализуемо сегодня исходя из актуального уровня развития технологий. Более того, некоторые вещи, реализуемые на практике, могут не иметь смысла с точки зрения соотношения расходов и выгоды. TRUMPF в своем демонстрационном образце TruPrint 5000 реализовал лучшее решение, основанное на современном уровне техники. «На этом станке мы решили внедрить универсальную стратегию воздействия. Это прекрасное решение для широкого спектра различных задач, — объясняет Бухбиндер. И продолжает:

— Тем не менее в вопросах аддитивных технологий, это означает лишь то, что мы продолжаем работать дальше. Ведь постоянное развитие лазерной техники и оптики открывает нам массу новых возможностей в выборе стратегии излучения».

#### Универсальный талант



Демонстрационный образец TruPrint 5000 был представлен на выставке formnext 2016. Как и все 3D-принтеры TRUMPF, он оснащается управляемым сканатором и волоконным лазером собственного производства. Отличительной же особенностью является количество источников лазерного излучения — TruPrint 5000 оснащен тремя источниками мощностью 500 Вт каждый. И таким образом, это первый мультилазерный станок TRUMPF для аддитивных технологий. Особенность разработки состоит в том, что все три источника установлены в специально разработанной компанией TRUMPF оптической системе таким образом, что они могут либо параллельно воздействовать на несколько деталей в рабочей камере, либо совместно троекратно увеличить скорость обработки одной детали. Мощность лазера может быть настроена таким образом, чтобы обрабатывать множество типов материалов с максимальной производительностью. А возможность управления диаметром луча в диапазоне от 100 до 500 мкм делает производство еще более гибким. Это обеспечивает максимальный уровень качества изготавливаемой детали и дает пользователю возможность обрабатывать материалы, требующие меньшей мощности луча для минимизации брызг. ■

ООО «ТРУМПФ»  
+7 495 234 573  
www.ru.trumpf.com  
info@ru.trumpf.com

# Внедрение 3D-печати в литейное производство

Индустрия 3D-печати стремительно развивается и входит во многие сферы, но наиболее востребованной она остается в производстве. Появляется большое количество проектов, где 3D-печать является очень важным этапом и помогает достичь соответствующих результатов в создании новых качественных продуктов.

Один из таких проектов реализует компания «Феникс 24». Ее основная цель — доработка двигателя Mazda RX7 путем изменения геометрии впускного коллектора, что позволит увеличить мощность двигателя и снизить нагрузку на топливную систему (рис. 1).



Рис. 1

Решение данной задачи делится на несколько этапов, в результате чего с помощью технологии литья получится готовая модель из того же металла — алюминия, из которого сделана исходная.

На первой стадии коллектор сканируют, далее снимки сраци-

вают в программе и получают оболочку конечного изделия, которая экспортируется для дальнейшей обработки и моделирования. Процесс сканирования позволяет получить исходную модель геометрии, убрать все лишнее и продолжить дальнейшую обработку. В специальных математических программах производятся сложные расчеты распределения топлива, и получается новая геометрия (рис. 2).

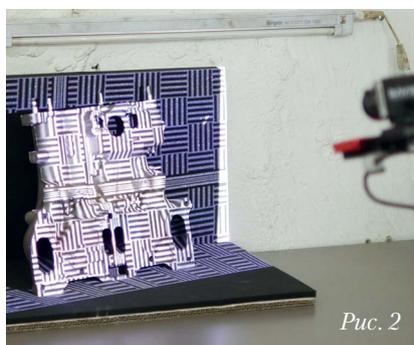


Рис. 2

Второй этап — изготовление пробной модели коллектора. Она необходима, чтобы проверить, как новое изделие будет подходить по форме и насколько соответствует нужным размерам. Изначально «Феникс 24» столкнулись с проблемой, что переделанный коллектор может не поместиться в двигатель. Нужно было либо отливать лишнюю модель, что долго и дорого, либо сканировать весь двигатель и обрабатывать деталь, а это очень трудозатратно. Поэтому выбрали самый оптимальный способ — прототипирование.

Учитывая сложность коллектора, наличие внутренних каналов и изгибов, оптимальным способом

изготовления прототипа стала 3D-печать. Изготовление прототипа фрезерной обработкой заняло бы большее количество времени, а саму модель пришлось бы делить на несколько частей. Кроме того, при 3D-печати используется меньшее количество материала. А варьируя параметры печати, есть возможность изменять время изготовления.

Для печати прототипа коллектора выбрали 3D-принтер Hercules Strong. Его рабочее поле 300×300×400 мм дало возможность напечатать данную модель целиком, а наличие производительного сопла в 0,8 мм позволило значительно сократить время изготовления по сравнению с использованием стандартных сопел 0,3–0,4 мм (рис. 3).

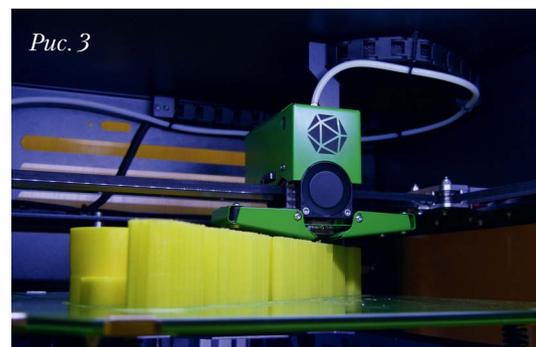


Рис. 3

В специальном программном обеспечении 3D-принтера были настроены параметры печати, такие как: высота слоя — 0,4 мм, что помогло получить приемлемое качество поверхности, а также внутреннее заполнение — 10%, чтобы изделие было достаточно прочным.

Время печати также являлось важным параметром при изготовлении прототипа, так как была вероятность ошибок, что означало повторное изготовление прототипа. При использовании для печати сопла 0,8 мм первый прототип коллектора весом 1 кг был изготовлен всего за 40 часов. Материал, из которого печатали модель и который лучше всего подходит для этого, PLA-пластик.

При примерке прототипа коллектора оказалось, что он соприкасался с турбиной и мешал ее закреплению, поэтому с учетом всех недочетов произвели доработку модели и напечатали еще раз. Это доказывает, насколько создание прототипа на 3D-принтере оказалось эффективным способом для решения данной задачи. Уже со второго раза все детали встали на свои места, и осталось перейти к следующему этапу — изготовлению мастер-модели, по которой потом будет делаться форма и отливаться коллектор (рис. 4, 5).

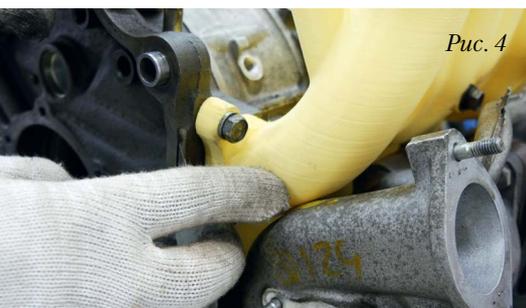


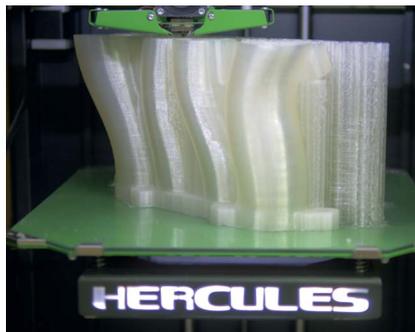
Рис. 4



Рис. 5

Основное требование к материалу, из которого изготавли-

валась мастер-модель — низкая зольность. То есть при выплавлении не должно остаться никакого мусора. Для этих целей отлично подошел материал Cast от компании REC.



Качество поверхности мастер-модели должно быть лучше, чем на прототипах, чтобы отливка получилась гладкой, поэтому при печати уменьшили высоту слоя до 0,2 мм. Время создания модели при этом немного увеличилось и составило 55 часов.

На следующей стадии напечатанную мастер-модель поместили в форму, залили гипсовым раствором и отправили в печь, где она выплавлялась, оставляя пустоту, куда потом залили металл (рис. 6, 7, 8).



Рис. 6

С помощью технологии 3D-печати за максимально короткий срок и с меньшими усилиями удалось решить проблему по созданию прототипа сложной модели впускного коллектора Mazda RX7 и созданию его мастер-мо-



Рис. 7



Рис. 8

дели. В планах компании «Феникс 24» производство деталей для тюнинга автомобилей. А модернизированный коллектор обязательно испытают на самой Mazda RX7 и сравнят его параметры с исходной деталью. ■

Компания «Импринта» приготовила приятный бонус 3% на покупку 3D-принтеров Hercules и Hercules Strong, который вы сможете получить по специальному промокоду: **ВПУСКНОЙ КОЛЛЕКТОР**.

г. Красноярск  
Комсомольский пр., 22/2  
8-391-228-53-73, 8 (800) 222-90-20  
www.imprinta.ru

# Производство объемных деталей сложной формы с помощью технологии выборочной лазерной плавки

Компания DMG MORI расширяет линейку оборудования для аддитивного производства с помощью станка LASERTEC 30 *SLM*

DMG MORI тщательно подходит к вопросу развития передовых технологий: приобретение контрольного пакета акций (50,1%) компании REALIZER GmbH из г. Борхен усилило позиции компании в сфере аддитивных технологий. DMG MORI имеет большой опыт в области сварки лазерной наплавкой, когда металлический порошок наносится на базисный материал через сопло. Эта технология реализуется на станках завода SAUER GmbH. В свою очередь, компания REALIZER имеет более 20 лет опыта работы с технологией выборочной лазерной плавки (SLM). После включения оборудования компании REALIZER в линейку продукции завода SAUER компания DMG MORI получила возможность поставлять заказчикам все ключевые технологии генеративного производства деталей из металлических материалов. Первым результатом данного сотрудничества стал станок LASERTEC 30 *SLM*.

Благодаря станку LASERTEC 30 *SLM* лидирующее положение SAUER GmbH и DMG MORI в качестве поставщика полной линейки станков для аддитивного производства как гибридных, так и станков для выборочной лазер-

ной плавки становится еще более прочным. «Технология выборочной лазерной плавки открывает нашим заказчикам совершенно новые возможности в применении. Поэтому данная модель отлично дополняет серию станков LASERTEC 3*D* для аддитивного производства», — говорит Кристиан Тенес, председатель правления DMG MORI Aktiengesellschaft.

LASERTEC 30 *SLM*. детали сложной формы с высоким качеством поверхности

Станок LASERTEC 30 *SLM* оснащен рабочей платформой размерами 300×300×300 мм для модельного материала. По данной

технологии порошок слоями наносится на рабочую поверхность, а потом с помощью лазерного луча в слое выборочно фиксируется материал. После сплавления материала в одном слое платформа опускается на величину шага построения, на ней формируют новый слой — и процесс повторяется. Технология позволяет производить объемные детали с толщиной слоя от 20 до 100 мкм в зависимости от качества поверхности и скорости построения, не оказывая серьезного влияния на стоимость производства. Технология позволяет производить высококачественные детали сложной геометрической формы с тонкими стенками и полостями,

*Благодаря станку LASERTEC 30 SLM лидирующее положение SAUER GmbH и DMG MORI в качестве поставщика полной линейки станков для аддитивного производства как гибридных, так и станков выборочной лазерной плавки становится еще более прочным*



которые невозможно произвести другим способом.

Технология выборочной лазерной плавки (SLM) позволяет использовать различные материалы и применяется в самых разных отраслях от автомобилестроения и аэрокосмической отрасли до стоматологической отрасли, а также в производстве инструментов и пресс-форм. Благодаря низкой пористости (от 0,1 до 0,5%) компоненты, произведенные из порошков алюминия,

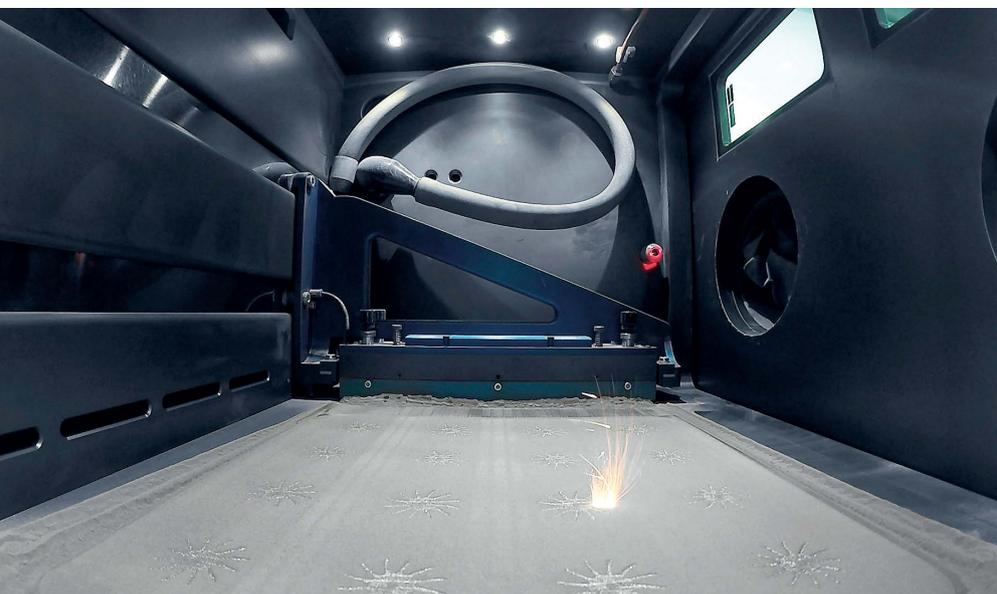
нержавеющей стали, титана и инконеля, не теряют преимуществ, которыми отличаются детали из данных материалов, произведенные традиционным способом. Также компания DMG MORI предлагает заказчикам волоконные лазеры мощностью от 400 Вт до 1 кВт для самых разных областей применения.

Высокая производительность и экономическая эффективность производства на станке

LASERTEC 30 *SLM* обеспечивается благодаря низкому потреблению аргона — 70 л/ч и регулировке подачи порошка, что обеспечивает оптимальный расход порошка. Сменный модуль подачи порошка позволяет менять порошок менее чем за два часа. Комплексный программный продукт с единым интерфейсом от работы с файлом данных модели САПР (RDesigner) до управления производственным процессом (ROperator) упрощает работу на станке LASERTEC 30 *SLM*.

Для максимально высокого качества готовых изделий, произведенных с использованием технологии SLM, компания DMG MORI при необходимости обеспечивает также механическую обработку на высокочастотных обрабатывающих центрах. Это позволяет добиться максимальной точности и высокого качества обработанной поверхности.

*Станок LASERTEC 30 SLM оснащен рабочей платформой размерами 300×300×300 мм для модельного материала*



*Сменный модуль подачи порошка позволяет менять порошок менее чем за два часа*



#### Основные преимущества

- Генеративное производство на рабочей платформе габаритами 300×300×300 мм.
- Волоконные лазеры мощностью от 400 Вт до 1 кВт в зависимости от области применения.
- Высокоточное построение объемных деталей с толщиной слоя от 20 до 100 мкм.
- Интегрированная система контроля расхода порошка обеспечивает эффективное использование материала и препятствует образованию крупных частиц.
- Четко выстроенная технологическая цепочка для последующей механической обработки на станках DMG MORI для максимальной точности и высокого качества обработанной поверхности ■

натуральное хозяйство или пять причин  
выбрать производственный аутсорсинг

## Взгляд на рынок

Сегодня мы видим активное изменение рынка и представлений потребителя. Происходит постепенное преобразование логики создания ценности, вектор внимания перемещается с производителя, ограниченного технологическими и сырьевыми возможностями, на потребителя. Это приводит к нестабильности рынка, ускоренной разработке и выпуску новой продукции, увеличению ассортимента, росту конкуренции за потребителя, созданию персонализированных продуктов. Под действием этих сил изменяется бизнес-модель компаний, которая предполагает более продуктивную деятельность, и, следовательно, становится крайне важна эффективность выстроенных процессов, которая влияет не только на добавленную стоимость, но имеет и стратегическую значимость.

Использование новых бизнес-моделей и аддитивных технологий способствует уменьшению уровня запасов, позволяя компаниям быть более адаптированными к быстро меняющемуся реальному спросу, производить и поставлять мелкосерийную продукцию.

Таким образом, производство, которое завтра хочет оставаться конкурентоспособным не только на внутреннем, но и на мировом рынке, не может игнорировать глобальные изменения и повсеместное внедрение «цифры».

## Поиск решений

Для того чтобы создать собственное цифровое пространство, промышленные компании должны сосредоточиться на разработке технологических платформ и новых рабочих моделей, которые позволяют подключать продукты и услуги и интегрировать новые операции. Так появляется необходимость в инструментах, которые обеспечивают повышение технологичности производства, понимание этапов создания продукта, доступности мощностей и уровня качества.

Кроме этого, производителям необходимо развивать дополнительные навыки: они должны понимать, как управлять избытком новых данных, чтобы они стали полезными; адаптировать технологию для более целенаправленной работы с цепочками поставок и операциями; монетизировать оцифровку всех производственных процессов; найти талантливого специалиста в области промышленного программирования и аналитики.

Предприятие может самостоятельно решать эти задачи, но, скорее всего, потребуется достаточно большое время и значительные инвестиции. Но даже эти предпринятые шаги не дают гарантии получения желаемого результата. Промышленный сектор России в период отсутствия проверенных временем решений остается не склонным к риску и пока не стремится инвестиро-

вать в разработку программного обеспечения, человеческие ресурсы и создание цифровой экосистемы.

Крупное предприятие. Стабильность, отлаженные технологические процессы, низкая скорость модернизации. Как внедрить изменения? Один из вариантов — перестроить внутреннюю работу, выделить процессы, для которых требуется особая гибкость и скорость, передать их подрядчику.

И этот подрядчик часто малый бизнес, который уже выстроил работу по модели manufacturing as a service.

Работа с подрядчиком — это отношения, которые часто сравниваются к женитьбе: в обоих случаях ключом к счастью становится идеально подходящий именно вам партнер.

Поиск того самого — идеального — партнера должен быть сосредоточен на поиске подрядчика, который хорошо подходит вашему продукту и его месту на рынке. Производственные процессы, мощность, стандарты, время и стоимость должны соответствовать вашим потребностям.

## Скорость

Вы должны иметь возможность вносить изменения в дизайн продукта и получать у поставщика рабочие прототипы в короткие сроки. Скорость имеет решающее значение на всех стадиях разработки продукта, т.к. количество

итераций часто запланировать довольно сложно.

#### Договоренности о качестве и сроках в «цифре»

Выбирайте себе в партнеры производителей, которые разговаривают на одном с вами языке — языке конструкторских решений и технологических ограничений. Компания LOGEEK<sup>S</sup> предоставляет бесплатный **автоматизированный анализ технологичности конструкции детали (ТКД)**, который в течение короткого времени позволяет получить ответ на вопрос, можете ли вы изготовить деталь по выбранной технологии. Мгновенная система оценки обратит ваше внимание на технологические ограничения, что поможет вам вовремя внести изменения и сократить стоимость серийного производства.

#### Разнообразие вариантов производственных процессов

Велика вероятность того, что вам понадобится более одной технологии производства на этапе разработки продукта. Такой поставщик, как LOGEEK<sup>S</sup>, предлагает самый современный набор технологий 3D-печати промышленного класса. Обеспечивает набор возможностей, позволяющих вам беспрепятственно совершенствовать продукт и экономическую альтернативу производства функциональных деталей при небольших сериях.

Если требуются прочные функциональные пластмассовые детали сложного дизайна для прототипов или небольших партий — технология селективного лазерного спекания (SLS).

Для получения металлических деталей, например, с возможностью облегчения применяется прямое лазерное спекание металлических порошков (DMLS). Если же вы хотите получить 100 полностью функциональных деталей

за приемлемую стоимость, с этой задачей справится ЧПУ-обработка.

Технология литья полиуретанов в силиконовые формы является экономичной альтернативой литья под давлением для небольших партий пластиковых деталей. Материалы, с которыми работает LOGEEK<sup>S</sup>, имитируют большинство инженерных материалов с различными механическими и термическими свойствами.

#### Важность качественных материалов

Позаботьтесь о том, чтобы найти поставщика с большим набором инженерного класса материалов. Заказчики LOGEEK<sup>S</sup> могут выбирать из десятков решений: варианты пластика и металла для 3D-печати, различные марки стали, полимеры, цветные металлы и сплавы для обработки с ЧПУ, силиконы и полиуретаны для литья. С полным списком можно ознакомиться на сервисе компании.

#### Выполнение непрофильных задач

Помимо заказов на прототипы подрядчики помогают решить не профильные для вашего производства задачи. Если вам требуется сделать несколько сотен деталей в очень короткий срок, или вы ищете экономически незатрат-

ное решение расширения линейки производства, или же, наоборот, заказ является внеплановым и не поддерживается имеющимся у вас оборудованием, тогда логично обратиться с данным заказом к подрядчику.

Для успешной жизни вашей компании и выхода на новый уровень продукции вам требуется надежный партнер. Компания LOGEEK<sup>S</sup> располагает полным набором компетенций и технологий, необходимых для производства прототипов и мелкосерийного производства по требованию.

Позвольте вашим инженерам вовремя протестировать функциональность, оценить рыночную привлекательность и воплотить продукт в жизнь вместо того, чтобы тратить время и средства компании на открытие нового и дорогостоящего направления в собственном производстве.

#### Технологии:

- PolyJet — фотополимерная 3D-печать;
- SLS — селективное лазерное спекание;
- ColorJet — полноцветная струйная печать;
- DMLS — прямое лазерное спекание металлов;
- Литьё полиуретанов;
- Обработка на станках с ЧПУ;
- Постобработка и сборка. ■

#### 3D-ПЕЧАТЬ

1-50 шт., 1-7 дней



#### ЛИТЬЁ

20-100 шт., 6-14 дней



#### ЧПУ

1-200 шт., 1-5 дней



ISO 9001:2008  
«Quality management systems – Requirements»  
(TUV NORD CERT GmbH, Germany)

8 800 222 30 85  
logeeks.ru

# Импортозамещение и 3d-печать: простая связь между сложными вещами

Напряженная геополитическая ситуация и постоянное колебание курса рубля оставляют отечественной промышленности только один выбор — отказаться от закупки импортных деталей и полностью переходить на продукцию собственного производства.

Согласно данным исследования Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2 из 3 предприятий обрабатывающей промышленности в России, прежде всего высокотехнологичные и успешные, значительно зависят от импорта и чувствительны к любому его ограничению. При этом продуктами, технологиями и услугами, приобретенными за рубежом, пользуется 85% промпредприятий.

В первую очередь это касается сферы военной авиации, где зависимость российских компаний часто достигает трети от всех комплектующих, и автомобилестроения, более чем наполовину завязанного на иностранной продукции, а также металлургии, производства медицинской техники и прочих основополагающих сфер экономики России.

Наиболее эффективным способом выхода из сложившейся ситуации станет повсеместная интеграция аддитивных технологий. Во-первых, 3d-печать позволит не менее чем в 2 раза сократить стоимость, при этом уменьшив время производства серийных деталей в 3 раза. Во-вторых, процент брака при изготовлении комплектующих с помощью объемного принтера несравнимо меньше от-

носительно результата, полученного традиционными способами механической обработки. Оператор-фрезеровщик ограничен возможностями фрезера, используемых стратегий фрезеровки, диаметром используемых фрез и углом фрезеровки. Как итог — до 90% рабочего материала идет в отходы.

Так, госкорпорация «Ростех» к 2025 году планирует наладить выпуск гражданской и военной авиации с частично «печатными» (до 20%) авиадвигателями, которые помогут отказаться от европейских и украинских силовых агрегатов. А Региональный инженерный центр (РИЦ) Уральского федерального университета с 2015 года занялся созданием запасных частей для строительной техники и электроприборов и уже тогда продемонстрировал зуб экскаваторного ковша, изначально изготовленного в Великобритании.

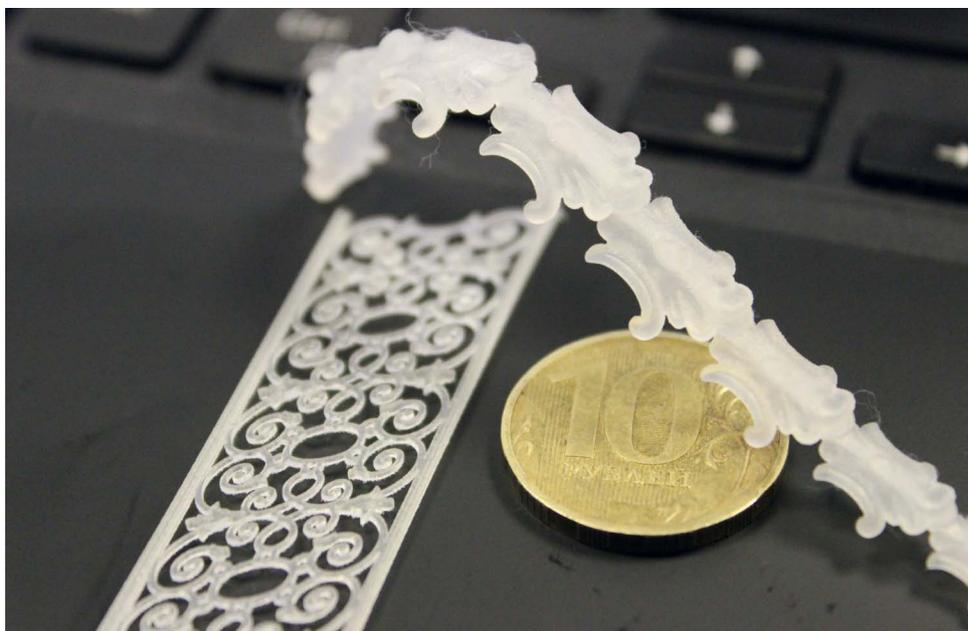
Центр аддитивных технологий 3D Vision поддерживает стремление частных и государственных организаций к переходу на продукцию собственного производства. В конце 2016 года наша компания выиграла крупный тендер на проектирование и изготовление корпусов для камер видеонаблюдения, которые будут использованы в ходе ЧМ 2018. Изначально планировалось закупить французские устройства, но изменение экономической ситуации вынудило заказчика искать другие решения. Для начала выполнения заказа специалистам Центра нужен лишь образец, де-



тализованные чертежи или объемная модель проектируемого устройства, а первые экземпляры продукции можно получить уже через считанные дни после заказа.

Вообще 2017 год для нашей компании можно назвать прорывным в сфере разработок новых устройств. По подсчетам наших специалистов, за неполный 2017 год нашим Центром было изготовлено более 2000 уникальных объектов, связанных с медицинской и военной промышленностями. Среди изготовленных изделий следует выделить корпус устройства для реабилитации мышц после растяжений, комплекс решений по экзоскелету человека, корпус гиростабилизированной многоспектральной оптико-электронной системы широкого назначения для пилотируемых и беспилотных аппаратов.

В середине октября основные достижения 3D Vision будут представлены на московской выставке 3D Print Expo 2017. Приглашаем всех желающих ознакомиться со стендом нашей компании, чтобы убедиться лично: импортозамещение и аддитивные технологии – это две стороны одной медали. ■



## 3D VISION Центр Объемной Печати

Услуги: [mail@3dvision.su](mailto:mail@3dvision.su)

Поставки оборудования и расходных материалов: [info@3dvision.su](mailto:info@3dvision.su)

Телефоны: +7 (812) 385-72-92

+7 (495) 662-98-58, 8 (800) 333-07-58

<https://3dvision.su>

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

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

Зинаида Сацкая

Знание рынка, уникальный набор промышленного оборудования, профессионализм команды вот, на первый взгляд, три кита, на которых базируется успех воронежской компании «Центр технологической компетенции аддитивных технологий». Но, похоже, китов под устойчивым бизнесом Центра несколько больше.

Компания официально открылась в 2015 году. На открытии присутствовали генеральный директор корпорации «Ростех» Сергей Чемезов, министр промышленности и торговли РФ Денис Мантуров, губернатор Воронежской области Алексей Гордеев. Иначе быть не могло, потому что проект, что редкость по нашим временам, был реализован в формате государственно-частного партнерства при поддержке Минэкономразвития РФ, Центра кластерного развития и непосредственно губернатора области. А как выглядела та часть пути, которую к этому эффектному старту прошел сам «Центр АТ»?

Идея зрела в недрах дочерней компании завода «Воронежсельмаш». Как рассказывает Алексей Мазалов, управляющий директор, он, еще учась в «Бауманке» на аэрокосмическом факультете, буквально влюбился в тему аддитивных технологий, копал зарубежные источники, изучал программное обеспечение. Эти знания оказались востребованными на воронежской площадке, а дальше в штат пришли инициативные заинтересованные люди и начали буквально мозговой штурм рынков в поисках современных

наукоемких тенденций. Глубокие маркетинговые исследования убедили в перспективности аддитивных технологий с их взрывным развитием в мире, и с 2013 года начался прицельный подбор оборудования, которое позволило бы сделать технологический прыжок.

«Сегодня мы являемся одним из крупнейших центров в стране по набору высокотехнологичного промышленного оборудования для оказания услуг в области 3D-технологий, — утверждает Алексей Мазалов. — Это 12 систем, 10 из них — промышленные 3D-принтеры, работающие по различным технологиям со всевозможными материалами — от термопластиков до композитов и металла. Я бы сказал, работа с металлом — это особое, наиболее востребованное наукоемкое направление в нашем производстве».

Мой собеседник с нескрываемым удовольствием перечисляет оборудование, которое работает в Центре, потому что, по сути, это представление возможностей Центра по удовлетворению большого числа производственных потребностей заказчиков. 3D-сканер с тремя оптическими зонами фирмы Breuckmann, система селективного лазерного спекания полимерных порошков EOSINT P 395, установка Connex 500 фирмы Stratasys, ProX 100 и 2 единицы Projet 660 от 3D Systems, две системы селективного лазерного сплавления металлических порошков SLM280HL, 3 фотополимерные



Алексей Мазалов,  
управляющий директор «Центра АТ»

установки компании EnvisionTec, а также система вакуумного литья. Есть оборудование для термообработки и механической обработки на станках с ЧПУ. «Хотелось бы отметить, — говорит Мазалов, — что при выборе оборудования фирм 3D Systems и SLM Solutions приоритетом была возможность получить открытое программное обеспечение. Это впоследствии позволило нам освоить методику определения оптимальных параметров сплавления металлических порошков. Наш конек — работа с отечественными порошками и отработка оптимальных режимов построения для отечественных сталей и сплавов. По сути, мы стали хайтековской экспериментальной площадкой по отработке технологий, внедрению аддитивных технологий на промышленных предприя-

тиях, реализации мелкосерийной сложнопрофильной продукции».

Успешно выполненных бизнес-кейсов много, но они, как правило, связаны с закрытыми тематиками, на что у Центра есть лицензия ФСБ. Есть и любимый потребитель — малые и средние предприятия. Это не благотворительность, это прагматизм серьезного бизнеса, для которого малые и средние предприятия с их нетривиальными задачами и инновациями представляют собой «возможность выйти на новую проблематику и решение задач, которые ранее считались нерешаемыми традиционными методами», — говорит Алексей Мазалов.

Немного позже пришла идея начать собственное производство 3D-принтеров, работающих

по FDM-технологии. В компании не скрывают, что это open source проект, доведенный до ума под задачи заказчиков «Центра АТ». С 2015 года реализовано под тысячу единиц. 3D-принтер «Альфа-1» оказался весьма востребованным в учебных учреждениях, а на выходе модернизированный принтер «Альфа-2», таргетированный на конструкторские бюро промышленных предприятий, а также малого и среднего бизнеса.

Таким образом, Центр оказывает целый комплекс услуг в области 3D-технологий: 3D-моделирование, 3D-сканирование, реверс-инжиниринг, проведение контроля качества изделий, выполнение проектов в области промышленного дизайна, изготовление прототипов, опытных образцов, единичной и мелко-

серийной конечной продукции, а также ведет научно-исследовательскую деятельность, проводит тренинги для конструкторско-технологических служб промышленных предприятий и производит собственное оборудование.

Удача сопутствует компании. Но, по мнению мудрецов, удача — это постоянная готовность использовать свой шанс. Команда «Центра АТ» своих шансов не упускает. ■



АО «Центр аддитивных технологий»  
Адрес: 394056, г. Воронеж,  
ул. Солдатское Поле, д. 285/5  
Телефон: +7 (473) 206-77-88  
Сайт: 3d-made.com  
E-mail: sale@3d-made.com

**Мы просто умеем  
делать сложное!**

**3D-ПЕЧАТЬ – ЗАЛОГ УСПЕХА ВАШЕГО БИЗНЕСА**

Россия, г. Воронеж, ул. Солдатское Поле, 285/5  
+7(473)206-77-88  
sale@3d-made.com  
www.3d-made.com

**ЦЕНТР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

# Поставщики оборудования и сырья

Спонсоры раздела



[www.3dquality.ru](http://www.3dquality.ru)



[www.foliplast.ru](http://www.foliplast.ru)



[www.3d.ru](http://www.3d.ru)



[www.ros mould.ru](http://www.ros mould.ru)



[www.bq.com](http://www.bq.com)



[www.amperprint.com](http://www.amperprint.com)



[www.airliquide.com](http://www.airliquide.com)



# 3DQ



# КАЧЕСТВО ВО ВСЕХ ИЗМЕРЕНИЯХ

**3DQuality** — одна из крупнейших российских компаний по разработке и производству 3D-принтеров по системе delta робот. Мы делаем надёжные, простые и доступные 3D-принтеры.

ООО "ТРИДЕКЬЮ"  
117105, г. Москва, Варшавское шоссе, дом 28А  
технопарк "Нагатино", офис 253  
(495) 134-27-54  
[www.3dquality.ru](http://www.3dquality.ru), [info@3dquality.ru](mailto:info@3dquality.ru)

## ТЕХНОЛОГИИ. УСЛУГИ. ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ по направлениям:

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Создание дизайна и проектирование будущего изделия, написание управляющих технологических программ для станков с ЧПУ с использованием современных CAD/CAM/CAE-систем:

- Master CAD/CAM
- Mastercam/Robotmaster
- Sprut CAM
- KUKA CamRob/KUKA SIMTech

**БЫСТРОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ** от дизайна до 3D-модели и конструкторской документации.

Технологии выращивания прототипов по САD-данным без применения оснастки:

- FDM (послойное нанесение расплавленной нити пластика)
- SLA (стереолитография)
- SLS (селективное лазерное спекание порошков полиамида, керамики и др. материалов)
- SLM (селективное лазерное сплавление металлов)

### 3D-СКАНИРОВАНИЕ

#### ВАКУУМНОЕ ЛИТЬЕ В СИЛИКОНОВЫЕ ФОРМЫ

Применяется для быстрого мелкосерийного выпуска деталей из пластика и резины без использования дорогостоящей инструментальной оснастки. Эти технологии востребованы при создании прототипов, испытаниях, НИР и ОКР, необходимости исследования потребительских предпочтений, изготовлении малых партий деталей (от 1 до 100 штук).

#### ЛИТЬЕ ИЗДЕЛИЙ ПОД НИЗКИМ (RIM-технология) и ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Применяется для быстрого мелкосерийного выпуска деталей из пластика и резины без использования дорогостоящей инструментальной оснастки. Эти технологии востребованы при создании прототипов, испытаниях, НИР и ОКР, необходимости исследования потребительских предпочтений, изготовлении малых партий деталей (до 1000 штук).

### ТЕРМИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ ФОРМОВАНИЕ

Технология изготовления опытных образцов, прототипов и малых серий изделий. Применяется для изготовления интерьеров и экстерьеров различных транспортных средств, комбайнов, автобусов, спецтехники, катеров, рекламных вывесок и др.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И РОБОТОТЕХНИКА

Компания «Фолипласт» с 2008 г. работает на рынке автоматизации производственных процессов и предлагает гибкие технологические решения различных уровней сложности с применением робототехники, CNC(ЧПУ)-оборудования, координатных манипуляторов.

### CNC-ЦЕНТРЫ И ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Изготовление разнообразных изделий для потребителей, прототипов из пластика, модельных материалов, оснастки и пресс-форм для термопластавтоматов. Производство всевозможных изделий из термопластичных материалов, отработка технологии литья, отладка пресс-форм и серийного производства.

### ИНЖИНИРИНГОВЫЕ УСЛУГИ

- Оснащение предприятий оборудованием по всему спектру современных технологий «быстрого производства».
- Запуск поставляемого оборудования, гарантийное, постгарантийное обслуживание, обеспечение всеми видами расходных материалов.
- Профессиональное обучение работе на оборудовании, отладка производственных процессов на оборудовании в собственном производстве и демонстрационном зале.
- Онлайн-консультирование по вопросам работы оборудования.
- Обучение написанию управляющих технологических программ для станков с ЧПУ, роботов с использованием соответствующих CAD/CAM/CAE-систем.
- Проведение стажировок, лекций, семинаров в рамках ежегодных президентских программ.
- Работа с вузами для популяризации современных технологий аддитивного производства.

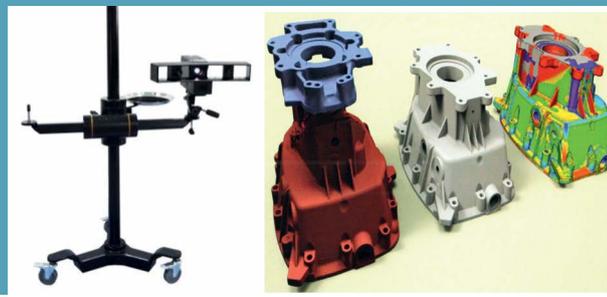
# ФОЛИПЛАСТ

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ • ВАКУУМФОРМОВКА • ППУ  
УСЛУГИ • ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ

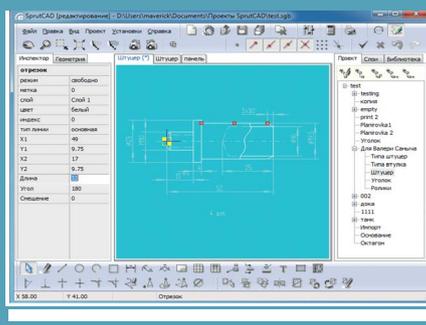
## БЫСТРОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ



## 3D-СКАНИРОВАНИЕ



## ИНЖИНИРИНГОВЫЕ УСЛУГИ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
от дизайна до 3D-модели и  
конструкторской документации

ВАКУУМНОЕ ЛИТЬЕ  
в силиконовые формы

ЛИТЬЕ ИЗДЕЛИЙ  
ПОД НИЗКИМ  
(RIM-технология)  
и ВЫСОКИМ  
давлением



## CNC-ЦЕНТРЫ и ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА



ТЕРМИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ ФОРМОВАНИЕ



АВТОМАТИЗАЦИЯ и  
РОБОТОТЕХНИКА





# Massivit 1800. Мыслите масштабно!

В конце 2016 года на нашем производстве появился уникальный по своим техническим характеристикам 3D-принтер Massivit 1800 от компании Massivit 3D. После полугода работы и ряда успешных заказов мы очень рады поделиться результатами с читателями журнала «Аддитивные технологии».

Историческая справка: компания Massivit 3D была создана в Израиле в 2013 году специалистами, которые ранее работали в таких всемирно известных компаниях, как Hewlett Packard, Stratasys и Scitex Vision Ltd. За первые годы работы компании по всему миру установлено и запущено в работу 25 3D-принтеров Massivit 1800, и количество заказов неустанно растет.

Так что же представляет собой 3D-принтер Massivit 1800? Это огромная машина с рабочей областью 1,2×1,5×1,8 м. В отличие от ранее известных принтеров для 3D-печати больших объектов, главное достоинство 3D-принтера Massivit 1800 — скорость. Разработка специалистов Massivit 3D позволяет печатать масштабные изделия со скоростью 35 см в час по оси Z (в высоту).

Massivit 3D самостоятельно разработала и запатентовала особую технологию 3D-печати, которую

назвали Gel Dispensed Printing (GDP). В основе процесса GDP лежит сочетание обладающего высокой степенью вязкости уникального фотополимерного геля и оптимизации расположения поддерживающих структур.

Принцип работы технологии GDP схож с тем, что используется в системах FDM, но в GDP сопло экструдировывает жидкий светочувствительный материал, который затвердевает под воздействием УФ-ламп, расположенных над печатающими головками. Таким образом, наслаивание и отверждение происходит очень быстро. За счет скорости застывания в принтере Massivit 1800 нет необходимости применять поддержки для горизонтальных поверхностей, что позволяет экономить материал и время и ранее было не под силу аналогичным технологиям 3D-печати.

Выдающимся достоинством данного 3D-принтера Massivit 1800 является наличие двух независимых печатающих головок, благодаря чему в пределах рабочей области можно одновременно печатать два различных изделия или же две части одного объекта, что позволяет создавать фигуры размером свыше 3 метров при последующей склейке.

Помимо упомянутых преимуществ у «Массивита» есть еще одно, и немаловажное — простота процесса постобработки. Застывший послойно дименгель отлично поддается шлифовке и обладает прекрасной восприимчивостью к окрашиванию и лакокрасочным покрытиям.

Основным нашим проектом в этом году стала подготовка к международной выставке EXPO 2017 в сто-





лице Казахстана Астане. Мы приняли участие в производстве 12 стендов для павильона Energy Best Practices Area. Благодаря «Массивиту» нам удалось существенно ускорить ход работы над некоторыми проектами, требующими крупномасштабной печати.

Для Andrytz Hydro мы печатали лопасти ветряков и рыбок (размер турбин 1,5 м, 2,5 м, 3,5 м, 12 рыбок размером от 25 см до 50 см, время печати всех элементов 3 дня, подготовка поверхности и покраска — 5 дней).

Для стенда Global Himalayan Expedition мы создали макет Гималайских гор размером 4×1 м. Эту работу мы выполнили за пять недель, из которых неделя ушла на печать, две на наполнение двухкомпонентным полиуретаном, склейку, шлифовку, шпаклевку, и еще две недели на кропотливое раскрашивание горного массива. Постройки мы печатали из гипса на Projet 660.

Оперативность выполнения заказов в рекламном бизнесе подчас бывает приоритетом в наше стремительное время. Massivit 1800, несомненно, является ответом на вызовы 3D-печатной и рекламной индустрии. Если требуется качественно выполненная крупномасштабная работа и нужна она «вчера», то Massivit 1800 превзойдет по скорости ее выполнения любой из существующих способов производства. ■

- Большой парк профессионального 3d-оборудования:
  - 3d-печать
  - 3d-моделирование
  - 3d-сканирование
- Прямые продажи 3d-оборудования и расходных материалов
- Создание контента для дополненной и виртуальной реальности
- Digital-решения

141008, г. Мытищи, ул. Колпакова,  
дом 2, строение 13, этаж 5  
Телефон: +7 495 212 07 01  
www.3d.ru, e-mail: info@3d.ru



Создание контента для дополненной и виртуальной реальности

Большой парк профессионального 3D-оборудования

3D-печать

3D-моделирование

3D-сканирование

Прямые продажи 3D-оборудования и расходных материалов

Digital\* решения

Международная специализированная выставка  
International Specialized Exhibition

# ROS Mould

**19 – 21.06.2018**

МВЦ «Крокус Экспо», Москва  
IEC "Crocus Expo", Moscow

## Разделы выставки

Дизайн и проектирование изделий  
Формы, пресс-формы и штампы  
Инструмент и оснастка  
Аддитивное производство и 3Д печать  
Сырье и материалы  
Оборудование и технологии  
Средства автоматизации и контроля качества

## Exhibition Topics

Design and Product Engineering  
Moulds, Die-Moulds, Stamps  
Instrument and Shape-Generating Equipment  
Additive Manufacturing and 3D Printing  
Raw Materials and Components  
Equipment and Technologies  
Services and Solutions for Manufacturing



[www.rosmould.ru](http://www.rosmould.ru)  
+7 495 649 87 75



messe frankfurt

mesago

Messe Frankfurt Group

Witbox Go!



# Лампа Аладдина. Настоящая.



reddot design award  
winner 2017

eu MADE IN EUROPE



Первый в мире 3D-принтер  
с процессором Qualcomm®



Датчик филамента  
для автоподбора настроек



Первый в мире 3D-принтер  
на ОС Android



Подключение по Wi-Fi,  
обновление по OTA



Собственный софт Zetup  
для ПК и мобильное приложение



Управляется со смартфона,  
интеграция с MyMiniFactory



Печать из коробки, автоматическая  
калибровка без использования  
средств повышения адгезии



Первая презентация  
на 3D Print Expo 2017

[bq.com/witbox-go](http://bq.com/witbox-go)

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: перспективы и тенденции

Зоя Таджева, LSN Diffusion UK



Глобальные перспективы —  
в игру вступают «голубые фишки»

Ряд знаковых сделок M&A (слияний и поглощений компаний) и событий, происходивших на рынке во второй половине 2016 года, позволяют сделать заключение: аддитивные технологии включены в портфолио транснациональных корпораций, что наконец-то ускорит процесс индустриализации этих технологий.

Прежде всего хочется обратить внимание на некоммерческие, на первый взгляд, события которые в итоге окажут существенное, в том числе и финансовое влияние на индустрию, — создание инновационных хабов, как пример: Additive Minds Frankfurt (EOS) и Customer Experience Centre, Мюнхен (GE Additive), проведение отраслевых конференций. Так, инновационный центр Additive Minds работает на развитие индустрии через решение широкого спектра задач и имеет следующие подразделения:

- Additive Mind Consulting — техническая экспертиза и реализация конкретных проектов;

- Additive Mind Innovation Centre — инновационный хаб, где в течение 6–18 месяцев готовится команда специалистов для конкретного предприятия для создания производства «под ключ»;

- Additive Minds Academy — создание своего учебного центра совместно с вузами для подготовки специалистов по специальности «инженер 3D-технологий».

А, например, о значимости конференции Additive Manufacturing Industrialization, Applications, Business Models, организуемой Oerlikon в октябре 2017 года, можно судить по заявленным темам докладов и списку участников панелей и дискуссий. Это не только ключевые участники рынка аддитивных технологий, но также государственные структуры и международные финансовые организации (например, представитель Международного экономического форума, глава Министерства экономических отношений, энергетики и технологий, Бавария, Германия). В заявленной повестке дня не только презентация технологий и решений, но и обсуждение социальной ответственности бизнеса, тех глобальных трансформаций, которые претерпят индустрии благодаря массовому внедрению АТ.

Если вернуться к теме сделок по M&A, конечно, в первую очередь вспоминается нашумевшая «сделка века в 3D-индустрии» — покупка GE Additive в 2016 году двух производителей: Arcam

и Concept Laser, которая затмила инициативы иных технологических лидеров. Те же при более пристальном изучении могут поспорить с GE в уровне компетенций.

Например, текущий лидер индустрии EOS не готов уступить пальму первенства — подтверждением служит стратегический альянс EOS с Aerotec и Daimler — создание NextGenAM project — полностью роботизированного цифрового производства с применением АТ для массового производства.

Вообще для того, чтобы определить лидера в этой технологической гонке, необходимо проводить комплексный анализ и оценивать по нескольким ключевым факторам. Пример такого качественного анализа компетенций представлен в таблице 1. Интерпретацию качественных значений в количественные оставим за рамками этой статьи.

В заключение этого раздела добавим: некоторые индустриальные аналитики делают ставку на то, что для GE Additive новым объектом для покупки станет 3D Systems, что в итоге позволит сформировать портфолио основных технологий.

## Региональные тенденции

Аддитивные технологии отличаются от традиционных индустрий, в том числе и по географическому распределению ключевых регионов. Например, Китай вы-

# AMPERPRINT®

THE POWDER TO CREATE

## Powering the sky

We are your innovative partner from prototyping  
to large scale production



H.C. Starck 

[amperprint@hcstarck.com](mailto:amperprint@hcstarck.com)  
[www.amperprint.com](http://www.amperprint.com)



	Производство материалов/материаловедение	Производство оборудования	Производство программного обеспечения	Собственные производственные / сервисные центры	Дополнительные факторы
GE Additive	AP&C (приобретена Arcam в 2014 году)	Приобретение в 2016 году двух производителей оборудования: Arcam и Concept Laser за рекордную сумму в 1.3		Программа сертификации независимых производственных центров – к условиям относятся: оснащение оборудованием Arcam/CL, покупка материалов у AP&C, ряд дополнительных требований.	Лидерство в областях, которые представляют приоритетную цель для экспансии AT: - медицина - авиа - энергетика - автопром
Siemens	Material Solutions UK (принадлежит 75%)		Стратегический альянс с Materialise NV по интеграции софтверных решений		Digital Factory ERP – система для цифрового производства
Oerlikon	Новые мощности для производства материалов для AT (Мичиган, США)	Подписание меморандума о намерениях с GE Additive – поставка машин производства GE		CITIM GmbH	Организация первой глобальной отраслевой конференции (октябрь 2017 Мюнхен)

ступает в 3D-индустрии не догоняющим аутсайдером, а лидером и ключевым игроком. На текущий момент в Юго-Восточной Азии представлено немало производителей оборудования – причем наибольшее количество именно в Китае (табл. 2). Мне приходилось посещать заводы ряда китайских производителей оборудования, а также экспонироваться на выставке TCT Asia (Shanghai) в текущем году – на

Таблица 2.

Производитель	Страна	Технология
TSC	Китай	SLM
AVIC Qingdao Qianshao Precision Machinery	Китай	SLM
Beijing Lomgyaan Automated Fabrication System (AFS)	Китай	SLM
Shining 3D	Китай	SLM
Beijing E-plus-3D Tech	Китай	SLM
Jiangsu Bright Laser Technology BLT	Китай	LDM/SLM
Farsoon Technologies	Китай	SLM
Raycham Laser Technology Co	Китай	LDM/SLM
Yongnian AMT	Китай	SLM
Wuhan Binhu Mechanical &Electrical Co	Китай	SLM
InssTek	Корея	LDM
Matsuura	Япония	SLM
Aurora Labs 3D	Австралия	SLM

равне с Formnext, TCT UK, AMUG, RAPID она относится к наиболее посещаемым и значимым выставкам в индустрии. Хочу отметить, что западные игроки, в том числе и наша компания, уделяют пристальное внимание данному региону. Дело в том, что производители оборудования из Юго-Восточной Азии сразу взяли курс на завоевание европейского и американского рынков.

Очевидно, что, представляя оборудование на европейском рынке, китайские производители должны доказать покупателю, что их машины работают и с материалами локального производства. Наглядным примером тому служит компания Farsoon Technologies с их выверенной стратегией географической экспансии:

– на европейском рынке интересы Farsoon представляет LSS – Laser Sintering Service (Германия);

– за завоевание американского и канадского рынков отвечает компания Farsoon

Americas, которую возглавил Боб Эванс – индустриальный ветеран (в прошлом Prodways, Incodema, Linear Mold).

Хотелось бы отметить и компанию Xi'An Bright Laser Technology BLT – я в текущем году посетила ее производственные мощности в городе Шиан (в Китае его называют с гордостью «наша Тулуза» – в Тулузе находится основное сборочное производство Airbus). BLT является одним из крупнейших в мире сервис-центров с более чем 40 принтерами. Ее клиентами являются не только национальные корпорации, но также и Airbus. С 2016 года BLT также представляет на рынке свои собственные машины – серий C и S (технологии SLM и LMD), причем BLT-S300 уже получила признание – ей присуждена была награда Red Dot за дизайнерское решение.

Однако западные производители оборудования также видят для себя перспективы на китайском рынке – так, в конце сентября компания

SLM Solutions заявила о заключении сделки по разовой продаже одному клиенту 50 принтеров SLM 280 на сумму 43 миллиона евро. Поставки оборудования будут осуществляться в 2017–2020.

Столь активное внимание в регионе к аддитивным технологиям имеет несколько очевидных причин:

- Юго-Восточная Азия традиционно играет ключевую роль в автомобильной промышленности;
- формирующийся национальный рынок самолетостроения — анонсированная COMAC (*Commercial Aircraft Corporation of China*) программа создания собственных самолетов для сокращения неэффективной внерыночной зависимости Китая от корпораций Airbus, Boeing.

#### Ключевые проблемы

Ключевыми проблемами остаются высокая стоимость материалов и принтеров. Пока един-

ственной инициативой на рынке является Desktop Metal — однако если оценивать покупку данного принтера по принципу Total Cost of Ownership, то ценовое преимущество нивелируется применением порошков MIM с мелкой фракцией, которые безусловно дороже тех, что применяются для принтеров, работающих на технологиях SLM/EBM/LMD.

Так как наша компания производит порошковые сплавы для аддитивных технологий, мы на регулярной основе отслеживаем, какие материалы востребованы потребителями. И в 2017 году стоит отметить только получение сертификата компанией Safran Power Units (Франция) на применение порошкового сплава Hastelloy X для производства деталей eAPU60 технологией SLM (ранее деталь изготавливалась литьем из сплава Инконель).

#### Выводы

В текущем году рынок аддитивных технологий демонстрировал уверенный стабильный рост без событий, предвещающих кардинальные изменения: наблюдается дальнейшая реализация транснациональными корпорациями заявленных планов по присутствию на рынке аддитивных технологий, а также начало институционализации индустрии. ■

Зоя Таджева — ведущий менеджер по маркетингу LSN Diffusion UK. В компании занимается сбором и анализом рыночной информации по материалам для аддитивных технологий (АТ), участвует в разработке функциональных стратегий, работает с ключевыми клиентами, имеет десятилетний опыт работы в индустрии производства металлических порошковых сплавов.

LSN Diffusion LTD — международная компания — производитель металлических порошковых сплавов на основе никеля, кобальта, железа для аддитивных технологий. Годовые производственные мощности компании составляют порядка 1000 тонн. Кроме того, компания является официальным вендором для ряда европейских и азиатских производителей оборудования для АТ.



109147, Россия, Москва  
ул. Воронцовская, 17  
тел. +7 (495) 641 2898  
[www.airliquide.com/russia](http://www.airliquide.com/russia)

Группа компаний «Эр Ликид» является мировым лидером в производстве газов для промышленности, здравоохранения и защиты окружающей среды. Большое внимание компания уделяет развитию инновационных технологий. «Эр Ликид» предлагает газы высокого качества как для атомизации при производстве порошков, так и для создания инертной атмосферы — аргон с чистотой до 99,999% и азот (99,999%). Новые баллоны «Эр Ликид» эргономичны и просты в эксплуатации, обеспечивают неизменное качество газа, а повышенный объем баллона — 50 л — его увеличенное количество. Несмотря на то, что баллон имеет большой объем, это почти не отразилось на его габаритах благодаря использованию специальной стали. Моноблоки «Эр Ликид» имеют по 16 баллонов. Они соединены в единый сосуд и размещены внутри сварного каркаса. Давление газа в моноблоке до 300 кгс/см<sup>2</sup> для азота и аргона. Рабочий объем газа достигает 225 нм<sup>3</sup> для азота и 245 нм<sup>3</sup> для аргона.



Доставка баллонов и моноблоков осуществляется собственным транспортом «Эр Ликид», оснащённым навесным вилочным погрузчиком. Дополнительно мы предлагаем металлоручья, регуляторы давления, рампы и другое оборудование.

# AEROTEX — новый материал для 3D-печати беспилотников

*Руслан Молчанов, разработчик AEROTEX, компания Filamentarno!*

Чувствуя потребность рынка FDM 3D-печати в новых конструкционных материалах, расширяющих возможности аддитивных технологий, компания Filamentarno! продолжила работу по внедрению запатентованной ею технологии изготовления вспениваемых материалов для 3D-печати и расширению их ассортимента. Сейчас в завершающей стадии тестирования находится новый вспенивающийся материал на основе модифици-

рованного пластифицирующими и адгезионными добавками сополимера стирола и акрилонитрила. Новый композит, усиленный углеродным волокном, получил рабочее название AEROTEX. Название прозрачно намекает на ту сферу использования, для которой предназначен данный композит. Для авиации вес и прочность имеют решающее значение!

Качество материала для 3D-печати определяется двумя основными показателями: межслоевой адгезией и усадкой полимера.

Усадка полимера, особенно в сочетании с низкой межслоевой адгезией, зачастую приводит к таким дефектам печати, как деламация (растрескивание распечатки по слоям), деформация, коробление и отслоение от поверхности печатного стола. Если при литье из термоэластопластов усадку можно учесть при проек-

тировании пресс-формы, то при печати это далеко не всегда представляется возможным.

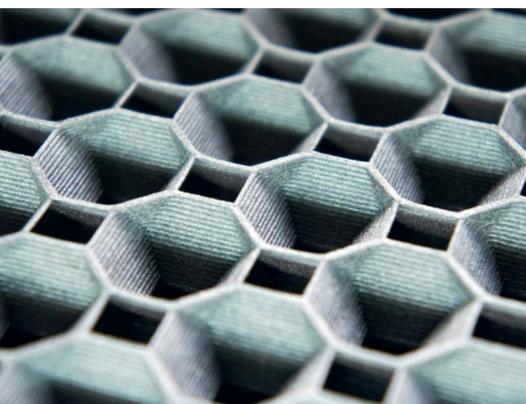
Известны две основные технологии уменьшения усадки заданной полимерной основы, с успехом применяющиеся в литье:

1. Введение в полимерную матрицу наполнителя, имеющего меньшую, чем у полимера, усадку и/или волокнистую структуру.

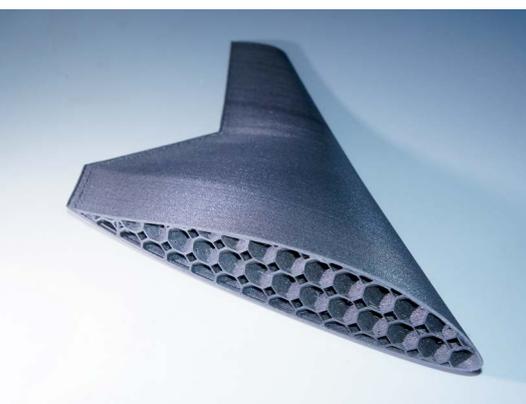
2. Подвспенивание полимера введением газа напрямую в расплав или с использованием химических вспенивателей. Вспенивание происходит на этапе переработки гранул или порошка полимера в экструдере непосредственно перед инъекцией расплава в литейную форму.

Подвспенивание полимерной основы до недавнего времени не применялось в 3D-печати. Первыми, кто рассмотрел в этой технологии серьезные перспективы,

*Рис. 1*



*Рис. 2*



*Рис. 3. Куб 10×10×10 см с заполнением 5%, напечатанный из ABS и AEROTEX*

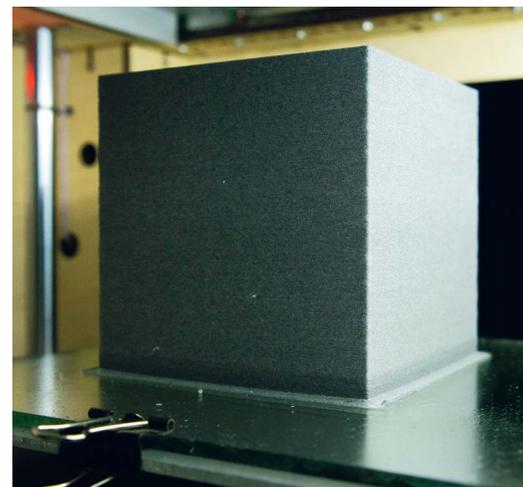
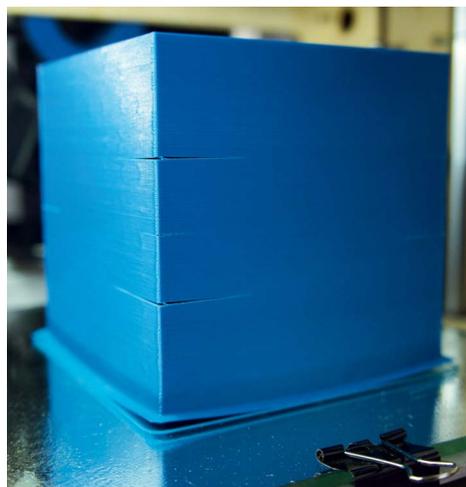


Рис. 4. Изделия из CERAMOTEX



была компания Filamentano!, выпустившая филамент для 3D-печати, аналогов которому до сих пор нет во всем мире: CERAMOTEX.

Вспенивающийся во время печати пруток позволяет получать распечатки с низкой плотностью и текстурной поверхностью. В этом году материал был обновлен — сменена полимерная основа, за счет чего удалось добиться высоких скоростей печати и коэффициента вспенивания полимера. Фактически CERAMOTEX предоставляет возможность пе-

чатать на 3D-принтере твердым пенопластом с плотностью до 0.55 г/см. Для сравнения — это плотность древесины березы. Плотность же популярных полимеров для 3D-печати составляет от 1.02 г/см<sup>3</sup> (ABS) до 1.25 г/см<sup>3</sup> (PLA)!

Внесение в полимер волокнистых наполнителей (стекловолокна или углеродного волокна) имеет определенные минусы, особенно заметные при 3D-печати такими материалами. Неорганические волокна имеют абразивные свойства, что при высокой их концентрации в полимере может вызвать быстрое изменение диаметра сопла принтера с неизбежным ухудшением качества распечатки. Да, сопла для FDM 3D-принтеров недороги, но при высокой наполненности полимера сопло может изменить диаметр уже к концу одной (!) многочасовой печати.

Также любой волокнистый наполнитель обладает тиксотропными свойствами — иначе говоря, он увеличивает густоту расплава полимерной матрицы. Это приводит либо к понижению скорости пе-

чати подобным композитом, либо неизбежно влечет за собой повышение необходимой температуры печати. Температуру приходится повышать чтобы увеличить текучесть расплава. Однако всему есть пределы, и эти пределы определяются возможностями принтера по максимальной температуре печати либо термостойкостью полимерной основы.

Межслоевая адгезия — это спайка между последовательно наносимыми во время печати слоями полимера. Чем выше прочность этой спайки, тем прочнее получаемая распечатка.

Адгезия между слоями в 3D-печати — это слабое звено, определяющее прочность всего изделия в целом. Это касается и угленасыщенных композитов для FDM 3D-печати: волокно

Рис. 6. Пример расслоения распечатки из ABS

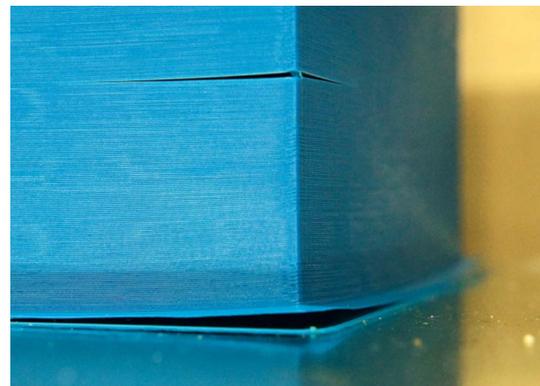
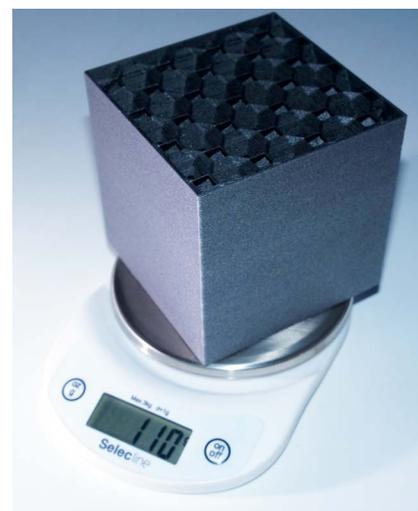
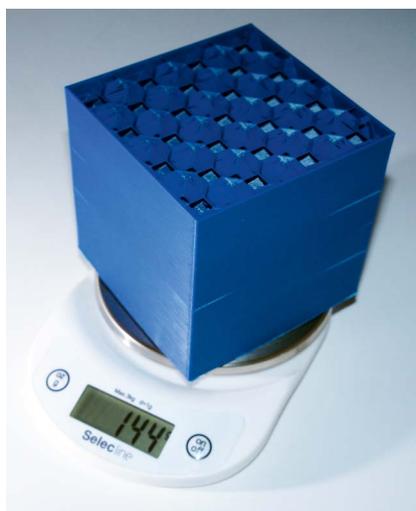
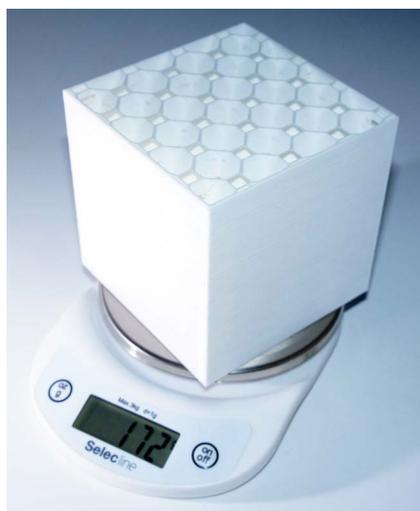


Рис. 5. Одинаковые распечатки из: PLA (вес 172 г), ABS (вес 144 г, деламация), AEROTEX (вес 110 г)



не участвует в формировании межслоевых связей, и анизотропия свойств распечаток из подобных композитов еще ярче выражена. Фактически они напоминают очень прочный, но легко расслаивающийся картон.

В новом материале разработчикам удалось добиться минимальной анизотропии механических свойств распечатки вдоль и поперек слоев печати. Благодаря вспениванию полимера при нагреве во время печати поверхность наносимого слоя получается весьма развитой, что увеличивает площадь контакта с расплавом полимера при нанесении следующего слоя. Тогда как углеволокно, со-

*Рис. 7. Пластина 1 мм толщины, напечатанная вертикально. Трещина при механическом разрушении идет в произвольном направлении, что свидетельствует об однородности механических свойств вдоль и поперек слоев распечатки*



держась в композите, создает трехмерную структуру на границе спайки, фактически выступая связующей арматурой и еще больше увеличивая связь между слоями.

Благодаря сочетанию двух известных и запатентованной компанией Filamentarno! технологий удалось создать легкий и прочный материал с высочайшей спайкой между слоями и минимальной усадкой.

AEROTEX найдет применение в сфере разработки и постройки радиоуправляемых моделей: самолетов, планеров, мультикоптеров и других типов БПЛА. Твердость, ударопрочность и не достижимый для традиционно используемых для 3D-печати материалов малый вес распечатанных деталей и узлов дарит новые возможности в строительстве беспилотных летательных аппаратов.

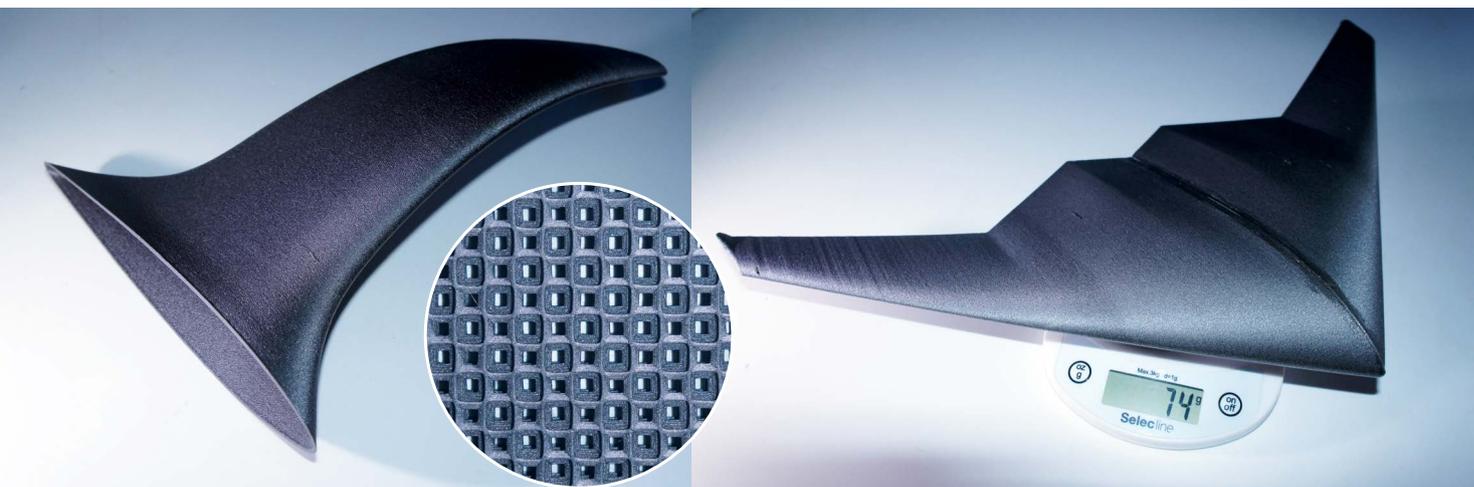
Распечатки из нового материала легко обрабатываются, их можно сверлить, резать, в том числе и с использованием абразивных дисков и фрез, в них можно вкручивать винты и саморезы, склеивать, шлифовать и окрашивать. Во многом полученный композит напоминает плотное дерево, и это сходство не ограничивается тактильными ощущениями при работе с ним. Плотность материала можно варьировать настройками печати от 0.8 до 0.7 г/см<sup>3</sup>. Благо-

даря добавке углеволокна удалось минимизировать усадку, а каркасные свойства волокон ускоряют затвердевание расплава, позволяя печатать поразительные нависающие элементы-«мосты» и объёмные конструкции.

Проектирование и постройка крыла или фюзеляжа — это весьма трудоемкий процесс, требующий не только знаний в аэродинамике, но и навыков работы с большим количеством материалов, владения обширным инструментарием и, как следствие, помещением под мастерскую. Внедрение же 3D-печати максимально упростило бы жизнь моделиста, но до настоящего момента попросту не было материалов, обладающих совокупностью необходимых свойств. AEROTEX убирает последние барьеры на пути внедрения доступной FDM 3D-печати в такую важную и динамично развивающуюся отрасль.

*Возможность отойти от традиционных технологий и материалов в постройке БПЛА, минимизировать ручной труд и максимально сократить время постройки позволит сосредоточиться на техническом творчестве, развяжет руки дизайнерам и, мы надеемся, привлечет к теме авиации еще больше талантливых молодых людей! ■*

*Рис. 8. Распечатки из AEROTEX*



# Проблемы проектирования для аддитивных технологий

Smartec, [www.safran.ru](http://www.safran.ru)

Появление аддитивных технологий изменяет как индустрию производства заготовок и деталей для машин и механизмов, так и всю связанную с этим экосистему. С развитием новых технологий появляются новички рынка, предлагающие различные процессы изготовления, инновационные производственные станки, методики, навыки и новые возможности для конструирования. Это приводит к повышению конкуренции в этом сегменте.

## Ограничение девиза «свобода конструирования»

Конструктор более не связан ограничениями, накладываемыми машинной обработкой или изготовлением литейных форм. Аддитивное производство позволяет изготавливать сложные изделия, которые до настоящего времени было невозможно получить традиционными методами. Условия конструирования меняются. Становится возможным преодолеть некоторые ограничения и усовершенствовать функциональность изделия или объединить новые функции в одном продукте. Однако появляются новые проблемы и задачи. Даже если технологические вопросы были решены, условия конструирования остаются сложными. Вдобавок к новым производственным возможностям конструктор всегда должен принимать в расчет техническую и функциональную спецификацию продукта. Они вклю-

чают в себя аспекты, связанные с ремонтпригодностью, сборкой, также как и потенциально новые феномены (на данный момент это динамические характеристики системы, остаточные напряжения, аэродинамическое и термическое поведение). Также возможно изменение анализа отказов. Кроме того, условия производства влияют на механические свойства материала, и это требует дальнейшего изучения.

Граница между возможностью производства традиционным путем и по аддитивной технологии определяется осмыслением новых параметров, связанных с изготовлением и ценой.

## Индустриализация новых способов производства

Происходит быстрая индустриализация новых аддитивных способов производства и связанных с ними методик (например, для технологии SLS в авионавтике уже достигнут высокий уровень готовности технологии — Technology Readiness Level). Для того чтобы лучше понять и контролировать наиболее важные параметры: толщину слоя, скорость построения объекта, термические эффекты, качество используемых порошков, изменение механических свойств материала и т.д., проводятся многочисленные исследования.

Лабораторные испытания проходят на существующих деталях, часто при этом в фокусе находят-

ся оптимизация массы. Тем не менее финальной целью является эксплуатационная сертификация продукта в течение всего его жизненного цикла. До сих пор мало ресурсов направлено на осуществление перехода на более высокий уровень, означающий инженеррию, полностью посвященную аддитивному производству.

Основываясь на своем опыте разработки компонентов и анализа отклонений в авиационной сфере (более 15 лет), инженерный центр Smartec использует свои профессиональные качества для развития методик конструирования под аддитивные технологии и рассчитывает занять свое место в данной экосистеме.

Smartec — специализированное конструкторское бюро, основанное в 2001 году холдингом Safran, владеющим контрольным пакетом акций в 70% уставного капитала, и российской двигателестроительной компанией «ОДК-Сатурн», владеющей 30% акций. Smartec специализируется на разработке различных типов двигательных и газогенераторных установок, включая гражданские авиационные двигатели и силовые установки. Деятельность конструкторского бюро, в котором работает 150 ведущих инженеров России, охватывает весь жизненный цикл этих систем, от проектирования и моделирования до доводочных испытаний и эксплуатационной поддержки.

Рис. 1. Исходная геометрия кронштейна

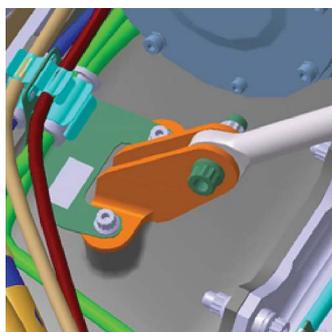


Рис. 2. Обвязка двигателя SaM146

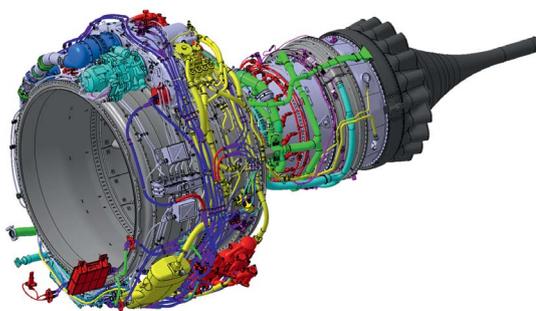
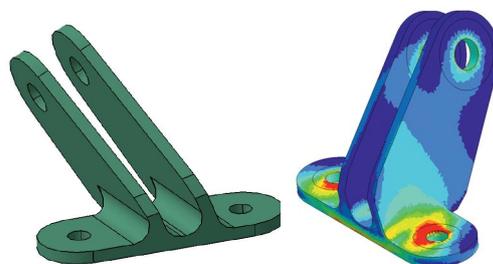
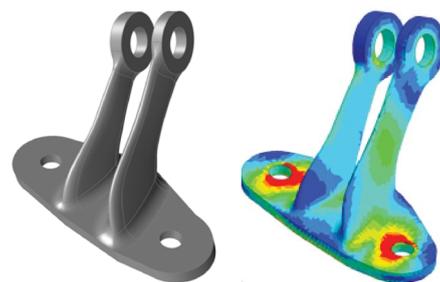


Рис. 3. Исходный кронштейн и варианты его оптимизации

Исходная деталь



Оптимизированная деталь — версия 1



Оптимизированная деталь — версия 2

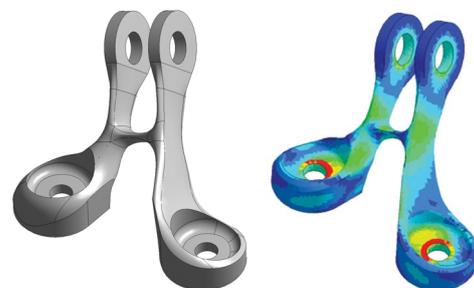
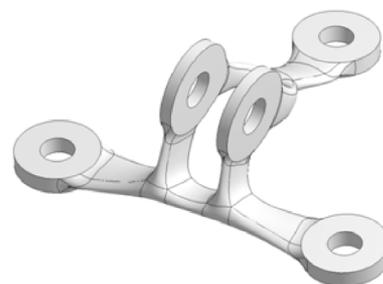
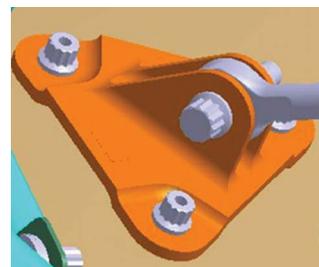


Рис. 4. Исходный и оптимизированный кронштейн



## Проект EFAM 2020

Исследовательский проект EFAM 2020 (Engineering For Additive Manufacturing 2020 — инженерия для аддитивного производства) был запущен в 2016 году в сотрудничестве с российскими и французскими партнерами, университетами и центрами аддитивного производства. Целью этого проекта (разделенного на 3 фазы) является развитие способов и навыков конструирования как для аддитивного производства, так и для аддитивного ремонта к 2020 году.

Целями и задачами проекта являются постепенное усовершенствование навыков этого конструкторского бюро и, в более широком смысле, подготовка будущего поколения конструкторов и разрушение барьеров между конструированием, моделированием и производством.

## Цепочка оптимизация — прототипирование

Первая фаза проекта (2016–2017 гг.) состояла в выполнении первичной цепи оптимизации: начиная с функционального анализа, оптимизации и проверочных расчетов и заканчивая изготовлением прототипов (на установках SLM и LMD). Одной из целей является преодоление обычных затруднений между конструкцией детали, моделированием и расчетами, особенно с помощью изменения образа мыслей при

разработке концепции. Для оптимизации был выбран кронштейн (рис. 1) обвязки авиационного двигателя (рис. 2). Он интересен тем, что существует множество похожих оптимизируемых деталей (и даже стандартизуемых). Также этот кронштейн небольшой по объему, что делает его подходящим выбором для подтверждения концепции.

## Стратегия и ограничения оптимизации

Для проведения оптимизации была определена стратегия, были заданы цели, которые требовалось достичь, особенно касающиеся снижения массы. Многочисленные ограничения были наложены на оптимизируемую деталь, такие как: критерии сборки, механическая целостность с учетом установленного уровня надежности, допустимый объем и пр. Параметры, связанные с оптимизацией, также были определены, в том числе: жесткость, критическая масса и расчетные случаи (данные по температуре, собственной частоте, много- и малоциклового усталости или отрыве лопатки).

Соблюдая все технические и функциональные спецификации, для кронштейна, показанного на рис. 1, масса была снижена на 35% при сохранении достаточного запаса прочности и необходимой жесткости. Другие кронштейны были сконструированы

Рис. 5. Оптимизированный и изготовленный кронштейн с использованием технологий SLM и LMD



с выигрышем до 75% исходной массы (рис. 4).

Эта оптимизация принимает во внимание характеристики порошка, свойства получаемого аддитивного материала при следующих характеристиках процесса: толщина слоя 30 мкм, температу-

ра платформы 200°С, температура в камере 50°С, скорость построения 35 см<sup>3</sup>/час. На рис. 5. приведены примеры изготовленных кронштейнов по технологии SLM и LMD.

#### Цифровая среда

На данный момент можно отметить тенденцию к сведению всех этапов разработки и производства в единую цифровую среду, которая может обеспечить сквозной контроль над всем процессом создания изделия: от разработки до проверочных расчетов, от соответствия требованиям до изготовления. Тем не менее использование широко распространенных программных пакетов позволяет обеспечить определенную гибкость, чтобы учесть специфические особенности деталей и технологический опыт предприятий (в том числе в области цифровых технологий).

#### Последующие шаги

Следующие шаги проекта EFAM 2020 определяются более широким развитием методик и оптимизационной цепи, а также внедрением многопараметрической системы. Повышение сложности компонентов позволит совершенствовать навыки конструирования и проектирования. Топологическая оптимизация, направленная на снижение массы, является только одним из первых шагов. Будущее разработок свяжет аддитивные технологии в течение всего жизненного цикла. Таким образом, реинжиниринг откроет новые пути к улучшению характеристик продукта, к его доступности (с помощью аддитивного ремонта) и даже к снижению критичности типов отказа либо продлению жизненного цикла. ■



## IV Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее»

Дата: **20.03.2018**  
начало — 10:00.  
Адрес: г. Москва,  
ул. Радио, д. 17  
(вход со стороны  
ул. Доброслободской),  
**ФГУП «ВИАМ»**

Регистрация на сайте  
<https://conf.viam.ru/>  
Контактная  
информация:  
(499) 263–89–17

#### 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».

# Топологическая оптимизация геометрии изделия как путь повышения прибыльности предприятия

Алексей Чехович, ведущий технический эксперт iQB Technologies

Если говорить сухим академическим языком, топологическая оптимизация — это процесс изменения конструкции, структуры детали и ее варьирующихся параметров при заданном критерии оптимальности с сохранением или улучшением ее функционала.

Рассмотрим на конкретных примерах, зачем данная технология необходима при создании сложных изделий и как она помогает оптимизировать производственные процессы на предприятии. Возьмем две детали, выполняющие одну и ту же функцию с определенными нагрузками и имеющие определенный ресурс (рис. 1). По сути, это одна и та же деталь, но с разной геометрией. Геометрия первой детали оптимизирована для изготовления стандартными методами производства на фрезерном, токарном станке и средствами других металлообрабатывающих технологий. Это простая и плоская геометрия, ее легко добиться при обработке на станке. У второй детали геометрия более сложная, и сделать ее на станке представляет серьезные трудности.

## Геометрия без ограничений

Когда еще не существовало аддитивных технологий, а были только субтрактивные, то вопрос геометрии не стоял так остро и решался доступными

способами. Топологическая оптимизация позволяет изменить стандартную геометрию на геометрию, специально адаптированную под определенную технологию. И это может быть и традиционная технология (например, литье), и аддитивный процесс.

Согласно данным, у второй детали меньше напряжение, меньше перемещение под нагрузкой и, самое главное, вес уменьшился на 1 кг. Для одной детали немного, но если их выпускают сто тысяч в год, то суммарно мы можем сэкономить сто тонн металла только на одной детали.

Программное обеспечение для топологической оптимизации не строит модель объекта с нуля. В него загружается геометрическая модель изделия, ранее изготовленного другим методом. Когда загрузили модель, мы отмечаем места, которые не подлежат изменению, например, крепления. Все остальное, что не попало в эти зоны, но принадлежит детали, является так называемой design space, то есть той зоной, где программа может менять геометрию. Затем мы в соответствии со служебным назначением изделия накладываем нагрузки, которые деталь должна выдерживать, то есть создаем силовую схему нагрузок. И далее в соответствии с заданными нами параметрами программа начинает создавать новую оптимизированную геометрию. Между неизменными местами для крепления она выстраивает новую модель, а затем анализирует напряжение в каждом сечении — выдерживает его сечение или нет. Если не выдерживает, то программа меняет сечение.

Процесс построения новой модели довольно затратный по времени и требует больших вычислительных ресурсов. Этот метод моделирования называется методом конечных элементов. Для каждой точки изделия программа составляет и решает интегральные уравнения, учитывая при этом взаимосвязи между всеми точками. В результате расчета получается новая геометрия. Затем конструктор может изменить что-то в модели, если это необходимо. В итоге получается САД-модель. Далее для верификации модель загружается в другое программное обеспечение, в котором она проходит финальную проверку на максимальные деформации, напряже-

Рис. 1. Оптимизация геометрии детали средствами аддитивных технологий



3D-печать

Масса	3,703 кг	2,670 кг (↓ 28%)
Максимальные напряжения	1045/1045 МПа	897/600 МПа
Перемещения под нагрузкой	2,29/2,15 мм	1,72/1,45 мм

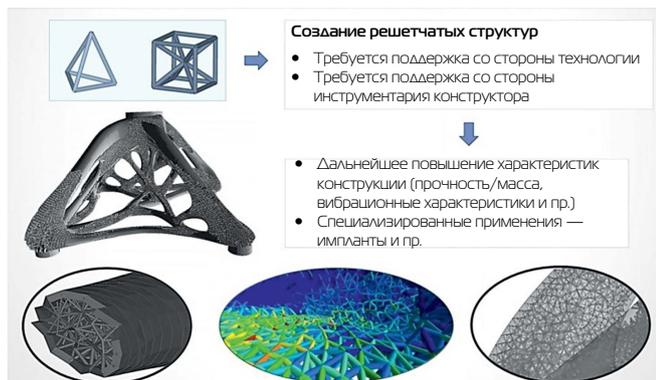
ния и пр. Затем геометрия утверждается и может быть передана в производство. При этом программное обеспечение умеет оптимизировать геометрию под разные виды производства: под литье, штамповку, ковку или под аддитивное производство.

Топологическая геометрия, как правило, имеет аморфные формы, в ней нет плоских, прямых линий, могут быть сплайны второго порядка. При соблюдении тех же самых свойств и нагрузочных характеристик такое моделирование позволяет уменьшить массу изделия, и, следовательно, сократить издержки на производство. Понижение массы изделия при сохранении функционала изделия — это задача номер один в самолетостроении, авиакосмической отрасли и автомобилестроении.

### Создание ячеистых и сетчатых структур

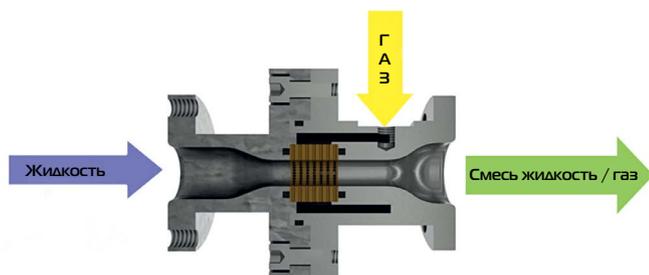
В природе такие структуры встречаются очень часто (рис. 2). Кости птиц могут быть почти пустотелыми, а кость млекопитающих представляет собой жесткую оболочку с губчатой структурой внутри. Это позволяет выдерживать те же нагрузки при меньших затратах организма на выращивание такой кости и меньшем весе.

Рис. 2. Создание решетчатых структур



Топологическая оптимизация дает возможность делать решетчатые структуры разных форм и размеров (например, гексагоновые) или создавать ячеистую структуру, а снаружи — твердую оболочку. Стандартными методами такую структуру нельзя изготовить — только с использованием аддитивных технологий.

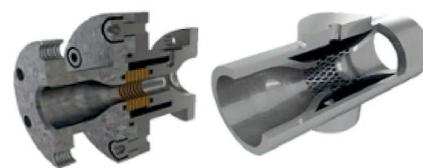
Рис. 3. Схема смесителя жидкости с газом



### Сокращение числа единиц в сборке

Это еще одно преимущество топологической оптимизации вместе с аддитивными технологиями. На рис. 3 изображен типичный сатуратор (смеситель жидкости с газом). Внутри трубы стоит маленький фильтр. Чтобы установить его туда, необходимо эту деталь сделать разъемной в двух частях, сделать фланцы для крепления, а также прокладки, болты и т.д. С помощью аддитивных технологий можно в одном корпусе создать и саму трубу, и мелкий фильтр внутри, и канал вокруг для распределения газа (рис. 4).

В итоге получаем в едином корпусе единую деталь, одну единицу хранения (таблица). Отсутствует операция сборки, нет прокладок, которые могут течь, нет больших фланцев, на которые уходил металл.



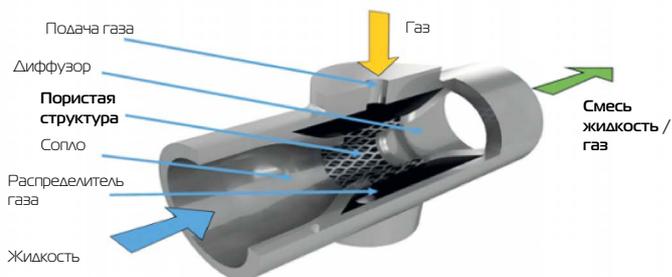
Таблица

Показатель	Традиционная конструкция	Новая конструкция
Количество деталей	12	1
Вес (кг)	1,3	0,05
Объем (см <sup>3</sup> )	401,920	45,263
Количество прокладок	3	0
Время изготовления (мин)	720	360
Время сборки (мин)	35	0
Задействовано отделов предприятия	4	2
Производственные затраты (€)	1,250	340

При анализе показателей видим, что вес детали уменьшился, прокладок нет, время сборки стало нулевым. Если мы уменьшаем вес детали в самолете всего на 200 г, а в нем таких деталей 100, то мы экономим 20 кг, а при ресурсе самолета в 25 лет это огромная экономия топлива или лишняя полезная нагрузка.

Таким образом, топологическая оптимизация — это программное обеспечение, которое создает геометрию без ограничений. ■

Рис. 4. Оптимизированный смеситель в едином корпусе



# Горячее изостатическое прессование для аддитивного производства

А.Г. Береснев, И.М. Разумовский  
АО «Композит», г. Королев, Московская обл., Россия

## Введение

Аддитивные технологии (АТ) представляют собой способы производства деталей сложной формы, которые заключаются в последовательном соединении отдельных слоев материала и формировании готового изделия по компьютерной 3D-модели для применения в машиностроении и, в частности, в ракетно-космической и авиационной технике [1-5]. Аналогичные АТ-подходы легко усмотреть в строительной отрасли, когда из отдельных небольших кирпичиков по заданным чертежам создаются огромные объекты. В качестве «кирпичиков» в АТ обычно применяются порошки металлов или сплавов, при расплавлении которых формируются слои создаваемого объекта.

## Получение порошков

Порошки сплавов для АТ обычно получают двумя основными методами: газового распы-

ления (Gas Atomization, GA) [6, 7] и плавления плазмой вращающегося электрода (Plasma Rotating Electrode Process, PREP, гранульная металлургия в отечественной классификации) [8-12]. Сравнение характеристик показывает, что для АТ предпочтительны порошки сплавов, получаемые методом гранульной металлургии: микрослитки-гранулы имеют сферическую форму без сателлитов и явных признаков пористости, обладают приемлемыми размерами [12].

## Способы формирования слоев из порошков

Наибольший интерес для изделий ракетно-космической техники представляют порошки металлических и интерметаллидных сплавов, в том числе жаропрочных на основе Ni и Ti. Для формирования объектов из данных порошков используются два основных варианта АТ: технология прямого

лазерного осаждения материала (Direct Deposition, DD) [2] и технология плавления порошка на подложке (Bed Deposition, BD).

В настоящее время среди АТ группы Bed Deposition лидирующее место занимают селективное лазерное сплавление (СЛС) и селективное электронно-лучевое сплавление (СЭЛС) [2, 4]. При реализации этих технологий становится возможным получение деталей с характеристиками, не доступными для других методов обработки, например, с криволинейными отверстиями или внутренними пустотами.

## Дефекты слоистых структур

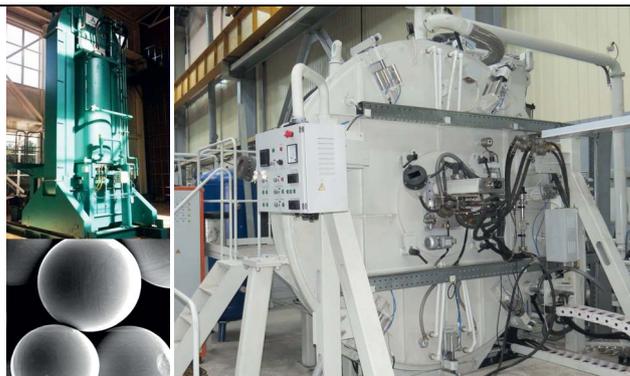
Формирование композиционного слоистого объекта методами АТ включает процессы последовательного расплавления/кристаллизации слоев материала. При соединении слоев между ними возникает граница раздела, которая является структурным дефек-



**Kompozit**  
комполит  
*Research, development  
& production Corp.*

## Работы, выполняемые ОАО «Композит» в области АТ:

- получение порошков жаропрочных сплавов под аддитивное производство
- отработка технологии получения деталей методами аддитивного производства
- газостатирование при температурах до 2000 °С и давлении до 2000 атм.



141070, Московская область, г. Королёв, ул. Пионерская, 4  
Тел. + 7 (495) 513-20-28, факс: (495) 516-06-17, e-mail: info@kompozit-mv.ru, www.kompozit-mv.ru



ГТД обычно используются жаро-стойкие алюминидные покрытия [18-20].

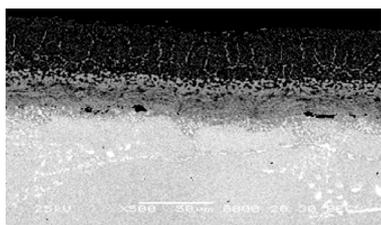
Универсальным способом повышения качества лопаток ГТД с защитными покрытиями является ГИП [21,22]. Установки газостатической обработки материалов показаны на рис. 1.

В работе [21] в качестве защитного покрытия использовали сплав марки СДП-ТВГ системы легирования Ni-Cr-Al-Ta-W-Hf-Si-Y, который наносили методом электродугового катодного напыления на поверхность монокристаллических образцов из сплава ЖС32 (аналог подложки в АТ). Для получения комбинированного покрытия алитирование проводили в газовой среде, содержащей галогениды алюминия, при температуре 1000°C. Таким образом, на поверхности лопаток создавался слой защитного композиционного покрытия, основными дефектами которого являлись микропоры, обычно расположенные на границе раздела покрытия с подложкой (рис. 2).

При исследовании характеристик до и после ГИП было установлено, что в слое покрытия в исходном состоянии наблюдаются поры размером до 8 мкм. Применение ГИП уменьшает максимальный размер пор до ~ 1,5 мкм, при этом полностью залечивается мелкая пористость размером < 0,5 мкм.

Залечивание пор и микротрещин в зоне защитного покрытия с помощью ГИП, повышение ад-

Рис. 2. Микроструктура композиционного покрытия на наружной поверхности пера лопатки с порами [21]

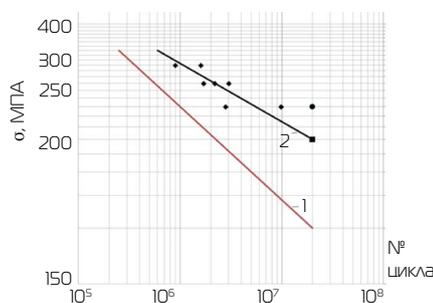


гезии покрытия с пером лопатки сопровождаются улучшением усталостной прочности лопаток (рис. 3). Полученные результаты позволили разработать технологию ГИП для уплотнения защитного жаропрочного покрытия на готовых лопатках, которая применяется на предприятии ОАО «ММП им. Чернышева» в серийном производстве лопаток с монокристаллической структурой из сплава ЖС32.

### Аддитивные структуры

Прогнозируя влияние ГИП на структуру и свойства материала, следует иметь в виду, что в процессе ГИП в материале могут происходить как позитивные, так и негативные изменения с точки зрения эксплуатационных характеристик. Опыт ГИП литейных сплавов на основе цветных металлов показывает [13, 14, 15, 21], что позитивным является как полное, так и частичное удаление усадочных и технологических закрытых вакуумных пор. В результате происходит существенное повышение усталостной прочности материала (рис. 3). Однако в процессе ГИП при высоких температурах и нагрузках может происходить огрубление исходной микроструктуры, например, рост зерен в поликристалле. Рост зерен в матрице сплава может вызывать уменьшение кратковре-

Рис. 3. Зависимость усталостной прочности монокристаллических лопаток из жаропрочного сплава ЖС32 с композиционным покрытием от числа циклов испытаний: 1 – без ГИП; 2 – после ГИП [21]



менной прочности и усталости. Поэтому оптимальный режим ГИП аддитивного материала должен обеспечивать залечивание пористости при минимальных негативных изменениях микроструктуры.

В работе [23] исследовано влияние ГИП на механические свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных с помощью аддитивных технологий прямого лазерного спекания и технологии плавления порошка на подложке СЛС. Исходным материалом служили порошки размером меньше 80 мкм. Оценивались плотность, механические свойства (при испытаниях на растяжение и усталость) образцов в двух состояниях: без обработки, сразу после изготовления и подвергнутых ГИП; дополнительно проводили металлографическое исследование поперечных сечений образцов. Подготовленные по обеим технологиям образцы для испытаний подвергали ГИП по режиму 920°C – 100 МПа – 2 часа.

В данной работе, во-первых, в исходном состоянии не обнаружено большого различия в механических свойствах аддитивных образцов, изготовленных с помощью использованных вариантов аддитивных технологий. Например, после ГИП для DD технологии получили  $\sigma_b = 986$  МПа,  $\delta = 22\%$ ; для технологии СЛС  $\sigma_b = 980$  МПа,  $\delta = 22\%$ . Во-вторых, было установлено, что ГИП

Таблица 1. Влияние ГИП на механические свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных с помощью аддитивной СЛС-технологии [23]

Состояние	Без ГИП	После ГИП
Свойства		
Плотность	> 99	> 99
$\sigma_b$ , МПа	1176	980
$\delta$ , %	14	22
Предел усталости, МПа	300 ( $N_f > 10^7$ )	580 ( $N_f > 10^7$ )

обеспечивает значительное улучшение усталостной прочности, при этом механические свойства при кратковременных испытаниях изменяются незначительно (табл. 1).

В обобщенном виде влияние ГИП на механические свойства аддитивных материалов на примере образцов титанового сплава Ti-6Al-4V показано на рис. 3 (из работы [24] со ссылкой на S. Leuders [25]). Полученные результаты показывают, что наиболее существенное влияние ГИП оказывает на характеристики усталости аддитивных образцов в полном соответствии с тем эффектом, который наблюдается в литейных жаропрочных сплавах с защитным композиционным покрытием (рис. 2).

Сравнительное исследование влияния термической обработки и ГИП на микроструктуру и кратковременные механические свойства аддитивных образцов (СЛС) жаропрочного никелевого сплава IN625 проведено в работе [26]. Термическую обработку (ТО) проводили по режимам 980°C – 1 час и 1040°C – 1 час с охлаждением в воде, параметры ГИП составляли 1120°C – 100 МПа – 4 часа. В исходном состоянии аддитивные образцы имели столбчатую зеренную структуру (средний размер зерен ~ 25 мкм в поперечном направлении), которая сохраняла свой направленный характер после ТО. Однако при ГИП форми-

ровалась равноосная зеренная структура с размером зерен 40÷50 мкм. Установлено, что исходные образцы имеют наибольшие показатели кратковременной прочности и наименьшие значения пластичности в ряду «исходное состояние – ТО – ГИП», хотя следует отметить высокую пластичность сплава IN625 в любых состояниях. Авторы [26] заключают, что ГИП и ТО при 1040°C аддитивных образцов жаропрочного сплава IN625 позволяют повысить пластичность за счет некоторой потери прочности.

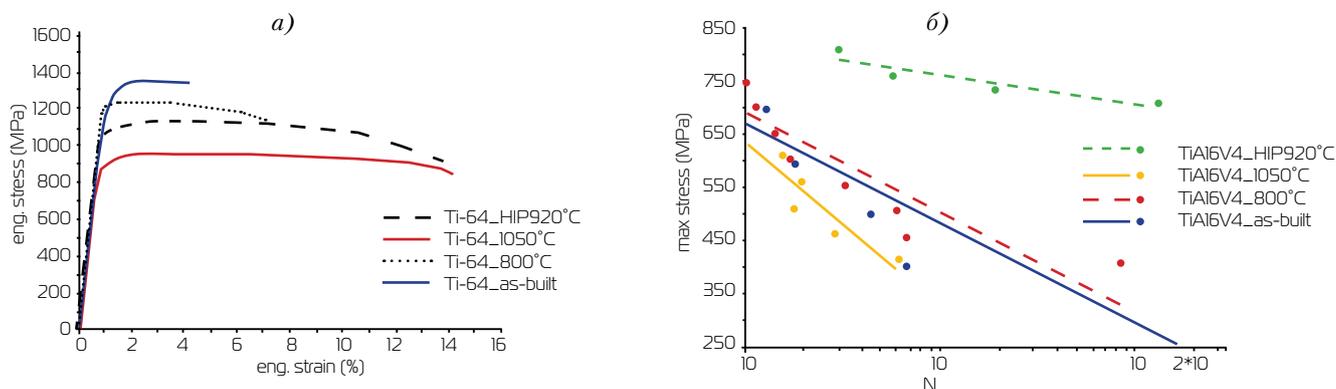
В аддитивных (СЛС) образцах жаропрочного никелевого сплава Rene88DT в исходном состоянии наблюдали микротрещины, образующиеся в зонах перекрытия соседних слоев при сплавлении [27]. При формировании аддитивной структуры возникали два вида трещин: короткие длиной 100÷300 мкм и длинные – 3÷10 мм. В результате ГИП по режиму 1160°C – 200 МПа – 2 часа с последующей стандартной для данного сплава термической обработкой происходило полное залечивание коротких и частичное – длинных трещин. В работе [27] показано, что механические свойства аддитивных образцов сплава Rene88DT после ГИП и термической обработки приближаются к свойствам данного сплава, полученного методом порошковой металлургии:  $\sigma_b = 1420$  МПа,  $\delta = 17\%$ .

## Заключение

Технология ГИП представляет собой универсальный способ уплотнения пористых структур. Универсальность ГИП определяется термодинамической природой процесса уплотнения: при наложении давления всестороннего сжатия при ГИП происходящие самопроизвольные процессы должны способствовать повышению плотности системы в результате заваривания пор. Однако следует иметь в виду, что с помощью ГИП могут быть ликвидированы только закрытые вакуумные поры и трещины. В порошковой металлургии пористые порошковые структуры изолируют от внешней среды с помощью специальных вакуумированных капсул. Аналогичным образом для удаления открытой пористости в аддитивных объектах их так же следует защитить от воздействия внешней среды в газостате.

Механизмами заваривания технологической пористости являются пластическая деформация и диффузия; последняя обеспечивает как вакансионное растворение микропор, так и диффузионную сварку стенок пор, состыкованных деформацией [28]. Для активизации механизмов уплотнения объект необходимо нагреть до некоторой температуры  $T_{ГИП}$  и выдержать в течение времени  $t_{ГИП}$ . Очевидно, что в условиях ГИП могут происходить не только полезные процессы

Рис. 3. Влияние ГИП на механические свойства аддитивных образцов титанового сплава Ti-6Al-4V: а) кривые растяжения образцов в различных состояниях, б) усталостная прочность [25]



заваривания пор, но и другие структурные изменения, которые необходимо контролировать. Например, при ГИП в слоистых аддитивных структурах может происходить рост зерен [26], и это явление трудно устранить впоследствии методами термической обработки. Огрубление зеренной структуры при ГИП особенно неблагоприятно для сплавов, склонных к охрупчиванию, например, интерметаллидных сплавов на основе NiAl. ■

#### Литература

- Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2009. — 484 p.
- Зленко М. А., Попович А. А., Мутьлина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении. Изд-во СПбГУ, 2013. — 221 с.
- Логачева А. И. Аддитивные технологии для изделий ракетно-космической техники: перспективы и проблемы применения // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 39–45.
- Логачева А. И., Сентюрин Ж. А., Логачев И. А. Аддитивные технологии производства ответственных изделий из металлов и сплавов. Перспективные материалы. 2015. № 4. С. 5–16.
- Sames W. J., List F. A., Pannala S., Dehoff R. R., Babu S. S. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. International Materials Reviews. 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/09506608.2015.1116649>.
- Yolton C. F. Gas atomized titanium and titanium aluminide alloys, in: F. H. Froes (Ed.), P/M in Aerospace and Defense Technologies, v. 1, MPIF, Princeton, NJ, 1990. P. 123–131.
- Froes F. H. Titanium powder metallurgy: developments and opportunities in a sector poised for growth. Powder metallurgy review. Winter 2013. Inovar Communications Ltd. 2013. P. 27–41.
- Белов А. Ф. Металлургия гранул — новый путь повышения качества конструкционных материалов. Вестник АН СССР. 1975, № 5. С. 74–84.
- Lowenstien P. Specialty metal powders by the rotating electrode process. Prog. Powder Metall. 37 (1982).
- Гарибов Г. С. Металлургия гранул в авиадвигателестроении. Технология легких сплавов. 2001, № 5–6. С. 138–148.
- Фаткуллин О. Х. Современное состояние металлостроения быстрозакаленных жаропрочных сплавов. Технология легких сплавов. 2005, № 1–4. С. 24–31.
- Логачева А. И. Комплексная технология изготовления трубчатых тонкостенных элементов различной конфигурации методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. тех. наук, Москва, ИМЕТ, 2016. — 407 с.
- Береснев А. Г. Влияние горячего изостатического прессования на структуру и свойства литых поликристаллических лопаток газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов. Металлы. 2012, № 3. С. 48–56.
- Береснев А. Г., Маринин С. Ф., Разумовский И. М., Бутрим В. Н., Тихонов А. А. Горячее изостатическое прессование отливок из титановых сплавов. Литейное производство. 2012, № 7. С. 20–24.
- Береснев А. Г., Тихонов А. А., Маринин С. Ф., Бутрим В. Н., Дубровский В. А., Переславцев В. А. Опыт повышения качества и работоспособности отливок сложной конфигурации из сплава АК9ч. Литейщик России. 2012, № 2. С. 24–26.
- Gong H., Rafi K., Gu H., Starr T., Stucker B. Analysis of defect generation in Ti-6Al-4V parts made using powder bed fusion additive manufacturing processes. Additive Manufacturing. 2014, № 1–4. P. 87–98. [dx.doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.002).
- Huang S., Li Z., Xiong B., Zhang Y., Li X., Liu H., Yan H., Yan L. Microstructure and Porous Defects of a Spray-Formed and Hot Worked 7000 Aluminum Alloy. Materials Science Forum. 2017, v. 879. P. 1778–1782. [doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1778](http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1778).
- Абраимов Н. В., Елисеев Ю. С. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. — 622 с.
- Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. Москва: Машиностроение, 1979. — 224 с.
- Тамарин Ю. А. Жаростойкие диффузионные покрытия лопаток ГТД. Москва: Машиностроение, 1979. — 136 с.
- А. Г. Береснев А. Г., Маринин С. Ф., Разумовский И. М., Бутрим В. Н., Тихонов А. А. Горячее изостатическое прессование монокристаллических лопаток газотурбинных двигателей с защитными композиционными покрытиями. Конструкции из композиционных материалов. 2014, № 2. С. 20–23.
- Падалко А. Г. Практика горячего изостатического прессования неорганических материалов // М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. — 267 с.
- Morokoshi S., Masao H., Yagura H., Yamamoto Y., Fujikawa T. Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Materials Prepared by Additive Manufacturing Technology and HIP Process. In.: Proc. 11th Int. Conf. on Hot Isostatic Pressing. 2014, Stockholm. P. 398–404.
- Hjärne J., Ahlfors M. Hot Isostatic Pressing for AM parts. Västerås, Sweden, May 2016, Quintus Technologies. P. 1–5.
- Leuders F. On the mechanical performance of structures manufactured by Selective Laser Melting: Damage initiation and propagation. University of Paderborn, Germany, as presented at AMPM2014, MPIF, USA.
- Kreitzberg A., Bralovski V., Turene S., Chanal C., Urelea V. Influence of Thermo and HIP Treatments on the Microstructure and Mechanical Properties of IN625 Alloy Parts Produced by Selective Laser Melting: A Comparative Study. Materials Science Forum. 2017, v. 879. P. 1008–1013. [doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1008](http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1008).
- Zhao X., Lin X., Chen J., Xue L., Huang W. The effect of hot isostatic pressing on crack healing, microstructure, mechanical properties of Rene88DT superalloy prepared by laser solid forming. Mater. Sci. Eng. A. 2009, 504. P. 129–134.
- Береснев А. Г., Разумовский И. М., Маринин С. Ф., Тихонов А. А., Бутрим В. Н. Технологические принципы горячего изостатического прессования монокристаллических лопаток авиационных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов. Цветные металлы. 2011, № 12. С. 84–88.

# Аддитивные технологии шагнули в гидравлику

В.К. Свешников, к.т.н., ЭНИМС



Аддитивные технологии (АТ) — печать изделий на 3D-принтерах — новая интенсивно развивающаяся область техники. В настоящее время они преимущественно используются в аэрокосмической и авиационной промышленности, автомобилестроении (в том числе в гоночных автомобилях), судостроении, энергетическом и оборонном секторах, теплообменниках, устройствах безопасности, нефтегазовом комплексе. Возможность создания «невозможных» вещей делает их незаменимыми в медицине, ювелирной промышленности, искусстве, индустрии развлечений и многих других областях. Специалисты фирмы Aidro Hydraulics (Италия) поставили перед собой вопрос: «Может ли гидравлика получить преимущества от использования АТ?» и ответили на него: «Да, мы видим себя первооткрывателями применения АТ в секторе гидравлики, конечно, когда речь идет о специальных случаях, а не о крупносерийном производстве». И это не пустые декларации — реальные изделия в металле были представлены в экспозиции

фирмы на последней Hannover Messe, причем в настоящее время для гидравлики фирма считает наиболее приемлемой технологию Powder Bed Fusion (SLM Selective Laser Melting или DMLS Direct Metal Laser Sintering).

Разработчики отмечают следующие основные преимущества новой технологии:

- персонализация товара;
- возможность создания инновационных форм;
- существенное (до 60%) снижение массы изделий;
- возможность использования различных материалов (алюминий, нержавеющая сталь, титан, Inconel, Maraging steel и множество других металлов, находящихся в настоящее время в разработке, а также высококачественные пластмассы);
- быстрое создание опытных образцов;
- широкие возможности моделирования благодаря сокращению сроков изготовления;
- повышение технических характеристик гидрокомпонентов (снижение потерь давления, повышение герметичности);
- внедрение инновационных подходов к проектированию и соответствующего программного обеспечения.

В качестве примера практической реализации АТ демонстрировался изготовленный из нержавеющей стали гидроблок (рис. 1) с ввертной гидроаппаратурой для управления цилиндром односто-

ронного действия, содержащий гидрораспределитель с электроуправлением, предохранительный и обратный клапаны, а также дроссель регулирования скорости движения. Впечатляет дизайн гидроблока: вместо классического параллелепипеда с гнездами для монтажа гидроаппаратов, механически обработанными каналами основных и соединительных технологических гидрочасти с заглушками мы видим оптимальным образом размещенные и связанные каналами произвольной формы втулки для гидроаппаратов и внешних резьбовых присоединений; возможно подключение гидроблока также через нижнюю стыковую плоскость. Замкнулась историческая спираль совершенствования монтажных средств — начали с трубного соединения гидроаппаратов и закончили им же, но уже на принципиально новом уровне развития техники!

Рис. 1. Гидроблок, изготовленный с помощью АТ



Рис. 2. Редукционный клапан с корпусом, изготовленным по АТ



Фирма продемонстрировала также ряд других изделий, изготовленных по АТ. Сообщается, что редукционный клапан с корпусом из нержавеющей стали (рис. 2) успешно внедрен в промышленности и работает при давлениях до 250 бар.

В золотнике гидрораспределителя с помощью АТ (показано на рис. 3б справа) удалось выполнить радиальные каналы прямоугольной формы и внутренний осевой канал без применения сварки, что способствовало значительному сокращению потерь давления.

Хорошо сознавая, что демонстрируемые изделия — это лишь первые шаги по пути внедрения АТ в гидравлику, фирма провела всесторонний технико-экономический сравнительный анализ традиционной технологии изготовления гидроблоков и АТ; результаты анализа приведены в таблице.

Предлагаемые фирмой революционные инновации еще требуют решения множества серьезных технологических проблем. По нашему мнению, одной из важнейших является проблема материалов. Несмотря на их рекламируемое многообразие, все образцы изготовлены из нержавеющей стали, которая в боль-

шинстве случаев может оказаться слишком дорогой для изготовления гидроблоков; кроме того, эта сталь имеет худшую обрабатываемость по сравнению с традиционно используемой углеродистой сталью. При изготовлении золотников требуется объемная или поверхностная закалка до твердости ~HRC 60, что в традиционных технологиях достигается путем цементации и закалки рабочих поверхностей. Как эта проблема решается в АТ, непонятно.

Остаются пока малоисследованными чрезвычайно важные для гидравлики проблемы прочности и плотности (в смысле отсутствия внутренних пор) деталей, получаемых методом АТ. Указание факта работы клапана в производственных условиях при давлении до 250 бар интересно, но явно недостаточно. Во-первых, для современных гидроприводов чаще всего применяются более высокие давления и, во-вторых,

требуются длительные ресурсные испытания. Среди недостатков существующей АТ остается необходимость доводки точных поверхностей с помощью металлорежущих инструментов. Учитывая, что АТ связана с использованием порошков, обостряется проблема качественной очистки внутренних каналов от загрязнений. С применением АТ полностью изменяется идеология многочисленных существующих САПР-гидроблоков и требуются принципиально новые подходы к проектированию.

Вызывают определенные сомнения и экономические аспекты. Поскольку стоимость 3D-принтеров достаточно высока и на них рекомендуется изготовление малых серий деталей, загрузка и окупаемость этого оборудования могут быть недостаточными в условиях обычных машиностроительных предприятий, а следовательно, эта технология будет рентабельной лишь в ограниченном круге фирм,

Рис. 3. Золотник гидрораспределителя выполнен: а) по традиционной технологии, б) с помощью АТ





## Сравнительный анализ технологий

Параметр	Традиционная технология	АТ
Материал	Сталь с цинковым покрытием	Нержавеющая сталь
Цена/качество	Хорошее в крупносерийном производстве	Хорошее в мелкосерийном производстве
Макетирование	Требуется минимальная партия	Возможны различные варианты одновременно
Время изготовления	Длительное: 1–2 месяца на станках с ЧПУ; 6–12 месяцев с использованием литья	Небольшое: 4–5 дней
Доводка точных поверхностей	Традиционные методы	Требуется инструменты для доводки резьб, канавок и точных поверхностей сопряжения
Сложность формы	Возможна только литьем	Любая без проблем
Подгонка	Возможна только для больших партий	Любая без проблем
Снижение веса	—	до 60 %
Проектирование	Традиционное с использованием многочисленных САПР	Требуется новые подходы и программное обеспечение

специализирующихся на изготовлении гидроблоков по спецзаказам.

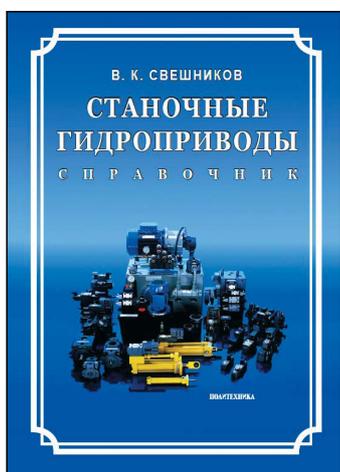
Конечно, у каждого принципиально нового решения находятся многочисленные критики, ведь критиковать всегда легче, чем быть первооткрывателем. Вспоминается старая институтская байка о том, что как-то в кабинет

главного конструктора ЭНИМС академика В. И. Дикушина зашел создатель электроискрового метода обработки металлов Б. Р. Лазаренко и заявил, что теперь никаких металлорежущих станков не будет, а будет лишь одна обработка электрическим током. Реакция академика последовала мгновенно — изобре-

татель был выгнан из кабинета! Разумеется, потом жизнь все раскусила и каждая из технологий заняла свое строго ограниченное место. Думается, что так же будет и с вопросом применения АТ в гидравлике. ■

### Литература:

1. <http://www.aidro.it/3d-metal.html>



**Заказ справочника  
по телефону (812) 710-62-73**

## СПРАВОЧНИК «СТАНОЧНЫЕ ГИДРОПРИВОДЫ» 6-е издание

В издательстве «Политехника» (С-Петербург) вышла в свет электронная версия 6-го издания справочника «Станочные гидроприводы» (автор Свешников В.К., объем 627 стр.).

По сравнению с 5-м изданием (2008 г.) материал сильно переработан и обновлен с учетом мировых достижений в развитии гидроприводной техники за период 2008...2014 гг. Существенно расширены сведения об импортной гидравлике (разумеется, не в ущерб отечественной номенклатуре). По каждому из компонентов приведены полные технические данные аналогов инофирм, наиболее авторитетных на российском рынке, включая основные параметры, габаритные и присоединительные размеры, расшифровки кодовых обозначений и особенности эксплуатации. Подробно описаны современные насосы и гидродвигатели, аппаратура, в том числе свертного монтажа, новейшие аппараты связи с электронными системами управления, комплектные электрогидравлические приводы, приборы, кондиционеры рабочей среды и др., особое внимание уделено проблемам энергосбережения и снижения шума. В справочнике отражен современный мировой уровень развития промышленных гидроприводов.

Книга предназначена для специалистов-гидравликов, а также преподавателей и студентов вузов.

# Аддитивные технологии в ремонтном производстве

П.П. Серебренникий, А.С. Тетенькин

Аддитивные технологии, или Additive Manufacturing (далее по тексту — АМ-технологии) — обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или САД-модели) методом послойного добавления материала [1]. Это принципиальное отличие от традиционных технологий производства, в основе которых лежит удаление вещества из заготовки. По оценкам ведущих экспертов, в аддитивных технологиях объединены все основные элементы, способствующие переходу промышленности к новому технологическому укладу — цифровому производству.

Что касается ремонта, на сегодняшний день существуют следующие виды заводского ремонта:

- средний;
- капитальный (без проведения модернизации);
- капитальный с модернизацией;
- по техническому состоянию.

Исходя из определения, каждый вид ремонта направлен на восстановление исправного состояния и, в большей или меньшей степени, ресурса техники [2].

При проведении работ ремонтные предприятия сталкиваются с целым рядом проблем, часть которых можно решить путем внедрения в технологический процесс ремонта АМ-технологий.

Одной из главных проблем является восстановление изношенных поверхностей деталей и сборочных единиц (далее

по тексту — деталей), ремонт которых существующими способами технологически невозможен. Проведенный сравнительный анализ технологических характеристик основных способов ремонта, таких как наплавка и газотермическое напыление [3], показывает, что АМ-технологии превосходят существующие способы ремонта. Кроме того, АМ-технологии позволяют наносить (восстанавливать) специальные покрытия на такие детали, как гильзы цилиндров, поршневые кольца, кулачковые валы, седла клапанов и др.

Второй, не менее важной проблемой является восстановление оригинальных деталей изделий, снятых с производства либо производящихся за пределами Российской Федерации после распада Советского Союза. В этом случае наиболее технологически сложным является процесс возобновления производства деталей, получаемых литьем. Возобновление литейного производства широкой номенклатуры деталей в единичном объеме для ремонтных предприятий невыгодно.

Возможным решением данной проблемы является применение АМ-технологий для получения литейных моделей из следующих материалов:

- порошковых полимеров для последующего литья по выжигаемым моделям;
- фотополимерных композиций, в частности по технологии Quick-Cast (рис. 1), для после-

дующего литья по выжигаемым моделям или по технологии MJ (Multi Jet) для литья по выплавляемым моделям.

Для выращивания литейных моделей Quick-Cast, т.е. моделей для «быстрого литья», применяется технология SLA (Steriolithography Apparatus) — лазерной стереолитографии. Quick-Cast-модели используют в технологических процессах аналогично применению восковых и полистирольных моделей. Но есть важный нюанс: модели Quick-Cast имеют сотовую структуру массива: внешние и внутренние поверхности выполняют сплошными, а само тело формируют в виде набора сот. Это, во-первых, на 70% снижает общую массу модели, а следовательно, меньше модельного материала нужно выжигать при подготовке формы к заливке металлом. Во-вторых, в процессе выжигания любой модельный материал расширяется и оказывает давление на стенки формы, при этом форма с тонкостенными элементами может быть разрушена. Сотовая же структура позволяет модели при расширении «складываться» внутрь, не создавая внутренних напряжений и не деформируя стенки формы. Это важнейшее преимущество Quick-Cast-технологии. [1]

Применение АМ-технологий также возможно и для изготовления специализированной технологической оснастки. Довольно сложным и затратным является процесс технологической подго-

товки при постановке на ремонтное производство новых образцов техники. Требуется в кратчайшие сроки разработать и изготовить различную технологическую оснастку для разборки, сборки и испытаний сборочных единиц, а также для дефектации и ремонта деталей изделия. В этом случае применение АМ-технологий позволяет значительно сократить время на изготовление технологической оснастки и снизить ее себестоимость.

Одним из перспективных направлений внедрения аддитивных технологий в ремонтное производство является комплексное применение АМ-технологий и 3D-сканирования. Так, при дефектации деталей с помощью 3D-сканера возможно было бы определить величину износа поверхности, а с помощью 3D-принтера восстановить изношенную поверхность с учетом неравномерности износа. К преимуществам данного способа ремонта можно отнести следующее:

- повышение точности измерения за счет исключения человеческого фактора;

- возможность восстановления деталей сложной геометрической формы;

- точность нанесения слоя восстанавливающего материала в место износа с учетом геометрических особенностей поверхности и, как следствие, снижение расхода материала. В зависимости от сочетания параметров построения коэффициент использования материала может варьироваться от 0,2 до 0,9, т.е. от 20 до 90% материала, поступившего через сопловые отверстия системы подачи, фактически формируют деталь;

- снижение затрат на последующую обработку детали;

- возможность автоматизации технологического процесса ремонта.

В целом внедрение аддитивных технологий для ремонта обеспечивает: повышение коэффициента использования материалов и высокую точность размеров ремонтируемых деталей с уменьшением затрат на механическую обработку; ремонт деталей сложной формы; сокращение производственных издержек; повышение гибкости ремонтного производства; упрощение логистики и уменьшение объемов складских запасов; позволяет не только решить ряд имеющихся

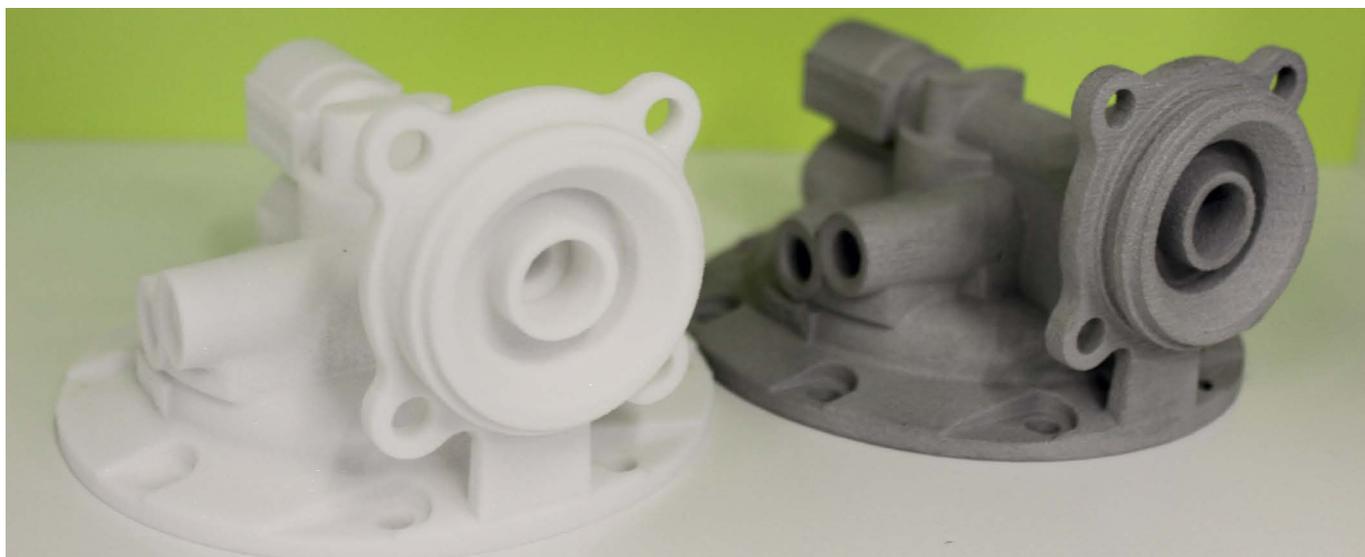
проблем, но и создает предпосылки для дальнейшего развития ремонтного производства.

К сожалению, аддитивные технологии в России только начинают развиваться, и пока только в высокотехнологичных отраслях промышленности, поэтому говорить о скором их внедрении в ремонтное производство рано. Для ремонтных предприятий с финансовой точки зрения они пока остаются недоступными. Тем не менее, развивая концептуальные подходы применения сейчас, мы создаем фундамент для внедрения аддитивных технологий в будущем. ■

#### Литература

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. — М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015.
2. ГОСТ 18322–2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
3. ТИ 694–002–88 Сварка, наплавка, газотермическое напыление и эпоксидные композиции при ремонте автомобильной техники // инструкция. — М.: Военное издательство, 1990.

*Рис. 1. Напечатанная выжигаемая модель детали «корпус» и отливка из алюминия (3D-принтер Voxeljet VX500, Германия). Материал отливки АК7ч, материал модели: полиметилметакрилат. Фото предоставлено ГК «Остек».*



# Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы

Н.М. Максимов, ООО «Ника-Рус»



## Введение

«Способ строительства жилья не изменялся последние 10 тысяч лет — самые старые постройки также используют столбы и балки. Но это далеко от того, что реально существует в природе», — считает Platt Boyd, основатель проекта Branch Technology (США).

Сегодня строительная промышленность, возможно, стоит перед самым большим выбором будущих направлений развития. Основные причины — демографические изменения (к 2100 г. население планеты достигнет 11 млрд жителей) и растущая глобальная урбанизация (на 2017 г. половина населения живет в городах, к 2050 г. число горожан достигнет 75%). Традиционные методы строительства не смогут решить возникающие задачи и проблемы.

Таблица 1. Объем мирового строительного рынка

Год	USD трлн	Средний темп роста, % в год
2010	7,4	3,1
2015	8,5	3,8
2020	10,3	3,9

Поэтому требуются новые подходы к строительству жилья и инфраструктуры жилых районов.

Широкое обсуждение аддитивных технологий в последние несколько лет привело к появлению различных приложений АМ (аддитивного производства) в строительстве. Появилось немало разработчиков таких приложений и проектов с их использованием по всему миру. В их числе как энтузиасты-одиночки, так и большие команды, включающие архитекторов, строителей, инвесторов, университеты и крупные производственные компании.

Объем мирового строительного рынка огромен (табл. 1). При этом рынки развивающихся стран показывают темп развития 5,3%, рынки развитых стран — 2,2% в год. Наиболее привлекательные регионы для строительства — Ближний Восток и Африка, Южная Америка. Строительство сегодня является одной из самых ресурсозатратных отраслей производства. Оно расходует 36% энергии, 30% сырьевых материалов, 12% питьевой воды (на примере США [1]). В то же время строительство имеет крайне неэффективную низкую производительность даже в таких странах, как США, Великобритания, Сингапур и Гонконг [2].

Посмотрим, как новые технологии и новые материалы для них способны кардинально изменить ситуацию. Будем рассматривать

только те технологии, которые можно отнести к аддитивным (АМ).

## Технологии 3D-печати в строительстве

Сущность 3D-печати строительных конструкций заключается в послойном отверждении строительной смеси по 3D-модели, подготовленной методом компьютерного 3D-моделирования (рис. 1).

Модель в формате STL или SLC разбивается на слои программой подготовки рабочего файла, который затем отправляется на 3D-принтер для печати. Печатающая головка принтера, двигаясь вдоль направлений X и Y, печатает рисунок сечения модели строительной смесью, например, бетоном, гипсом или каолиновыми смесями. При завершении слоя головка поднимается вдоль направления Z на толщину нового слоя, печатает новый слой, и так до завершения построения изделия.

Печатающая головка конструктивно состоит из бункера (накопителя) с мешалкой, шнекового экструдера (не исключено применение других видов, в том числе и роторного), который формирует необходимый слой бетона (рис. 2). Во время печати можно оперативно корректировать геометрию выдавливаемого слоя, изменять скорость печати, добиваясь максимального качества.

Рис. 1. Портальный принтер в работе (S-6044 Long компании «Спецавиа»)



Рис. 2. Печатающая головка принтера



Все исходные компоненты смешиваются в подобранном соотношении в растворных мешалках или специальных станциях до получения однородной массы. Затем полученная смесь подается в печатающую головку 3D-принтера. Вес замеса от 10 до 100 кг. Подача готового раствора в головку может производиться в ручном режиме и автоматически. Рабочая смесь может замешиваться непосредственно в печатающей головке, что актуально для быстрой печати или для печати с нависаниями с использованием быстротвердеющих составов.

Армировать изделия можно следующими способами: добавлять в бетонную смесь фиброволокно, укладывать арматуру между слоями во время печати, армировать полости изделий с последующей заливкой этих полостей бетоном. Для армирования локальных полостей идеально подходит композитная арматура, что значительно уменьшает себестоимость строительства.

После завершения печати печатающая головка извлекается из 3D-принтера и очищается мойкой высокого давления. Сформированное небольшое по размерам изделие остается на поддоне и может сушиться в естественных условиях либо подвергаться нагреву до набора прочности при

более высоких температурах. При печати каолиновыми смесями с использованием глины и шамота предполагается последующий обжиг изделий. При печати непосредственно на строительной площадке фундамента или стен следует выдерживать необходимые сроки, чтобы бетон набрал нужную прочность.

С помощью 3D-печати могут быть изготовлены строительные конструкции и другие бетонные и гипсовые изделия сложной геометрии. При этом значительно сокращается время цикла от проектирования до производства (примерно в 8–12 раз), происходит экономия средств и времени за счет отсутствия опалубки, которую обычно приходится изготавливать заранее под каждую конкретную строительную конструкцию.

**В зависимости от конструкции строительные 3D-принтеры можно разделить на следующие типы:**

1. Портальные — в которых печатающая головка перемещается по направляющим в пределах рабочей зоны, ограниченной по площади (X, Y координаты) опорами и по высоте (Z) — расстоянием до головки при ее максимальном подъеме. Пример — принтеры компаний Winsun (Китай) и ООО «Спецавиа» (АМТ — резидент

Рис. 3. Портальный 3D-принтер компании Winsun (Китай)



Сколково, Россия) — рис. 3, 1 соответственно.

2. Разновидность портальных принтеров с так называемым Дельта-приводом головки. Идея нашла широкое применение в пластиковых 3D-принтерах, работающих по технологии FDM. Пример — принтеры компании WASP (Италия) — рис. 4.

3. Мобильные 3D-принтеры, когда 3D-принтер оснащен рукой-роботом и установлен на шасси, которое может перемещаться самостоятельно или с помощью крана (рис. 5).

4. Роботизированные комплексы: оснащены рукой-роботом KUKA, ABB и других производителей. Робот может перемещаться в пределах рабочей зоны по направляющим рельсам (рис. 6).

Рис. 4. Образец структуры из биополимера (FILOALFA), который печатается с головкой SPITFIRE на 3D-принтере дельта типа.



Рис. 5. Роботизированный комплекс на шасси компании Branch Technology, США



При этом зона застройки практически не ограничена.

5. Гибридные конструкции:
- комбинация портального 3D-принтера и робота (компания Contour crafting corporation (ССС), рис. 7)
  - управление печатающей головкой (с использованием поля-

ных координат) и перемещением по высоте происходит за счет использования телескопического устройства (рис. 8, компания Aris Cor).

6. Комплекс для печати сетчатых структур – рука-робот для подачи металла (рис. 5) или пластика (рис. 6).

Рис. 8. 3D-принтер компании Aris Cor с телескопическим устройством



Рис. 6. Роботизированный комплекс с перемещением по рельсам компании Branch Technology, США



Рис. 7. Роботизированный комплекс, оснащенный печатной головкой и манипулятором для укладки элементов дома (компания СССР, США)



7. 3D-принтеры большого формата для печати элементов декора, оформления фасадов, входных групп, окон и элементов интерьера, работающие по технологии FDM с использованием широкого круга термопластиков (Россия, ООО «Спецавиа»).

Первые теоретические разработки по использованию роботов в строительной отрасли появились под руководством профессора университета Южной Калифорнии в США Behrokh Khoshnevis [3] еще в 1996 г. Его команда в дальнейшем представила три новые технологии под названием Contour crafting (CC). Преимущества их применения очевидны [4] — наряду со снижением в 5 раз затрат на коммерческое строительство, отсутствием отходов стройматериалов, сокращением времени изготовления акцент по затратам переносится с физической работы на интеллектуальную (табл. 2). А это означает, что строительство становится рынком для потребителей, когда семья может сама проектировать будущий дом для проживания. А также взять в лизинг оборудование CC в ближайшем магазине стройматериалов и в соответствии с инструкцией построить свой дом. Более того, впервые в строительной отрасли можно привлекать труд женщин и пожилых людей для участия в конструировании. В настоящее время CC-

Стоимость в % от традиционного строительства	Основной вклад	С применением технологий CC
20–25%	Финансирование	Короткая продолжительность проекта с быстрым выходом на рынок резко снижают стоимость проекта
25–30%	Материалы	Отсутствие отходов при строительстве
45–55%	Работа	Существенно снижен ручной труд. Физическая работа заменена интеллектуальной. Женщины и пожилые работники могут впервые найти новые возможности по работе в строительстве.

технологии могут использоваться для строительства малобюджетного жилья и временного жилья для пострадавших и спасателей в зонах стихийных бедствий и военных конфликтов.

В начале 2018 года компания Contour Crafting Corporation готовится выпустить первую серию роботизированных 3D-принтеров для строительной индустрии. Серийное оборудование будет иметь рабочую зону 8×13 м и может быть увеличено по запросу заказчика. Вес комплекса менее 300 кг, что значительно легче традиционных строительных машин. Оборудование может быть доставлено заказчику и на строительную площадку обычным грузовиком, причем при необходимости в стандартный морской контейнер можно поместить несколько комплексов. Два подготовленных специалиста могут контролировать процесс строительства.

### Технология сетчатых металлических форм — МММ (Mesh Mold Metal)

Platt Boyd — основатель проекта Branch Technology, предложил создавать сетчатые структуры с помощью роботизированного комплекса (рис. 6) [5]. Комплекс представляет собой робот KUKA на платформе, которая может перемещаться по направляющим рельсам длиной 10 м и печатать из ABS-пластика стены для выставочного стенда компании. Начав опыты с роботом с рабочей зоной 1,3×1,3×1,0 м, сейчас компания использует робот KR90 и способна строить структуры с размерами 8,25×19,1×2,1 м в объеме 324 куб. м.

Platt в течение 15 лет работал в архитектурном бюро в Алабаме и уже тогда начал интересоваться более естественной формой строительства. Он даже стал собирать коллекцию изображений природ-

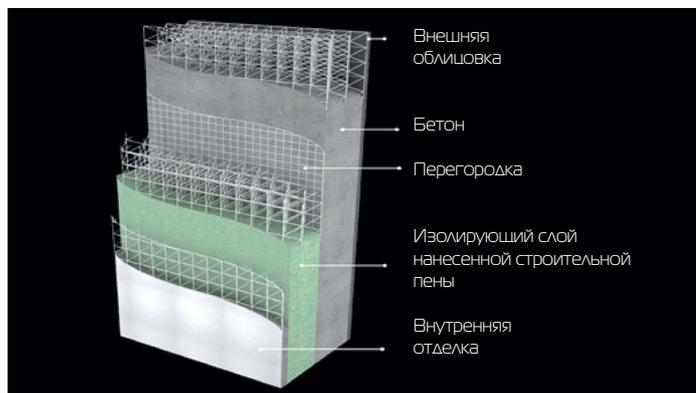
Рис. 9. Фото из коллекции Beautiful and Amazing Collection



Рис. 10. Пример жилого комплекса



Рис. 11. Устройство сетчатой структуры стены



ных форм под названием Beautiful and Amazing Collection (рис. 9) и использовать их в архитектурных проектах [6]. Пример жилого комплекса (рис. 10) показывает одно из решений. Дом разделен на две зоны – дневную и ночную с двумя огромными окнами в торцах и промежуточной подсветкой посередине.

В 2013 г. он пришел к пониманию того, что нужно использовать не одни только послойные технологии выращивания объектов, а, как и в природе, требуется симбиоз различных решений, технологий строительства. Первое открытие он сделал на выставке того же года, когда не нашел ни одного решения использования роботов для печати стен. Другое открытие касалось возможности архитекторов создавать любые формы для элементов здания. Более того, он убедился, что сетчатые структуры панелей более прочны в сравнении, например, с традиционными деревянными панелями уже при добавлении только пены (примерно на 30%), а при нанесении бетона на внешнюю поверхность панели ее прочность аналогична прочности цельной бетонной стены такого же размера (рис. 11, 12). При этом панели очень легкие. Так, пластиковая стена весом 0,7 кг выдерживает нагрузку в 700 кг, а пластиковая стена весом 1,1 кг с нанесенной пеной – вдвое выше: 1400 кг.

Рис. 12. Сетчатая структура с пеной выдерживает значительную нагрузку



Какой видится перспектива технологии компании Branch Technology? 3D-печать рассматривается только как основа для создания сетчатых структур-матриц для стен зданий с любой сложной геометрией. Далее могут использоваться традиционные строительные материалы: для внутренней отделки распыляется пена и покрывается гипсокартоном; на внешней поверхности применяется бетон и далее любые отделочные материалы (кирпич, штукатурка и т.д.). Для реализации этой идеи планируется создать

производство крупноразмерных отдельных элементов стен по запросам клиентов со всего мира и далее доставлять их заказчикам. А уже на месте из этих элементов собирается готовый объект с использованием традиционных технологий и материалов. Мнение Platt о возможности использования робота на строительной площадке однозначно: «Пока высокотехнологичное производство недостаточно надежно, чтобы выжить на открытом воздухе». Один из важнейших моментов: получение международных стро-

Рис. 13. Пример сетчатой структуры с различной кривизной по разным направлениям для последующего заполнения бетоном без опалубки и головка робота для ее создания

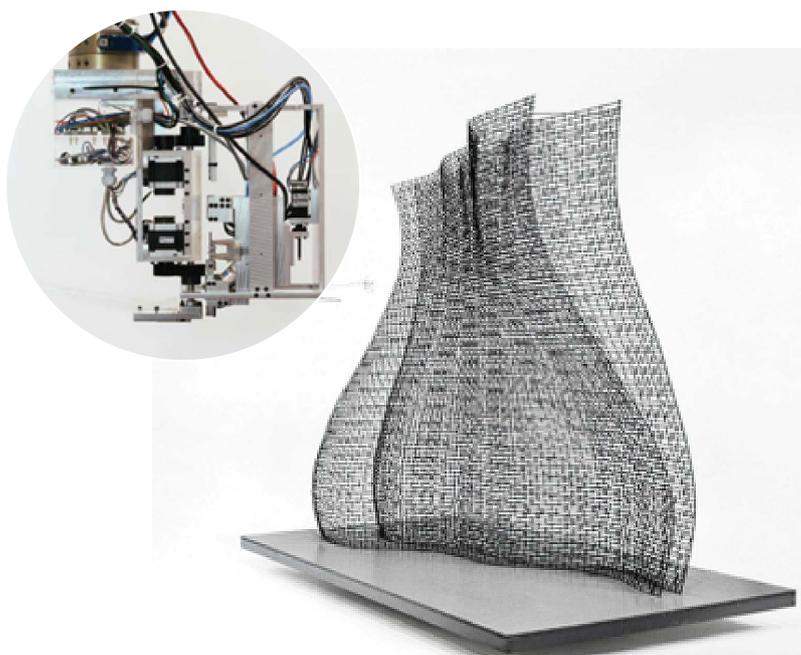


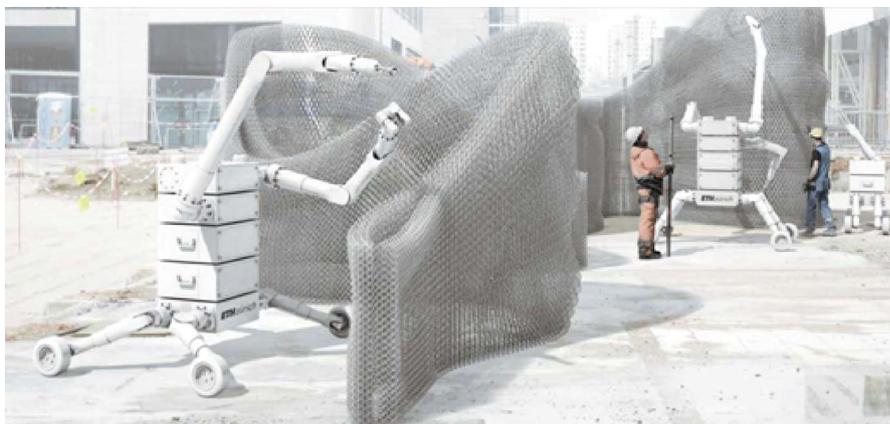
Рис. 14. Пример сетчатой структуры, заполненной бетоном с ручной финишной отделкой



ительных сертификатов и использование технологии в строительстве — процесс долгий. Поэтому пока компания объявила конкурс на дизайн зданий, которые будут строиться методом сотовой сборки.

На конференции «Цифровое производство из бетона» (ETH) в Цюрихе (май 2017 г.) группа авторов (Nitish Kumar, Norman Nack, Kathrin Doerfler и др.) представила доклад «Проектирование, разработка и экспериментальная оценка применения роботизированного комплекса в нестандартном строительстве». В нем описывается технология роботизированного производства стальных сетчатых структур произвольной формы с разными размерами ячеек, которые могут быть использованы как арматура и как опалубка (рис. 13). Технология получила наименование Mesh

Рис. 15. Использование роботов для построения сложных пространственных структур



Mold Metal (MMM) — сетчатая металлическая форма [7, 8]. Она позволяет интегрировать арматуру в конструкцию естественным образом, и в то же время решается проблема появления так называемых холодных стыков. Так как бетон заливается одновременно, то условия гидратации будут одинаковы для всей конструкции.

Размер ячеек сетки, их плотность и расстояние между соседними поверхностями структуры определяются из тех соображений, что свежий бетон должен заполнять весь объем структуры, но при этом не должен выходить наружу через боковые ячейки. Опытным путем было установлено, что оптимальный размер ячейки для проволоки размером до 4 мм составляет 10–15 мм, для повышения производительности нужно увеличить диаметр проволоки до 6 мм, соответственно, будет увеличен и размер ячеек. При-

мер готовой структуры, залитой бетоном, показан на рис. 14.

В 2018 г. планируется построить пилотный демонстрационный проект размерами 13 м в длину и 3 м в высоту. Это будет реальная стена будущего двухэтажного дома. Концепция сочетает в себе мобильность, гибкость, автономность, модульное построение, построение объекта в заводских условиях (рис. 15).

В другой работе, представленной на той же конференции в Цюрихе, автор С. Менна из университета Неаполя изложил некоторые принципиальные положения, которые необходимо рассматривать при использовании AM-технологий в строительстве.

В частности, он запатентовал четырехшаговую процедуру подготовки 3D-печати балки как основы любого строительства.

1. Заданный вид балки (рис. 16).

Рис. 16. Модульная модель арки для построения моста и профиль вулкана Везувий — как основа дизайна пролета моста

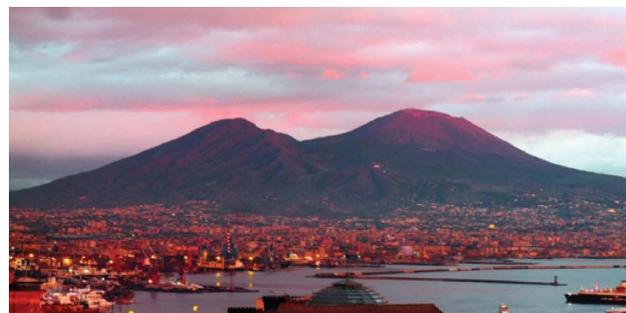
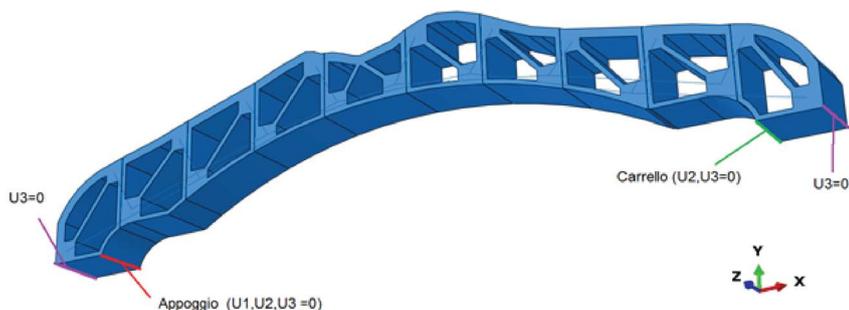


Рис. 17. Сегмент арки моста (время построения 10 минут)



Рис. 18. Арка моста в сборе с металлическими усилениями



2. Переменные высоты поперечного сечения.

3. Разбиение балки на сегменты.

4. Оптимизация топологии и конфигурации арматуры.

А также он сформулировал требования к материалу из бетона:

1. Свежеприготовленный: применимость — возможность смешивать и подавать насосом в течение требуемого промежутка времени; возможность экструдирования — поддержание непрерывного потока материала; пригодность к строительству — не «плывет» и выдерживает нагрузку в несколько слоев после экструзии;

2. Затвердевший: анизотропия — механические свойства зависят от направления печати и размеров поперечного сечения.

В примере построения пешеходного моста за основу взята

модель арки «Везувий» (рис. 16) по аналогии с природным профилем.

Оптимизация проводилась по следующим параметрам:

- минимальный вес при минимальном прогибе при полной нагрузке;
- напряжение на сжатие;
- количество сегментов;
- толщина слоя бетона при построении;
- конфигурация усиления металлическими стержнями;
- взаимное влияние крепления сегментов друг на друга;
- экономия бетона, времени и стоимости.

Элемент балки и балка в сборе показаны на рис. 17, 18.

Следует отметить, что если первые попытки роботизации в строительстве (Япония, 1980-е) были направлены на автоматизацию или замену ручного труда, то нынешняя ситуация с внедрением роботов предполагает их использование архитекторами для создания сложных нестандартных конструкций из бетона как основного строительного материала. Из диаграммы (рис. 19) видно, что при традиционном способе более 58% стоимости построения приходится на опалубку и работы по ее установке и снятию.

### Материалы

В качестве расходных материалов для строительных 3D-прин-

Рис. 19. Вклад в конечную стоимость построения с использованием опалубки

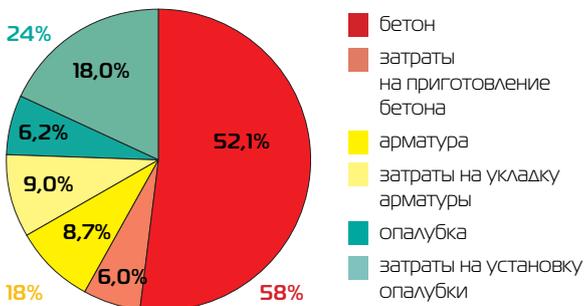


Рис. 20. Сертифицированные строительные смеси для 3D-принтеров (РФ)



теров можно использовать готовые сертифицированные смеси (рис. 20) промышленного производства, или готовить самостоятельно на основе доступных компонентов, или использовать местные строительные материалы типа песка или вулканических пористых пород.

После специальной обработки и использования специальных добавок можно получить недорогие строительные материалы для 3D-печати применительно к региону, где планируется использовать 3D-принтер. Это особенно актуально для реализации грандиозных проектов по ликвидации трещин в мегаполисах Латинской Америки, Индии и др. Рабочим материалом для строительных 3D-принтеров служат следующие материалы: цемент (портландцемент), песок (диоксид кремния, оливин, хромит, циркон, глинозем, муллит, кварцевое стекло, шамот), гипс, модифицирующие добавки, пластификаторы, антизамораживающие добавки, фиброволокна, ускорители (замедлители) отверждения и вода.

**Основной строительный материал — армированный бетон.** Он хорошо работает как на растяжение, так и на сжатие, при этом имеет низкую стоимость и широко распространен. У него давняя история в архитектуре, связанная с именами Le Corbusier, Eero Saarinen или Pierluigi Nervi. К сожалению, использование традиционной опалубки при строительстве объектов со сложной геометрией составляет до 75% стоимости строительства. И чаще всего эта опалубка одноразовая.

**Геополимерные смеси** для экологически чистого бетона были разработаны компанией Renca [9], основанной предпринимателями из Челябинска Андреем и Мариной Дудниковыми. Геополимерная технология была открыта французским химиком Джозефом

Давидовичем в 1978 году и сейчас продолжает изучаться в созданном им же Институте геополимеров (Institut Géopolymère). Из-за своей структуры геополимеры устойчивы к огню, а также ко многим растворителям и агрессивным средам. Благодаря этим качествам они часто применяются в сфере строительства. Например, в 2014 году компания Wagners построила из геополимерного бетона аэропорт в городе Брисбен (Австралия), а затем создала геополимерные плиты-перекрытия для Квинслендского университета. Кроме того, геополимеры можно использовать для восстановления подземных коммуникаций: американская компания Milliken при помощи роботов разбрызгивает геополимерную пену GeoSpray внутри старых сточных труб, таким образом восстанавливая их и защищая от внешних воздействий.

По сравнению с обычным (портландцементным) бетоном геополимерный бетон более экологичен: он не требует использования ископаемых ресурсов, во время его производства затрачивается в 10 раз меньше электроэнергии и выделяется на 90% меньше углекислого газа. Кроме того, геополимерный бетон устойчив к огню, кислотам и обладает хорошей водостойкостью. По словам основателей «Геобетона», изготовление смеси для 3D-печати на базе портландцемента с аналогичными характеристиками обходится на 30–40% дороже.

**Материал на основе лигнина — искусственная древесина.** Специалистами ООО «ЭкоФорм 3Д» разработан и запатентован способ получения композиций из натуральной древесины, лигнина, целлюлозы и композитов на их основе, а также совместно с ГК «Спецавиа» создана пилотная установка для активации древесины и приготовления формовочной массы и разработана

технологическая линия (оборудование и технология) для получения из древесного сырья различных изделий строительного назначения и мебели.

Технологическая линия включает в себя малоформатный мобильный принтер марки SD-2020, разработанный и изготовленный ООО «Спецавиа», позволяющий осуществлять 3D-печать изделий строительного назначения и мебели (размер рабочей зоны 2,5×1,6×0,8 м). Принтер смонтирован на базе штатного прицепа к легковому автомобилю. Загрузку и разгрузку принтера (вес 520 кг) легко может сделать один человек при помощи лебедки, входящей в комплектацию прицепа. Принтер оснащен мощными приводами, позволяющими быстро и точно перемещать печатающую головку с накопителем до 32 литров.

Искусственная древесина — это термопластичный композиционный материал на основе натурального лигнина, выделенного запатентованным способом гидротермомеханической (кавитационной) обработки древесины без применения химических реагентов. Исходным материалом для переработки может служить нетоварная древесина (ветки, листья, опилки и др.)

Строительная смесь для печати содержит зернистый материал с размером зерна более 0,5 мм от 10 до 60% массы и дисперсный материал с размером зерна менее 0,1 мм от 40 до 90% массы. Смесь предварительно приготавливают из двух или нескольких компонентов и смешивают до получения однородной массы. Не исключается вариант ее приготовления непосредственно в печатающей головке.

В качестве жидкости используют воду с добавками пластификаторов, фиброволокон и ускорителей (замедлителей) отверждения, а полученное изделие выдерживают

вают не менее 2 часов с последующей естественной или принудительной сушкой. Дополнительно в смесь можно вводить наполнители, пластификаторы, антизамерзающие добавки, связующие материалы.

#### Общие положения работы с материалами

Выбор компонентов строительной смеси определяется условиями эксплуатации строительных конструкций и необходимостью получения требуемых физико-механических свойств изделий: плотности, прочности, термостойкости, теплопроводности, устойчивости к механическим воздействиям в условиях значительного градиента температур и т. п.

Размер фракции определяет толщину и ширину слоя смеси, наносимого экструдером. Предпочтительно иметь толщину слоя от 5 до 50 мм. Подбирая гранулометрический состав смеси, изменяя размеры зерен отдельных компонентов, можно добиться необходимых свойств готового изделия.

Смешивание производят в растворных мешалках или специальных станциях до получения однородной массы. В процессе смешения возможно получение более предпочтительного гранулометрического состава порошкообразного материала в результате дополнительного измельчения.

Подача готового раствора в печатающую головку может производиться вручную и автоматизированным методом.

Выбор связующего материала зависит от выбора основных компонентов и добавок. Количество связующих материалов определяется необходимостью обеспечения достаточной прочности получаемого изделия.

Дополнительно могут вводиться пластифицирующие добавки в количестве менее 3%, благодаря

чему при меньшем содержании влаги получается необходимая плотная структура с меньшей пористостью и усадкой. Количество добавок подобрано экспериментальным путем для получения необходимой плотной структуры путем снижения межзеренного трения при уплотнении посредством экструдирования или вибрации. В качестве указанных добавок предлагается использовать, например, кварцевую пыль, оливин, полифосфат натрия, кальцинированную соду и др. Вводить данные добавки можно как в сухом (при смешении компонентов), так и жидком виде (в том числе с раствором солей магния).

#### Возможности и технические решения. Перспективы АМ в строительстве

Ограничения связаны с отсутствием нормативной базы для использования АМ-технологий в строительстве. Поэтому сейчас в большинстве стран разрешено строительство домов не выше второго этажа. Хотя в Дубае, например, планируется до 25% жилья, в том числе высотного, строить с применением АМ-технологий к 2030 г.

В РФ: конструкционный бетон для строительства высотных зданий по нормативам содержит не менее 20% портландцемента. При использовании АМ-технологий это требование выполняется, поскольку материал для принтера нужен только для печати несъемной опалубки при построении многокамерных стен. Одна из камер выполняет функцию армопояса, куда укладывается арматура и заливается затем товарным бетоном нужной марки.

Перспективы АМ можно видеть в новых материалах, таких как самовосстанавливающийся бетон (залечивание трещин), аэрогель (сверхизолирующий материал, 99,98% воздух), наноматери-

алы (сверхпрочные, сверхлегкие материалы для замены стальной арматуры), а также в новых подходах к строительству, таких как трехмерная печать и предварительно собранные модули. Все это может снизить затраты, ускорить строительство и повысить качество и безопасность.

Наибольшие перспективы просматриваются в сочетании роботизированных комплексов с традиционными технологиями строительства. ■

#### Литература

1. www.bkshoshnevis.com
2. www.contourcrafting.com
3. I. Klotz, M. Horman, M. Bodenschatz. A lean modelling protocol for evaluating green project delivery. *Lean Constr. J.* 3 (1) (2007) 1–18.
4. H. Nasir, H. Ahmed, C. Hass, P. M. Goodrum, An analysis of construction productivity differences between Canada and the United States. *Constr. Manag. Econ.* 32 (6) (2014) 595–607.
5. M. Molitch-hou, Branch technology is 3D printing the future of construction one wall at a time. <https://3dprintingindustry.com/news/branch-technology-is-3d-printing-the-future-of-construction-one-wall-at-a-time-54149/>
6. www.branch.technology
7. N. Hack, W. V. Lauer, F. Gramazio, and M. Kohler. Mesh Mould: Differentiation for Enhanced Performance. *Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture*, Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014)/Kyoto 14–16 May 2014, pp. 139–148, 2014.
8. Norman Hacka, Timothy Wangerlb, Jaime Mata-Falcónc, Kathrin Dörflera, Nitish Kumard, Alexander Nikolas Walzera, Konrad Grasere, Lex Reiterb, Heinz Richnerb, Jonas Buchlid, Walter Kaufmann, Robert J. Flattb, Fabio Gramazioa, Matthias Kohlera Mesh mould: an on site, robotically fabricated, functional formwork
9. <https://hightech.fm/2017/06/17/geobeton>

# asiamold

Guangzhou International Mould & Die Exhibition  
广州国际模具展览会

**Premier platform for mould, additive  
manufacturing and forming technologies**

**4 – 6 March 2018**

China Import and Export Fair Complex  
Guangzhou, China

**[www.asiamold-china.com](http://www.asiamold-china.com)**

## **Contact**

Guangzhou Guangya Messe Frankfurt Co Ltd

Tel: +86 20 3825 1558

Fax: +86 20 3825 1400

[asiamold@china.messefrankfurt.com](mailto:asiamold@china.messefrankfurt.com)

[www.asiamold-china.com](http://www.asiamold-china.com)





МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



# ФОТОНИКА

МИР  
ЛАЗЕРОВ  
И ОПТИКИ

**27 февраля –  
2 марта 2018**

При поддержке Министерства  
промышленности и торговли РФ  
Под патронатом ТПП РФ



Реклама 12+



13-я международная  
специализированная выставка  
лазерной, оптической  
и оптоэлектронной техники

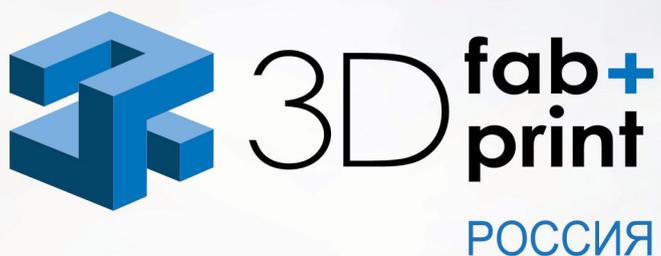
Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»

[www.photonics-expo.ru](http://www.photonics-expo.ru)



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

 ЭКСПОЦЕНТР



Проект аддитивных технологий  
и 3D-печати в промышленности

23 - 26 января 2018

[www.3dfabprint.ru](http://www.3dfabprint.ru)

в рамках выставки «интерпластика»



Ваше  
трехмерное  
пространство  
в России

Место проведения:



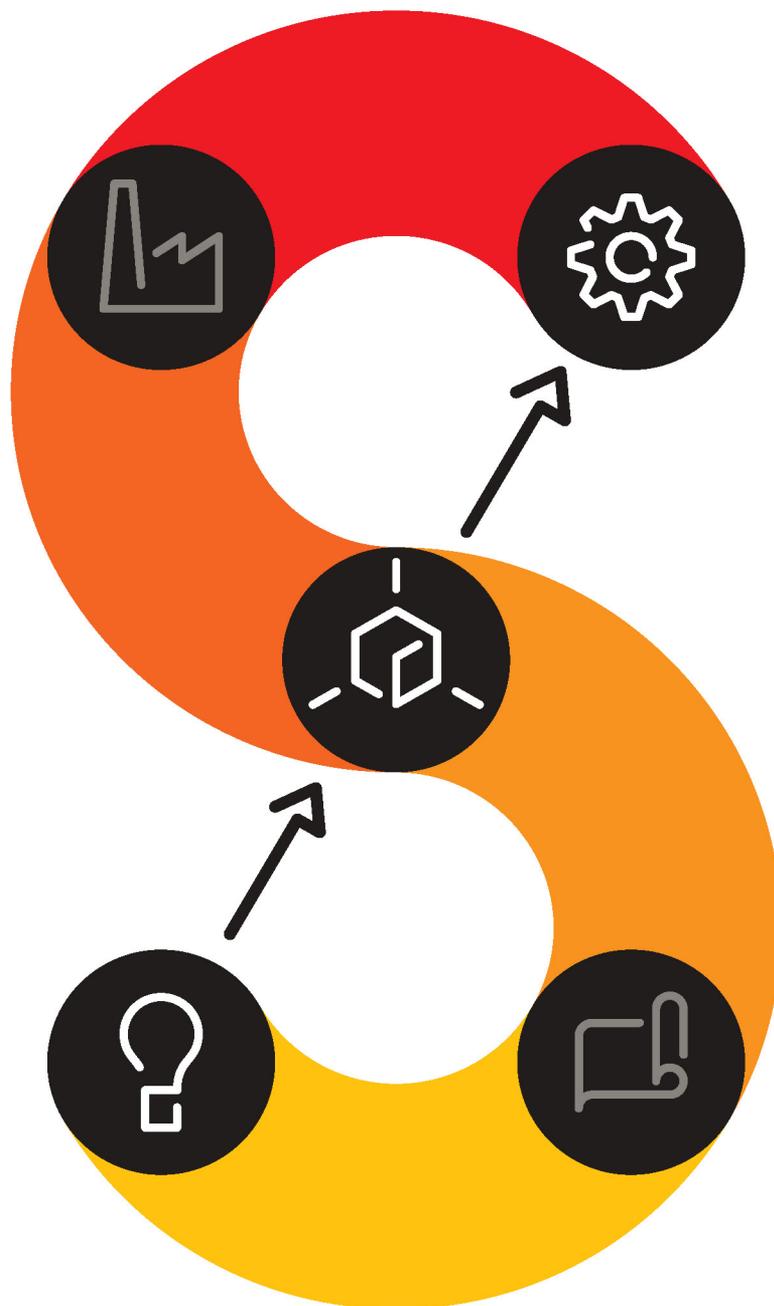
Партнер:

Организатор:



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](http://www.messe-duesseldorf.ru)





**LOGEEK<sup>S</sup> DM**

Ускоряем разработку  
и производство продуктов.

3D-печать. ЧПУ обработка.  
Литьё полиуретанов.

8 800 222 30 85  
[logeeks.ru](http://logeeks.ru)

ISO 9001:2008  
«Quality management systems – Requirements»  
(TUV NORD CERT GmbH, Germany)