

at

АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

PIOCREAT

3 / 2022

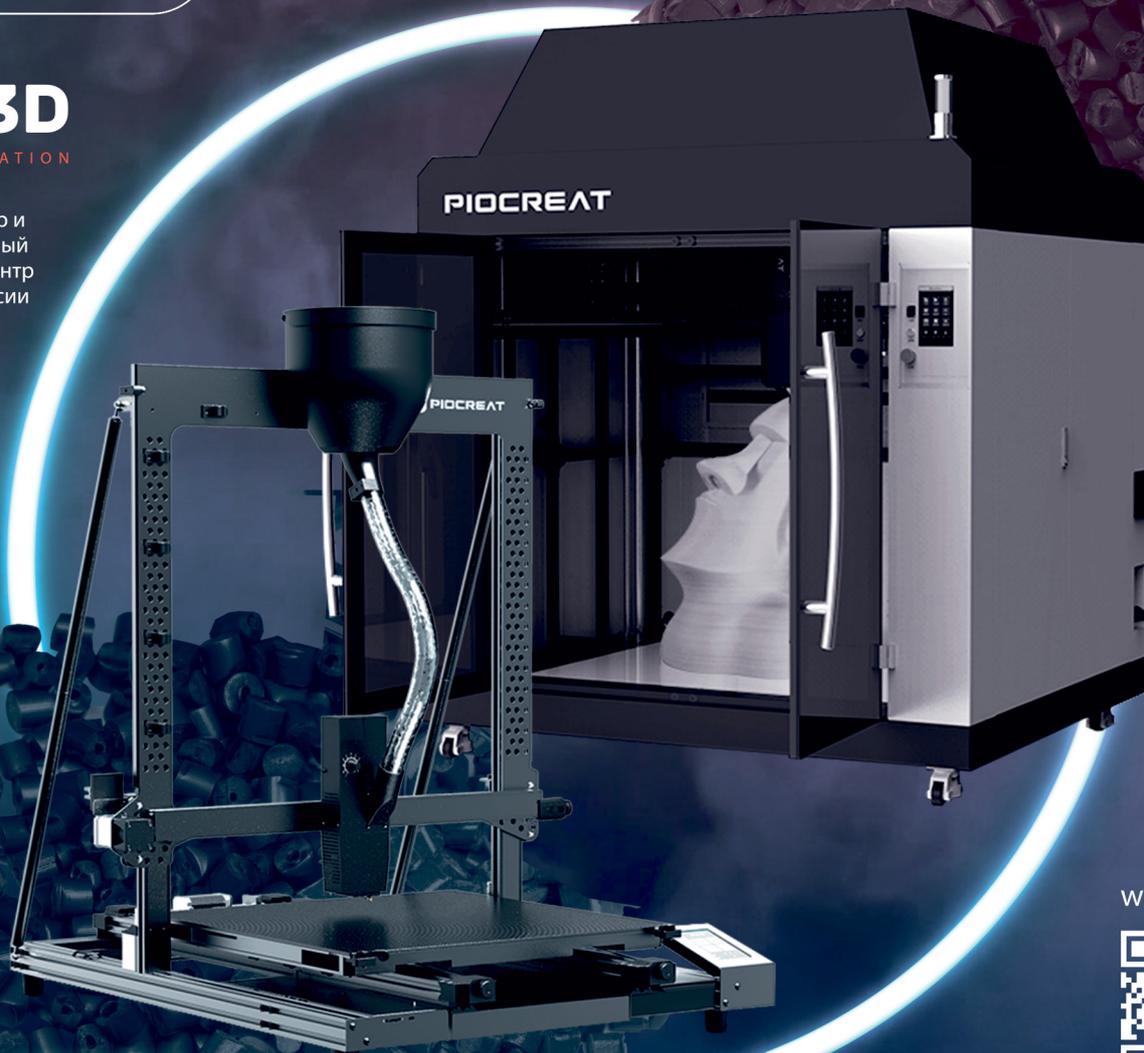
Новый опыт 3D-печати из полимерных гранул

G12

i3D

3D - INTEGRATION

Дистрибьютор и
авторизованный
сервисный центр
Piosreat в России
и Белоруссии



G5

www.i3D.ru



Аддитивные
технологии:
новые условия,
новые
возможности
21



Аддитивные
технологии в
авиаиндустрии
30



Критерии
применения АТ
в изделиях
энергетического
и тяжелого
машиностроения
33

УЛЬТРАКОМПАКТНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ СЕРИЯ YLR до 4 кВт



Волоконные лазеры **YLR** идеально подходят для различных технологических применений, включая аддитивное производство, резку, сварку, перфорацию, термообработку и другие.

- Высокая мощность в компактном корпусе – **до 4 кВт**
- **Превосходные** характеристики лазерного пучка
- **Лучшая в классе** стабильность параметров излучения
- Возможность модуляции излучения с частотой до **50 кГц**
- **Широкий выбор** опций доставки излучения



Подробнее обо всех новинках вы можете узнать у наших консультантов по e-mail и телефону:
+7 (496) 255 74 46; mail@ntoire-polus.ru
www.ipgphotonics.com

ПРОСТОТА ЭКСПЛУАТАЦИИ, БЕСПРЕЦЕДЕНТНО ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Подробнее о серии YLR

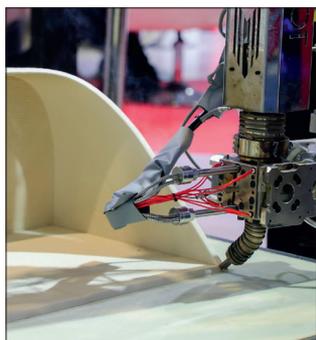
IPG Photonics представляет обновленную линейку непрерывных волоконных лазеров **YLR** с диодной накачкой, в компактном корпусе, с уникальным сочетанием высокой мощности и непревзойдённого качества пучка, широким выбором опций доставки излучения и высочайшим КПД от розетки. Благодаря удобному сенсорному дисплею, возможности управления через аналоговый интерфейс, интерфейс RS-232 и Ethernet, а также исполнению в Rack-корпусе лазер идеален для множества применений: от обработки материалов до научных исследований.

Сочетание профессиональной сервисной поддержки и мгновенного реагирования инженеров **IPG Photonics** обеспечивает вам дополнительную экономию, снижая издержки от простоя оборудования. Большинство мировых технологических лидеров в десятках отраслей промышленности от микроэлектроники до тяжелого машиностроения уже сделали выбор именно в пользу волоконных лазеров **IPG Photonics**. Используя лазеры **IPG Photonics** в своих технологических процессах, вы можете быть уверены в беспрецедентном качестве обработки при минимальных прямых затратах на изготовление изделий.

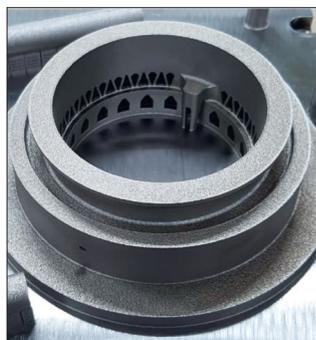


Варианты доставки излучения включают различные технологические головы.





2



8



14

СОДЕРЖАНИЕ

- 2** Метод FGF как новый виток развития в экструзии полимеров
- 8** Совместное производство деталей методом 3D-печати в ООО «Гранком» и АО «ЦАТ»
- 11** Пора начинать приглядываться к своим?
- 14** AddSol – давно не стартап
- 16** Рынок аддитивных технологий: признаки времени
- 21** Аддитивные технологии: новые условия, новые возможности
- 26** Рельефная чеканка с применением 3D-напечатанных заготовок
- 30** Аддитивные технологии в авиаиндустрии
- 33** Критерии применения аддитивных технологий в изделиях энергетического и тяжелого машиностроения
- 38** Опыт практического применения 3D-принтеров в школе
- 40** Как с помощью аддитивного производства усовершенствовать подготовку врачей

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:
Т. Карпова, Э. Сашкая
С. Куликова

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

отдел рекламы
т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

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

Тираж 5000 экз.
Распространяется на выставках
и по подписке.
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.

Метод FGF как новый виток развития в экструзии полимеров



Дмитрий Треногин, Руководитель направления полимерного 3D-оборудования компании i3D

3D-печать, также называемая аддитивным производством, с начала 1980-х годов использовалась преимущественно для изготовления опытных образцов. За последние 5 лет существенно увеличилась доля использования 3D-печати в изготовлении оснастки и функциональных изделий. Это произошло за счет повышения точности изделий, повторяемости и, наконец, стоимости производства. Выделю несколько популярных методов 3D-печати для производства функциональных изделий и оснастки:

- FFF (послойное наплавление из пластиковой нити).

- Binder Jetting (выборочное нанесение связующего).

- Direct Energy Deposition (направленное осаждение материала).

Считается, что среди большого разнообразия методов 3D-печати FFF является наиболее экономически оправданной технологией для печати прототипов и готовых изделий различной сложности.

Принцип производства методом FFF подразумевает 3D-печать термопластичными материалами в виде прутка/филамента, проталкиваемого в виде расплава через нагретое сопло/фильеру. 3D-принтер наносит материал слой за слоем на рабочую платформу по заданной траектории, где нить охлаждается и застывает, образуя готовое изделие.

В этой статье речь пойдет об относительно молодом методе печати,

альтернативной технологии FFF. Этот метод называется FGF/FPF (послойное наплавление из полимерных гранул).

Метод FGF как новый виток развития в экструзии полимеров

Принцип работы метода FGF-печати

Принцип передвижения экструдера в FGF 3D-принтере такой же, как и в традиционном FFF-принтере, однако расходным материалом вместо филамента являются полимерные гранулы. Для переработки гранул используются дополнительные узлы, такие как бункер и шнековый экструдер. Помимо порталных систем шнековый экструдер можно интегрировать на робот-манипулятор, тем самым

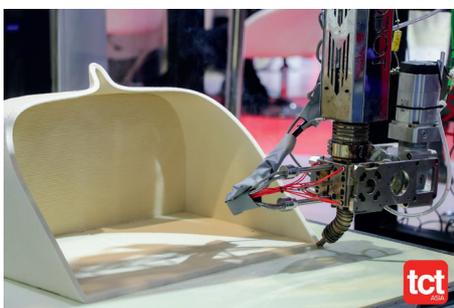
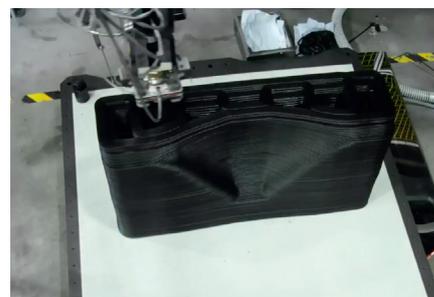
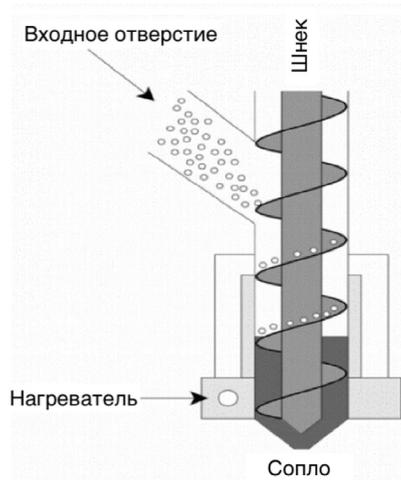


Рис. 1. Принципиальная схема работы шнекового экструдера FGF 3D-принтера



увеличив степень свободы в передвижении печатающей головы.

Шнек в экструдере осуществляет перемещение гранул от входного отверстия системы подачи к отверстию сопла. Непосредственно перед выдавливанием через сопло, расплавленный пластик подвергается высокому давлению благодаря двигателю, который вращает шнек. Принципиальная схема работы шнекового экструдера показана на рис. 1.

Экономичность

Гранулы — это первичное сырье для производства филамента. Исключив один из технологических этапов производства расходного материала, мы получаем более низкую себестоимость изделия. Например, цена на 1 кг гранул PET-G составляет менее 1 000 руб., тогда как 1 кг филамента аналогичного полимера обойдется примерно в 2 000 руб.

Высокая прочность напечатанных изделий

Одним из основных недостатков FFF-технологии является низкая прочность получаемых изделий вдоль напечатанных слоев. В среднем, прочность на разрыв по оси Z в 3 раза ниже, чем в паспорте на материал. Исследования прочности образцов, напечатанных на

настольных 3D-принтерах, работающих по технологиям FFF и FGF, показали, что механические свойства образцов, полученных методом FGF (гранулы и измельченные отходы), сопоставимы с образцами, полученными методом FFF. Когда же речь идет о промышленном оборудовании с производительностью экструдера от 2 кг в час, то мы получаем однородные с точки зрения механических свойств, изделия по всем осям, сопоставимые с изделиями, полученными методом литья под давлением, что наглядно изображено на рис. 2.

Рис. 2. Образец FGF-печати с фрезерной обработкой (ABS-CF-пластик)



Широкий спектр расходных материалов и вторичная переработка

В методе FGF применяется большое количество материалов в виде гранул, включая инженерные пластики. Аналогично FFF-оборудованию при печати полимерами с высокой усадкой необходимо иметь термостатированную камеру построения. Как правило, FGF-принтеры имеют рабочее пространство от 1 кубического метра, а такой объем воздуха не так просто нагреть. На российском рынке представлены как минимум 2 модели FGF-принтеров с термостатированной камерой построения, но цена на такое оборудование примерно в 2 раза выше, чем на системы без принудительного нагрева. Поэтому,

чаще всего используются полимеры с мелкодробленым углеродом или стекловолокном, например, АБС, ПАБ, ПП и даже ПЭИ (полиэфиримид). Или стабилизированные компаунды на основе базовых полимеров, например, ПЭТ, ПП, ТПУ, которые обладают низкой усадкой и не так требовательны к внешней среде. Для печати габаритных изделий без термостатированной камеры я рекомендую использовать материалы с усадкой не более 0,65%. При этом FGF-экструдер способен работать с переработанным пластиком из детали, которая печаталась на том же экструдере.

Существуют ряд материалов, доступных только в форме гранул, их просто невозможно производить в форме нити за счет высокой хрупкости.

Высокая производительность

Благодаря использованию сопел увеличенного диаметра и давлению, которое создается за счет специальной геометрии шнека, увеличивается скорость выхода материала. Это приводит к сокращению времени печати по сравнению с FFF-экструдером без потери качества. Например, FGF-принтер с соплом такого же диаметра, как и у FFF-принтера, будет минимум в 3 раза производительнее.

FGF -оборудование можно классифицировать по производительности экструдера: чем больше производительность, тем более нагруженной будет кинематика. Я выделил 3 основные категории (настольные, профессиональные и промышленные). Предлагаю ознакомиться с ними в таблице 1.

Комбинация с другими методами производства

ЧПУ фрезерный станок и FGF-оборудование на первый взгляд кажутся конкурентами. На самом деле это не так, эти методы могут и должны работать в связке: на 3D-принтере быстро печатается заготовка с припуском 0,5–3 мм,

Параметр	Настольные	Профессиональные	Промышленные
Производительность	До 1 кг/ч	До 5 кг/ч	До 50 кг/ч
Объем области построения	До 0,125 м ³	До 1,5 м ³	До 40 м ³
Особенности	Прочность по оси Z сопоставима с FFF-технологией.	Поставляются без шпинделя для фрезерной обработки.	Это могут быть относительно небольшие порталы (0,5 м ³) с temperируемой областью построения для печати полимерами с высокой усадкой, например, поликарбонатом, либо роботизированные ячейки или порталы с габаритами до 10 м по одной из осей.
Наименование оборудования	Piocreat G5	Piocreat G12, F2 Innovations Match и Quart, Coinrobotics QE-BRAM	Piocreat G40, Coinrobotics BRAM и BGAM, F2 Innovations Pro
Порядок цен	От 350 000 руб.	От 3 500 000 руб.	От 15 000 000 руб.

после чего производится финишная обработка на фрезерном станке. Преимущество напечатанных заготовок состоит в том, что нам не обязательно печатать монолитную оснастку, нефункциональная геометрия (каркас) может быть напечатана в виде сотовой структуры. Один FGF-принтер способен загрузить до 5 обрабатывающих центров с сопоставимой камерой обработки.

Существуют и комбинированные установки для 3D-печати и фрезерной обработки внутри одного станка. Такие установки могут быть выполнены в следующих конфигурациях: портал с двумя балками, где на первой расположен FGF-экструдер, а на второй – шпиндель для пятиосевой обработки (рис. 3); портал с 1 балкой и вертикальной сменой рабочего органа (рис. 4); роботизированная ячейка со сменой рабочего органа.

Ограничения метода FGF

Как и любая другая технология 3D-печати, метод FGF обладает как сильными сторонами, так и ограничениями. Поскольку кинематика и подготовка G-code для шнекового принтера схожа с филаментным оборудованием, при печати гранулами возникают аналогичные проблемы, такие как: коробление (*warping*), засорение (*clogging*), пористость (*porosity*), недостаточная экструзия и переэк-

Рис. 3. Комбинированная установка на основе портала с двумя балками

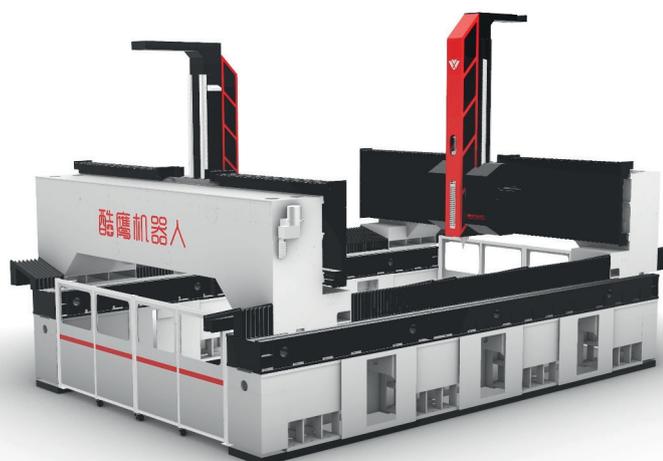
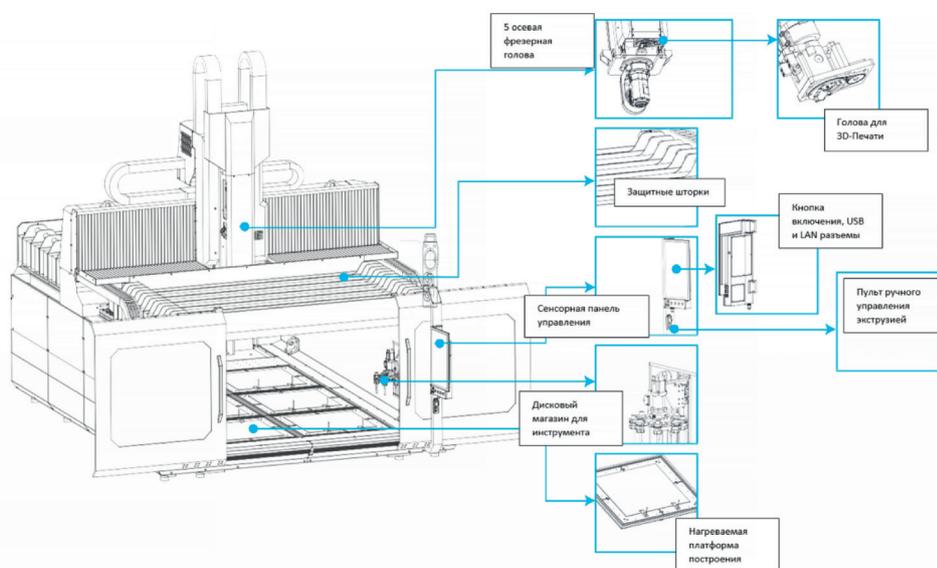


Рис. 4. Комбинированная установка на основе портала с одной балкой





Печать без ролика



Печать с роликом

сопла, и уплотняет еще пластичный полимер.

Засорение (clogging), недостаточная экструзия и переэкструзия (*under-extrusion and over-extrusion*)

При засорении происходит блокировка экструдера изнутри, которая не дает расплавленному пластику выходить из сопла. Это происходит из-за градиента температур. Правильный подбор параметров экструзии решит проблемы.

Пример параметров печати для пластика ABS 30CF:

- 1 зона (загрузки) 240–260 °С;
- 2 зона 255–275 °С;
- 3 зона (сопло) 260–280 °С.

трузия (*under-extrusion and over-extrusion*). Рассмотрим некоторые ограничения и недостатки ниже.

Пористость (porosity)

Пористость определяется как пустоты и воздушные раковины внутри или снаружи напечатанного изделия. Эта проблема возникает из-за воздуха или влаги, собранной гранулами. Предварительная сушка гранул или использование гранул

меньшего размера решит проблему. Например, чтобы подготовить ABS 30CF-пластик к печати, необходимо просушить его при температуре 80°С в течение 4 часов.

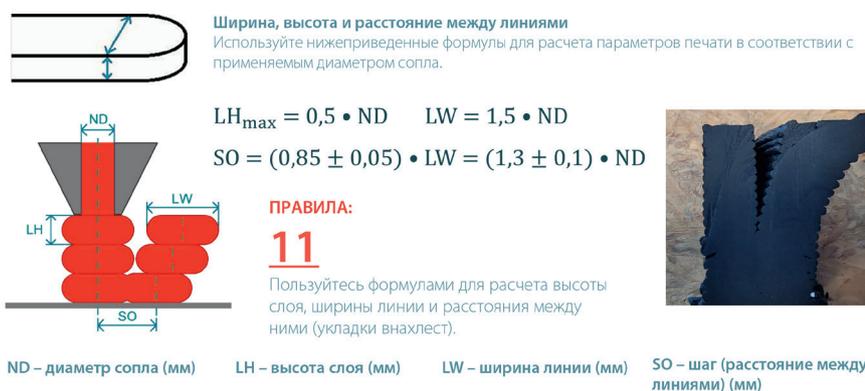
Для высокопроизводительных экструдеров (от 20 кг/ч) в конструкции оборудования должен быть предусмотрен специальный трабовочный/укатывающий ролик, который движется вслед за массой расплава, выходящей из

Поддержка (support)

FGF-принтеры чаще всего поддерживают печать только одним материалом, то есть нет растворимых материалов поддержки. Таким образом, поддержку можно удалить только механическим способом, поэтому желательно печатать с минимальным количеством поддержек, а лучше без них.

Для печати крупногабаритных изделий, где без поддержек не обойтись, возможно следующее решение: сначала печатаем опорную конструкцию как отдельный объект, далее запускаем в печать саму деталь и на том слое, где необходима поддержка, останавливаем печать, устанавливаем ранее напечатанную поддержку, после чего продолжаем печать детали.

Рис. 5.



Рекомендую придерживаться следующих правил при проектировании деталей, которые будут изготовлены методом FGF:

Рис. 6.

1. При подготовке управляющей программы важно обеспечить непрерывное и равномерное движение экструдера, линии материала должны укладываться внахлест. Пользуйтесь формулами для расчета высоты слоя, ширины линии и расстояния между ними для укладки внахлест (рис. 5);



Печать поддержки приводит к чрезмерному расходу материала + их очень трудно удалить

2. Старайтесь избегать наклона стенки более 45 градусов и печатать без применения поддержек (рис. 6);

3. Проектируйте заполнение в исходной модели, не пользуйтесь стандартными шаблонами слайсеров (рис. 7);

4. Скруглите острые углы и/или разделите на большее количество шагов, учитывайте диаметр сопла для углов, минимальный внутренний радиус угла = 50% диаметра сопла (рис. 8);

5. Избегайте холостых перемещений. Если холостой переход экструдера неизбежен, применяйте печать двух моделей или используйте построение «башни» (рис. 9).

Области применения метода FGF

Учитывая все возможности (и некоторые недостатки) метода FGF, области применения могут быть абсолютно разными, например:

- Оснастка для выкладки композитов.
- Модельная оснастка для литья металлов.
- Ступени для сборки габаритного оборудования.
- Оснастка для литья бетона.
- Корпусные детали и кронштейны транспортных средств.
- Экстерьерная и интерьерная мебель и декор.
- Малые архитектурные формы.

Заключение

В заключение хочу сказать, что печать с использованием полимерных гранул открывает двери к еще большим возможностям производства, включая разнообразие выбора материалов. Если говорить про рынок филамента, то, несомненно, ассортимент быстро растет, но он не сможет сравниться с огромным выбором и разнообразием гранулированных термопластов.

При этом стоимость гранул обычно в 2–4 раза ниже, чем стоимость филамента для такого же типа материала. Это связано с дополнительными этапами производственного процесса, необходимыми для изготовления филамента. Это становится более заметным при использовании прочных и термостойких термопластов, поскольку для переработки гранул в нить требуется больше энергии и контроля окружающей среды.

Использование технологии FGF станет ключевым фактором, способствующим снижению стоимости и времени производства габаритной и износостойкой оснастки, заготовок для фрезеровки и функциональных изделий. ■

Рис. 7.

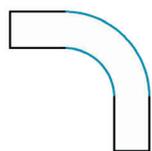


Шаблоны заполнения, автоматически генерируемые в таких слайсерах, как Simplify или Cura, не подходят для гранульной печати.

Если требуется армирование (например, для конструкционных деталей или форм), включите это в модель.



Рис. 8.



Углы
Острые углы в модели приведут к переэкструзии материала во внутреннем диаметре, что приведет к сбою печати.

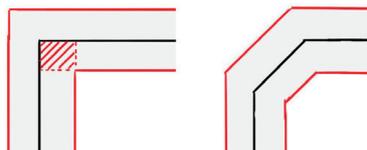


Рис. 9.

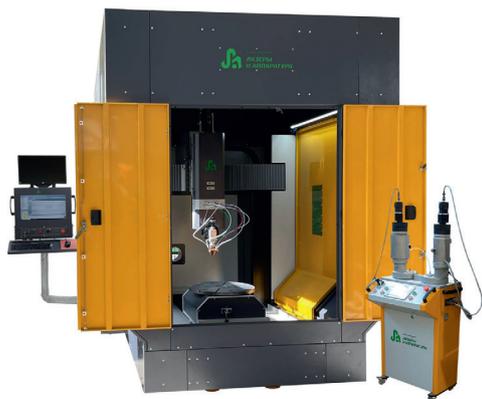
Холостые перемещения

Расплав не может быть полностью остановлен из-за текучести полимера, что приводит к вытеканию материала после остановки экструдера.



Ссылки

1. Varotsis, A.B. (2021) Introduction to FDM 3D Printing. 3dhubs. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>
2. Yousuf Pasha Shaik et al. A Scientific Review on Various Pellet Extruders Used In 3D Printing FDM Processes, DOI: 10.4236/oalib.1107698
3. Ben Redwood, et al. The 3D printing Handbook – Technologies, design and applications, 3D Hubs B. V. 2017
4. Arthur Alexandre, et al. Mechanical Properties of Direct Waste Printing of Polylactic Acid with Universal Pellets Extruder: Comparison to Fused Filament Fabrication on Open-Source Desktop Three-Dimensional Printers. 3D PRINTING AND ADDITIVE MANUFACTURING Volume 7. Number 5. 2020 Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/3dp.2019.0195
5. Jennings, A. (2021) 3D Printing Troubleshooting All Common Problems. All3DP. <https://all3dp.com/1/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues>
6. <https://all3dp.com/1/robotic-arm-3d-printing-platforms-software/>
7. Boyle, B.M., Xiong, P.T., Mensch, T.E., Werder, T.J. and Miyake, G.M. (2019) 3D Printing Using Powder Melt Extrusion. 9.



Специалисты инженерного центра группы компаний «Лазеры и аппаратура» запустили в серийное производство новую модификацию лазерной машины для порошковой наплавки и формо-

Расширение серии

образования, оборудованной системой машинного зрения собственной разработки, которая позволяет распознавать и анализировать контур обрабатываемой детали.

Лазерная установка МЛ7-С применяется для обработки крупногабаритных изделий (рабочий ход составляет 1500×600×1500 мм). Для работы могут использоваться металлические порошки из хромоникелевых и кобальт-хромовых сплавов, нержавеющей стали, алюминия, титана, а также цветных металлов.

МЛ7-С является продолжением серии лазерных установок МЛ7, которая в 2021 году была отмечена национальной премией в области передовых технологий «Приоритет» в номинации «Аддитивные технологии». МЛ7 серийно выпускается и используется на предприятиях двигателе- и машиностроения. Области применения МЛП7-С также обширны — помимо двигателестроения и машиностроения это аэрокосмическая, автомобильная, железнодорожная отрасли и др.

<https://laserapr.ru/>

Импульсные иттербиевые лазеры: качество, надежность, сокращение издержек

Волоконные лазеры более эффективны и компактны по сравнению с классическими твердотельными лазерами. Превосходного качества обработки удается достичь благодаря высокому качеству излучения и широкому набору изменяемых при подборе режима параметров.

Так, импульсные иттербиевые волоконные лазеры серии YLP-V2 компании IPG Photonics позволяют пользователю изменять количество импульсов в цуге вплоть до режима одиночных импульсов (частота следования импульсов — 2...500 кГц). Это особенно ценно при применении лазеров в микрообработке, скрайбировании, структурировании поверхностей, абляции, изготовлении солнечных батарей, перфорации, подгонке резисторов, маркировке, обработке чувствительных материалов.



Отличительные особенности данной серии: промышленное исполнение, компактность, высокая надежность, воздушное охлаждение, средняя выходная мощность — до 100 Вт, качество излучения $M2 < 2$. Лазеры серии YLP-V2 генерируют импульсное излучение с длиной волны 1,064 мкм со средней выходной мощностью до 100 Вт, энергией в импульсе — 1 мДж. Длина импульса — 100 нс.

Лазерное излучение передается по гибкому волоконному кабелю длиной 3 м с коллиматором на выходе. Встроенный в коллиматор оптический изолятор обеспечивает защиту от обратного отражения, что позволяет обрабатывать высокоотражающие материалы. Лазер снабжен встроенным красным пилотом-лазером для визуализации места попадания основного излучения.

www.ipgphotonics.com

Совместное производство деталей методом 3D-печати в ООО «Гранком» и АО «ЦАТ»

А.И. Демченко, А.А. Максимов, А.И. Андрейко, ООО «Гранком»
В.С. Маршов, АО «Центр аддитивных технологий»

В статье показано, что аддитивное производство является одной из быстроразвивающихся отраслей промышленности. Показаны преимущества данной технологии. Приведены технологические схемы производства ООО «Гранком» и АО «ЦАТ». Методом газовой атомизации получен порошок стали ПС-Х15Н5Д4Б. На установке EOS M290 методом послойного лазерного выращивания произведена деталь «корпус подшипника». Механические свойства полученной детали удовлетворяют требованиям технического задания.

Введение

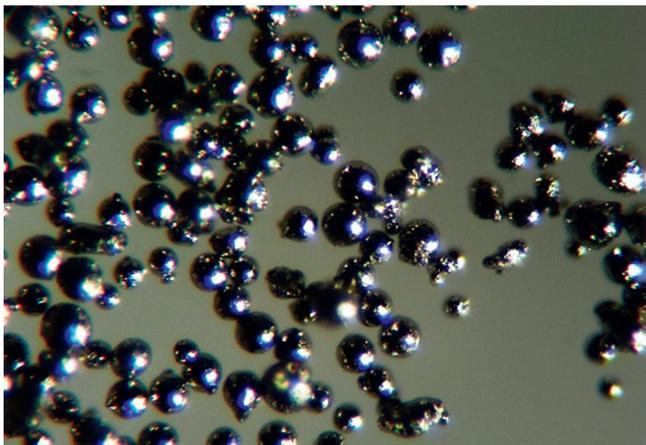
Технический прогресс требует создания новых производственных цепочек для изготовления деталей сложной конфигурации, при создании которых традиционные способы изготовления, такие как литье и ковка, в значительной мере устарели, и приводят либо

к затягиванию сроков изготовления, либо к удорожанию самой детали. Одним из оптимальных вариантов новой технологической цепочки может выступать 3D-печать на принтерах послойного лазерного выращивания. Аддитивные технологии — одно из наиболее быстроразвивающихся направлений современного производства [1], в том числе и для производства газотурбинных двигателей [2–5]. Данное производство позволяет значительно ускорить ряд задач по подготовке производства, а в ряде случаев активно применяется для производства уже готовых изделий. Большинство технологий 3D-печати для изготовления деталей из металла в качестве сырьевого материала используют порошковые материалы. Такое производство в настоящий момент организовано и активно развивается в структуре «ОДК» — компании АО «ЦАТ». В связке с компанией ООО «Гранком», являющейся одним из лидеров российского рынка по производству порошков для 3D-печати, становится

Рис. 1. Технологическая схема производства металлического порошка для 3D-печати в условиях ООО «Гранком»



Рис. 2. Внешний вид порошка ПС-Х15Н5Д4Б



ся возможным производство деталей ответственного назначения в пределах всего двух производственных площадок. Один из примеров такого взаимодействия приведен в данной статье.

Состояние вопроса

Одним из главных вопросов производства деталей методом 3D-печати является производство металлического порошка. Существуют различные способы получения такого порошка, такие как газовая атомизация [6] по технологии VIGA, EIGA, технология Plasma Atomization [7], технология Soluble Gas Atomization [8, 9], технология PREP, основанная на отделении частиц жидкого металла от торца вращающегося элект-

рода под действием центробежной силы. Как и любые технологии, каждая из приведенных имеет свои преимущества и свои недостатки. В компании ООО «Гранком» имеются две технологические линии для производства порошков для 3D-печати — VIGA и PREP. Однако, в данной статье речь пойдет о металлическом порошке марки ПС-Х15Н5Д4Б, полученном методом газовой атомизации на установке VIGA емкостью тигля 300 кг. Полученный материал был использован на установке EOS M290 в АО «ЦАТ» для производства изделия «корпус подшипника». Целью данной работы является анализ полного цикла технологии производства детали «корпус подшипника».

Экспериментальная часть

Технологическая схема производства металлического порошка для 3D-печати в условиях ООО «Гранком» показана на рис. 1.

Сталь ПС-Х15Н5Д4Б выплавляли в вакуумной индукционной печи емкостью 300 килограмм на марочных отходах (до 60%) и чистых материалах (до 40%). После достижения требуемого химического состава и температуры расплав переливали в специальный промежуточный ковш. Распыление проводили аргоном при давлении 50 атмосфер. Температуру расплава поддерживали на уровне 1640°С.

Полученный порошок подвергали рассеву на установке ситового рассева для получения фракции 20–45 мкм. Внешний вид полученного порошка показан на рис. 2.

Рис. 3. Технологическая схема производства деталей методом 3D-печати в ПАО «ЦАТ». Выращивание детали «корпус подшипника» было осуществлено на установке EOS M290.

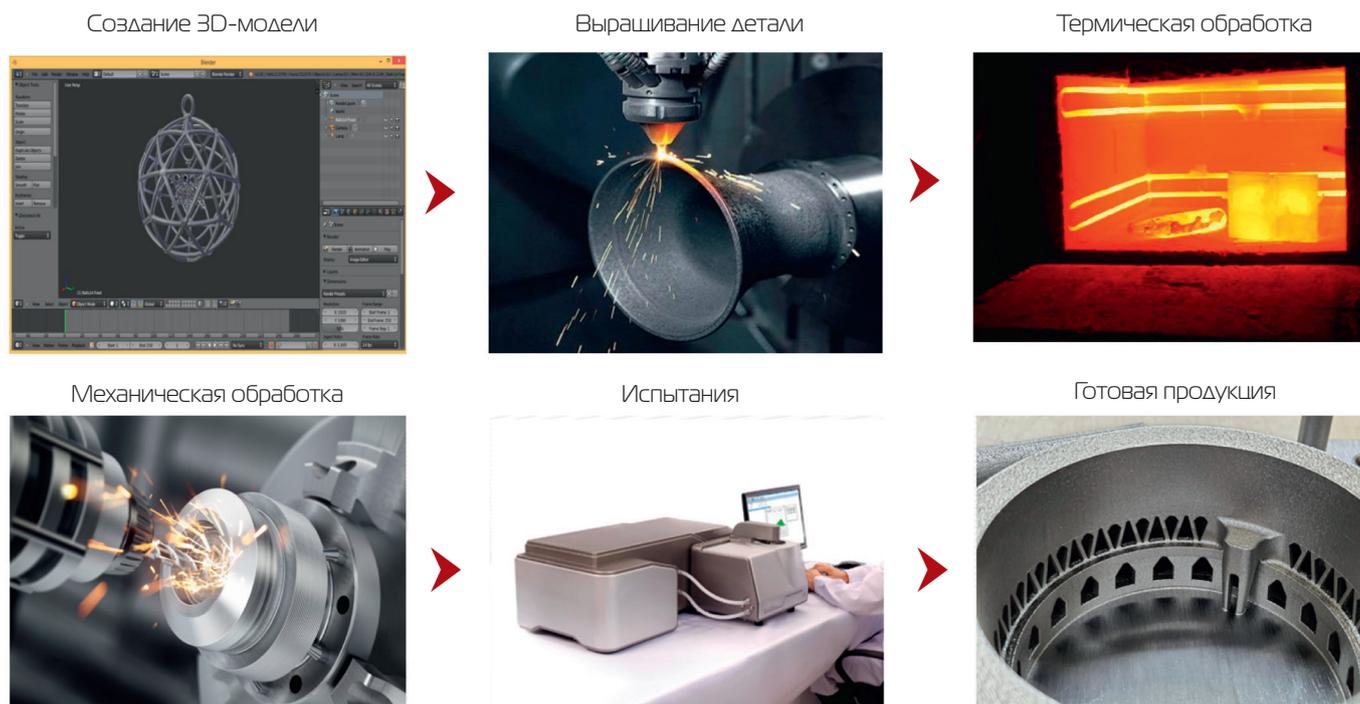


Таблица 1. Механические свойства детали «корпус подшипника»

Нормы согласно техническому заданию	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ_5 , %	HRC
ТЗ	$\geq 1050 \pm 50$	$\geq 1000 \pm 50$	$\geq 17 \pm 4$	30–35
Деталь	1073	987	19	32

После упаковки порошок передали в АО «ЦАТ». Технологическая схема производства деталей методом 3D-печати в АО «ЦАТ» приведена на рис. 3.

Выращивание детали «корпус подшипника» было осуществлено на установке EOS M290.

Обсуждение результатов

Внешний вид выращенной детали «корпус подшипника» показан на рис. 4.

Механические свойства образца-свидетеля, выращенного совместно с деталью, приведены в таблице 1. Механические свойства образца-свидетеля распространяются на готовую деталь.

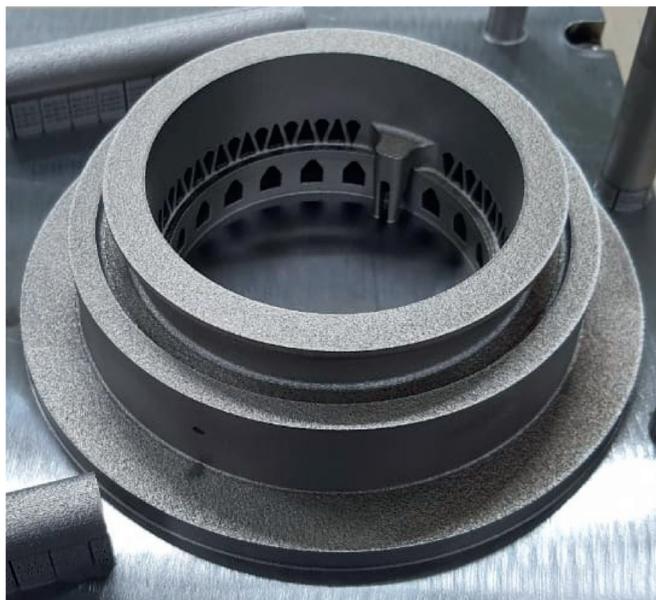
Как видно из данных таблицы 1, механические свойства готовой детали удовлетворяют требованиям технического задания.

Выводы

1. На предприятиях ООО «Гранком» и АО «ЦАТ» реализовано самое современное производство металлического порошка и изделий методом 3D-печати.

2. Технологические схемы, реализованные на предприятиях, позволяют получать качественные изделия из различных марок материалов.

Рис. 4. Внешний вид выращенной детали «корпус подшипника»



3. Результаты механических испытаний образцов-свидетелей показали, что механические свойства полученной детали удовлетворяют требованиям нормативной документации. ■

Литература

1. Environmental aspects of Laser-Based and Conventional Tool and Die manufacturing / W. R. Morrow, H Qi // J. Clean prod. 2007. 15. P. 932–943.
2. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей: Учебное пособие для вузов / Ю. С. Елисеев, А. Г. Бойцов, В. В. Крымов, Л. А. Хворостухин // Машиностроение. 2003. 512 с.
3. Исследование структуры и механических свойств изделий, полученных методом СЛС из порошка стали 316L / В. Г. Смелов, А. В. Сотов, А. В. Агаповичев // Черные металлы. 2016. № 9. С. 61–65.
4. Суфияров В. Ш. Влияние толщины слоя построения при селективном лазерном плавлении сплава инконель-718 на микроструктуру и свойства / В. Ш. Суфияров, А. А. Попович, Е. В. Борисов // Цветные металлы. 2016. № 1(877). С. 81–86.
5. Евгенов А. Г. Перспективы разработки высокопроизводительных режимов селективного лазерного сплавления жаропрочных сплавов на основе никеля для изготовления деталей ГТД / А. Г. Евгенов, В. А. Королев, С. В. Шуртаков // Статья в сборнике трудов конференции «Аддитивные технологии: настоящее и будущее». 2017. С. 23.
6. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. Санкт-Петербург, 2013. 221 с.
7. Tsantrizos P. G. et. al. Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization. Pat. US № 5707419, дата выдачи: 13 янв. 1998.
8. Donachie M. J. Donachie S. Superalloys: A Technical Guide, 2nd Ed.— ASM International, 2002. 438 p.
9. Fngelo H. C., Subramanian R. Powder Metalurge: Science, technology and application. New Dehli, 2009. 300 p.

ГРАНКОМ

ООО «Гранком»
Россия, г. Кулебаки,
ул. Восстания, д. 1/4, 607018
<https://grankom.com>, info@grankom.com
Телефон: +7 (831) 435 1754



АО «Центр аддитивных технологий»
г. Москва, ул. Вишнёвая 7, стр. 18, 125362
<https://rt-3d.ru/>, info@rt-3d.ru
Телефон: +7 (495) 197-76-50



Пора начинать приглядываться к своим?

Зинаида Сацкая



Денис Власов

На VIII Международном технологическом форуме «Инновации. Технологии. Производство», который в Рыбинске провел ПАО «ОДК-Сатурн», предметом интереса журнала «Аддитивные технологии» стала сессия «Аддитивные технологии в России — стратегия импортозамещения».

Многие выступавшие воспользовались трибуной в первую очередь для того, чтобы продвинуть свою продукцию, что понятно. Но прозвучала также информация об изменениях на рынке. Так, в условиях, когда закрыт доступ к электронным компонентам, некоторые компании перешли от сборки принтеров к оказанию услуг по 3D-печати, то есть собирают машины не на продажу, а оставляют себе, чтобы увеличивать объем выполняемых услуг.

Ярко позвучала тема синих лазеров. Они хороши для печати медью, за которой производственники видят будущий технологический скачок. Это новые обмотки двигателей, новые генераторы, новые перспективные конфигурации электрических систем.

И снова о пророке в своем отечестве

Для представителей малого промышленного бизнеса актуальной, если не сказать? жизненно важной была тема взаимодействия с большими компаниями, в том числе государственными корпорациями, использующими аддитивные технологии.

Малый бизнес по природе своей инновационен, именно малыми компаниями была освоена первая в России печать керамики, была реализована первая в мире система печати на базе СВЧ и др. Выразителем проблем малых компаний, специализирующихся на аддитивном производстве, на форуме был Денис Власов, руководитель R&D и заместитель генерального директора ООО «Эксклюзивные решения» и генеральный директор ООО «Триангулятика». «В Германии, Болгарии собирают машины на наших решениях, а здесь нас не хотят видеть», — считает Власов.

С вопросом: «**Почему крупный бизнес не интересуется решениями российских разработчиков?**» обозреватель журнала «Аддитивные технологии» обратился к Денису Федосееву, заместителю главного инженера опытного завода по аддитивным технологиям ПАО «ОДК-Сатурн». Денис Владимирович очень аккуратно подбирал слова, и все же осталось впечатление, что еще не пришло полное осознание радикальных изменений на рынке промышленного аддитивного оборудования.

— У нас сейчас технологическая цепочка создания продукта уже настолько сформирована, что нас интересуют готовые промышленные решения, — объяснял Денис Федосеев. — С металлом работаем только на зарубежном оборудовании. Это топовое



Денис Федосеев

оборудование, которое используют и наши прямые конкуренты уровня General Electric. Российские разработчики, которые представлены на форуме, не совсем на том уровне, который мог бы нас удовлетворить. Это не связано с нашим пренебрежением к таким разработкам. Они нам интересны, в своих НИР, ОКР мы их используем, но что касается промышленного применения, то есть проблемы. В текущую сформированную технологическую платформу аддитивного производства уже вложены очень серьезные усилия и связанные с этим работы по паспортизации материалов, решены вопросы с регуляторами, я имею в виду сертификационные центры. Поэтому одного желания недостаточно. Пока мы видим интересные решения отечественных производителей, но нам сейчас не хватает, грубо говоря, соответствия ГОСТу по выпуску сертифицированного промышленного продукта — «замороженной» конструкции, отработанных технологических параметров синтеза для материалов, прошедших общую квалификацию для этого оборудования, и вытекающих историй, связанных с поддержкой, обслуживанием и другими моментами.

Означает ли ваш ответ, что вы будете ориентироваться на такие же большие государственные компании, как вы сами?

— Нам хотелось бы, чтобы в этой истории был некий интегратор. Попросту говоря, мы формулируем некий запрос рынку, своего рода ТЗ, а вопросами получения готового промышленного решения — промышленного серийного оборудования послойного синтеза, фиксированных технологических параметров синтеза для интересующих нас материалов, а также квалификацией этих материалов — занимались бы разработчики и производители оборудования, обеспечивающие нас дальнейшим сопровождением своего продукта. По многим проектам ситуация такова: показывают интересный прототип, нужны небольшие финансовые вложения для доводки данного оборудования до интересующих нас возможностей, а когда встает вопрос, что завтра нам нужно пять, десять таких машин и их сопровождение, обслуживание и поддержка на протяжении, скажем, десятка лет — всё сразу стопорится.

Вы у российских разработчиков просите машины на тестирование?

Конечно. Мы всем отечественным разработчикам, которые движутся в понятном нам направлении, предлагали подобные условия. Мы говорили: используйте центр аддитивных технологий «Сатурна» как testbed, экспериментальную лабораторию. Ставьте оборудование с возвратом, мы готовы тестировать его в реальных промышленных условиях, загружать его параллельно теми же задачами, которыми загружаем свое серийное промышленное оборудование, проводить сравнение,

перекрестный анализ, беря на себя финансирование этих исследований. И у нас встречный вопрос: почему ни одна из фирм, даже из числа тех, кто успешно представляет здесь свои доклады, не откликнулась на наше предложение? Это удивляет. В начале 2000-х у нас был опыт работы с одной компанией, мы более трех лет эксплуатировали ее опытный образец, вместе с производителем доводили его до совершенства. По итогам совместной работы получилась качественная промышленная установка стереолитографии, на мой взгляд, не уступающая лучшим зарубежным аналогам. Разработчик получил, по его отзыву, бесценную обратную связь, что позволило добиться такого результата. Что происходит сейчас, — мне не совсем понятно.

Может, они опасаются, что вы готовы вкладывать деньги не в то, чтобы развивать, а в то, чтобы в итоге поглотить?

— Ни в коем случае. Это даже не рассматривается, у нас на текущий момент нет намерений заниматься собственным производством аддитивного промышленного оборудования. Каждый должен заниматься своим делом. И не могу понять, почему такая уникальная возможность, в том числе и возможность сократить свои издержки на работы по совершенствованию оборудования, не находит отклика.

Правда, но не вся

Как же так? Крупная компания, понимая все сложности с использованием продукции малых компаний, готова помогать, а малый бизнес не откликается, да еще и упрекает большие компании в отсутствии внимания к себе. По этой причине результат моего разговора я оттранслировала Денису Власову, который в своем выступлении поднял проблему взаимодействия большого и малого бизнеса. Может, дело в коммуникационном разрыве?

— Нет, дело в экономике, — возражает Денис Власов. — Машину требуют поставить бесплатно, а собрать ее дорого, и для малой компании это весьма чувствительно. Как правило, к тому, что достается бесплатно, и отношение, как к бесплатному. Всегда. Нам не нужно, чтобы наши машины стояли «для мебели», нам нужна обратная связь. Если формируется полноценное сотрудничество, которое предполагает тестирование, должен быть контракт, в котором прописаны время и условия тестирования, деньги, которые разработчик получает. Ресурсы у большой корпорации и у маленькой компании-разработчика разные, и хочется, чтобы большие компании сделали над собой усилие, поддержали российского разработчика, купили у своих, чтобы мы развивались. Здесь на форуме много ребят с хорошими продуктами, но без помощи больших компаний и обратной связи от них нам будет трудно сделать хороший

серийный продукт. Надо покупать свое, тем более что чужое стало недоступным.

На словах и на деле

Никто не произносит неуважительных слов по отношению к российским малым компаниям-разработчикам, их приглашают с выступлениями на форумы и конференции, но незримое «они и мы» в бизнес-атмосфере присутствует. Говорит об этом и коллизия, возникшая после публикации в нашем журнале (АТ № 2/2022), когда было высказано мнение, что «стартап AddSol повторил созданный SLM Solutions малогабаритный 3D-принтер S90». По поводу этого утверждения нам пришлось выслушать немало экспертных возражений, потому что AddSol давно не стартап и машину создал, а не повторил. В этой связи редакция приняла предложение компании рассказать в данном номере журнала о своем развитии и достижениях.

О том, что малый бизнес неинтересен большому, говорит и тот факт, что в Ассоциации развития аддитивных технологий, документы об учреждении которой в декабре 2020 года подписали представители АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ПАО «Газпром нефть», ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, ФГУП «НПО «Техномаш», Госкорпорации «Роскосмос», АО «Центр аддитивных технологий», до сих пор наблюдается слабый прирост за счет компаний, работающих на российском рынке, большинство из которых малые и средние предприятия.

Велосипед уже изобретен

На форуме неоднократно упоминали появившийся весной в США проект AM Forward. Как описано в официальном заявлении Белого дома, это «добровольный договор между крупными знаковыми производителями и их более мелкими поставщиками из США». Реализация проекта решает одновременно две задачи: обеспечивает внедрение и масштабирование операций в сфере аддитивного производства, а также поддерживает основу экономики — малый и средний бизнес, доля которого в ВВП США превышает 50%.

В проекте участвуют пять крупных производителей: GE Aviation, Honeywell, Lockheed Martin, Raytheon и Siemens Energy, которые будут оказывать поддержку своим более мелким местным поставщикам в США, помогая им внедрять аддитивное производство.

GE Aviation, Raytheon, Siemens Energy намерены напрямую или через конкурсы закупать у малого и среднего бизнеса от 20 до 50% общего объема деталей, изготовленных с использованием АТ. Использование деталей от внешних поставщиков должно, кроме прочего, стимулировать конкуренцию между поставщиками. Siemens Energy также проведет обучение 10–20

поставщиков малого и среднего бизнеса передовым методам контроля и постобработки деталей АТ. Lockheed Martin объявил о курсе на сотрудничество со своими поставщиками для малого и среднего бизнеса в проведении исследований по повышению эффективности технологий АТ, специально ориентированных на использование АТ в качестве альтернативы отливкам и поковкам. Honeywell намерен стимулировать участие предприятий малого и среднего бизнеса в конкурсах на продукцию, оборудование, производственную оснастку и/или разработку производственных процессов с использованием аддитивных или смежных технологий. Компания намерена также предлагать своим поставщикам техническую помощь в проектировании деталей, сборе данных, эксплуатации станков, постобработке, управлении качеством.

Кроме того, сделан серьезный шаг к участию государства в решении задачи, крайне важной для компаний, специализирующихся на печати металлами, а именно — стандартизации. Министерство торговли США с помощью Национального института стандартов и технологий (NIST) проведет научные исследования в области измерений для преодоления ключевых барьеров на пути широкого использования металлических АТ. NIST разработает техническую основу для новых высокоприоритетных стандартов и распространит эти результаты среди участников AM Forward через руководство разработкой стандартов в рамках ASTM International, Международной организации по стандартизации (ISO), Американского общества инженеров-механиков (ASME) и других органов по стандартизации.

Мы отдаем себе отчет в том, что авторы инициативы отталкивались от реалий собственного рынка. У нас реалии другие, но сам подход, способ регулирующего воздействия государства, который одновременно предполагает развитие аддитивного производства и поддержку малого и среднего бизнеса как основы развитой экономики, заслуживает осмысления. ■



AddSol – давно не стартап



Исследуя роль малых предприятий в создании и внедрении инноваций, решении серьезных промышленных задач, редакция обратилась к истории становления и развития российского малого бизнеса в сфере аддитивных технологий. О пути и возможностях своего предприятия рассказал главный конструктор компании AddSol Максим Бурмистров.

— Наша компания была образована в 2018 году. За 4 месяца мы разработали и собрали наш первый 3D-принтер — AddSol D250. Это была стандартная машина с диаметром построения 250 мм и высотой построения 420 мм. На ней мы реализовали оптическое улучшение: нетрадиционное для аддитивного выращивания — иное распределение энергии в пятне лазерного излучения («Обратный Гаусс»), полагая, что это может дать конкурентное преимущество на российском рынке аддитивных LPBF-установок, но нишевое применение распределения — работа с цветными сплавами.

Мы первыми в России начали работать с медными сплавами, плотно сотрудничая с МЦЛТ и ЦИАМ им. Баранова в части печати сплавами БрХ08 и БрХЦрТ. Целью было сделать биметаллическую камеру ЖРД, где внутренняя структура бронзовая, а внешняя из инконеля. И это был 2018 год!

Малый российский рынок не позволил нам решить поставленную перед собой задачу — продать 10 принтеров за первый год, и мы немного перепрофилировались и стали заниматься печатью на заказ с целью получения опыта, выявления слабых мест 3D-принтера и «прокачки» слайсера (ПО для подготовки управляющего файла печати), который, к слову, разработка выходящих из МАИ — Андрея Рипецкого и Сергея Зеленова.

За год мы отработали режимы печати нержавеющей сталью 316L, бронзовыми сплавами БрХ08 и БрХЦрТ, титановым сплавом ВТ6, алюминиевым сплавом RS-320 марки РУСАЛ и первыми начали упражняться с магниевыми сплавами. Последние опыты раздвинули рамки вседозволенности в применении SLM-печати. Среди

Рис. 1. Патрубки в Латвию



успешно выполненных «печатных» проектов — работы для ОКБ Сухого, ИСС Решетнева, МГТУ им. Н.Э. Баумана, мы печатали интересные патрубки в Латвию (рис. 1), и был даже заказ из Австралии!

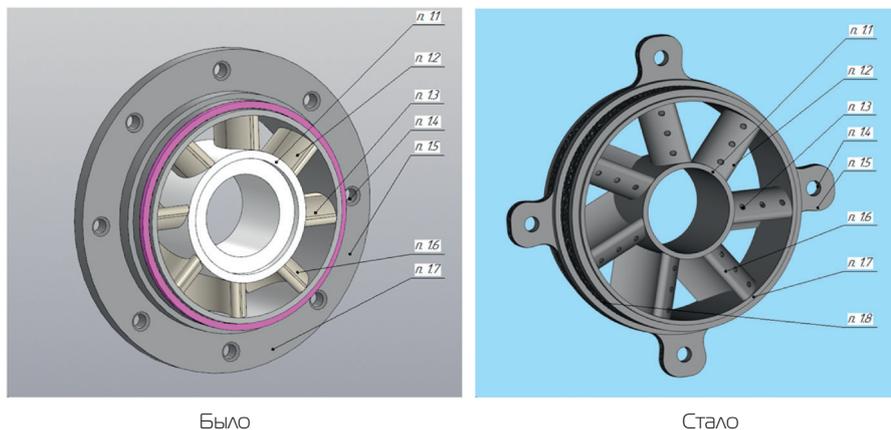
Шел 2019 год, продажи 3D-принтеров не росли. Мы съездили на чемпионат WorldSkills 2019 в качестве спонсоров на участок «Реверс-инжиниринг» (рис. 2), где помимо нашего использовались 3D-принтеры DMG Mori — Realizer. На мероприятии удалось применить приобретенный опыт и в полной мере доказать, что отечественные принтеры тоже что-то могут!

Рис. 2. AddSol D250 на WorldSkills-2019 в Казани



Вернувшись из Казани, мы с головой окунулись в ОКР от АО «ОСК» под шифром «Новое колесо» (рис. 3), где было необходимо отработать режимы печати из предварительно распыленного прутка сплава ПТ-ЗВ («морской титан»), консолидировать сборку и топологически оптимизировать деталь, распечатать партию изде-

Рис. 3. Деталь «Новое колесо»



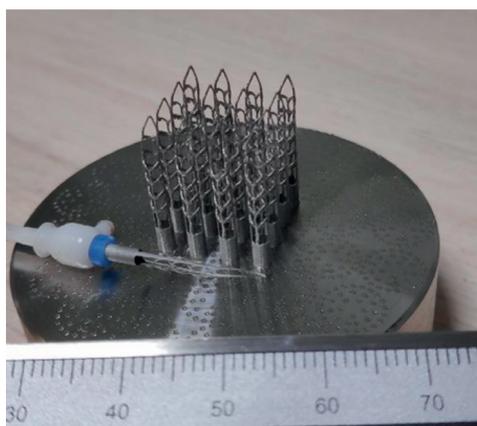
лий и протестировать на стенде предприятия заказчика. Эта работа стала нашим якорным проектом в 3D-печати.

Участие в выставке Formnext–2019 во Фрауэнфельде-на-Майне также стало своеобразным ответом, стоит ли продолжать заниматься металлическими машинами и печатью на собственных установках, или же мы настолько отстали в отрасли, что пора заниматься перепродажей. Если в 2022 году выйдет эта статья — то понятно, какой был результат.

2020 год начинается с первой продажи установки. Им стал 3D-принтер AddSol D50 с диаметром построения 50 мм и высотой построения 150 мм. По техзаданию был нужен лабораторный принтер с быстрым выходом на режим, быстрым переходом на другой порошок для дальнейшего масштабирования удачных режимов на большие машины. Заказчиком яв-

лялась лаборатория катализа и переработки углеводородов НИТУ «МИСиС» под руководством профессора А.А. Громова. Это была проверка на прочность. И нитинол (рис. 4), и магний, и вольфрам, и молибден, и магниты, и алюминий с добавками — чем только не печатала лаборатория!

Рис. 4. Изделия из нитинола на платформе AddSol D50



В 2021 году мы поставили установку AddSol D100 с диаметром печати 100 мм и высотой печати 150 мм в колледж им. Карла Фаберже для подготовки участников WorldSkills. В ней мы реализовали в железе съемный блок с колдочками построения и дозирования, чтобы в дальнейшем масштабировать на другие установки.

Новый год и новые задачи — на грани нерешаемых. В 2021 году мы являлись соисполнителем по разработке 3D-принтера с подогревом зоны построения до 900°C (рис. 5). Отличие этого принтера от зарубежных аналогов — в прогреве объема построения на всю высоту, а не только платформы. Рамки дозволенного в изготовлении машин было абсолютно разрушены.

За эти годы мы поняли, что любим задачи со звездочкой. Так, ведется разработка гибридной LPBF-машины с 4-осевым фрезерным станком для получения деталей высокой точности и шероховатости сразу после печати, тесты по использованию лазеров с другой длиной волны и пр.

Важнее всего то, что мы в железе реализовали многие моменты, о которых наши конкуренты говорят только на бумаге: сменные колдочки, нагрев, мультисканаторные системы, использование различных лазеров. Мы готовы к экспериментам и демонстрации возможностей аддитивного мира. ■

Рис. 5. Разогретый объем печати до 900°C



РЫНОК АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ПРИЗНАКИ ВРЕМЕНИ

Проводя опрос о состоянии российского рынка аддитивных технологий, редакция журнала «Аддитивные технологии» предложила представителям компаний рассказать о трудностях сегодняшнего дня и готовности производить новую продукцию, проанализировать тенденцию, когда производители и дилеры оборудования развивают бизнес услуг по 3D-печати в силу необходимости (при ограничении имеющейся компонентной базы) или в ответ на растущие производственные запросы. Вот что мы узнали.

Компания «3D Вижн» — поставщик оборудования и услуг 3D-печати



Михаил Кулик,
руководитель отдела услуг



Станислав Максименко,
руководитель направления
«Промышленное
3D-оборудование»

Компания «3D Вижн» специализируется на промышленной 3D-печати по различным технологиям (SLM/SLS/SLA/FDM/MJM/CJP) и литью в силиконовые формы. Ранее мы использовали оборудование и материалы иностранного производства, хорошо зарекомендовавшие себя на рынке. В сложившейся ситуации возникли затруднения с поставкой материалов в РФ, однако мы почти не ощутили их, поскольку на складе «3D Вижн» всегда есть запас расходных материалов минимум на шесть месяцев непрерывной работы. Данный принцип позволил не только переориентироваться на материалы других производителей, но и начать разрабатывать собственные. Десятилетний опыт и навыки работы с самым разным оборудованием позволяют учесть недостатки и улучшить достоинства материалов еще на этапе разработки пластиков.

С конца февраля в компании резко увеличился поток заказов на реверс-инжиниринг, мелкосерийное изготовление продукции. Это позволило масштабироваться: мы приобрели SLM-принтер с одной из самых больших зон печати среди коммерческих компаний в аддитивной сфере, поменяли ручной лазерный 3D-сканер промышленного класса на более мощную и точную модель,

приобрели стационарный сканер российского производителя RangeVision. Также мы находимся в процессе приобретения двух принтеров промышленного класса, поскольку одним из принципов работы компании является соблюдение установленных договором сроков выполнения заказов, несмотря на растущую загрузку производства.

Для аддитивной сферы в России на данный момент сложились благоприятные обстоятельства, российским производителям стоит использовать эту возможность и направить усилия на разработку и производство оборудования, особенно в классе промышленных установок.

На текущий период в предреализационной стадии находится FDM 3D-принтер нашей разработки. Принтер будет иметь крупногабаритную зону построения 300×300×300 мм, два высокотемпературных экструдера и термостатическую камеру для работы как с инженерными термопластами, так и со стандартными филаментами. Также мы сотрудничаем с большинством российских производителей в аддитивной сфере, у многих из них планируется появление новых моделей и даже линеек 3D-оборудования. Это и настольный высокопроизводительный фотополимерный принтер, и крупноформатные SLM 3D-принтеры сразу нескольких производителей, и роботизированная система печати гранулами, и высокотемпературные FDM 3D-принтеры, и новые модели 3D-сканеров.

**3DVISION**
Центр Аддитивных Технологий

3D-печать
Продажа 3D-оборудования и расходных материалов
Литьё пластмасс | Быстрое прототипирование
Архитектурное макетирование
3D-сканирование и моделирование

8 (812) 385 72 92
8 (495) 662 98 58

<https://3dvision.su>
mail@3dvision.su

194100, г. Санкт-Петербург,
ул. Кантемировская, д. 39, литера А, пом. 37-Н, офис 226А



В сфере производства компания «3Д Вижн» рада предложить нашим клиентам печать по технологии SLM на промышленном оборудовании с областью построения 266×266×390 мм и широкой линейкой используемых металлических порошков.

Мы активно развиваем направление по макетированию с использованием аддитивных технологий, увеличили наши мощности по литью в силиконовые формы, по реверс-инжинирингу.

На данный момент мы можем закрыть практически любые потребности клиента по изготовлению изделий из пластика и металлов с помощью аддитивных технологий.

ООО «Инженерно-консалтинговый центр» — инженерная компания — поставщик оборудования для 3D-печати и 3D-сканирования, расходных материалов, услуг на предлагаемом оборудовании



*Артём Згонников,
учредитель и
генеральный директор*

В развитии нашей компании мы руководствуемся принципом, что в любом событии надо искать возможности. Например, во время пандемии мы делали акцент на e-commerce, а в новом году выставки показали, что из-за нового мирового кризиса заказчики стали больше внимания уделять отечественному оборудованию и расходным материалам. Трендом этого года стали российские ручные 3D-сканеры Scanform,

3D-принтеры Picaso и, конечно же, наш филамент ИКЦ. Наибольший интерес промышленные предприятия проявили к нашему инженерному филаменту PA-6, PA-12, композитному УПА, полистиролу и TPU с различной степенью жесткости. Были даже интересные примеры по переводу 3D-принтеров западного производства на наш филамент. А заказчикам, которые используют традиционные ABS, PLA, PET-G, нравятся наши модифицированные версии этих материалов, которые обладают лучшими характеристиками.

Также в этом году сильно вырос спрос на услуги 3D-сканирования и 3D-печати. К этому подтолкнули неспособность и/или нежелание зарубежных поставщиков обеспечить запчастями свое оборудование. Немалый интерес к нашим услугам проявляют государственные предприятия автомобильной, авиационной, станкостроительной и других отраслей.

Мы планируем увеличить производство за счет открытия новых производственных мощностей. Теперь наш филамент будет производиться не только в Питере,

но и в Москве. А плодотворное сотрудничество с правительством Москвы помогает нам выходить на новые рынки. Мы планируем запустить в производство новые композиты и мультиполимерные материалы, в которых так нуждается наша промышленность.

Компания TopStanok (ООО «Магистраль») — поставщик промышленного оборудования для металлообработки и 3D-технологий для предприятий и заводов по России и СНГ



*Евгений Кузьмин,
сооснователь
и генеральный директор*

Основные трудности сейчас связаны с уходом иностранных поставщиков. Большинство из них уже прекратили отгрузки оборудования на наш рынок. С другой стороны, это открыло для нас новые возможности. Многие предприятия вынуждены искать альтернативы традиционному оборудованию и обращаются к аддитивным методам производства. Появляются новые свободные ниши,

которые мы пытаемся занять.

Еще одна серьезная сложность заключается в ограничении доступа нашей страны к новым цифровым технологиям. В сфере 3D-печати, например, в мире ежегодно появляется более 100 производителей оборудования. Многие из них решают узкие задачи в медицине, микроэлектронике, электронике. Это оборудование и так очень плохо доходило до нашего потребителя ввиду маленького объема рынка и сложностей в сервисном обслуживании, а теперь его будет в принципе невозможно привезти из-за ограничений.

За последнее время существенно возросла актуальность услуг 3D-печати. Если раньше мы печатали в большей степени конечные изделия, то сейчас в ближайших планах увеличить долю именно запасных ча-



ИНТЕГРАТОР АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

3D-СКАНИРОВАНИЕ • 3D-ПЕЧАТЬ • ПОСТОБРАБОТКА

оборудование под все виды задач

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

8 (800) 500 33 91
stanok@topstanok.ru



topstanok.ru

стей и комплектующих, чтобы удовлетворить растущий спрос. Особенно востребована 3D-печать оказалась в сфере производства запчастей для сельхозтехники, карьерной техники и электроники. Также востребовано направление реверс-инжиниринга, когда по вышедшему из строя изделию воссоздается его 3D-модель, а затем печатается новое.

Что касается новинок, у нас появилось несколько новых продуктов в микро-3D-печати, постобработке изделий, а также новые материалы для микро-3D-печати. В частности, это обновленная версия установки сухой электрохимической полировки DLYte100, которая адаптирована под промышленные задачи и ежедневную эксплуатацию. Из новых материалов — фотоотверждаемая смола VMF TOUGH для принтеров microArch, которая предназначена для печати электрических разъемов и корпусов в микромасштабе.

Компания "Ф2 Инновации" — российский производитель промышленных 3D-принтеров и систем



Евгений Матвеев,
генеральный директор

Изначально к аддитивным технологиям у традиционных производств с консервативными взглядами было неоднозначное отношение. Первые изменения во взглядах произошли во время пандемии коронавируса, когда были нарушены все логистические цепочки. Аддитивные технологии в России зарекомендовали себя с хорошей стороны, так как смогли обеспечить

производства недостающими запчастями.

В этом году аддитивные технологии начали воспринимать серьезнее. Это можно отметить по последним выставкам, которые прошли в мае и июне. Посетители выставок — в основном действующие специалисты различных производств, которые с осознанием потребности посещают стенды. Они готовы менять свои внутренние стандарты, технические условия, подходить к новым технологическим процессам на предприятиях и внедрять новые технологии для производства оснастки и конечных изделий.

Если говорить о нашей компании, то нас коснулись затруднения в закупках некоторых запчастей. Однако, данный вопрос решен, были найдены альтернативы у российских производителей или у производителей дружественных стран.

Новые возможности для нас открываются в импортозамещении. Кроме того, наша компания — одна из немногих, которая обладает сертификатом СТ-1.

Сертификат подтверждает, что продукция изготовлена российским производителем и доказывает клиентам возможность использования оборудования на территории предприятия.

Мировой тенденцией последних трех лет (2019–2021 годы) являлась передача отдельных работ на аутсорсинг. Именно поэтому многие компании отказывались от 3D-принтеров и рассматривали варианты аутсорсинговых услуг по 3D-печати. Исходя из этого, например, многие производители SLM-принтеров отказывались их продавать и исключительно предоставляли услуги по печати и таким образом, обеспечивали рынок необходимым количеством изделий, которые нужны предприятиям. В настоящее время наблюдается рост производства оборудования во многих странах, поэтому, я думаю, будут больше расти темпы закупки 3D-принтеров, нежели темпы роста 3D-печати. Однако все центры аддитивных технологий страны сильно загружены государственными и частными заказами. Поэтому на сегодняшний день имеют равную актуальность как производство, так и услуги по 3D-печати.

В этом году мы готовим две новинки. Первая — среднеразмерный промышленный 3D-принтер с областью печати 600×600×600 мм, предназначенный для печати высокотемпературными пластиками, который прекрасно подойдет для авиационных деталей из Ultem или PEEK. Машина будет представлять собой комплекс FDM/FFF- и FGF-технологий, то есть сборка возможна с экструдером любой технологии. Вторая новинка — большое порталное решение с высокопроизводительным гранульным экструдером. К сожалению, не могу поделиться подробностями, в скором времени расскажем о ней публично.

Компания HAZZ Labs — российский производитель фотополимерных смол для 3D-принтеров



Константин Чуркин,
директор по развитию

Что касается трудностей, то текущая ситуация накладывает ряд сложностей и ограничений в поставках технологического оборудования и материалов для 3D-печати, а также оборудования для исследовательских и производственных целей. Также стоит отметить большой объем работы, связанный с перестройкой логистических цепочек поставок сырья.

Компания HAZZ Labs занималась импортозамещением последние несколько лет, благодаря этому есть решения как с точки зрения науки и разработок, так и производственного процесса,

которые сейчас пришлось очень кстати. Это позволяет нам не переставать улучшать качество продукции и не останавливать разработки и производство.

Несмотря на перечисленные сложности, мы видим ряд возможностей для дальнейшего роста компании. Благодаря наличию в нашей линейке фотополимеров для многих сфер применения (промышленность, ювелирное дело, медицина и др.) нам удастся привлечь новых клиентов, которые использовали продукцию иностранных компаний, принявших решение уйти с рынка.

В связи с активным развитием отрасли образуется резкий спрос на получение знаний в этой сфере. Для поддержки развития российского рынка, в этом году мы запустили обучающий проект под названием «Академия аддитивных технологий "Цифра Цифра"». Данная компания уже начала активное сотрудничество как с частными, так и с государственными компаниями, организациями и учебными заведениями. Дополнительное образование по актуальным направлениям позволит повышать квалификацию специалистов и поможет во внедрении аддитивных технологий на производстве.

Что касается новинок, то в компании HAZ Labs работает собственный отдел разработок, поэтому появление новинок в нашей компании — процесс системный и регулярный. В частности, в этом году запланирован выход трех инновационных материалов для применения в стоматологии, не уступающих мировым аналогам:

- для печати сплнтов и капш;
- для печати временных коронок и мостов;
- для печати коронок и мостов длительного ношения.

Если говорить о фотополимерах промышленного применения, то ведутся разработки материалов для промышленных SLA-принтеров для задач прототипирования и изготовления мастер-моделей, выжигаемых материалов для промышленного высокоточного литья, а также термостойких материалов общего назначения и печати формообразующих термопластавтоматов.

С развитием настольной 3D-печати все более востребованными становятся материалы, свойства которых будут близки к литьевым пластикам. Нашей компани-

ей был выпущен материал со свойствами литьевого ABS-пластика под названием Industrial ABS, а также полипропиленподобный материал — Industrial PP-Like. Сейчас в рамках тестирования уже можно приобрести материал со свойствами нейлона под названием Industrial Nylon-Like. В этом году планируется расширить линейку двумя инженерными материалами повышенной химической стойкости — Industrial Tough Black и Tough Clear.

Компания Stereotech — разработчик и производитель 5D-принтеров



Анатолий Тулаев,
директор по развитию

Для компании Stereotech время кризиса стало временем возможностей.

Санкции и уход из России зарубежных поставщиков промышленного оборудования, удлинение и удорожание логистических цепочек вынуждают компании искать альтернативы прежним схемам снабжения.

Печать деталей для оборудования, которые больше не поставляются

в РФ, — это самый популярный кейс применения аддитивных технологий сегодня.

Одним из популярных вариантов также является доработка узлов, печать запчастей сложных механизмов, которые продаются только в сборе. За счет этого достигается значительная экономия, которая актуальна в любое время.

Кроме того, стало меньше альтернатив среди расходников. Например, воротниковые манжеты — уплотнительные элементы, которые широко применяются в промышленности в гидравлических и пневматических системах для надежной изоляции полостей с различной средой или давлением, герметизации как неподвижных, так и подвижных соединений, теперь продаются в основном китайского производства (разное, нестабильное качество), российского производства (такая же ситуация). Их можно изготовить самостоятельно — выточить из полиуретана. Качество стабильнее, детали долговечнее, чем покупные, но стоимость выше, чем у 3D- и 5D-копий. И последний вариант: печать таких уплотнительных элементов на аддитивных установках. Здесь качество разное, цена невысока. Рекомендуем, конечно, печать тел вращения делать в режиме 5D. Так повышается прочность изделий. А в 3D-режиме дискретный характер STL-моделей приводит к тому, что окружности, которые должна воспроизвести печатающая головка (в том числе при изготовлении рабочих

HAZ Labs
MATERIALS FOR 3D PRINTING

Интеграция аддитивных технологий на производстве

Обучение и консультация | Разработка материалов по техническому заданию

промышленность | медицина | ювелирное дело

141006, Россия, МО, г. Мытищи,
ул. Силикатная, д. 51А, стр. 5

+7 (495) 291-02-00
info@harzlabs.ru

кромки уплотнения), аппроксимируются в виде ломаных линий. На обычных моделях это не заметно глазу, но на уплотнениях подвижных соединений ломаная рабочая кромка не обеспечивает плотного контакта со стенками цилиндра. Самостоятельное изготовление деталей на аддитивных установках зачастую оказывается и дешевле, и проще, и сами детали оказываются долговечнее, чем детали китайских производителей.

Трудности наша компания преодолевает тем же способом, который мы рекомендуем нашим клиентам: на 25% принтер воспроизводит сам себя: печатаем детали для 5D-принтера на 5D-принтере.

Что сейчас более актуально — производство или услуги 3D-печати? По нашему опыту, одно не отделимо от другого. Производства нуждаются в печати деталей, небывалое распространение получила 3D-печать в автомобильной отрасли. Никогда еще мы не печатали столько запчастей для Range Rover, как сейчас. Отсюда повышается спрос на сами принтеры и их производство. По нашим прогнозам, аддитивное производство будет становиться все популярнее с каждым годом вне зависимости от геополитической обстановки. Это экономный, компактный и быстрый способ получить любое необходимое изделие из композитных материалов с самыми разными характеристиками, из керамики или даже металла.

iQB Technologies — российский дистрибутор 3D-сканеров, программного обеспечения, 3D-принтеров и расходных материалов ведущих мировых производителей.



*Алексей Чехович,
главный эксперт направления
технической поддержки
3D-оборудования*

С точки зрения заказчиков сейчас я бы поставил главную дилемму: внедрять решение у себя на производстве или заказывать услуги на аутсорсе. Здесь важно определить баланс между объемом работ и стоимостью заказа услуг сторонних организаций, а также стоимостью внедрения решения, в т.ч. стоимость оборудования и повышения квалификации/обучения персонала. Есть методики, позволяющие определить целесо-

образность внедрения или заказов в сторонних организациях. Особенно это актуально сегодня на фоне ограничения поставок комплектующих, расходных материалов и запчастей некоторыми производителями, решения которых уже работают на наших предприятиях. Для разработки рабочей конструкторской документации и собственного воспроизводства таких компонентов аддитивные технологии порой просто незаменимы.

Для компании iQB Technologies как эксперта в области внедрения решений на базе аддитивных технологий одним из главных вызовов на сегодня является подбор технологических компонентов данных решений, не подверженных политическим ограничениям и рискам. С другой стороны, в связи с уходом и/или ограничением поставок некоторыми производителями, открываются дополнительные рыночные ниши для, в первую очередь, отечественных производителей, а также конкурентных решений производителей и стран, которые не поддерживают санкции. Таких стран и компаний достаточно количество, и это возможность как для них самих, так и для нас — компании, поставляющей комплексные решения заказчикам.

За последние три месяца мы значительно расширили портфель оборудования и нашли достойные аналоги как программного обеспечения для 3D-печати и сканирования, так и промышленных 3D-принтеров. Одна из самых громких новинок — это портативное решение MarvelScan с тремя камерами для лазерного сканирования без меток и трекера от компании ZG Technology. Линейка ZG включает широкий ряд приборов: от доступного ручного 3D-сканера до мощной системы измерений с оптическим трекингом, а также фотограмметрию и портативную КИМ. Наши технические эксперты протестировали ее в реальных условиях и очень довольны результатами.

Из новых решений для 3D-печати достойны внимания высокоэффективные SLM-принтеры с двумя лазерами и герметичной системой очистки от производителя HBD. Данные модели широко используются в медицине (протезирование, ортопедия), автомобилестроении и авиационной промышленности, а также в литейном производстве.

С расширением продуктового портфеля у нас появились программные продукты, достойно заменяющие западные аналоги: PointShape для обработки данных 3D-сканирования с целью реверс-инжиниринга и контроля качества; VoxelDance для подготовки данных к 3D-печати.

Также мы начали тесно сотрудничать с отечественными производителями — Robotech и 3D LAM.

Все оборудование и решения уже доступны для заказа. ■

iqb.ru | info@iqb.ru
+7 (495) 223-02-06

- Метрологические 3D-сканеры
- Промышленные 3D-принтеры
- ПО для реверс-инжиниринга
- Услуги 3D-печати

Как выбрать 3D-принтер?
Блог 3D-экспертов

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НОВЫЕ УСЛОВИЯ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Владимир Сорокин

Современный уровень развития аддитивных технологий (АТ) позволяет обеспечить самые современные потенциальные возможности для развития передовых экономик мира. Возможности технологии, применяющей методы послойного добавления материала, заслужили достойное уважение и применяются в самом широком спектре производства. Аддитивные технологии являются сквозным направлением для большинства отраслей. Изготовление узлов и деталей с заданными механическими свойствами и точными геометрическими формами применяется при создании продукции начиная от машиностроения, авиа- и вертолетостроения, космической отрасли, заканчивая строительством и медициной.

С 23 по 27 мая 2022 года в ЦВК «Экспоцентр» на Красной Пресне в рамках ежегодной выставки «Металлообработка–2022» состоялся пятидневный форум по аддитивным технологиям и 3D-решениям. На стратегическую сессию «Государство, корпорации и бизнес в развитии аддитивных технологий в Российской Федерации» [1], проходившую в первый день и открывшую форум, были приглашены представители законодательной и исполнительной власти, руководители крупных отечественных корпораций, а основной темой стало обсуждение ситуации, в которой АТ-отрасль, оказалась после введения экономических санкций.

Открывая совещания на правах модератора, **заместитель председателя Комитета по науке и высшему образованию Государственной Думы ФС РФ Владимир Михайлович Кононов** в приветственном слове предложил участникам сконцентрироваться на основных вопросах повестки дня:

1. Что сдерживает развитие АТ в России.
2. Первоочередные шаги по обеспечению прорывного развития отрасли.
3. Законодательная и нормативная поддержка АТ. Какие меры необходимы?

Выступающие предельно точно восприняли подобный сигнал и старались в своих выступлениях касаться означенной тематики.

Заместитель директора департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга России Александр Сергеевич Львов заявил, что развитие АТ становится все более важным фактором развития технологического суверенитета страны. Применение АТ позволяет в кратчайшие сроки получить новые промышленные образцы, что, свою очередь, позволяет снизить их стоимость, ускорить проектирование и производство.

В сложившихся геополитических реалиях необходимо дать возможность отечественным разработчикам в кратчайшие сроки нарастить компетенции и выйти на производство конкурентных российских аналогов. Для решения подобных масштабных задач сегодня требуется объединение усилий инженеров, руководителей предприятий и государственных служащих.

В рамках государственной политики поддержки передовых технологий выпущено постановление правительства Российской Федерации от 18.02.2022 № 208 «О предоставлении субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации "Агентство по технологическому развитию" на поддержку проектов, предусматривающих разработку конструкторской документации на комплектующие изделия, необходимые для отраслей промышленности» [2]. Позднее было выпущено постановление правительства Российской Федерации от 18.05.2022 г. № 895 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета кредитным организациям на возмещение недополученных доходов по кредитам, выданным на приобретение приоритетной для импорта продукции» [3].

Принятие данных постановлений, по мнению А.С. Львова, позволит российским участникам АТ-рынка продолжить работу и реализовать достижение целей импортозамещения.

Приветствуя участников стратегической сессии, **первый заместитель генерального директора АО «Экспоцентр» Сергей Викторович Селиванов** пожелал ее участникам выработки конструктивных решений. Говоря о подготовке мероприятия, Селиванов сказал, что форум является неотъемлемой частью

выставки «Металл и металлообработка», в которой принимает участие более 600 компаний из 17 стран мира, что будет способствовать развитию отечественной науки и технологий. Организация выставочных мероприятий проходила при поддержке Министерства промышленности и торговли. К сожалению, ряд зарубежных компаний отказался от участия, но тем не менее высокий потенциал отечественных производителей позволил сделать выставку представительной и насыщенной. Выставка является не только площадкой для продвижения продукции, но и механизмом восстановления экономики.

Генеральный директор компании i3D Михаил Владимирович Родин, также считает, что аддитивные технологии могут стать тем ключевым инструментом, при помощи которого отечественная экономика может решать вопросы импортозамещения. Аддитивные технологии экономят время, и этот ресурс сейчас очень важен. Сочетание обратного проектирования и аддитивных технологий позволит решить многие вопросы, с которыми столкнулись отечественные компании. В частности, в кратчайшие сроки решить вопрос об изготовлении запчастей для технического обслуживания оборудования, которое прекращено из-за введения санкций (рис. 1).

Отдельного решения на текущий момент, по мнению М.В. Родина, требует вопрос взаимодействия с Китаем. Российские предприятия рассчитывают на продолжение тесного делового сотрудничества, но ряд китайских компаний, подчиняясь давлению стран Запада, начинают уходить с нашего рынка.

Что касается государственной поддержки, то она нужна на таком уровне, чтобы российские стартапы становились крупными предприятиями.

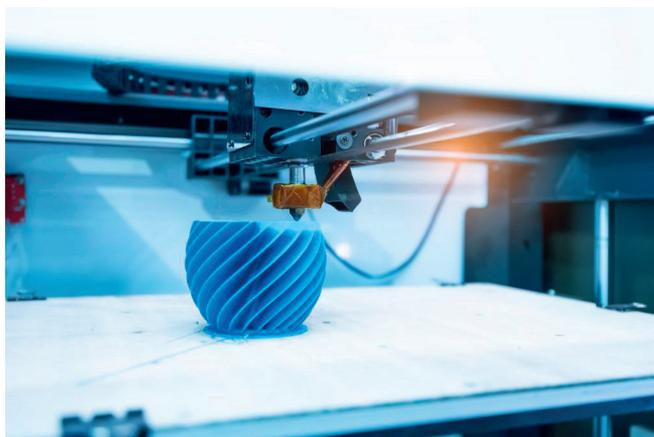
Директор департамента государственной научной и научно-технической политики Минобрнауки Павел Анатольевич Форш детально рассказал о помощи в развитии сферы аддитивных технологий.

Он выделил три традиционных для министерства блока:

1. Подготовка кадров. Нужны специалисты, которые разбираются, понимают, что такое 3D-печать, знают ее преимущества. Направления подготовки: строительство, фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы, машиностроение, химические технологии, авиационная и ракетно-космическая техника, управление в технических системах. Подобный достаточно широкий спектр подготовки специалистов показывает, что АТ присутствуют фактически в каждой современной отрасли.

2. Научная деятельность, связанная с развитием фундаментального и прикладного направлений развития аддитивных технологий. В рамках государственного

Рис. 1. Предприятие использует технологию 3D-печати в опытно-конструкторских работах для создания макетных и опытных образцов новой техники. Фото: <https://rostec.ru>



задания министерство дает поручения своим подведомственным организациям. Одновременно существуют конкурсные процедуры, в которых может принять участие любая организация независимо от формы собственности.

3. Международное сотрудничество. В последнее время в условиях новой геополитической реальности, когда многие государства начинают вести себя недружественным образом, Минобрнауки России начинает переориентировать свою деятельность в направлении тех стран, которые, с одной стороны, обладают высоким уровнем технического развития, а с другой — готовы поддерживать конструктивное сотрудничество. Безусловно, наибольшие достижения в рамках международного сотрудничества заметны между Россией и Белоруссией. Наиболее ярким примером является разработка Национальной академией наук Беларуси и Минобрнауки проекта программы Союзного государства в области аддитивных технологий.

Выступавший далее **первый проректор НИТУ «МИСИС» Сергей Владимирович Салихов** подтвердил важность аддитивных технологий и подготовки квалифицированных специалистов для данной отрасли. Подготовка кадров — инженерного «спецназа» в области АТ является важнейшим блоком мероприятий, которые необходимо выполнить, чтобы достичь целей, поставленных Министерством науки и высшего образования и Министерством промышленности и торговли.

С.В. Салихов заявил, что МИСИС говорит со студентами о дне послезавтрашнем. О том, что нужно делать сегодня, говорят компании, которые уже непосредственно внедряют технические решения, при этом о «завтра» должны говорить конструкторские бюро.

Вместе с тем наряду с задачей подготовки самих кадров существует множество нерешенных вопросов, связанных с, например, с методикой оценки аддитивных материалов.

Ольга Геннадиевна Оспенникова, руководитель Ассоциации РАТ, рассказала о позитивной роли Ассоциации развития аддитивных технологий в формировании аддитивной отрасли.

Ассоциация развития аддитивных технологий изначально создавалась для выполнения функций специализированного центра, который мог бы объединить потенциал российских предприятий для выстраивания эффективных моделей кооперации. Формируемые в контуре подобной кооперации производственные цепочки дали бы возможность получить новые технические решения и новые конкурентные продукты. Корпорация «Росатом» подписала с правительством дорожную карту, одним из пунктов которой является развитие аддитивных технологий. Ассоциация РАТ отслеживает выполнение работ в этой дорожной карте. Кроме того, РАТ осуществляет выполнение функций центра компетенций: выполнение экспертизы, экспертной оценки проектов, формирование экосистемы для сообщества аддитивных технологий.

В настоящее время перед Ассоциацией РАТ стоит задача подготовить продуманный отчет, который бы обобщил мировой и отечественный опыт и самое главное — правильно сориентировал отечественные компании в части того, чтобы иметь точно представление где мы отстаем, а где находимся в тренде.

Ассоциация РАТ выполняет образовательные функции, в частности, разрабатывает и внедряет практико-ориентированную образовательную программу «Применение аддитивных технологий».

Цель программы:

1. Сформировать комплекс знаний и навыков, позволяющих инициировать проекты внедрения АТ.
2. Обмен опытом по реализации проектов по направлению АТ.

Планируемый результат:

1. Участники достигают понимания особенности, преимущества и направления внедрения АТ.
2. Участники разрабатывают проект по внедрению АТ в своей организации.

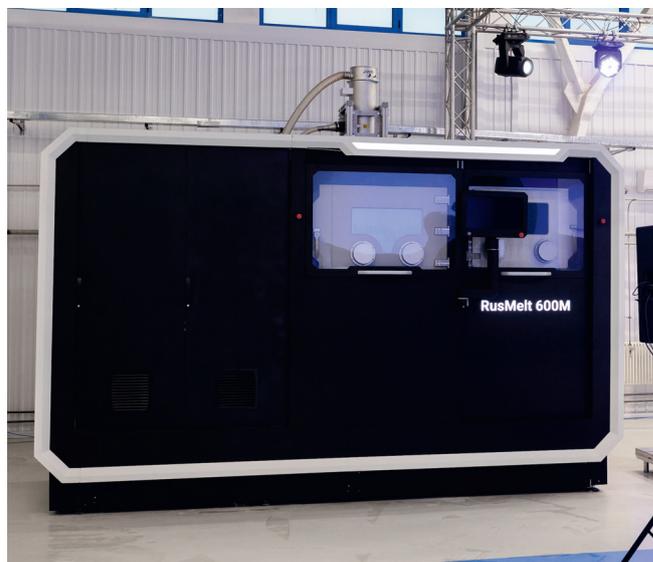
Программа состоит из двух курсов: базового и специализированного (углубленного).

Целевая аудитория базового курса: руководители, главные конструкторы, главные технологи. Слушателями углубленного курса являются конструкторы, технологи, руководители проектов, отвечающие за инициализацию внедрения аддитивных технологий.

Генеральный директор ООО «РусАТ» Илья Владимирович Кавелашвили сделал развернутый доклад о применении аддитивных технологий в условиях импортозамещения.

В настоящее время для успешной конкуренции на рынке **бизнес «РусАТ» включает в себя четыре основных направления:**

Рис. 2. Металлический SLM-принтер, производства ООО «Русатом — Аддитивные Технологии». Фото: <https://rusatom-additive.ru>



1. Оборудование. Разработка и производство высокотехнологичных 3D-принтеров для печати металлами и пластиками (рис. 2).

2. Материалы. Разработка технологий и организация производства линейки металлических и полимерных материалов.

3. Услуги 3D-печати и инжиниринг. Оказание высококачественных услуг, организация опытного и серийного аддитивного производства изделий.

4. Цифровая платформа. Построение цифровой экосистемы для обеспечения конкурентных преимуществ продуктов интегратора.

Политика санкций сделала востребованным **реверс-инжиниринг**, который **обеспечивает:**

- производство утраченных или изношенных деталей, при невозможности возможности закупки запчастей или при необходимости срочного ремонта;
- изготовление узлов в случаях применения новых механизмов и деталей;
- воссоздание изделия, снятого с производства.

Процесс обратного инжиниринга состоит из трех базовых этапов:

1. Получение математической модели образца с использованием 3D-сканирования и 3D-проектирования.
2. Разработка и оформление документации на основе данных, полученных от 3D-модели в CAD-системе.
3. Изготовление образца на основе модели.

Развернутое развитие по направлениям: оборудование, материалы, 3D-печать, формирование экосистемы, по словам Ильи Кавелашвили, способно обеспечить успешное развитие бизнеса в условиях импортозамещения.

Генеральный директор ГБУ города Москвы «Корпорация развития Зеленограда» Владимир Владимирович Зайцев выступил с детальным развернутым сообщением о государственных мерах поддержки по развитию АТ в Москве, а также о проблемах и перспективах развития аддитивного производства в столице. По мнению докладчика, **к проблемам развития относятся:**

1. Отсутствие опытных кадров (как самих специалистов, так и тех, кто может обучить).
2. Слабый сервис со стороны российских производителей.
3. Страх приобрести отечественное оборудование.
4. Низкий уровень интереса и доверия к новым технологиям. Руководители не хотят менять то, что «уже и так работает».
5. Малое число стартапов по аддитивным технологиям.
6. Мало аналитической информации (публикации, исследования).

Вместе с тем, по мнению В.В. Зайцева, **к драйверам роста следует отнести:**

1. Увеличение доступности технологий за счет роста количества информации.
2. Рост спроса со стороны предприятий.
3. Поддержку государства путем предоставления субсидий на разработку.

В качестве конкретного шага В.В. Зайцев предложил создать в Москве межотраслевой кластер «Аддитивные технологии». Участие в проекте правительства Москвы обеспечит необходимую поддержку и позволит создать участки для пилотного применения АТ-продукции.

Проректор ФГБОУ ДПО ИРПО Вадим Михайлович Иванченко также затронул тему подготовки специалистов по направлению «Аддитивные технологии». В его докладе было особенно выделено, что отмечается запрос на специалистов среднего звена. Подготовка проводится в более чем 30 колледжах в 18 субъектах РФ. Успешно реализуется федеральный проект «Молодые профессионалы». Вместе с тем в части реализации проекта есть сложности с закупкой оборудования, которое еще совсем недавно все поставлялось из-за рубежа. Для решения этого вопроса Вадим Иванченко призвал к сотрудничеству отечественных производителей АТ-оборудования, поскольку участие в проекте позволит обеспечить предприятия заказами до 2024 года.

Начальник НИО «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий и материалов» Святослав Васильевич Неруш рассказал об опыте НИЦ «Курчатовский ин-

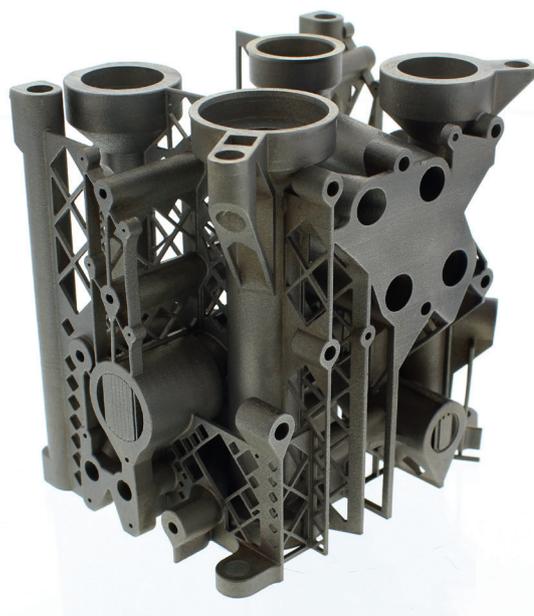
ститут» — ВИАМ по внедрению аддитивных технологий и проблемных вопросах их развития на территории РФ.

ВИАМ обладает всеми видами аддитивных технологий. С 2021 года здесь занимаются областями применения керамических и металлокерамических материалов. Предприятием накоплен большой опыт аттестации материалов. Разработан регламент оценки отечественного аддитивного оборудования. ВИАМ готов тесно сотрудничать с производителями оборудования. Итогом совместной работы могли бы стать рекомендации по доведению отечественного оборудования до передового мирового уровня.

Выступившие на сессии представители ведущих предприятия отрасли: Госкорпорации «Роскосмос», АО «Композит», Научно-исследовательского института прикладного материаловедения АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «Центр аддитивных технологий», АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Фонда развития промышленности, СПбГМТУ, ООО «ТЕКСЕНТ», 3DSLА — отметили важность государственной поддержки АТ-отрасли, значимость подготовки квалифицированных специалистов, приоритеты развития отечественного оборудования и материалов. Особый акцент ставился на необходимость разработки качественно новых технологий и материалов, энергичный поиск передовых решений (рис. 3).

Подавляющее большинство выступающих на стратегической сессии фиксировали подъем интереса к АТ-отрасли, при этом, как это ясно из приведенных в данной статье выступлений, для прорывного развития вперед еще требуется преодолеть целый ряд барьеров.

Рис. 3. 3D-печать алюминием – современная технология в производстве металлических изделий повышенной прочностью. Фото: <https://sprint3d.ru/>



Традиционно участники сессии обращались к органам государственной власти с просьбой упростить процедуру государственных закупок. В текущей ситуации, когда фактически все зарубежные поставщики ушли с рынка, а отечественных производителей не так уж и много, отдельные требования в части антимонопольной политики являются чрезмерными.

В настоящей ситуации стал актуальным вопрос по предоставлению молодым специалистам АТ-индустрии отсрочек от службы в рядах Вооруженных Сил, по аналогии с представителями ИТ-отрасли.

Несколько выступающих жаловались на определенного рода сложности с ОКВЕЭД, параллельно звучали предложения разработать отдельный ОКВЕЭД специально для АТ-компаний.

Общая точка зрения участников стратегической сессии базировалась на том, что российская экономика и раньше находилась под давлением санкций, однако такого уровня нажима никто из участников припомнить не мог, скорее подобная ситуация характерна для времен тридцатилетней давности в период СССР. Вместе с тем, это повторяли фактически все, теперь наступило время возможностей. Ситуация не является простой, особенно велики риски у малых и средних компаний, выбравших бизнес, связанный с новейшими технологиями.

Национальный технологический суверенитет невозможен без наличия собственных материалов, технологий, отечественных средств производства и программного обеспечения. Аддитивные технологии позволяют изготавливать детали, выдерживающие критические нагрузки и температуры, которым они подвергаются в процессе эксплуатации, в особенности, если речь идет об атомной или космической отрасли. В сложившейся ситуации, проводя импортозамещение, необходимо не заикливаться на «вчерашнем дне», то есть налаживать отечественное производство ставших недоступными оборудования и материалов — того, что уже производится и всем известно. Сегодня главное, начать разработку новых технологий, позволяющих России занять лидирующие мировые позиции.

Без сомнения, необходимо признать, что дискуссия в рамках стратегической сессии «Государство, корпорации и бизнес в развитии аддитивных технологий в Российской Федерации» прошла в содержательном ключе, а мнения, высказанные участниками, будут услышаны как в органах государственной власти, так и в крупных государственных корпорациях, выполняющих функции маркет-мейкеров, способных существенно улучшить рынок АТ-оборудования, материалов и услуг. ■

Литература

1. <https://industry3d.ru/archive/conf28/live>
2. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202220039>
3. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205190029>

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО АТ И 3D-РЕШЕНИЯМ

В рамках выставки "ТЕХНОФОРУМ-2022"
(Российская промышленная неделя
в ЦВК "Экспоцентр") | 25.10.22



при поддержке



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

industry3d.ru

+7 (495) 481-39-44

info@industry3d.ru



WEBCONF
ART OF CONFERENCE



ЭКСПОЦЕНТР
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНГРЕССЫ
МОСКВА

Рельефная чеканка с применением 3D-напечатанных заготовок

П.А. Петров, Э.А. Батуева, Я.В. Жарков, Б.Ю. Сапрыкин
Московский политехнический университет, кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии»,
petrov_p@mail.ru

Рельефная чеканка является методом поверхностного пластического деформирования (см. ГОСТ 18296–72), при котором на деформируемом материале образуется рельефное изображение. Примером получаемых изделий могут служить сувенирные и памятные медали (рис. 1а). Деформирующий инструмент и материал в процессе пластического деформирования выполняют возвратно-поступательное относительное перемещение. Деформирующий инструмент (рис. 1б) устанавливается в специальный штамп, который, в свою очередь монтируется на специализированном оборудовании — чеканочном прессе. Характерными особенностями рельефной чеканки [1] являются:

1) деформируемый материал — технический алюминий и его сплавы, медь и её сплавы (латунь, медно-никелевые сплавы), нержавеющая сталь, биметаллические материалы;

2) деформирующий инструмент — металлический, работает в условиях многоциклового нагружения;

3) деформирующий инструмент позволяет получить на поверхности деформируемого металлического материала чёткий рисунок: плоский (2D) либо объёмный (3D);

4) условия применения деформирующего инструмента — малые серии, средние серии и серийное производство.

Применение полимерных материалов для изготовления сувенирных и памятных медалей находит своё применение, но при их изготовлении получают 2D-изо-

бражение на поверхности изделия за счёт применения технологии лазерной гравировки либо химического травления и т.п. (рис. 1в).

В данной статье рассматривается возможность получения объёмного (3D) изображения на поверхности сувенирных и памятных медалей из полимерного материала с применением технологии рельефной чеканки. Заготовка из полимерного материала изготавливается по экструзионной технологии 3D-печати термопластичного материала (FFF, Fused Filament Fabrication). В качестве материала выбран полиэтилентерефталатгликоль (ПЭТГ, по международному обозначению PET-G). Выбор материала обусловлен уникальным сочетанием свойств полимера типа ПЭТГ: прочность — упругость — пластичность, что является важным требованием при выборе материала для технологии рельефной чеканки.

Для опытов отобраны три композиции полимерного пластика ПЭТГ. Каждая из композиций характеризуется тремя параметрами: температура стеклования (средняя), предел прочности, относительное удлинение. В таблице 1 представлены значения выделенных параметров для трёх композиций пластика; в таблице 2 — параметры 3D-печати заготовок на персональном 3D-принтере с закрытой рабочей зоной.

Значения средней температуры стеклования получены методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на оборудовании компании Mettler Toledo; предел прочности и относительное удлинение — методом испытания образцов материала на растяжение

Рис. 1. Примеры медалей, изготовленных из разных материалов [2, 3]



а) медали из металлических материалов [2]



б) инструмент для изготовления медалей из металлических материалов [2]



в) медали из неметаллических материалов (акрил, пластик) [3]

Таблица 1. Параметры композиций пластика ПЭТГ для 3D-печати образцов для рельефной чеканки

Условное обозначение композиции	$T_{\text{ср.стеклования}}, ^\circ\text{C}$	Предел прочности (МПа), при ориентации образца во время 3D-печати		Относительное удлинение (%), при ориентации образца во время 3D-печати	
		0°	90°	0°	90°
ПЭТГ-1	76,68	58,47	37,40	5,09	3,82
ПЭТГ-2	77,70	52,03	52,23	5,92	33,72
ПЭТГ-3	78,89	67,50	64,07	5,96	5,90

с применением универсальной испытательной машины модели «Tinius Olsen 50ST» двухколонного типа с максимальной нагрузкой 50 кН (5000 кгс). Растяжение образцов выполнено в ТЦКП ТП «СЛАВА», <https://technopark-slava.ru/tczkp/>. Образцы для растяжения соответствовали типу А12 (ГОСТ 11262–2017 и ГОСТ 33693–2015 (ISO 20753:2008)).

В результате 3D-печати получены два набора однотипных заготовок для рельефной чеканки (рис. 2а). Заготовки имели разную толщину: 2,0 мм, 2,5 мм, 3,0 мм. Особенность заготовок, полученных по экструзионной технологии: наличие подложки, удаляемой с заготовки после её изготовления 3D-печатью (подложка – тип brim, рис. 2б) и наличие сшивки нитей (рис. 3). Первый набор использовался для рельефной чеканки без какой-либо постобработки, за исключением удаления подложки. Второй набор заготовок также применяли для чеканки, но перед чеканкой каждую заготовку подвергали постобработке.

Рельефная чеканка памятной медали выполнена с применением специального формообразующего инструмента из металла (рис. 4), устанавливаемого в штамп, смонтированный на чеканочном прессе.

Рельефная чеканка из заготовок без постобработки показала, что:

1) есть влияние композиции (сочетания параметров; табл. 1) пластика на качество изображения (отпечатка), получаемого на поверхности заготовки;

2) заготовки из пластика ПЭТГ обладают достаточной прочностью и пластичностью, что позволяет методом поверхностного пластического деформирования формировать рельефное изображение (рис. 5);

3) в случае деформирования заготовки из термопластичного полимерного пластика ПЭТГ ожидается повышение стойкости деформирующего инструмента (требуется дополнительное исследование и расчёты).

Рис. 4. Формообразующая поверхность инструмента для двухсторонней рельефной чеканки



а) верхний инструмент, формирующий аверс

б) нижний инструмент, формирующий реверс

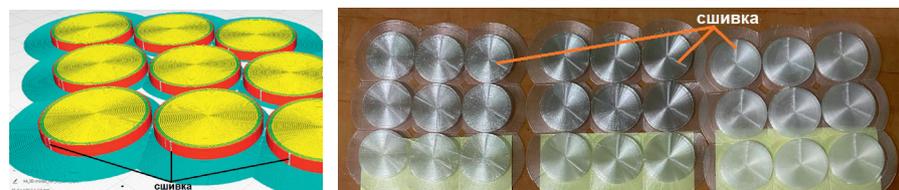
Рис. 2. Заготовки из полимерного пластика ПЭТГ (на примере заготовки толщиной 2,0 мм)



а) заготовки из пластика ПЭТГ после 3D-печати

б) 3D-модель набора заготовок в слайсере Ultimaker Cura

Рис. 3. Особенности формирования заготовки при экструзии



а) сшивка нити при формировании заготовки (слайсер Ultimaker Cura)

б) сшивка нити при формировании заготовки (после 3D-печати)

Таблица 2. Параметры 3D-печати заготовок

Параметр	Значение
Температура сопла, °C	215
Температура рабочего стола, °C	70
Температура окружающей среды в рабочей камере (по результатам замеров дополнительной термопарой тип К), °C	46
Диаметр сопла, мм	0,4
Ширина линии, $t_{\text{ст}}$, мм	0,4
Толщина слоя, $t_{\text{сл}}$, мм	0,15
Толщина стенки (оболочки), мм	1,2
Обдув	100%
Ретракт	да
Плотность заполнения, %	100
Стиль заполнения	concentric
Поддержки	нет

4) после чеканки на поверхности всех заготовок первого набора достаточно чётко отобразилась граница сшивки нитей (рис. 5).

На изделии из ПЭТГ-3 (рис. 5в) отпечаток как на лицевой, так и на оборотной стороне получился более чётким в сравнении с отпечатком, полученным на изделиях из ПЭТГ-2 и ПЭТГ-1. По всей видимости, сочетание свойств ПЭТГ-2 (тепловые и механические) не позволяют получить чёткий отпечаток из-за анизотропии, наблюдаемой для данной композиции (табл. 1).

На всех изделиях просматривается остаточный рельеф, сформированный 3D-печатью по технологии экструзии (рис. 5), — характерные линии, соответствующие направлению выкладки нити при экструзии. Для снижения данного эффекта заготовки из второго набора были подвергнуты постобработке.

Постобработка проводилась до чеканки и заключалась в кратковременном погружении каждой заготовки из второго набора в дихлорметан. Продолжительность погружения заготовки — менее 10 секунд. В результате постобработки заготовки из композиции ПЭТГ-2 изменили свой цвет — наблюдается помутнение, сохраняющееся и после рельефной чеканки (рис. 6б).

Рельефная чеканка заготовок из второго набора показала, что постобработка приводит к изменению сочетания свойств композиции пластика и это отражается на качестве изображения, формируемого на поверхности при рельефной чеканке, а также на гладкости поверхности. Так, композиция ПЭТГ-2 показывает наилучший результат (визуально) по чёткости и сформированности изображения, полученного на каждой из сторон заготовки (рис. 6а). Однако из-за мутности, проявившейся после постобработки, гляцевый оттенок поверхности утерян (рис. 6а).

Композиция ПЭТГ-1 показала недостаточно хороший результат по чёткости и сформированности изображения (рис. 6б); хороший результат по гладкости поверхности (ярко выраженный глянец на поверхности отчеканенной заготовки, рис. 6б). Композиция ПЭТГ-1 показала достаточно хороший результат по чёткости и сформированности изображения, а также по гладко-

Рис. 5. Результаты рельефной чеканки из заготовок без постобработки



а) композиция ПЭТГ-1

б) композиция ПЭТГ-2



в) композиция ПЭТГ-3



г) формообразующая поверхность верхнего инструмента

сти поверхности и ярко выраженному гляncу на обеих сторонах медали (рис. 6в).

Визуально гладкость поверхности заготовок из второго набора существенно улучшилась после постобработки. Количественная оценка гладкости (шероховатости) поверхности полимерного материала, обработанного по аддитивной технологии, является предметом отдельного исследования. На рис. 6 также показан фрагмент поверхности обратной стороны (реверс) заготовки из разных композиций ПЭТГ после постобработки для демонстрации эффекта гладкости поверхности. Наиболее эффектно глянец проявляется в центре отчеканенной заготовки.

Проверка свойств композиций пластика ПЭТГ после постобработки выполнена методом испытания образцов на растяжения. Для этого дополнительно были изготовлены образцы тип А12 и подверглись постобработке



а) композиция ПЭТГ-1

б) композиция ПЭТГ-2

в) композиция ПЭТГ-3

Рис. 6. Результаты рельефной чеканки из заготовок с постобработкой (кратковременная в дихлорметане)



г) формообразующая поверхность верхнего инструмента

Таблица 3. Параметры композиций пластика ПЭТГ после постобработки для 3D-печати образцов для рельефной чеканки

Условное обозначение композиции	Предел прочности (МПа), при ориентации образца во время 3D-печати		Относительное удлинение (%), при ориентации образца во время 3D-печати	
	0°	90°	0°	90°
ПЭТГ-1	50,10	51,03	4,52	4,96
ПЭТГ-2	35,57	40,83	14,72	118,33
ПЭТГ-3	52,33	51,60	5,34	5,72

кратковременным погружением в дихлорметан. В таблице 3 представлены значения предела прочности и относительного удлинения, соответствующие постобработанному материалу заготовок.

Сравнение свойств разных композиций (табл. 1 и 3) показывает, что постобработка снижает анизотропию для композиции ПЭТГ-1; приводит к существенному увеличению относительного удлинения у композиции ПЭТГ-2. Свойства (относительное удлинение) композиции ПЭТГ-3 практически не изменяются в результате постобработки.

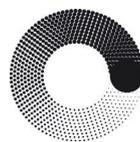
Выводы и прогноз

Выполненные натурные эксперименты показывают пригодность пластика ПЭТГ в качестве материала заготовки для рельефной чеканки. Выявлены некоторые особенности термопластичного материала:

- анизотропия приводит к снижению качества изображения, формируемого при рельефной чеканке заготовки полимерного материала типа ПЭТГ, изготовленной по аддитивной технологии FFF;
- снижение анизотропии возможно за счет кратковременной постобработки термопластичного материала ПЭТГ, например, в дихлорметане;
- постобработка исходно прозрачного ПЭТГ приводит к появлению глянца на поверхности заготовки, который сохраняется и после рельефной чеканки;
- количественная оценка гладкости (шероховатости) поверхности 3D-напечатанной по экструзионной технологии заготовки материала типа ПЭТГ является предметом отдельного исследования. ■

Литература

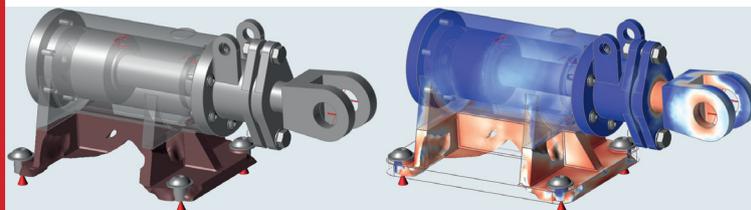
1. Белоусов В. Б., Филиппов Ю. К. «Рельефная чеканка». М.: Машиностроение-1, 2005. 156 с.
2. Как делают медали? Метод холодной штамповки [электронное издание] URL: <https://fabrikanagrad.ru/blog/tekhnologii/kak-delayut-medali-metod-kholodnoy-shtampovki/>
3. Медали из акрила и пластика [электронное издание] URL: <https://parallaks.com/index.php/medali/med-acryl>



Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натурных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяется современное программное обеспечение, такое как «Т-Флекс», Inventor, QForm, AutoForm, Pam-Stamp, Altair HyperWorks, solidThinking Inspire, MatLab, Abaqus, Comsol и другое.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

- листовая и объёмная штамповка, выполняющаяся в холодном, полугорячем (тёплом) или горячем состоянии материала, процессы метизного производства;
- прокатка и профилирование;
- специальные процессы штамповки (с кручением, упругой средой, в условиях сверхпластичности, изотермическая, электромагнитная);
- механизация и автоматизация участковковки, штамповки и прокатки, специализированные мехатронные системы;
- аддитивные технологии и топологическая оптимизация для разработки гибридных изделий и штамповой оснастки;
- исследование свойств материалов для аддитивных технологий;



- повышение стойкости штамповой оснастки;
- машинное зрение и оптическое сканирование;
- кузнечно-штамповочное оборудование (молоты, прессы, сервопрессы);
- реологическое описание течения материалов и разработка математических моделей для сталей, цветных сплавов и композиционных материалов;
- трибологические особенности протекания процессов, выбор смазочных материалов и контактных пар трения.

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

- «Машины и технологии обработки материалов давлением» (очное, бакалавриат, 15.03.01 Машиностроение);
- «Аддитивные технологии» (очное, бакалавриат, 27.03.05 Инноватика);
- «Цифровые технологии аддитивного производства и обработки давлением» (очное, магистратура, 15.04.01 Машиностроение).



Аддитивные технологии в авиаиндустрии

Татьяна Карпова

Авиастроение и космонавтика — это те отрасли промышленности, для которых особенно важны высокая агрегация изделий, их малый вес, использование современных высокоэксплуатационных и метаматериалов. В связи с этим внедрение аддитивных технологий (АТ) является актуальным для решения целого ряда задач. Примеры таких проектов были представлены в рамках выставки Helirusia на конференции «Аддитивные технологии в авиаиндустрии», организатором и модератором которой является эксперт в области аддитивных и классических технологий Дмитрий Трубашевский. Демонстрация возможностей АТ призвана помочь специалистам предприятий более широко применять данные инновационные технологии у себя на производстве (рис. 1). Какие же задачи уже решаются посредством АТ?

АО «ЦАТ» было создано на базе холдинговых корпораций авиационного комплекса ГК «Ростех» в 2018 году именно для задач авиастроительной отрасли. Это инженеринговая компания полного цикла и единый интегратор в области аддитивного производства. В нее входит 9 центров исследований и разработок на территории России. Для авиационной промышленности компанией осуществляются задачи адаптации геометрии заготовок деталей под аддитивное производство с применением бионического дизайна, разработки технологии печати, изготовления промышленной партии для проведения испытаний и др. В результате их решения уменьшается масса изделий, количество операций и сборочных единиц, объем механической обработки заготовок де-

Рис. 1. Модель самолета, выполненная с помощью АТ.
Фото: ООО «Фитник»



талей и др. Так, при производстве установочной партии воздухозаборников для системы воздухообмена кабины пилота с дальнейшей обработкой до готовых к установке на вертолет узлов (рис. 2) в АО «ЦАТ» была отработана технология сварки тонкостенных аддитивных заготовок из алюминиевого сплава AlSi10Mg; произведена печать на среднегобаритном 3D-принтере; снижено количество сборочных единиц (традиционно деталь изготавливается пайкой из листовых заготовок); достигнуто снижение массы узла на 10% по сравнению со стандартной конструкцией благодаря применению более тонкостенных элементов. Выход годного изделия составил 100%.

Рис. 2. Воздухозаборники для системы воздухообмена кабины пилота. Фото: ООО «ЦАТ»

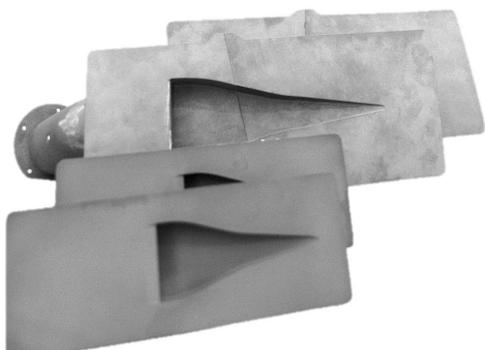


Рис. 3. Крупногабаритная деталь со сложной внутренней геометрией для двигателестроительной компании. Фото: ООО «ЦАТ»



Результатом при изготовлении партии крупногабаритных заготовок деталей со сложной внутренней геометрией для двигателестроительной компании (рис. 3) стали: оптимизация геометрии заготовок под аддитивное производство, включая адаптацию внутренней поверхности для исключения применения поддерживающих структур внутри; сокращение срока изготовления заготовок деталей с 4 месяцев до 3 недель; была разработана технология изготовления внутренних полостей без поддерживающих структур. Выход годного изделия составил 100%.

Целью совместного российско-немецкого предприятия «Фитник» также является внедрение аддитивного производства в различных отраслях промышленности и прежде всего в авиастроении. Большая часть задач связана с реверс-инжинирингом, при решении которых выполняются: анализ, подбор технических решений и согласование ТЗ, 3D-сканирование и 3D-моделирование исходной детали, разработка полного пакета конструкторской документации, изготовление опытных образцов, испытания и доработка КД по результатам, конструкторская поддержка производства. Так, с начала 2022 года в компанию поступили запросы на реверс-инжиниринг более 300 видов авиационных деталей и запасных частей (рис. 4).

Рис. 4. Авиационные детали и их модели, выполненные при помощи реверс-инжиниринга. Фото: ООО «Фитник»

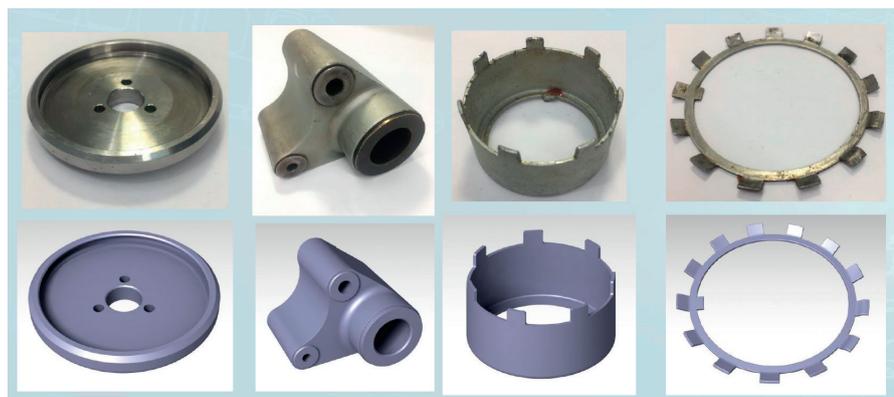


Рис. 5. Замена поврежденной детали. Фото: ООО «Сканформ»



Технология 3D-сканирования с появлением отечественных недорогих устройств становится все более доступной и востребованной на российских предприятиях. Она позволяет: проводить предварительную оцифровку поврежденных и исчерпавших ресурс компонентов; проводить бесконтактные измерения сложных пространственных поверхностей в произвольных точках за короткий срок; дорабатывать изделия по цифровым моделям; осуществлять разработку и прототипирование новых изделий; выполнять копирование с целью замещения (рис. 5).

Технология гибридного изготовления изделий из металла, например: плазменная наплавка + послойное деформационное упрочнение + фрезерная обработка — объединяет лучшие характеристики аддитивного формирования заготовки и последующего механического удаления (рис. 6). Особенно актуальна технология при изготовлении крупногабаритных деталей. По данным ООО «Центр ЭЛТ» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), при использовании традиционных технологий проблемами являются: большая стоимость — 1 млн евро, низкий коэффициент использования материала — 1–10%, большой срок изготовления — 1 год. Гибридная аддитивная технология дает снижение стоимости —

Рис. 6. Применение гибридной технологии изготовления детали аэрокосмической отрасли. Фото: ООО «Центр ЭЛТ»

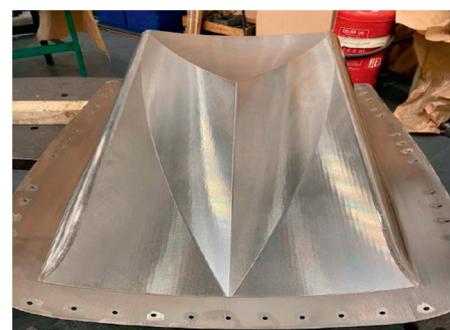


Рис. 7. Печать прототипа воздухозаборника для МС-21 — выполнена на производственной системе Fortus 900mc из высокоэксплуатационного термопласта ULTEM 9085. Фото: ООО «Современное оборудование»



до 50%, повышение коэффициента использования материала — в три и более раз, снижение сроков изготовления на 30% и более. В случае детали аэрокосмической отрасли из материала 12X18Н10Т (рис. 6) было получено снижение времени до ~13 часов, массы до ~13 кг.

В авиастроительной отрасли актуальна печать не только металлических, но и пластиковых изделий (рис. 7). Также давно и успешно в отрасли используются композиционные материалы. 3D-печать с помощью оборудования компании Anisoprint позволяет выкладывать армирующие волокна в нужном направлении с учетом условий нагружения (рис. 8), печатать сетчатые структуры. Управляемая выкладка способствует получению оптимальных характеристик изделия, при этом отмечаются их низкая пористость и высокое качество.

Появление на рынке качественных, доступных по цене отечественных материалов также способствует внедрению аддитивных технологий в России. ООО «Гранком» — современное динамично развивающееся предприятие по производству порошков и гранул с целью импортозамещения и обеспечения промышленных предприятий металлопродукцией из современных материалов. В ассортименте предприятия: порошки различных марок быстрорежущих и нержавеющей сталей, титана, жаропрочных сплавов и др. Кроме того, на предприятии налажено изготовление изделий по технологии порошковой металлургии и технологии прямого выращивания DED-P, осуществляется высокотемпературная газостатическая обработка крупных фасонных от-

ливок и заготовок из различных порошковых материалов.

И не только в высокотехнологичной авиастроительной отрасли задумываются о решении задач посредством аддитивных технологий. Согласно статистике российского рынка АТ, приведенной в выступлении директора ассоциации «Аркада» Олега Тельнова, на 73% предприятий знают, что такое аддитивные технологии, 35% — задумываются о применении АТ в своей деятельности, 63% предприятий пробовали печатать детали, 10% предприятий имеют 3D-принтеры, 97% из внедренных — это принтеры для печати полимерами, 45% предприятий имеют 3D-модели изделий, 2,5 млн деталей печатается в год.

Драйверами дальнейшего развития АТ могут стать: рост количества информации об АТ и интерес государства к этому направлению; увеличение доступности и рост проникновения АТ в различные сферы деятельности; рост требований потребителей к скорости изготовления изделий и персонализация изделий; рост числа пользователей АТ в различных группах потребителей; развитие e-commerce и числа логистических компаний, развитие сквозных цифровых технологий в рамках НП «Цифровая экономика».

Барьерами развития АТ остаются: низкий уровень грамотности специалистов; недостаточное количество специалистов АТ; неравенство на рынке и отсутствие развитой инфраструктуры за пределами крупных городов; низкий уровень доверия предприятий к новым технологиям; доверие к иностранным поставщикам при полном недоверии к отечественным; недостаточное совершенствование нормативно-правового регулирования в области АТ; страх приобретения оборудования в числе первых.

В ассоциации «Аркада» считают, что для внедрения новых технологий необходим комплексный подход, при котором при изготовлении детали создается законченное решение, готовое к внедрению и тиражированию. Главными столпами при этом являются стандартизация и нормирование при внедрении аддитивных технологий. ■

Рис. 8. Кронштейн из термопласта PETG, армированного непрерывным углепластиковым волокном. Фото: ООО «Анизопринт Рус»



Критерии применения аддитивных технологий в изделиях энергетического и тяжелого машиностроения

Э.Ю. Колтишон, д.т.н., проф., А.В. Дуб, д.т.н., проф., ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Н.Г. Разумов, к.т.н., зав.лаб., СПбПУ, Ю.А. Кириллов, к.т.н., АО «ЛЦ ЯТЦ», А.А. Марченко, АО «АЭМ-т»

Аддитивные технологии (АТ), обеспечивающие новые возможности для конструирования изделий с заданными свойствами и геометрией, получили широкое признание в наиболее передовых отраслях промышленности и странах мира, имеют достаточную базу для развития в РФ и нуждаются в совершенствовании, распространении, популяризации и изучении.

При массовом, планируемом и конкурентном производстве выбор поставщиков в значительной мере определяется ценой изделия, а при собственном производстве — себестоимостью конечного продукта. В рассматриваемой альтернативе: традиционное технологическое производство (ТП) или аддитивное производство (АП) — выбор не столь однозначен. АП успешно функционирует там, где высокие цены изделий оправданы их уникальными потребительскими свойствами, и там, где высокие тиражи изделий и низкая стоимость исходных материалов делает их конкурентоспособными.

Так, Денис Федосеев (ПАО «ОДК-Сатурн») в своём докладе на «Лидер-форуме–2019» привёл данные о зависимости цен на АТ-изделия от тиража и области применения.

Цена 4500 \$/кг и тираж менее 50 шт. приемлемы для аэрокосмической отрасли,

3200 и 100 — для оборонной,

500 и 1000 — для атомной,

200 и 10000 — для производства суперкаров,

100 и 1млн — для массовых автомобилей.

Снижение стоимости требует дешевых материалов, производительных технологий, специального конструирования под АТ, нормативных документов.

В данной статье попробуем оценить эффективность внедрения АТ. Наши расчёты и выводы являются мнением авторов, могут не совпадать с мнением коллег, и мы считаем полезными их обсуждение и критику.

Экономические критерии эффективности АТ

Экономический эффект применения АТ зависит:

— при изготовлении нового изделия от соотношения

стоимости металла, использованного в конечном изделии, цены реализации «лишнего/удалённого» металла при учёте стоимости его удаления на всех стадиях традиционного технологического процесса, а также стоимости изделия, получаемого по АТ почти без отходов и при очень коротком производственном цикле, но из очень дорогостоящего исходного материала;

— при АТ-ремонте изношенного изделия от соотношения стоимости АТ-ремонта и стоимости изготовления нового изделия при равном сроке эксплуатации/межремонтного периода (при доступности запасных частей); от соотношения АТ-ремонта и убытков от простоя оборудования (при отсутствии страховых запасов, рынка или конкурирующей технологии ремонта);

— при АТ нанесении функционализированного поверхностного слоя от соотношения стоимости АТ и экономической эффективности увеличения эксплуатационного периода и решения тех же задач методами ТП.

Себестоимость 1 кг продукции аддитивного изделия можно оценить по формуле:

$$СИ = СФК \times Ц_{\text{мш}} + СЭ + ЧЗ + АО + РМ,$$

где $Ц_{\text{мш}}$ — цена металлического порошка; СФК — сквозной фабрикационный коэффициент с учётом доводки поверхности и отбраковки; СЭ — часовой расход электроэнергии, стоимость энергозатрат, ЧЗ — часовая зарплата оператора, АО — амортизационные отчисления на 1 кг продукции, РМ — расход аргона и других расходных материалов на кг продукции.

По оценке авторов, для установки DLMS мощностью 2–4 кВт и производительностью до 5 кг/час при использовании порошка стали 316 (принимаемая стоимость 300 \$/кг) себестоимость килограмма изделия составляет 374 \$/кг. Доля материала в данном случае составляет 0,8. Для стали 12Х18Н10Т (принимаемая стоимость материала — 25 \$/кг) стоимость изделия 44 \$/кг с долей стоимости материала — 0,65.

Критерием для выбора вида АТ, помимо ценового, может быть соотношение поверхности и массы изделия. При определённом конструктором материале, прямые

производственные затраты могут значительно зависеть от энергозатрат и производительности. Удельная поверхность изделия влияет на критические для крупногабаритных АТ-изделий коробление, поводку, потерю размеров. Вне зависимости от технологии производства, чем более развита поверхность изделия, чем меньше его сечение, чем выше теплопроводность и выше температура поверхности при окончании процесса, тем меньше текущие и остаточные напряжения, тем меньше опасность поволоки и короблений.

Цены на изделия АТ и ТТП в настоящее время не являются сопоставимыми. Массовое производство АТ-изделий требует как снижения себестоимости исходных материалов, так и коренного удешевления оборудования.

Наиболее перспективным направлением удешевления продукции АТ-технологий является использование проволоки как исходного материала вместо порошка, т.к. цены на проволоку толщиной от 0,3 мм из сталей типа 316 не превышают 15\$/кг, на проволоку из сталей типа Х18Н10Т — не более 7\$/кг, на никелевую, молибденовую и вольфрамовую проволоку толщиной 0,05–0,08 мм — на уровне 1500–4500 руб./кг (20–60\$/кг). Таким образом, использование проволоки вместо порошка может существенно снизить себестоимость АТ, например, для изделий из нержавеющей стали — до 30–32\$/кг.

Другим перспективным направлением может быть получение порошка из стружки нержавеющей стали. Проблема связана с увеличением содержания кислорода, азота и водорода в наплавленном металле, т.к. повышенное содержание этих элементов наблюдается в пленке оксидов на поверхности стружки, особенно при высокоскоростном точении. Как известно, в качественном порошке/проволоке для АТ должно быть не более 0,01% кислорода.

Можно рассмотреть возможность замены для плавления проволоки лазерных установок на более мощные (электронные пушки (ЭЛП), плазмотроны). Преимуществом электронных пушек является высокий тепловой КПД (85%), малый расход энергии на плавление (до 0,5 кВт*час/кг). Мощность ЭЛП может достигать нескольких МВт. Скорость плавления — сотни кг/час. Недостаток — необходимость рабочего вакуума в камере наплавления: в прикатодной части давление не более $7 \cdot 10^{-3}$ Па ($5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.), у изделия — не более 0,8 Па (10^{-2} мм рт. ст.), что требует большого расстояния от катода ЭЛП до плавящегося металла и высокой степени герметизации рабочей камеры.

Более простыми и дешевыми являются плазмотроны с атмосферой аргона, используемые для сварки и плавления металла (ПДП). Цены на них — на уровне сотен тысяч рублей, не более 150 тыс. долларов США. Высокий тепловой КПД, регулируемая скорость плавления и размера капель, компактность устройства, плавление

в атмосфере аргона при компенсации недостаточной герметизации повышенным давлением аргона — основные достоинства ПДП. Расход электроэнергии на стадии плавления — 0,65 кВт*час/кг. Возможно использование ПДП с приспособлением для введения порошка или проволоки в струю для предварительного подогрева и введения в точку расплавления.

Проблемой при использовании этих мощных устройств для высокопроизводительных АТ являются многократно возрастающие тепловложения. Высокие термические напряжения потребуют введения промежуточных термических обработок для снятия напряжений или проведения АТ-процесса с подогревом в области высокотемпературной пластичности, релаксации напряжений за счёт пластических деформаций с последующим их исправлением. Но эти же ограничения действуют сейчас и для лазерного сплавления изделий сечением более 500 мм.

Применение высокопрочных сталей аустенитного класса представляется перспективным в связи с отсутствием фазовых превращений при охлаждении, высоким уровнем высокотемпературной прочности и пластичности.

Для повышения прочности малогабаритных изделий за счёт наклёпа можно использовать ГИП — изостатическое прессование, для крупногабаритных — контейнерную подштамповку или АТ-процесс в кристаллизаторе/форме, создающей сжимающие напряжения.

Методики проектирования АТ-изделий, учитывающие влияние больших тепловложений в формообразование, формирование структуры и свойства, должны быть разработаны, проверены в лабораторных и промышленных экспериментах в процессе разработки АТ применительно к крупногабаритным изделиям.

Вместе с тем, необходимо разрабатывать принципиально новые конструкции изделий, предназначенных для изготовления с применением АТ. Например, основной объём изделия изготавливается по традиционным технологиям из материала с высокой свариваемостью, вязкостью разрушения и достаточной конструкционной прочностью. Поверхностная зона изделия, имеющая сложную геометрию, изготавливается по АТ, требующей минимальной пластической, термической и механической обработки для снятия напряжений и обеспечения требуемых свойств (коррозионная стойкость, износостойкость, высокая твёрдость). Такая конструкция может обеспечить не только снижение себестоимости механической обработки, но и минимальную стоимость ремонтов в процессе эксплуатации.

Предлагаемая технология отличается от традиционной наплавки следующими признаками:

— нанесение АТ-слоя производится по виртуальной 3D-модели перемещения рабочего инструмента, осуществляемого роботизированным агрегатом;

Рис. 1. Увеличение параметров оборудования для 3D-печати разработки АО «НПО «ЦНИИТМАШ» [1]



Рабочие размеры, мм	160×160×160	250×250×250 (100×100×150)	550×450×450 (D75×75; 150×150×150; 300×300×300)
Производительность (макс.), см³/час	10	40	15
Мощность лазера, Вт	200	400	1000
Толщина слоя, мкм	20+50	20+250	20+250
Скорость сканирования (макс.), м/с	10	15	15
Сплавляемые материалы	Нержавеющие и инструментальные стали, сплавы на основе цветных металлов (Ni-Co и др.), титан и его сплавы, сплавы алюминия и др.		

— схема перемещения инструмента и скорость наплавления учитывает не только геометрию модели, но и необходимость минимизации температурных напряжений за счёт самоотпуска, релаксации при высокотемпературной ползучести и при необходимости местных промежуточных отпусков;

— местные промежуточные и окончательный отпуски производятся с использованием основного рабочего инструмента и специальных нагревателей (газовых горелок, панелей, индукторов в зависимости от геометрии изделия и температуры нагрева);

— при необходимости регулирования скорости охлаждения в АТ-процесс включается подогрев или спрейерное/воздушное охлаждение, обеспечивающее заданную скорость и локализацию изменений температурного поля;

Рис. 2. На оборудовании MeltMaster 3D-550 в 2020 г. в интересах ЯОК было распечатано методом СЛС самое большое изделие в РФ из никелевого жаропрочного сплава (ВЖ 159) с характерным размером 560×500 мм [1]



— контроль качества АТ-слоя осуществляется с помощью капиллярных методов контроля, радиографией и ультразвуковой дефектоскопией.

Особенности внедрения АТ в энергетическом машиностроении

В области энергетического и тяжёлого машиностроения методами аддитивного производства можно решить целый ряд задач:

- получение готового изделия сложной формы и/или с особыми свойствами без механического удаления «лишнего» металла,
- ремонт изношенного изделия, быстрое получение запасных частей и деталей, отсутствующих на рынке,
- получение изделия из слоёв разнородных материалов с новыми функциями и геометрией.

Реализация АТ и АП крупногабаритных изделий идёт с участием предприятий «РОСАТОМа», в том числе «ЦНИИТМАШа», что подтверждает реалистичность высказанных выше положений (рис. 1) [1]. Интересен опыт работы «ЦНИИТМАШ» на установке MeltMaster3D-550 (рис. 2) [1, 2, 3].

Также в «ЦНИИТМАШ» идёт работа по созданию цифровых двойников АТ-изделий с опорой на опыт цифрового моделирования изделий традиционных технологий. Решения существенно облегчаются для таких крупногабаритных осесимметричных изделий, как ротора турбин и генераторов, валы, обечайки, крышки и эллипсоиды, прямые участки трубопроводов, патрубков. Именно для них перспективна разработка таких АТ, как функциональная наплавка, прямое выращивание с использованием проволоки, электронно-лучевое

Рис. 3. Проблема импортозамещения при изготовлении отечественного оборудования для аддитивных технологий [1]



плавление (ЭЛП), плазменно-дуговой переплав (ПДП), электрошлаковая выплавка (ЭШВ).

Создание цифровых двойников (ЦД) — необходимое условие АТ и многостадийный процесс:

1. 3D-проект, т.е. чертёж изделия, выполненный конструктором в соответствии с его функциональной/рабочей геометрией и дополненный требованиями к материалу и качеству поверхности (ТТ – технологические требования);

2. 3D-чертёж изделия под механическую обработку и неразрушающий контроль с допустимыми размерами и требованием к качеству поверхности после завершения АТ-операций, и термообработки на свойства и для снятия остаточных напряжений;

3. 3D-чертёж подложки под АТ-процесс;

4. ЦД температурного поля изделия в процессе сплавления в зависимости от траектории перемещения рабочего инструмента, скорости сплавления/энерго-вложений, предварительного нагрева подложки изделия, позволяющие определить градиенты температуры, скорости охлаждения в критических сечениях изделия для сопоставления с термокинетической диаграммой (ТКД) превращения сплава/стали и назначить пробный режим сплавления;

5. ЦД поля напряжений/деформаций при рабочем режиме сплавления, позволяющий внести в пробный режим коррективы (температурные выдержки, промежуточные отпуска), обеспечивающие приемлемый уровень текущих напряжений и результирующих деформаций;

6. ЦД изделия (ЦДИ) в ходе рабочего режима его сплавления и термообработки.

7. ЦДИ по результатам сдаточного контроля (фактические размеры, данные неразрушающего контроля, контроля макро- и микроструктуры, механических свойств) в сопоставлении с требованиями чертежа и ТТ.

8. ЦД заключения о годности и принятых изменениях чертежа, ТТ, технологии производства, замечаний по работе и требований к оборудованию.

Такой набор ЦД должен быть документом длительного хранения и обработки в базе данных, основой паспортизации изделия, создания технической документации (ТД) и стандартов, обучения, переподготовки и тренировки персонала.

На данный момент повысилась актуальность решения проблемы импортозамещения при изготовлении отечественного оборудования для аддитивных технологий. Эта проблема включает в себя три аспекта: отсутствие модульных платформ управления аддитивным процессом, закрытость программно-аппаратного обеспечения, риск прекращения поставок импортных комплектующих. Поэтому ЦНИИТМАШ и ГК «Росатом» ставят перед собой задачу по разработке аддитивного оборудования на основе отечественных технологий и компонентов (рис. 3) [1].

В завершение коснемся актуальных вопросов обучения персонала АТ. Подготовка персонала для АП уже ведётся в МИСИС, МГТУ, СПбПУ, КАИ и других университетах. По нашему мнению, подготовка кадров

для нашей отрасли должна иметь некоторые особенности:

1. При сохранении существующей номенклатуры специальностей следует готовить АТ-металлургов/материаловедов, АТ-специалистов по холодной обработке, АТ-машиностроителей/специалистов по оборудованию, конструкторов, хорошо знающих о возможностях АТ и ТТ, путём подготовки бакалавров металлургов, технологов, конструкторов в магистратуре по целевым программам и заказу предприятий.

2. Бакалавр должен работать в составе группы, решающей реальные проблемы в ходе АТ и АП НИОКР, имея собственную тему для магистерской диссертации. Это — условие успешной АТ-специализации.

3. Шагами в сближении АТ-специалистов для решения общих проблем являются взаимная информированность о ходе работ, понимание проблем смежников, целесообразная деятельность для решения проблем смежников своими средствами. Для этого следует использовать междисциплинарные семинары, в частности, семинары магистрантов под руководством руководителей НИОКР и преподавателей университета

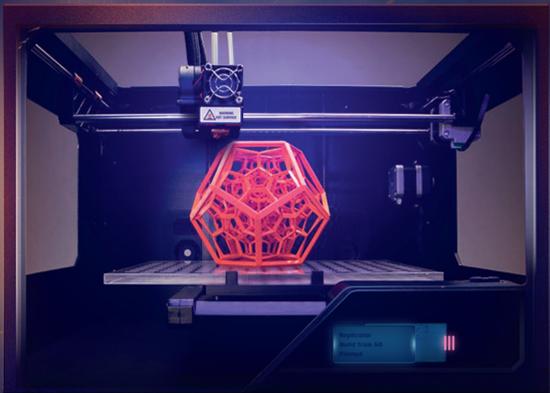
ЦД — основной инструмент реализации вышеизложенных задач. Создание ЦД, работа с ними, анализ и собственные разработки на их основе — практическая основа АТ и АП-специализации. Но первоначально ЦД должны быть разработаны, использованы и одобрены в производстве, где затраты на их создание могут быть многократно возмещены прямой экономией материалов и энергии.

Заключение

Снижение стоимости материалов АП — главная задача при внедрении АТ в энергетическое и тяжёлое машиностроение. Проволока вместо порошка, новые технологии получения металлических порошков, использование электронных пушек и плазмотронов вместо лазеров — наиболее очевидные направления развития АТ. Существующие АТ могут быть интегрированы в ТТП, усовершенствованы методами цифрового моделирования, симуляции, использования новых технологий термомодеформационного воздействия на промежуточный и конечный продукт. Важную роль в повышении качества и эксплуатационных свойств изделий АП должны сыграть методы комплексного сдаточного и эксплуатационного контроля, сочетающие неразрушающий контроль структуры и статистические методы контроля механических и эксплуатационных свойств. ■

Литература

1. https://www.youtube.com/watch?v=lFg_qS9bYRY
2. Е.В. Третьяков, А.В. Юдин, В.В. Береговский, А.В. Дуб. Особенности технологии изготовления образцов из коррозионностойкой стали 03X16H15M3 методом селективного лазерного плавления на установке MeltMaster3D-550. Тяжёлое машиностроение. 2017. № 11–12. С. 17–23.
3. А.В. Юдин, В.В. Береговский, И.Ф. Арутюнова. Свойства аустенитной стали 316L, полученной методом селективного лазерного плавления на установке MeltMaster3D-550. Тяжёлое машиностроение. 2019. № 39. С. 8–14.



V МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Технопарк Калибр
15 сентября 2022 года
Время проведения: 10:00 — 18:00

Опыт практического применения 3D-принтеров в школе

*Дмитрий Анатольевич Лукашенко, учитель математики школы № 7 г. Долгопрудного
Евгений Александрович Прокофьев, исполнительный директор ООО «ТехноСтанкоМаш», тел. +7-915-202-10-67*

Сейчас трудно кого-то удивить классом аддитивных технологий в школе. Многие учебные заведения закупили 3D-принтеры по различным программам или самостоятельно. Если собрать данные по имеющимся в школах страны принтерам, страшно представить, какой это производственный потенциал.

В одной из школ г. Долгопрудного после приобретения 3D-принтеров упор был сделан на реальные производственные задачи (рис. 1–3). Такой подход полезен тем, что учащийся начинает сразу вникать в реальный производственный процесс с получением реального продукта.

Замечательное свойство 3D-технологий, — это возможность изменять конструктивные характеристики детали и относительно быстро получать прототип для начала проверки и испытаний.

Так, первым изделием стали держатели медицинских масок, переданные в местную больницу. Что было крайне актуально для периода пандемии. Используя это, ученики 7-х, 8-х классов разработали и распечатали линейку этих держателей. Опыт эксплуатации позволил выбрать наиболее надежную и удобную конструкцию.

Далее от медиков поступил заказ на изготовление специальных устройств для открытия различных лабораторных емкостей. Здесь уже потребовалось выполнить полный цикл разработки и производства. Учащиеся разработали 3D-модель, распечатали первые образцы, провели ресурсные испытания, выполнили несколько доработок конструкции, еще раз провели испытания и получили работоспособный экземпляр. Далее после мелкосерийного (15 шт.) производства, приспособления были переданы заказчику — медицинской лаборатории.

В настоящее время к школе присоединен детский сад № 26. Сейчас в работе находится проект развития территории детского сада.

Универсальность применения аддитивных технологий позволяет решать широкий спектр задач, что дает возможность изготовить модели беседок, песочниц, клумб, качелей и т.д. В результате этого создается макет заполнения территории, что позволяет избежать бесконечного дорисовывания и перерисовывания схем и чертежей. Кроме этого, учащиеся непосредственно погружаются в профессии конструктора и архитектора.

Детский сад обеспечил участок загрузкой на долгое время вперед. Поступили заказы на разработку и изготовление игр, штампов для рисования, деталей кукольного театра, фишек, фигур, и т.д.

Пока состав производственного участка аддитивных технологий выглядит следующим образом.

Оборудование:

4 компьютера с ПО «Компас».

4 3D-принтера.

Рис. 1. Производственный участок аддитивных технологий школы № 7 г. Долгопрудного

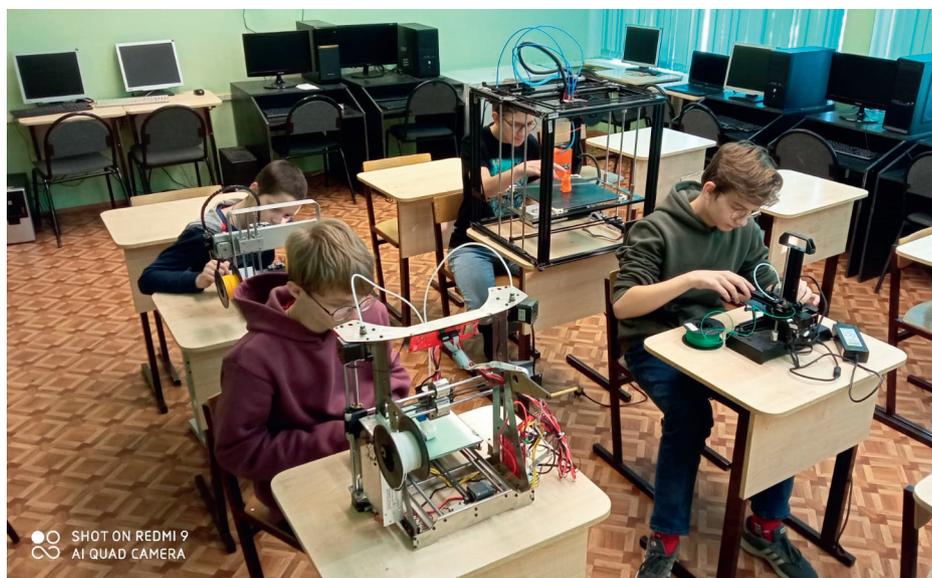
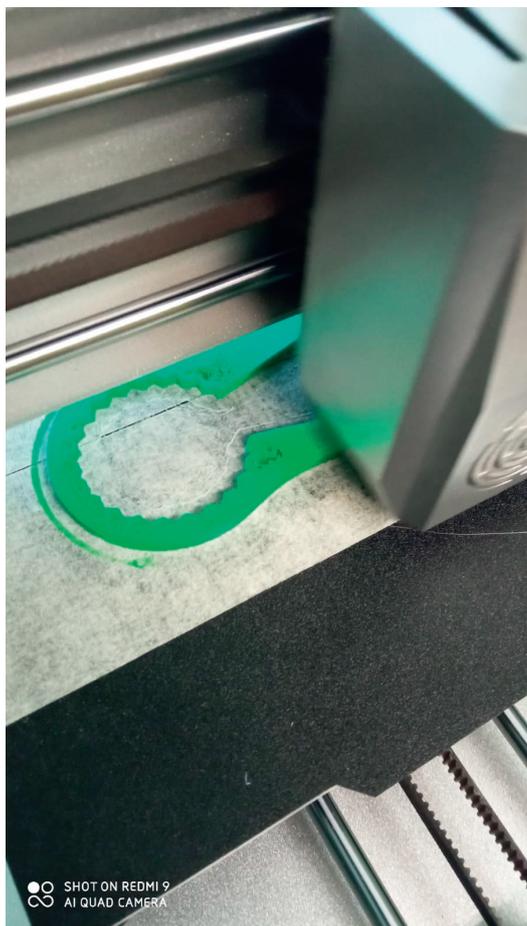


Рис. 2. Изготовление опытного образца



Состав:

4 учащихся 3–6 классов.

Руководитель – учащийся 10–11 класса.

Прогноз развития:

• Школа преобразуется в образовательный, научный и социальный центр, дающий возможность каждому получить новые компетенции, разместить заказ или выработать новые направления бизнеса.

• На этой работе будут формироваться кадры для промышленности с навыками анализа, проектирования и производства.

• Производственный цикл потребует вовлечения всех групп населения.

• Поступающие запросы будут аккумулироваться в школе. Это потребует создания группы планирования производства с функциями выстраивания очередности выполнения заказов планирования закупок, и определения необходимого ресурса. Работая в этой сфере, учащиеся смогут получить практические навыки менеджмента.

Рис. 3. Опытные образцы различного исполнения перед испытаниями



• Учащиеся, разрабатывающие 3D-модели, получают бесценный опыт моделирования в 3D-среде. Сразу отметим, что эта работа требует определенного склада ума и она дается немногим. Таким образом можно определять будущих конструкторов и дизайнеров для Индустрии 4.0.

• Эксплуатация 3D-принтеров требует постоянного проведения наладочных работ, что позволит выявить учащихся с навыками наладчиков оборудования.

Использование классов аддитивных технологий как производственных участков дает следующие возможности.

Организация постоянного процесса производственного обучения.

Мы как-то забыли про производственное обучение, а это очень нужная часть образовательного процесса. Тем более сейчас.

В нашей истории был период, когда в военные годы подростки в 13–14 лет стояли за станками на заводах. И именно эти подростки, когда выросли, запустили в космос Гагарина, спустили на воду ледокол «Ленин» и создали атомную промышленность. Это были прорывы, и они их сделали.

Развитие трудолюбия и заинтересованности в получении новых знаний и навыков.

Любовь к труду и желание развиваться появятся только в случае, если работник видит, что результат его труда приносит другим пользу.

Создание инженерных команд для решения задачи импортозамещения и технологического суверенитета.

Как уже было сказано, работа на участке аддитивных технологий требует привлечения разных специалистов: это и разработчик-конструктор, и испытатель, и наладчик, и даже экономист-маркетолог. Результат может быть получен, только если эти специалисты работают в команде.

И такие команды смогут реализовывать прорывы, которые сейчас так нам нужны. ■

Как с помощью аддитивного производства усовершенствовать подготовку врачей

<https://topstanok.ru/>

В подготовке врачей огромное внимание уделяется получению практических навыков. Но прежде чем студент будет допущен к пациенту, ему необходимо отработать и довести до автоматизма проведение различных манипуляций. В этом помогают медицинские тренажеры. Использование тренажеров оправданно и в теоретической подготовке. Они позволяют студентам быстрее усвоить материал, а преподавателям — оценить знания обучающихся.

Типовые или индивидуальные?

До недавнего времени на российском рынке были представлены типовые медицинские тренажеры локального и зарубежного производства. Тем не менее, учебным центрам далеко не всегда удавалось подобрать модели, в полной мере отвечающие их задачам. Возникшие перебои с поставками и уход многих иностранных поставщиков еще более усложнили ситуацию.

Решить проблему позволяют аддитивные технологии. С помощью 3D-принтера можно создать реалистичные, предельно точные копии анатомических структур с любой патологией под конкретную учебную задачу.

Рис. 1. 3D-модель лица, напечатанная на принтере



Процесс печати модели занимает от 8 часов.

Обучиться работе с печатным устройством и программным обеспечением к нему относительно несложно. Для создания симулятора потребуется его 3D-модель в формате STL, которая подгружается в софт принтера. После этого останется выбрать требуемые параметры и осуществить печать. Сотруднику образовательного учреждения необязательно вникать во все технологические нюансы. При любых сложностях можно обратиться в службу поддержки поставщика оборудования.

Для печати симуляторов используются различные модели принтеров. Рассмотрим опыт создания одного из них на оборудовании российского производителя Picaso.

3D-модель лица для обучения неврологов

К нам обратились представители университета повышения квалификации медработников с интересным запросом: напечатать 3D-модель лица человека. Планировалось, что неврологи будут отрабатывать на нем нахождение нервных окончаний. Сложность задачи заключалась в том, что модель требовалась многослой-

Рис. 2. Череп с мышцами и отверстиями под датчики (слева) и готовая модель лица с кожей из силикона (справа)



ная: первый слой — череп, второй — череп с наложением мышц и третий — череп с мышцами и кожей (рис. 1–2).

Подбор технологии и материалов

Для печати физической модели специалисты использовали принтер Designer XL PRO. Создание черепа осуществлялось по технологии FDM. Это одна из самых широко используемых технологий для печати изделий, которым не требуется особая точность и гладкость поверхности. К немаловажным преимуществам метода относится простота применения. В качестве материала выбрали пластик PLA. Он удобен в работе: не нуждается в нагревании платформы, имеет низкую температуру размягчения. А также является экологичным и достаточно бюджетным.

Процесс печати

Создание медицинского тренажера осуществлялось в два этапа.

1. Печать черепа с мышцами.

Предварительно в 3D-модель заложили отверстия под датчики, которые используются для контроля выполняемых студентами действий. Время печати — 9 часов.

2. Изготовление “кожи”. Ее сделали из силикона и наложили на череп с смонтированными датчиками, получив готовое к использованию изделие. В качестве альтернативы силикону возможна печать лица по технологии SLA. Этот метод позволяет создавать объекты с высокой детализацией, прочностью и идеальным качеством поверхности. Общее время производства тренажера составило 3 суток.

Преимущества индивидуального моделирования

Применение 3D-принтеров для создания медицинских симуляторов вывело практическую подготовку врачей на новый уровень:

- С помощью печати можно воспроизвести целевую патологию и отрабатывать на тренажере сложные манипуляции неограниченное количество раз до полного их усвоения.
- У хирургов появилась возможность подготовиться к операции на модели органа пациента, созданной, например, на основе результатов КТ. Это позволяет

Рис. 3. Напечатанная 3D-модель желчного пузыря

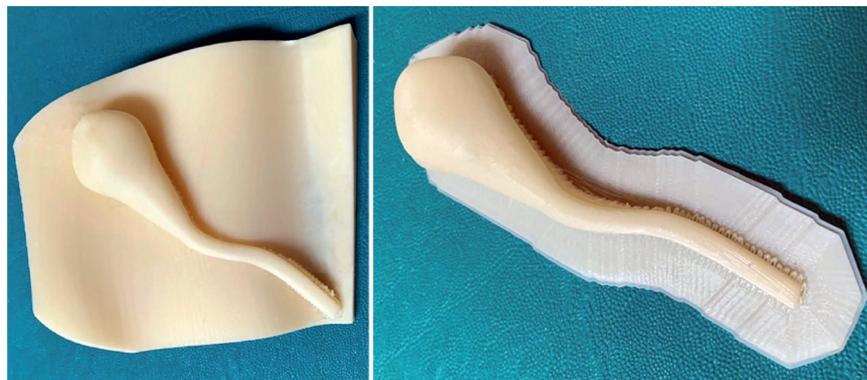
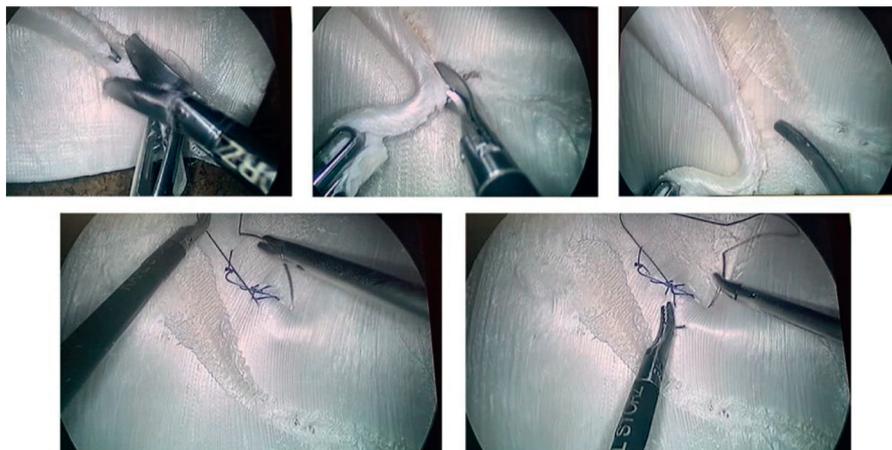


Рис. 4. 3D-тренажер для отработки операций на тазе



подобрать верную тактику и существенно снизить риск врачебной ошибки в процессе хирургического вмешательства.

Зарубежный опыт 3D-печати медицинских тренажеров

В Европе оснащение больниц и учебных учреждений 3D-принтерами становится привычным явлением. Так, в итальянском городе Эрбе, в больнице Sacra Famiglia Fatebenefratelli, успешно используется компактный профессиональный принтер для создания высокоточных хирургических тренажеров. На нем печатают различные анатомические органы и структуры для обучения базовым хирургическим манипуляциям.

Например, на принтере была создана модель сегмента печени и желчного пузыря из уникального материала LAY-FOMM (рис. 3). Благодаря его свойствам поверхность модели после погружения в воду приобретает качества органической ткани.

Напечатанный тренажер для лапароскопических операций на тазе (рис. 4) позволил хирургам экспериментировать с новыми неинвазивными методами удаления без риска для пациента. ■

РОССИЙСКАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ НЕДЕЛЯ

24–27.10.2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



www.technoforum-expo.ru



www.rusweld-expo.ru



www.expo.ronktd.ru



www.reklama-expo.ru

При поддержке:



Организатор:



8-11
НОЯБРЯ 2022

МОСКВА,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Место проведения:



Генеральный
информационный партнер:



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2022



Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2022



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГМК
МеталлТрансЛогистик'2022

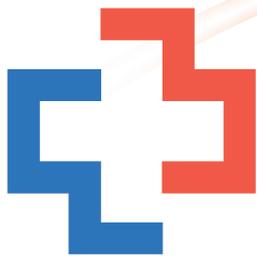
12+

Оргкомитет выставки:
тел./факс +7 (495) 734-99-66

28-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

МЕТАЛЛ
ЭКСПО
2022

www.metal-expo.ru



РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ RUSSIAN HEALTH CARE WEEK

Ежегодно входит в план научно-практических мероприятий Министерства здравоохранения РФ



РОССИЯ, МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Здравоохранение

«Медицинская техника,
изделия медицинского назначения
и расходные материалы»



Здоровый образ жизни

«Средства реабилитации и профилактики,
эстетическая медицина, фармацевтика и товары
для здорового образа жизни»



MedTravelExpo

Санатории. Курорты. Медицинские центры

«Медицинские и оздоровительные услуги,
технологии оздоровления
и лечения в России и за рубежом»

**5–9
декабря 2022**

**5–8
декабря 2022**

WWW.ZDRAVO-EXPO.RU

Организаторы:

Государственная Дума ФС РФ
Министерство здравоохранения РФ
АО «ЭКСПОЦЕНТР»

При поддержке:

Совета Федерации ФС РФ
Министерства промышленности и торговли РФ
Федерального агентства по туризму (Ростуризм)

Под патронатом ТПП РФ

12+
РЕКЛАМА



 **ЭКСПОЦЕНТР**

Проект аддитивных технологий
в промышленности в рамках
выставки RUPLASTICA



Powered by 3D Fab+Print

24 - 27 ЯНВ
2023
МОСКВА
РОССИЯ

ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на **журнал «РИТМ машиностроения»** с любого месяца. Стоимость одного номера — **350** рублей, стоимость годовой подписки (10 номеров) — **3500** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: ritm@gardesmesh.com

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
 Юр. адрес: 107140, г. Москва,
 ул. Верхняя Красносельская,
 д. 17А, стр. 1Б
 Почт. адрес: 107140, г. Москва,
 ул. Верхняя Красносельская,
 д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
 ИНН 7708266787
 КПП 770801001
 Р/с 40702810400120033781
 ПАО АКБ « АВАНГАРД»
 г. Москва
 К/с 30101810000000000201
 БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал «РИТМ машиностроения»:

номер

год

Подписка на журнал «Аддитивные технологии»:

номер

год



Вы можете оформить подписку на **журнал «Аддитивные технологии»** с любого месяца. Стоимость одного номера — **350** рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — **1400** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: info@additiv-tech.ru



107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1, т/ф (499) 55-9999-8,
 e-mail: ritm@gardesmesh.com, www.ritm-magazine.ru
 e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru