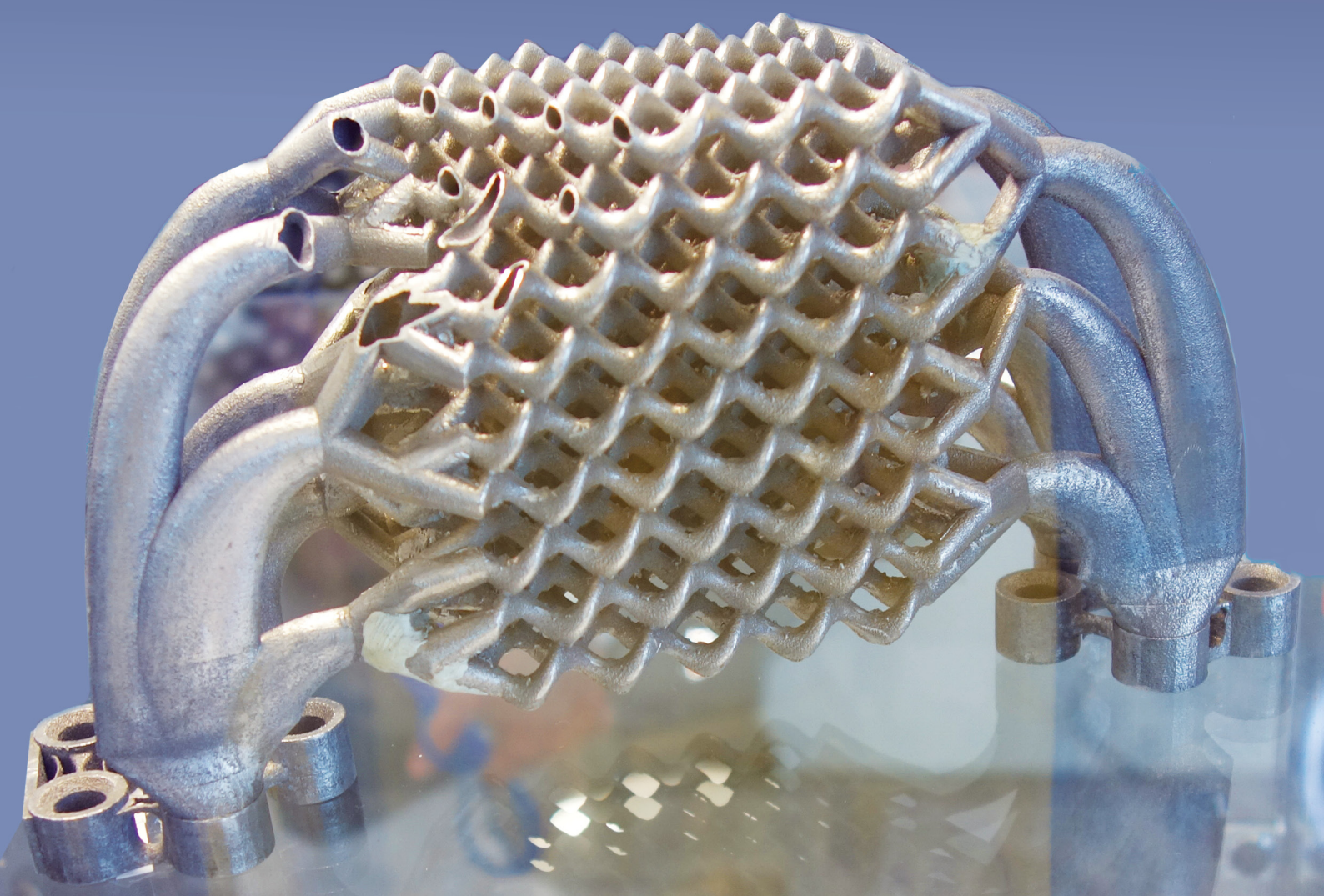


at

АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



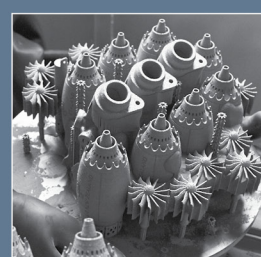
Курс на отечественное оборудование, материалы и ПО

14



Выставка Rosmould — важный инструмент для развития индустрии

20



Аддитивное формообразование изделий из металлов и сплавов пучком электронов. Селективное плавление (часть 1)

30

РЕВОЛЮЦИОННАЯ КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА РУЧНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

LightWELD 1500



Мощность лазера
до 1500 Вт

Пиковая мощность
до 2500 Вт

Охлаждение
Воздушное

Ширина шва в режиме Wobble
до 5 мм

Размеры
641 x 316 x 534 мм

Вес
53 кг



**АЛЬТЕРНАТИВА ДЛЯ MIG- И TIG-СВАРКИ
УНИВЕРСАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА**

	Традиционные технологии сварки	Технология LightWELD
Скорость	Средняя	До 4-х раз быстрее, чем TIG
Качество	Зависит от опыта сварщика	Стабильные высококачественные результаты
Освоение	В несколько этапов	Стабильно высокие результаты
Гибкость в выборе материала	Ограниченная, требует переналадки	Широкий диапазон материалов без переналадки
Коробление и деформации	Высокие значения	Незначительные
Зона термического влияния	Большая	Малая
Сварка с осцилляцией (качанием) луча	Недоступна	Доступна — расширение шва до 5 мм

НЕПРЕВЗОЙДЁННАЯ НАДЁЖНОСТЬ И ПРОСТОТА ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЕЙШЕЕ РЕШЕНИЕ

Light**WELD** — это максимальные сварочные возможности при минимальном браке

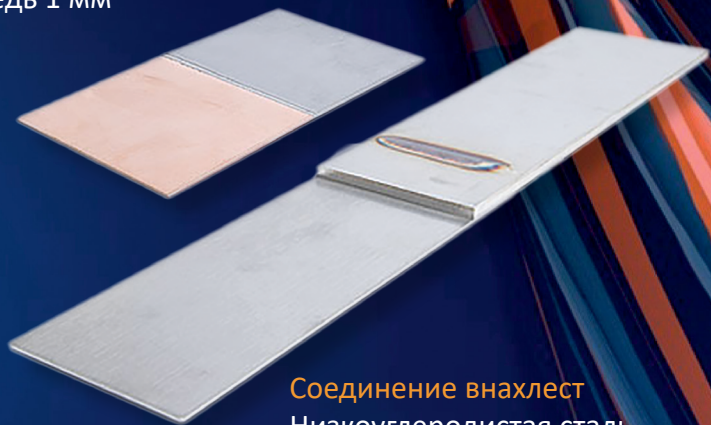
Угловое соединение

Нержавеющая сталь 9 мм и 1 мм



Стыковое соединение

Нержавеющая сталь 1 мм
Медь 1 мм



Стыковое соединение

Низкоуглеродистая сталь 10 мм

Соединение внахлест

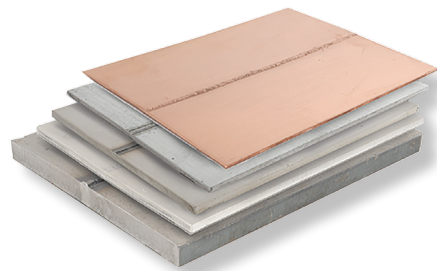
Низкоуглеродистая сталь
1 мм и 2 мм

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ МАТЕРИАЛОВ И ТОЛЩИН**



Свариваемые материалы

Металл	Толщина (односторонняя сварка)	Толщина (двухсторонняя сварка)
Нерж. стали	До 4 мм	До 10 мм
Оцинкованная сталь	До 4 мм	До 10 мм
Низкоуглерод. стали	До 4 мм	До 10 мм
Алюминиевые сплавы	До 4 мм	До 10 мм
Медь	До 1 мм	До 2 мм



Возможна сварка толстых, тонких, разнородных высокоотражающих металлов без использования присадочной проволоки, что трудно или невозможно осуществить традиционными методами сварки.

Подробнее обо всех новинках вы можете узнать у наших консультантов по e-mail и телефону:

+7 (495) 968 99 32; lightweld.online@ntoire-polus.ru

www.lightweld.ru

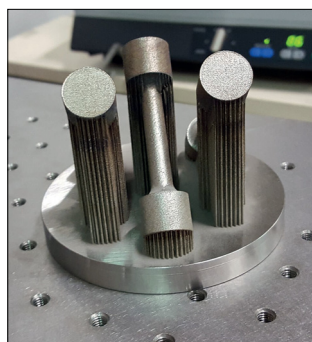




4



12



30

СОДЕРЖАНИЕ

- 4** Атомайзер ATO LAB — новая глава в исследованиях на аддитивном производстве
- 12** Formnext Connect: цифровое сердце 3D-индустрии
- 14** Курс на отечественное оборудование, материалы и ПО
- 16** Анализируем вместе
- 20** Выставка Rosmould — важный инструмент для развития индустрии
- 22** Аддитивные технологии для развития авиационных и космических проектов
- 28** Аддитивные технологии для медицины: постоянное развитие
- 30** Аддитивное формообразование изделий из металлов и сплавов пучком электронов. Селективное плавление (часть 1)

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: 101000, Москва
Милютинский пер., 18А,
оф. 3Бс, помещение 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.

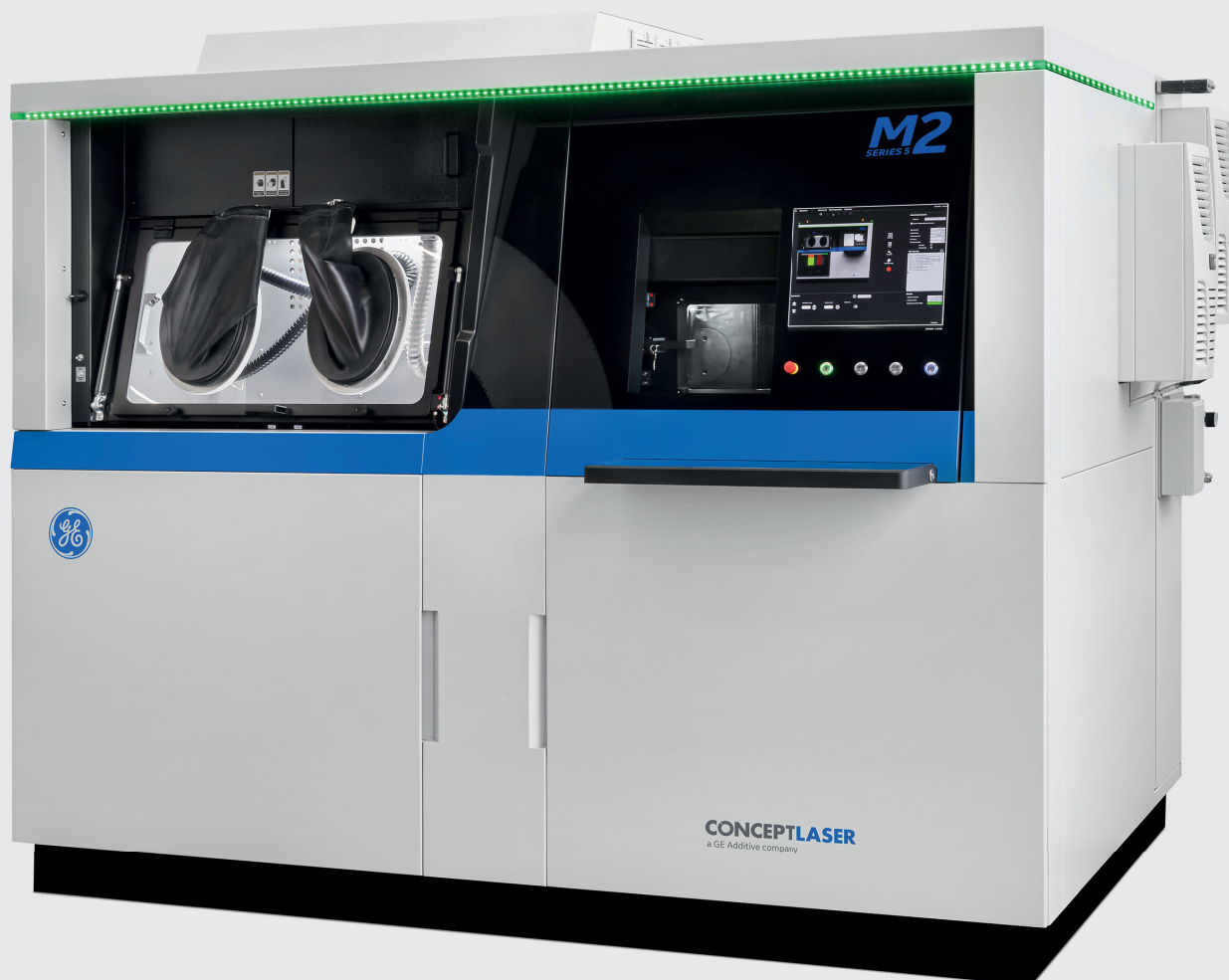
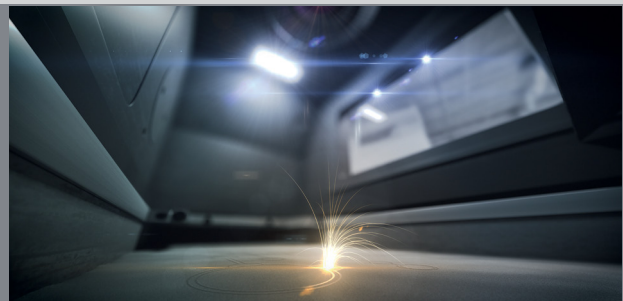
Тираж 5000 экз.
Распространяется на выставках
и по подписке.
Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.
Все права защищены ®.
Редакция не несет ответственности
за достоверность информации
в рекламных материалах
и оставляет за собой право
на редакторскую правку текстов.
Мнение редакции может
не совпадать с мнением авторов.

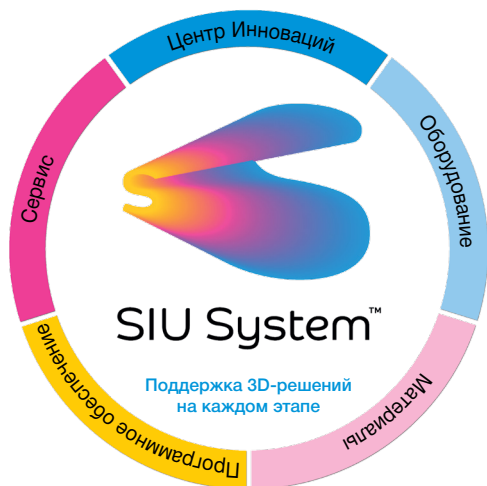
Concept Laser M2 Series 5

Два лазера мощностью до 1 кВт

Область построения 250 x 250 x 350 мм

Широкий спектр материалов





АО «НПО СИСТЕМ»
г. Москва,
ул. Рочдельская, д. 15, стр. 21
info@siusystem.ru
8 (495) 374 60 07
www.siusystem.ru

Атомайзер АТО LAB — новая глава в исследованиях на аддитивном производстве

В Центре инноваций SIU System ООО «Аддитивный инжиниринг» установлен лабораторный атомайзер АТО Lab польского производителя 3D Lab, способный изготовить металлический порошок для 3D-печати в малом объеме.

Для кого может быть полезен АТО LAB?

По виду предоставляемой услуги атомайзер АТО LAB является уникальным. В ходе процесса атомизации из проволоки и/или прутков получается металлический порошок, пригодный для 3D-печати. Объем порошка зависит от количества сырья. Чем больше проволоки, тем больше порошка.

В каких случаях вам необходим атомайзер **АТО LAB**:

- вы хотите оптимизировать работу производства;
- вы заинтересованы в исследованиях, экспериментах с целью продвижения науки;
- вы хотите производить порошки из нестандартных сплавов;
- вы заинтересованы в экономии места и средств.

Почему АТО LAB?

✓ Это оптимальное решение для тестирования возможностей материала, в том числе и в 3D-печати.

Возможность оборудования атомизировать порошок из малого количества сырья (проволоки или прутков) позволяет сэкономить время на тестировании возможностей материала.

✓ Это экономически выгодно для научно-исследовательских работ и производства.

Экспериментируя с малыми дозами, можно получать больше лабораторных образцов металлического порошка, а также быстрее выявить оптимальное сочетание металлов, повысив характеристики порошков и готовых изделий.

✓ Это постоянное наличие металлического порошка на предприятии.

Локализовав производство уникального металлического порошка на предприятии, можно не зависеть от поставщиков.

✓ Это доступная для всех операционная система.

Интерфейс программы управления прост и понятен, даже у новичка не возникнет вопросов в эксплуатации. Оператор может управлять процессом при помощи сенсорного дисплея.

✓ Это экономия места.

Как правило, атомайзеры — это огромные машины, но благодаря новым технологиям атомайзер АТО LAB довольно компактный: своими размерами он соответствует стандартному офисному шкафу.

Резюмируем: **АТО LAB — надежный, компактный и простой в использовании атомайзер.**



Материалы и возможности

Атомайзер ATO LAB является надежной и простой системой для производства металлических порошков.

- Работает с разными металлами, в том числе с алюминием, титаном, нержавеющей сталью и благородными металлами.
- Количество порошка зависит от объема исходного сырья.
В качестве исходного сырья может использоваться металлический пруток диаметром до 10 мм или проволока диаметром до 2 мм.
- Производит до 0,3 литра порошка в час.

Как приобрести ATO LAB?

Компания SIU System является единственным официальным дилером компании 3D Lab на территории России и СНГ. **У нас вы можете приобрести атомайзер ATO LAB и получить полный спектр сервисных услуг. В Центре инноваций SIU System можно также заказать изготовление порошка из необходимых сплавов для вашего производства и научно-исследовательских работ.**

Плюсы использования атомайзера ATO LAB

- Качество получаемых порошков
- Гибкость процесса
- Возможность производить порошок вне зависимости от объема исходного сырья
- Большой выбор сплавов
- Экономически выгодное производство
- Оптимальная цена
- Возможность масштабирования производства

Области применения атомайзера ATO LAB

- Пайка твердым припоем
- Порошковое напыление
- Фильтры и пенометаллы
- Традиционная порошковая металлургия
- Лазерное плакирование
- Химический синтез
- Селективное лазерное плавление



ATO LAB — надежный производитель, позволяющий многим компаниям воспользоваться реальными преимуществами технологий распыления.



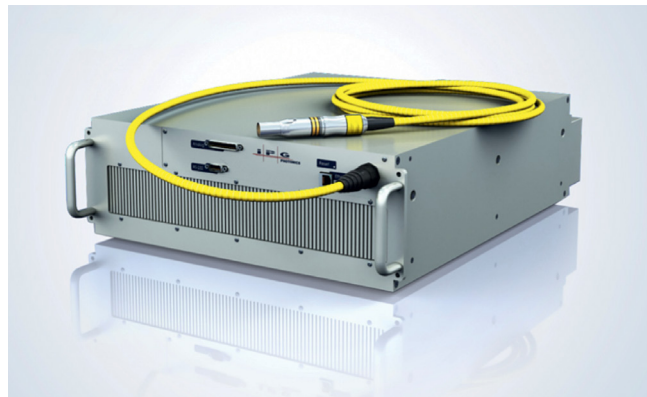
www.siusystem.ru
тел.: 8 (495) 374 60 07

Непревзойденная мощность в импульсе

Компания IPG пополнила серию квазинепрерывных волоконных лазеров многомодовыми моделями: YLR-QCW-MM и YLR-QCW-MM с максимальными средней и пиковой мощностями: 150/1500 Вт, 300/3000, 450/4500.

Новые модули вдвое мощнее и отличаются компактными размерами и низкой стоимостью на ватт мощности. Они идеально подходят для точечной сварки, сверления и резки в режиме длинных импульсов. Эти компактные блоки с воздушным охлаждением значительно выгоднее, чем YAG-лазеры, благодаря КПД более 30% и эксплуатации, не требующей технического обслуживания. Квазинепрерывные волоконные лазеры применяются для модернизации существующих технологических систем на основе лазеров с ламповой накачкой.

YLM-450/4500-QCW-MM



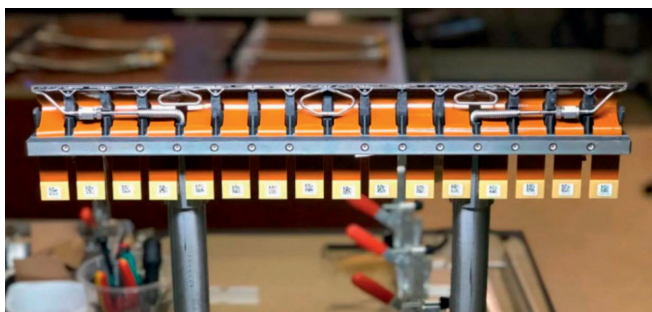
www.ipgphotonics.com

Датчики для Большого адронного коллайдера

С первого раза создать искусственную черную дыру не удалось, но ученые из «Европейской организации ядерных исследований» (CERN) повышают градус экспериментов, одновременно снижая температуру фотонных детекторов до -40°C с помощью новых элементов системы охлаждения, изготовленных на 3D-принтере.

Такие детекторы длиной примерно 140 метров с внутренним диаметром около двух миллиметров устанавливаются в четырех точках пересечения пучков внутри 27-километрового кольцевого ускорителя. Детекторы оснащаются фотонно-кристаллическими волоконными датчиками, с помощью которых отслеживается поведение частиц.

Элемент фотонного детектора



Разработкой системы охлаждения занимался Голландский национальный институт субатомной физики (Nikhef), а за аддитивное производство отвечал инновационный центр 3D Systems в Левене, что в Бельгии. Необходимость в использовании аддитивных технологий вызвана сложностью конструкции системы охлаждения, в свою очередь, обусловленной несколькими факторами: чрезвычайно ограниченным доступным пространством для установки оборудования, необходимостью в равномерном охлаждении по всей длине 140-метрового детектора и плоской конструкцией охлаждающих элементов, необходимой для эффективной работы и высокого разрешения датчиков. Характерный пример сложностей — очень тонкие стенки охлаждающих элементов толщиной всего в четверть миллиметра, обеспечивающие максимально эффективный теплообмен. При длине каждой детали в 264 мм выточить настолько тонкие стенки оказалось просто невозможно. Вместо этого компоненты изготовили лазерным сплавлением порошка из высокопрочного титанового сплава TiGr23 с помощью 3D-принтеров компании 3D Systems. По результатам стресс-тестирования продолжительность эксплуатации новой системы охлаждения оценивается в десять лет.

<https://3dtoday.ru>

Women in 3D printing

Ашхен Овсепян — генеральный директор компании SIU System — официально назначена амбассадором международной некоммерческой организации Women in 3D printing в России.

Women in 3D printing — компания, которая поддерживает, вдохновляет и продвигает женщин в аддитивном производстве. Компания насчитывает более 10 000 членов в 65 местных представительствах на семи континентах и нацелена на создание сообщества женщин, которые вносят свой вклад в развитие 3D-печати и интересуются развитием аддитивных технологий. Занимаясь поставками промышленного оборудования в Россию, Ашхен наблюдала за движением 3D-технологий и была уверена, что за ними будущее: «Благодаря 3D-технологиям сегодня мы умеем делать то, что вчера было невозможно!»

В качестве амбассадора Ашхен Овсепян представляет организацию на местном уровне, отвечает за мероприятия различного формата, посвященные 3D-печати, и за создание сообщества в России. Women in 3D printing повышает узнаваемость женщин-лидеров в индустрии аддитивного производства.



Приглашаю вас присоединиться к сообществу.



<https://womenin3dprinting.com>, www.siusystem.ru

Про стандарты

В ноябре 2020 года Росстандартом утвержден ряд новых национальных стандартов в области аддитивных технологий:

- ГОСТ Р 59184-2020 «Аддитивные технологии. Оборудование для селективного лазерного сплавления. Общие требования»;
- ГОСТ Р 59037-2020 «Аддитивные технологии. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы»;
- ГОСТ Р 59038-2020 «Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств металлических изделий»;
- ГОСТ Р 59036-2020 «Аддитивные технологии. Производство на основе селективного лазерного сплавления металлических порошков. Общие положения».

На сегодняшний день в России действует уже 28 национальных стандартов (ГОСТ Р) в области аддитивных технологий. Многие из них уникальны и не имеют международных аналогов. Программой национальной стандартизации на 2021 год в целях развития

аддитивных технологий запланирована разработка еще 11 стандартов в данной сфере, сообщается в пресс-релизе федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. С проектами стандартов можно ознакомиться на сайте: <https://viam.ru/project>.

Профильный технический комитет по стандартизации № 182 «Аддитивные технологии» (ТК 182) был образован приказом Росстандарта в 2015 году, и в настоящее время в его состав входит более 60 организаций, представляющих науку, производителей и потребителей продукции, производителей оборудования; секретариат комитета сформирован на базе ФГУП «ВИАМ».

Также следует отметить, что с 1 апреля 2021 года вступает в силу национальный стандарт ГОСТ Р 59095-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения», который устанавливает термины и определения понятий в области материалов, используемых в технологиях аддитивного строительного производства, которые основаны на аддитивном принципе изготовления строительных конструкций, т.е. на создании физических пространственных объектов путем последовательного добавления материала.

www.3dpulse.ru, <https://viam.ru>, <https://normativ.su/>

Гибридная аддитивная штамповка

Разработанная в ПАО «ОДК-Сатурн» (входит в Объединенную двигателестроительную корпорацию Госкорпорации «Ростех») технология гибридной аддитивной штамповки признана одной из лучших научно-исследовательских работ по результатам конкурса АО «ОДК» «Шторм инноваций – 2020».

В конторе АО «ОДК» для изготовления сложнопрофильных деталей из титановых сплавов, таких как лопатки газотурбинных двигателей, широко применяется изотермическая штамповка. Для выполнения штамповки лопаток требуется предварительное фасонирование (формообразование) исходной прутковой заготовки. Группа специалистов предпри-

ятия сформулировала техническую идею применения для формообразования фасонированных заготовок из титанового сплава аддитивной технологии – селективного электронно-лучевого сплавления металлопорошковой композиции с последующей штамповкой. Практическую апробацию метода провели на базе серийного процесса штамповки лопаток направляющего аппарата двигателя SaM146 из титанового сплава BT 6 с припуском под безразмерную обработку профиля пера.

Программа направлена на отработку технологии получения высокоточных заготовок со стабильной геометрией, максимально приближенной к расчетной



модели, с необходимым объемом, шероховатостью и структурой материала.

www.npo-saturn.ru

Напечатанные подшипники

Когда слышишь фразу «подшипник, напечатанный на 3D-принтере», первое, что приходит в голову: можно ли создать шарики сразу внутри корпуса? Ответ — да, можно, но они, как правило, неэффективны и довольно быстро ломаются.

Однако некоторые полимеры имеют настолько низкое трение, что сами могут служить подшипниками без движущихся частей. Специалисты по пластмассе Igus имеют в наличии ряд таких изделий, предлагая клиентам возможность заменить старые линейные подшипники на детали из пластика. К тому же их продукты разработаны таким образом, чтобы быть стойкими к воздействию окружающей среды (химическая/тепловая и т. д.). В частности, их полимеры с низким коэффициентом трения (такие как iGlide) содержат смесь базовых веществ, наполнителей, волокон и твердых смазочных материалов, благодаря которым подшипники полностью самосмазываются.

В библиотеке компании GrabCAD доступно более 130 различных бесплатных моделей подшипников.

<http://3dmag.org>

Новый высокопрочный алюминий

Группа студентов кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС» приступила к испытаниям нового высокопрочного алюмоматричного композита для 3D-печати. Использование данного материала, а также генеративного дизайна при проектировании изделий и SLM-печати для их изготовления позволит получать легкие и прочные сложные детали. На данный момент получены первые образцы, которые продемонстрировали более высокую прочность по сравнению с образцами, напечатанными из обычного алюминия. Предполагается, что данный материал постепенно вытеснит существующие дорогостоящие сплавы на основе титана, а также традиционные алюминиевые сплавы. В первую очередь проект может быть интересен авиастроительным, машиностроительным, станкостроительным предприятиям, предприятиям космической индустрии, а также организациям, осуществляющим услугу 3D-печати металлом.

<https://misis.ru>

Повысили прочность и проводимость

Исследователи из инженерного колледжа FAMU-FSU из Флориды (США) разработали технологические параметры 3D-печати структур на основе графена, получив материал с повышенной проч-

Маска для лаборатории жидкостей, напечатанная из композита на основе графена. Фото: FAMU-FSU



ностью и проводимостью. Чтобы создать оптимальные структуры графена, команда разработала новые чернила, в которые включила графеновые нанопластины в концентрации от 7% до 18%. Затем данный материал загружали в систему nScript 3Dn-300 и наплавляли с использованием различных скоростей и давлений для создания максимально широкого набора данных.

С учетом того, что в исследовании приняли участие ученые Исследовательской лаборатории ВВС США, эти материалы могут найти конечное применение в военных целях, например, таких как теплоотводы для 3D-печати или экранирование, защита от коррозии и др.

Присущие графену свойства электропередачи делают его идеальным для использования в

электронных устройствах 3D-печати, что объясняет активные исследования его потенциала в этой области. Так, ученые из Ноттингемского университета совершили прорыв в области аддитивной электроники в ноябре 2020 года, когда разделили графен на несколько слоев и получили материалы, которые могут быть использованы в качестве основы для изготовления полупроводников. Американские исследователи, со своей стороны, решили использовать технологию аэрозольной струйной печати (AJP) Optomec для изготовления сенсоров для тестирования пищевых продуктов. Команда из Университета Южной Калифорнии (USC) использовала силу графена для 3D-печати набора новой самочувствительной брони. Данный перечень можно продолжать и дальше.

<https://3dprintingindustry.com>

Для 3D-печати из меди

Использование некоторых металлов, включая чистую медь, в аддитивном процессе сплавления металлов в порошковом слое лазерным лучом является проблематичным из-за их высокой отражательной способности. Из-за того, что только небольшая часть энергии поглощается материалом, готовые детали могут иметь низкую плотность.

Для преодоления этой проблемы исследователи использовали технологию Graphmatech, использующую графен для модификации поверхности медного порошка. Как сообщил д-р Мамун Тахер (Mamoun Taher), генеральный директор Graphmatech, с ее помощью им удалось снизить коэффициент отражения до 67%. При этом графен не разрушается в процессе синтеза, что положительно влияет на плотность медно-графеновых деталей благодаря значительному снижению пористости.

Исследования проводятся группой профессора Ульфа Янсона (Ulf Jansson) в лаборатории Angstrom в Уппсальском университете.



www.3dpulse.ru

Созрел ли рынок АМ для консолидации?

Приобретения и слияния — не новость в области аддитивного производства. На начальный бум отрасли они оказали большое влияние. В 2012 году произошло слияние Stratasys и Objet, в результате которого две ведущие компании объединились в гиганта 3D-печати. В то же время компания 3D Systems завоевала репутацию компании, поглощающей многообещающие организации 3D-печати, такие как Z Corp., Vidar Systems и многие другие. Stratasys также приобрела MakerBot (более чем за 600 миллионов долларов) в 2013 году, усилив свою роль в потребительском пространстве АМ. Слияния компаний в этот период были в значительной степени обусловлены обещаниями потребительской 3D-печати. Сегодня есть более четкое представление о потенциале потребительского АМ: он гораздо более ограничен, чем считалось 10 лет назад. Реальный потенциал АМ теперь заключается в промышленном производстве. Рассмотрим основные приобретения в 2021 году.

Stratasys и Origin. Приобретение компанией Stratasys компании Origin завершено в первые дни года. Компании объявили в декабре 2020 года о сделке на сумму до 100 миллионов долларов, включая наличные и акции. Толчком к приобретению стало массовое производство. Stratasys планирует использовать платформу для 3D-печати фотополимеров Origin — программируемую фотополимеризацию (P3) — для ускорения массового производства деталей. Это укрепит лидирующие позиции Stratasys в области полимерных технологий, особенно в том, что касается производственных приложений в таких отраслях, как потребительские товары, стоматология, медицина и производство инструментов. С финансовой точки зрения Stratasys ожидает, что это приобретение принесет дополнительный годовой доход в размере до 200 миллионов долларов в течение следующих пяти лет.

Desktop Metal и EnvisionTEC. Не прошло и двух недель, как Desktop Metal объявила о своем намерении приобрести гиганта фотополимерной 3D-печати EnvisionTEC. Сделка, которая должна быть завершена в первом квартале 2021 года, стоит 300 миллионов долларов, включая денежные средства и недавно выпущенные акции Desktop Metal. После ее завершения EnvisionTEC станет 100% дочерней компанией Desktop Metal. По общему признанию, эта сделка стала большим сюрпризом, поскольку Desktop Metal и EnvisionTEC находятся в совершенно разных областях рынка. Desktop Metal специализируется на металле, а EnvisionTEC уже давно является лидером в

технологии фотополимеризации на основе DLP. Возможно, это приобретение становится для EnvisionTEC способом выхода на фондовый рынок. Приобретение также позволяет Desktop Metal немедленно расширить свою глобальную дистрибуторскую сеть, используя прочную позицию EnvisionTEC в мировой индустрии. Сообщается, что с EnvisionTEC в качестве дочерней компании Desktop Metal будет иметь сеть в 68 странах.

Protolabs и 3D Hubs. Ранее гигант быстрого производства Protolabs объявил о заключении окончательного соглашения о приобретении 3D Hubs, еще одной крупной производственной онлайн-платформы, за 280 миллионов долларов. Как только сделка будет завершена, Protolabs сможет похвастаться крупнейшей платформой для цифрового производства нестандартных деталей. Компания 3D Hubs, которая сама за последние годы претерпела большие преобразования, имеет глобальную сеть, состоящую из около 240 партнеров-производителей премиум-класса. С приобретением Protolabs получит этих партнеров и существенно расширит свои производственные возможности.

Игроки в движении. Конечно, три вышеупомянутые сделки — не единственные, которые указывают на зрелость рынка. Свою роль сыграл ряд других громких приобретений, совершенных в последние годы. Сделка по приобретению компанией GE компании Arcam, новатора в области металлического АМ, в 2016 году в то время продемонстрировала интерес и инвестиции транснациональной корпорации в 3D-печать металлами и с тех пор окупилась. Совсем недавно гигант материалов BASF приобрел поставщика услуг АМ Sculpteo, что позволяет BASF выводить на рынок новые материалы АМ и расширять доступ к своим решениям и услугам для 3D-печати. Также в области материалов компания Covestro, производящая полимерные материалы, приобрела подразделение полимеров и функциональных материалов Royal DSM, которое включает в себя аддитивное производство DSM. Это слияние, о котором было объявлено в октябре 2020 года, позволит Covestro занять более важную позицию на рынке материалов АМ. Стоит отметить, что до приобретения Royal DSM взяла на себя часть портфеля 3D-печати Clariant. В Европе рынок промышленных услуг АМ значительно консолидировался после слияния BEAMIT и ZARE. В августе 2020 года компании объявили, что объединяют свои ресурсы, чтобы стать единым мощным АМ-сервисом, обслуживающим европейский рынок.

Тесс Буассонно

<https://www.3dprintingmedia.network/am-industry-consolidation-acquisitions/>

Вошла в ТОП 10

По данным Управления по патентам и товарным знакам США, 3D-печать вошла в ТОП-10 самых быстрорастущих технологий 2020 года. Из отчета IFCI CLAIMS следует, что 3D-печать, а именно патентная классификация В33У 40 (3D-печать; вспомогательные операции или оборудование), растет со среднегодовым темпом 27,14%.

Компании с наибольшим количеством опубликованных патентных заявок в США по теме 3D-печати в 2020 году: Hewlett Packard Development (HP) – 470; General Electric (GE) – 331; Kinpo Electronics – 273; XYZпечать – 272; Boeing – 195. Общее количество выданных патентов в 2020 году сократилось менее чем на 1% по сравнению с 2019 и составило 352 013.

www.3dpulse.ru

Проект программы конференции «ИНДУСТРИЯ-3D по применениям 3D-технологий в промышленности»

г. Москва, ЦВК «Экспоцентр», 5-й павильон с 25 по 27 мая 2021 г.
в рамках выставки «Металлообработка-2021»

Организаторы: i3D и ЦВК «Экспоцентр»

25 мая 2021 г.

Приветственные выступления

от «Ассоциации аддитивных технологий», ООО «РусАт», Корпорации «Роскосмос», ФГУП «ВИАМ», Концерн «Алмаз-Антей», Корпорации «Ростех»

Секция «Авиакосмос»

Участники: АО «Композит», ФГУП «ВИАМ»

Секция «Ростех»

Участники: КТРВ, ГК «Калашников», «ОДК-Пермские моторы», ПК «Салют» (ОДК), «Вертолеты России», ОАК

Секция «Металлургия»

Участники: ПАО «Северсталь», НЛМК, ММК, ГМК «Норильский никель», АО «Евраз ЗСМК», «РусАл», СМК

Секция «Нефтегаз»

Участники: «Сибур», «Газпром нефть»

Круглый стол «3D-технологии в образовании»

26 мая 2021 г.

Приветственные выступления

от Минпромторга РФ и i3D

Секция «Цифровая литейка»

Участники: i3D – ООО «НПО «3D-Интеграция», FHZL, BigRep, SIU System, Union Technology Corporation (UnionTech, Китай)

Секция «3D-печать полимерными материалами»

Участники: BLV, Top3DShop, TOTAL Z, 3DGence (Польша), SIU System, Farsoon (Китай), Union Technology Corporation (UnionTech, Китай)

Секция «3D-печать металлом»

Участники: Санкт-Петербургский морской технический университет, ООО «Современное оборудование», Nissa-Digispace, SIU System, Farsoon (Китай), «АБ-Универсал», АО «Лазерные системы», АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

Секция «3D-печать керамикой»

Участники: SIU System, Admatec, «Энергоавангард»

Секция «Фонд "Сколково" и 3D-печать»

Участники: Фонд «Сколково», Anisoprint

Круглый стол

27 мая 2021 г.

Приветственные выступления от организаторов

Секция «Программное обеспечение для топологической оптимизации»

Участники: Autodesk, Dassault systemes, Siemens

Секция «ПО для контроля и симуляции процесса печати»

Участники: MSC Software, Autodesk, Siemens

Секция «Инжиниринговые компании России в сфере аддитивных технологий»

Участники: НАМИ, КНИТУ-КАИ, «Основа», ООО «Фитник»

Секция «Обратное проектирование и контроль»

Участники: ScanTech, GeoMagic, Creaform, ПАО «Северсталь», Hexagon, GOM

Секция «Материалы для 3D»

Участники: Harz Labs, «Горький Ликвид», Bestfilament, АО «Полема»

Будет организована онлайн-трансляция мероприятия.

Контакты организаторов:

+7 (495) 48139 44 или info@webconf.ru

Formnext Connect: цифровое сердце 3D-индустрии



Семен Попадюк, компания iQB Technologies

Ежегодная международная выставка-конференция технологий производства нового поколения Formnext прошла в ноябре 2020 года в онлайн-формате, получив название Formnext Connect. Как отметил Саша Ф. Венцлер, вице-президент Formnext в Mesago Messe Frankfurt GmbH, новый формат, как и традиционный, «позволил дать исчерпывающий ответ на потребности аддитивного производства и целевых отраслей в диалоге, сотрудничестве и инновациях». Выставка вновь подтвердила свой статус ключевого события отрасли.

Formnext Connect в цифрах

- 203 экспонента, включая 2200 представителей компаний, показали 1412 различных продуктов.
- Каждый из 8,5 тысяч активных участников из более чем 100 стран широко использовал интеллектуальную функцию подбора, благодаря которой удалось создать более 450 тысяч рекомендаций продуктов и деловых партнеров.
- 23311 новых контактов и 4733 деловые встречи в формате видеозвонков.
- 45 тысяч человек просмотрели более двухсот лекций и презентаций масштабной программы Formnext Connect. Эксперты со всего мира обсуждали текущие и будущие тенденции, разработки и практические задачи на различных вебинарах и дискуссионных площадках.

Программа: тренды, инновации, достижения

Программа Formnext Connect и TCT Conference @ Formnext охватывала современные тенденции, важные инновации и технологические достижения в области 3D, а специальная платформа на основе искусственного интеллекта подбирала экспонентов и участников на всем протяжении мероприятия.

Очевидно, что авиакосмическая индустрия продолжает оставаться одной из наиболее перспективных сфер применения аддитивных технологий. Сегодня к ней приковано особое внимание, ведь она наиболее пострадала от последствий пандемии. В то же время 3D-разработки помогут отрасли устоять перед потрясениями. В своих докладах на Formnext Connect эксперты Virgin Orbit, Relativity Space, Boeing и Airbus рассказали о новых авиадеталях, созданных с по-

Открытие Formnext Connect. Фото: formnext.mesago.com



Изделия из нового прочного фотополимера xPRO410 для высокоточной печати, созданного Nexa3D совместно с Henkel. Фото: Henkel



мощью аддитивного производства, а также о ракете, полностью напечатанной на 3D-принтере. Использование аддитивных методов в автомобилестроении обсуждалось в презентациях Audi, Volkswagen, EDAG, Schaeffler и Continental. Среди других докладчиков были представители Panasonic, KSB, Национального производственного института Шотландии, AMGTA, Ottobock, Medical Go Additive, AMT и многих других организаций. Участники также получили ценную информацию о крупных рынках, включая Китай, Израиль, Японию, США и Россию.

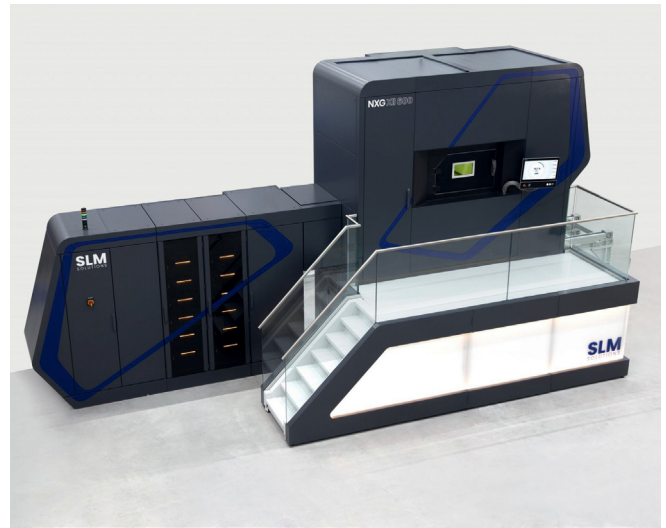
Несколько ярких новинок Formnext 2020

1. **SLM NXG XII 600** — долгожданная новая установка 3D-печати металлами от лидера отрасли SLM Solutions. 3D-принтер имеет камеру построения 600x600x600 мм, а 12 лазеров мощностью 1000 Вт каждый позволяют изготавливать детали в двадцать раз быстрее стандартной однолазерной системы и в пять раз быстрее четырехлазерной. Речь идет не только об увеличении рабочей камеры и количества лазеров, но и об усовершенствованиях в обеспечении таких параметров, как охлаждение расплавленного металлического порошка, стабильность атмосферы в камере построения и самого порошка, обнаружение ошибок. Нововведения также включают автоматический старт печати, улучшенную конструкцию камеры построения, автоматическую замену емкостей; установка оснащена новыми системами подачи газа и распределения порошка.

2. Программное обеспечение **Desktop Metal Build Processor** — результат сотрудничества Materialise и Desktop Metal. Ведущая компания на рынке ПО для аддитивного производства представила софт для полноценной интеграции с технологией Metal Binder Jetting.

3. **Gravity 2021** — 3D-принтер шведского производителя Wematter на основе SLS-технологии. Это простая в работе экосистема с автоматизированными функциями, позволяющая создавать надежные и прочные компоненты в условиях обычного офиса или цеха.

4. **Creaform MetraSCAN BLACK** — новая модификация портативного 3D-сканера, который позиционируется как лучшая альтернатива традиционным КИМ. Это самый быстрый ручной лазерный 3D-сканер в мире — он обеспечивает до 1,8 млн измерений в секунду, а кроме того, в нем четырехкратно увеличена разрешающая способность и улучшены характеристики точности по сравнению с предыдущей моделью. Также Creaform представила новую систему автоматизированного контроля качества MetraSCAN-R BLACK|Elite на базе этого 3D-сканера.



5. **Полиамид EсоPaXX AM4001 GF** от Royal DSM — экологичный биоматериал для 3D-печати с улучшенными термическими и механическими свойствами. Новая разработка нидерландской компании, ориентированная прежде всего на автомобилестроение, позволит снизить вес деталей и уменьшить углеродный выброс.

6. **Solukon SFP770** — инновационная система автоматического удаления порошка в процессе 3D-печати полимерами. Производитель заявляет, что установка обеспечивает большую безопасность и надежность, а также ускоряет постобработку.

7. **Optomec CS250 и HC-TBR** — компактные установки печати металлами. Первая модель предназначена для научных исследований и изучения материалов, вторая — для решения более масштабных производственных задач с помощью таких металлов, как титан и алюминий. Как видим, тренд на небольшие 3D-принтеры по металлу для НИОКР продолжает развиваться.

Formnext Connect продемонстрировала, что отрасль аддитивного производства не сбавляет темпов развития даже в год пандемии, а глобальная платформа для реализации деловых возможностей и сотрудничества просто необходима. Хочется надеяться, что в следующем году главное событие в области аддитивных технологий сможет сохранить традиционный формат выставки, объединив ее с возможностями всемирного виртуального форума. ■

Блог IQB Technologies
<https://blog.iqb.ru>

В обзоре использована информация из следующих источников: formnext.mesago.com, slm-solutions.com, creafom3d.com, 3dprintingmedia.network, 3dprint.com.

Курс на отечественное оборудование, материалы и ПО

Зинаида Сацкая

Активно завершила 2020-й год компания «Русатом — Аддитивные технологии» («РусАТ»), отраслевой интегратор «Росатома». В начале декабря «РусАТ» провел лидер-форум «Аддитивные технологии. Расширяя горизонты», на котором было подписано соглашение о создании Ассоциации развития аддитивных технологий, поставившей своей целью развитие отрасли аддитивных

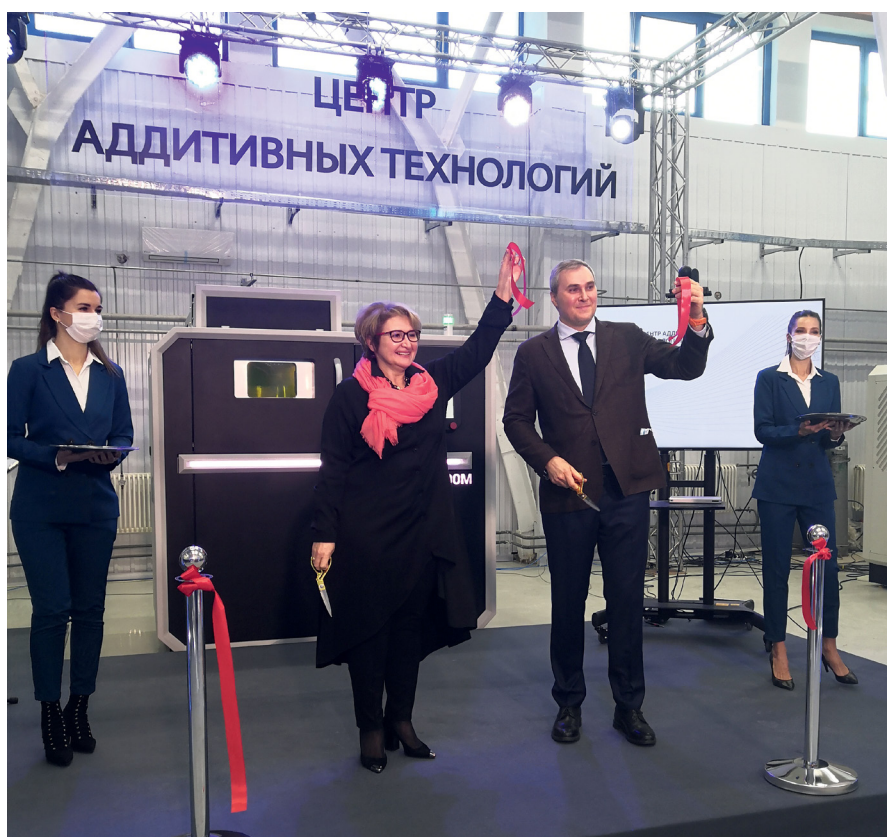
технологий в РФ. Учредителями ассоциации выступили Госкорпорация «Росатом», Госкорпорация «Роскосмос», Госкорпорация «Ростех», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ и ПАО «Газпромнефть». А в последнюю неделю декабря на площадке Московского завода полиметаллов «РусАТ» открыл свой первый центр аддитивных технологий (ЦАТ).

Выступавшие на открытии центра делали акцент на том, что это первое промышленное 3D-производство в России, основанное на отечественных технологиях, оборудовании и программном обеспечении. ЦАТ укомплектован 3D-принтерами собственного производства «Росатома» Rasmelt 300M, Rasmelt 600M и Rasmelt 600 RM для печати металлическими порошками по технологии SLM. Участки сборки 3D-принтеров, печати, постобработки совмещены с лабораторией по исследованию изделий и тестированию образцов. По замыслу создателей центра, это позволит проверять принятые конструктивные и технологические решения сразу после выпуска оборудования и, если необходимо, корректировать его конструкцию.

Предполагается строительство второй очереди ЦАТ, где должны быть размещены комплексы 3D-печати металлическими порошками и фотополимерами по технологиям SLS и SLA, а также расширена номенклатура испытательного и вспомогательного оборудования.

Созданием нового технологического уклада в стране назвал открытие ЦАТ генеральный директор Госкорпорации «Росатом» Алексей Лихачев в своем приветственном слове: «Впереди большая работа, связанная с созданием целой сети таких центров, прежде всего в городах и регионах присут-

Торжественный момент открытия Центра аддитивных технологий: президент АО «ТВЭЛ»: Наталья Никителова и генеральный директор ООО «РусАТ» Михаил Турундаев перерезали красную ленточку



ствия предприятий «Росатома», — подчеркнул Лихачёв. Следующий подобный центр предполагается открыть в Новоуральске на базе НПО «Центротех», где не только выпускается оборудование, собираемое в ЦАТ, но и запущена первая установка по производству порошков для 3D-печати. Как сказала Наталья Никипелова, президент АО «ТВЭЛ», «Росатом» пошел по пути создания полной линейки оборудования и услуг в области аддитивных технологий, являясь одновременно и производителем, и заказчиком, и потребителем». По ее мнению, опыт «Росатома» может служить примером другим отраслям.

По завершении отладки режимов печати ЦАТ будет принимать заказы. «В рамках реализации проекта второй очереди плановая выручка ЦАТ в 2030 году составит более 300 млн рублей», — заявил генеральный директор ООО «РусАТ» Михаил Турундаев.

В 2019 году Госкорпорация «Росатом» и правительство РФ подписали соглашение о намерениях в целях развития в Российской Федерации инновационной области «Технологии новых материалов и веществ». Частью этой работы стала разработка и реализация дорожной карты, в которой направление аддитивных технологий было названо приоритетным. По мнению выступившего на открытии заместителя министра промышленности и торговли Михаила Иванова, эта отрасль действительно развивается в России быстрыми темпами. «За последние несколько лет по объему российского рынка аддитивных технологий мы выросли в 4 раза и преодолели отметку в 3 млрд рублей. Что характерно, порядка двух третей этого рынка составляют продажи оборудования, что не совсем свойственно для зарубежных стран, где соотношение продаж и услуг примерно равно». В этом факте Михаил Иванов ви-

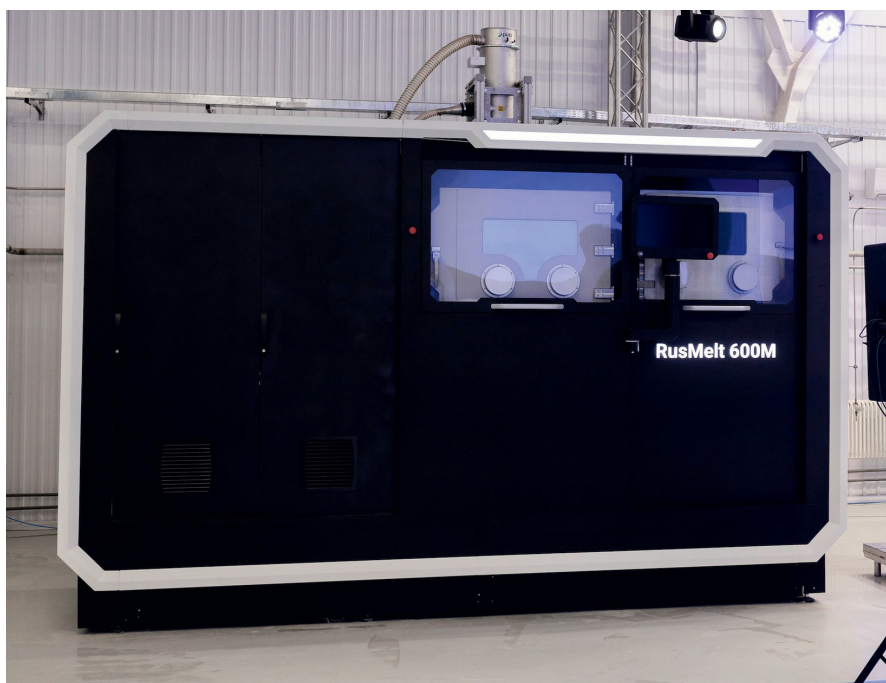


Фото: РусАТ

дит большой потенциал в развитии сервисной составляющей на российском рынке аддитивных технологий. По его мнению, целью создания ЦАТ была поддержка именно этого направления, что позволит усилить его на российском рынке аддитивных технологий и услуг. Главное, что аддитивные технологии вошли в периметр механизмов поддержки, которые оказывает государство в рамках реализуемой промышленной по-

литики. «В 2020 году, — рассказал Михаил Иванов, — были выделены в отдельные группы классификаторов аддитивные технологии, продукты и оборудование, что позволит вести правильную статистику, опираясь на полноценную аналитику по отрасли, смотреть, как отрасль реагирует на те или иные механизмы поддержки, на открытие центров аддитивных технологий». ■

Зинаида Сацкая

Видимо, не найдется ни одной компании, которая не испытала бы в минувшем году негативное давление всевозможных ограничений, связанных с пандемией. Тем не менее все следили за событиями, происходящими на отраслевых рынках. Рынок аддитивных технологий не стал исключением. Мы предложили экспертам три вопроса, ответы на которые, по нашему мнению, помогут читателю составить объемную картину событий, происходящих на рынке аддитивных технологий.

1. Какое событие на рынке аддитивных технологий в России и в мире в 2020 году вы назвали бы самым важным?

2. Какое событие вы назвали бы самым важным для вашей компании?

3. В декабре была учреждена «Ассоциация развития аддитивных технологий». Видите ли вы для себя пользу от членства в такой ассоциации?

Дмитрий Трубашевский,
директор по продажам
ООО «Современное оборудование»



1. Самое важное событие — это то, что аддитивные технологии (АТ) наконец-то заметили не только технологи, но и чиновники, а также топ-менеджеры предприятий, а в структуре здравоохранения — не только хирурги, но и терапевты, и вирусологи многих стран. Встряска, которая произошла в 2020 году, вообще сильно изменит отношение к производящим технологиям. Если ранее приверженцы АТ на профильных форумах рассказывали, насколько эти технологии меняют жизнь, а верило им только ограниченное количество специалистов, то сегодня можно наблюдать, как отрасль сильно заявила о себе. Как никакая другая. Напомню, как АТ помогли быстро решить вопросы с производством клапанов Вентури, защитных щитков, флокированных тампонов для носа. В одно время было заметно определенное падение интереса к АТ, но после того, как было продемонстрировано высочайшее технологическое превосходство для быстрого разворачивания жизненно важных товаров, к АТ опять возник интерес с ощутимым ростом акций некоторых компаний прямо сейчас.

2. Прошлый год позволил нашей компании ответить на многие вопросы, на которые мы боялись дать ответ ранее. Например, какие технологии имеют более высокий потенциал роста, как лучше оптимизировать затраты, за какие проекты стоит браться, а по каким — честно признаться себе или заказчикам в неготовности их продвижения. Почему-то именно в тяжелый для всех год произошел всплеск интереса к нашим уникальным решениям. Это очень приятно осознавать, видя, что наше предвидение и потребности заказчиков наконец-то совпали.

3. Мне сложно ответить на этот вопрос, потому как я не ощутил интереса со стороны учредителей наполнить ассоциацию представителями бизнеса, не был продемонстрирован и обсужден устав. Вообще сделать сообщество АТ более упорядочным, логичным, и профессиональным — моя мечта, к которой я целенаправленно иду. Как это будет решать ассоциация, имея большие финансовые и организационные ресурсы, — мне неизвестно. Я бы хотел, чтобы их программа развития должным образом внедрялась в жизнь, делая интеграторов и потребителей счастливее с каждым годом.

Денис Власов,
заместитель генерального директора
по R&D «3DSL.RU — Российские
3D-принтеры»



1. Это был странный год, полный разочарований и не менее странных важных событий: онлайн-FormNext, эксперименты с материалами и аддитивными процессами «на удаленке» и рождение явления в аддитивной отрасли, которое навсегда изменит мир: движения «Мейкеры против COVID». Сотни добровольцев за несколько дней выстроили распределенную по стране и миру сеть аддитивных производств, продемонстрировав все преимущества аддитивных производственных подходов: моментальная реакция на требования медиков (рынка), распределенное производство с контролем загрузки мощностей по регионам, быстрая адаптация продуктовой линейки под ежедневно меняющиеся условия. Историю этого движения и принципы производства, которые сформировались во время активной работы мейкеров, надо включать в учебники по новым производственным технологиям и методологии распределенной работы. Да и имена этих парней нам всем имеет смысл знать.

2. В 2020-м мы перешли на следующую ступень нашей эволюции. Мы начали запускать продукты, изготовленные аддитивным методом, для масс-рынка. Именно в этом году родилась философия «золотого аддитивного продукта», которая заключается в выпуске аддитивными методами новых изделий с уникальными эксплуатационными свойствами, которые нельзя получить другими методами. В кооперации с представителями совершенно разных сфер бизнеса мы отработаем новые конструкции и технологические подходы. Именно производственная философия «золотого аддитивного продукта» привела нас к концепции производства расходных материалов на месте потребления и другим новым интересным методикам управления себестоимостью и жизнью продукта.

3. Мы не понимаем задач и целей ассоциации, поэтому сделать сейчас вывод о ее пользе для нас я

не могу. По моему мнению, на старт этой ассоциации могло бы положительно повлиять наличие действительно ярких в аддитивной сфере компаний или личностей, которые могли бы стать сердцем, «пламенным мотором» подобной организации, но я их не вижу. Будем внимательно наблюдать за работой ассоциации, а главное, за ее динамикой и будем делать выводы о пользе членства. Без сомнения, такая структура нужна нашей стране, но как минимум она должна быть репрезентативна и представлять частный бизнес и фундаментальную науку в том числе.

Алексей Мазалов,
генеральный директор
АО «Центр аддитивных технологий»



1. В России одним из важнейших событий для развития отрасли считаю утверждение ряда национальных стандартов. Это плод кропотливой работы Технического комитета 182 (ТК 182), сформированного на базе ВИАМ. Стандарты позволят форсировать внедрение аддитивных технологий на промышленных предприятиях страны.

В мире выделил бы впечатляющую разработку компании SLM Solutions. Это установка нового поколения NXG XII 600, оснащенная двенадцатью лазерами мощностью 1 кВт каждый, с областью построения 600 мм по трем осям, с суммарным повышением производительности до двадцати раз в сравнении с производительностью однолазерных 3D-принтеров.

В целом и у нас в стране, и за рубежом заметных событий было много, но главное, что, несмотря на пандемийную ситуацию, рынок АТ стабильно растет.

2. Для нас 2020 год был полон важных событий. Одним из главных событий прошлого года для нашей компании можно считать проведение III международной конференции по практическому применению аддитивных технологий в различных сферах производства «3D КонЦентрАТ», которая по традиции прошла 3-го декабря — в день работников, связанных с 3D-индустрией, и собрала более 200 российских и зарубежных специалистов.

Важнейшим организационным событием стала сертификация нашей компании по ГОСТ 9001–2015 и ГОСТ РВ.

Финансовым результатом года тоже удовлетворены. Выручка относительно предыдущего года увеличилась в 2 раза, что свидетельствует о правильности выбранной нами стратегии. Постараемся сохранить положительную динамику и в этом году.

3. Польза возможна, если будет организован грамотный механизм взаимодействия и правильно распределен функционал. На рынке уже существует достаточно серьезная конкуренция между компаниями в сфере АТ, в то же время говорить о сверхвостребованности и перегруженности всех технологий 3D-печати еще рано. Не все игроки знают друг друга и владеют достоверной информацией о фактически имеющихся ресурсах для налаживания кооперации. Считаю, что наибольшую пользу ассоциация сможет принести, если удастся организовать работу таким образом, чтобы возникающие задачи распределялись точно по профильным центрам с целью дозагрузки имеющихся мощностей, а также ресурсов R&D.

Ашхен Овсепян,
генеральный директор
АО «НПО СИСТЕМ»



1. В России — это создание «Ассоциации аддитивных технологий», в мире — это сплочение всех участников 3D-рынка для помощи медикам в борьбе с пандемией COVID-19.

2. Для нашей компании это три события. Во-первых, производственная площадка SIU System — ООО «Аддитивный инжиниринг» — стала резидентом ОЭЗ «Технополис «Москва». Во-вторых, мы осуществили

поставку в Россию металлического 3D-принтера с самой большой камерой построения. В-третьих, и, может быть, это главное, мы сохранили нашу команду и развили наше сервисное подразделение.

3. Мне очень приятно, что опыт нашей компании в 3D-отрасли признан крупными государственными компаниями, именно поэтому я была приглашена в качестве спикера на лидер-форум, в ходе которого как раз и была учреждена «Ассоциация аддитивных технологий». Всё новое всегда интересно. Если эта ассоциация придаст скорости развитию 3D-индустрии в России, это, несомненно, будет здорово. Мы как раз об этом и говорили на лидер-форуме, содержание которого доступно в соцсетях. Что касается самого членства в ассоциации, то мы ждем приглашения.

Андрей Белоусов,
заместитель генерального директора
ООО «Тоталзед»



1. Закрытие границ и отмена выставок...

2. Одно событие не выделю. Важно другое, что несмотря ни на что мы продолжаем расти и развиваться.

3. По косвенным признакам могу предположить, что пользы никакой. Если бы эта ассоциация ставила целью именно развитие рынка, а не преследование собственных целей тех, кто ее основал, то они как минимум обратились бы к нам с предложением туда вступить, а по-хорошему, должны были бы нас силой туда затаскивать. Но к нам никто даже не обращался, хотя на рынке мы все друг друга знаем. Поэтому могу сделать предположение, что это частное коммерческое мероприятие определенного круга лиц. Конечно, могу и ошибаться, но пока это выглядит именно так. ■



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ

30 марта – 2 апреля 2021

При поддержке Министерства
промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ



Реклама 12+



15-я юбилейная международная
специализированная выставка
лазерной, оптической
и оптоэлектронной техники

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»
www.photonics-expo.ru



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



Выставка Rosmould — важный инструмент для развития индустрии



Целый ряд блестящих вебинаров, подготовленных в рамках единственной в России выставки формообразующей оснастки Rosmould привлек внимание многочисленной аудитории. Актуальные темы, интересные собеседники, возможность задать вопросы через чат, воспроизвести записи мероприятий после их окончания — все это стало составляющими успеха проекта. На вопросы редакции о том, что обычно остается за кадром, ответил Дмитрий Шеламо́в — руководитель выставок Rosmould и Rosplast.

— Rosmould — это выставка с историей, но в портфель «Мессе Франкфурт Рус» она вошла три года назад. Ваши ожидания и реальность совпали? Этот проект получается?

Выставка Rosmould проводится с 2006 года. Изначально выставка была посвящена пресс-формам, штампам, инструментам и оснастке. Оборудование для прототипирования было представлено лишь небольшим разделом, который позже под влиянием запросов рынка стал развиваться и перерос в отдельную специализированную экспозицию — 3D-Tech, посвященную аддитивным технологиям и 3D-печати, что привлекло внимание крупнейшего выставочного концерна Messe Frankfurt. Ежегодный рост экспозиции, посетителей, появление новых тем в рамках мероприятий деловой программы — все это демонстрирует, что рынок находится в активной стадии развития, а выставка как раз является той объединяющей площадкой, которая отвечает всем интересам и служит местом для коммуникации профессионального сообщества. Можно сказать, что реальность превзошла все наши ожидания.

— По каким критериям формируются выставочные портфели за пределами Германии, в частности, в России? Это клоны выставок на площадке Messe Frankfurt?

Запуская новый проект, организаторы полностью ориентируются на потенциал, емкость и запросы местного рынка. В случае с брендом Formnext также не было исключений. Российская индустрия аддитив-

ных технологий и 3D-печати находится в самой активной стадии формирования и набирает все больший потенциал — появление единой площадки для профессионального сообщества в виде специализированного раздела выставки Rosmould стало логичным следствием развития рынка. Наша выставка является своеобразным трансфером технологий — иностранные экспоненты и поддержка бренда Formnext дают ценную профессиональную экспертизу в формировании выставки.

Messe Frankfurt как крупнейший международный выставочный интегратор имеет огромный опыт и единый высокий стандарт качества проводимых мероприятий. Ценность выставки Rosmould в том, что при ее организации мы учитываем этот международный бэкграунд и проводим мероприятие с высочайшим уровнем сервиса. Участие в выставке Rosmould формирует позитивный имидж наших экспонентов.

— Возможно ли в перспективе укоренение выставки Formnext в России? Страна готова, при участии крупнейших российских госкорпораций создана Ассоциация аддитивных технологий.

Выставка Rosmould входит в глобальный портфель промышленных выставок Messe Frankfurt. И на сегодняшний день специализированный раздел выставки «3D-Tech — Аддитивные технологии и 3D-печать» уже поддерживается брендом Formnext и немецкой ассоциацией «VDMA» — «Рабочая группа «Аддитивное производство». Мы видим, что этот сегмент прогрессивно развивается, поэтому с уверенностью



готовы заявить, что выставка Rosmould и специализированный раздел выставки 3D-Tech при поддержке бренда Formnext будут укореняться и расти в России.

— Какие задачи Вы ставили перед собой, запуская серию вебинаров и круглых столов в онлайн-формате? Менялись ли они по ходу подготовки новых выпусков?

Прошедший год: разгар пандемии, массовая изоляция — дали нам массу новых инсайтов и открытий. Одна из самых главных идей, в которой мы в очередной раз убедились, — выставки являются важнейшим инструментом для развития индустрии. Так, выставка Rosmould служит единой коммуникационной платформой для профессионального сообщества.

Поэтому в период временных ограничений в проведении мероприятий нам очень важно было оставаться вместе с нашей многочисленной аудиторией и быть непосредственно транслятором того, чем живет индустрия, как она адаптируется к новым реалиям, какие тенденции прогнозирует. Все эти темы мы подробно раскрывали в наших прямых эфирах на YouTube-канале Rosmould | Rosplast.

— Как Вы находите темы и выступающих? Или, может быть, они находят Вас?

Команда организаторов выставки совместно с программным директором выставки постоянно мониторят рынок, тенденции, актуальные темы, которым стоит уделить особое внимание на наших вебинарах. Мы регулярно находимся в контакте с экспертами отрасли, которые готовы поделиться полезным кейсом с нашими зрителями. Мы также получаем обратную связь от наших подписчиков — кого они хотели бы видеть в прямых эфирах, с кем пообщаться и кому задать вопросы. Мы рады быть открытыми и с удовольствием отвечаем на запросы нашей аудитории.

— На все ли вопросы из чата отвечают выступающие или только на озвученные в эфире?

В ходе эфира наша ведущая старается задавать все вопросы из чата, кроме того, предварительно составляя сценарий трансляции, мы ведем открытый диалог с нашими подписчиками, спрашиваем, какие вопросы они хотели бы озвучить во время трансляции. Каждый может прислать свой вопрос тому или иному спикеру.

Вопросы, которые не удалось разобрать в ходе эфира, мы адресуем участникам дополнительно, ни один вопрос не остается без ответа.

— Как Вы оцениваете эффективность онлайн-платформы в целом? Будет ли она использоваться после снятия карантинных ограничений?

Безусловно! Мы планируем продолжать и далее нашу онлайн-активность. Традиционную деловую программу экспозиции Rosmould мы будем дополнять различными виртуальными мероприятиями.

— Какие у Вас планы на 2021 год? Какие новые темы? Какую аудиторию Вам хотелось бы привлечь дополнительно?

2021 год обещает быть очень амбициозным для нашей выставки. В этом году выставка заручилась поддержкой глобальных, в том числе иностранных ассоциаций:

- Экспозиция «3D-Tech — Аддитивные технологии и 3D-печать» поддерживаются брендом Formnext и немецкой ассоциацией «VDMA» — «Рабочая группа «Аддитивное производство».
- Выставка Rosmould заручилась поддержкой Минпромторга России по направлению «Аддитивные технологии».
- При поддержке Федерального министерства экономики и энергетики формируется официальный павильон немецких производителей.

Помимо экспозиции мы традиционно готовим насыщенную деловую и образовательную программу. В этом году состоится:

- форум аддитивных технологий;
- конференция по промышленному дизайну «Идеи. Дизайн. Изделия»;
- конференция «Литье пластмасс под давлением. Пресс-формы, технологии, оборудование»;
- форум «Переработка пластика — рециклинг — экономика замкнутого цикла»;
- различные онлайн-мероприятия — вебинары, прямые эфиры, интервью.

Следите за новостями в наших соцсетях и рассылках.

Мы с нетерпением ждем встречи на выставке Rosmould с 15 по 17 июня в МВЦ «Крокус Экспо», Москва. Уверены, вы, как и мы, уже соскучились по живому общению! Все мы знаем, что ничто не сравнится с этой оживленной атмосферой выставки, когда в течение трех дней интенсивно проходят личные бизнес-встречи, заключаются новые контракты, представляются новинки продукции и где обсуждаются последние тенденции и перспективы развития индустрии. ■

фото Rosmould



Аддитивные технологии для развития авиационных и космических проектов

Обзор подготовила Татьяна Карпова

Конец 2020 года и начало 2021 года отмечены большим количеством новостей авиационной и космической тематики. И данный обзор говорит о ключевой роли аддитивных технологий для ускоренного развития этих важных направлений.

На коммерческой основе

«Самое значимое событие последних лет — в космос наконец-то пришел частный капитал, а это потенциально огромные вложения даже по сравнению с государством. Больше денег — больше инициатив, исследований, прогресса», — отмечает в своей статье Антон Аликов, Forbes Contributor. Только за прошлый год в космические компании было инвестировано \$17,5 млрд. Пандемия не стала большим препятствием в реализации планов индустрии.



Фото: Joe Raedle / Getty Images

Из значимых событий — в 2020 году компания Илона Маска SpaceX успешно отправила в первый коммерческий полет корабль с двумя астронавтами на борту, а затем — уже с четырьмя. Эти два запуска положили начало регулярным коммерческим полетам астронавтов. Помимо этого компания развивает свое дочернее подразделение Starlink, уже ставшее крупнейшим мировым оператором спутников связи. Осенью компания предложила тестовый доступ к возможностям спутникового интернета первым пользователям в США. В связи с этим, как и ожидалось, запуски спутников подешевели, а значит, космос стал

доступнее для небольших и начинающих компаний. Увеличилось число компаний, чья деятельность связана с космосом и получаемыми оттуда данными, а также и количество запусков спутников.

www.forbes.ru

Испытания пламенем

В начале декабря 2020 года стало известно, что инженеры из Центра космических полетов им. Маршалла в Хантсвилле, штат Алабама, успешно испытали горячим пламенем 3D-печатные компоненты для ракетных двигателей. Было проведено 23 испытания общей продолжительностью 280 секунд в течение 10 дней испытаний. Камера сгорания из медного сплава и сопло из высокопрочного железоникелевого жаропрочного сплава смогли выдержать те же самые экстремальные условия горения, которые испытывают в полете традиционные металлические конструкции. В ходе испытаний инженеры собирали данные, включая измерения давления и температуры в аппаратных каналах охлаждающей жидкости и основной камере, рассчитали производительность камеры и то, насколько эффективно двигатель в целом использует топливо.

Фактически эти испытания были частью проекта NASA по аддитивному производству LLAMA, цель

Фото: NASA



которого — позволить использовать детали, напечатанные на 3D-принтере, вместе с другим аппаратным обеспечением аддитивного производства на будущих лунных спускаемых аппаратах.

<https://3dprint.com/>

Ракета, управляемая с планшета

Китайские ученые сконструировали и запустили суборбитальную ракету-носитель OS-X6B, управляемую с помощью специального планшетного устройства. Известно, что разработкой ракеты-носителя занималась частная китайская компания One Space Technology. Ракета, получившая название Chongqing Liangjiang Star, достигает 9,4 метра в длину, а ее компоненты изготавливались с помощью технологии 3D-печати.

После запуска, состоявшегося с космодрома на юго-западе страны, управление ракетой осуществляется дистанционно. При этом в случае сбоя в работе двигателя она может продолжить полет в автономном режиме.

<https://profile.ru>

Установка на новые технологии

Российская сверхтяжелая ракета-носитель должна создаваться на основе принципиально новых технических решений, заявил глава «Роскосмоса» Дмитрий Рогозин. По его словам, для этого носителя нужен принципиально новый маршевый двигатель, позволяющий добиться «горячего резервирования» и многократного использования. «Создавать его нужно с широким применением аддитивных технологий для удешевления серийного производства. Также для сверхтяжелой ракеты нужны новые облегченные материалы для обечаек и топливных баков, незатратное производство с минимизацией накладных расходов с продуманной логистикой доставки готовых изделий на космодром».

В соответствии с указом президента «Енисей» должен полететь в 2028 году. По расчетам «Роскосмоса», ракета сможет доставлять на орбиту Луны полезную нагрузку массой 27 тонн.

<https://tass.ru>

Солнечный двигатель требует защиты

Ученые Лаборатории прикладной физики Университета Джонса Хопкинса совместно с NASA работают над созданием ракеты с солнечным двигателем. Вместо того чтобы расходовать горючие источники топлива, усовершенствованная двигательная система будет использовать водород от Солнца, нагревать его, а затем взрывать через сопла для производства тяги. Считается, что модернизированные двигатели могут ускорить движение к гелиопаузе — границе солнечно-

го магнитного поля — и позволят зондам путешествовать гораздо дальше, чем предполагалось ранее. Такой механизм будет в три раза эффективнее, чем имеющиеся в настоящее время стандартные химические двигатели.

Чтобы позволить космическому аппарату пройти от Солнца всего в одном миллионе миль, ученые изучают свойства различных типов ресурсов для создания эффективной защиты и, в частности, как использование 3D-печати металлом поможет создать тепловой щит ракеты. Аддитивное производство стало ключевым компонентом в разработке данного элемента наряду с имеющимися достижениями в области материаловедения.

<https://siusystem.ru>

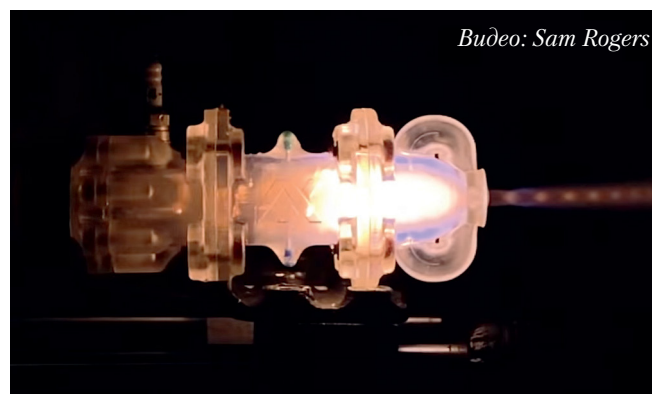
Ионный двигатель для спутников

Напечатанный на 3D-принтере двигатель, выстреливающий поток ионов для создания тяги, может стать недорогим и крайне эффективным движителем для миниатюрных спутников. Инженеры MIT первыми изготовили ионный двигатель исключительно при помощи аддитивных технологий. Кроме того, он уникален тем, что вырабатывает чистые ионы из ионных жидкостей. Созданный двигатель размером с мелкую монету и создает крошечную тягу в несколько десятков микроныютонов, но в безвоздушной среде спутник CubeSat или аналогичный по размеру может с его помощью совершать маневры на орбите.

<https://hightech.plus/>

Прототип двигателя создан на настольном принтере

Сэм Роджерс недавно опубликовал фантастическую видеодемонстрацию прототипов, напечатанных на настольном 3D-принтере, которые производятся в Additive Experimental (AX) для исследования вихревого охлаждения в ракетах. Прототип системы воспламенения двигателя и вихревая камера были напечатаны прозрачной смолой на 3D-принтере SLA, так что весь процесс можно было легко снимать и изучать в замедленной съемке. Возможность видеть действие позволило исследователям определить причину отка-



Видео: Sam Rogers

зов, например, длину начальной камеры, препятствующей возникновению вихря. Система была спроектирована в виде модулей, чтобы части можно было легко заменять, когда они модифицируются или взрываются.

Время и деньги, которые потребовались бы для этого проекта при производстве всех итераций этих невероятно сложных компонентов традиционными методами, сделали бы исследования недоступными для всех, кроме крупнейших компаний и агентств.

<http://3dmag.org>

Получение кислорода

Европейское космическое агентство (ЕКА) и компания Metalysis изучают возможность создания завода по экстракции кислорода, который будет опираться на технологии, уже существующие на Земле. В Metalysis утверждают, что кислород является побочным продуктом процесса очистки металла, который компания использует для производства металлических порошков для 3D-печати. Хотя раньше этот кислород не применялся на нашей родной планете, компания поняла, что он может служить важным целям в космосе. По ходу проекта команда изучает возможности сбора и хранения кислорода, а также возможности 3D-печати металлами, полученными в результате этого процесса. Общая цель проекта — создать пилотную установку, которая могла бы устойчиво работать на Луне, а первая демонстрация технологии запланирована на середину 2020-х годов.

<https://3dprint.com>

Проекты 3D-печати для космоса, на которые стоит обратить внимание

«Исследование космоса никогда не было таким захватывающим!» — считает Кен Дуглас, автор статьи для новостного портала All3DP.com. Прогнозами на ближайшее десятилетие представляются: космический туризм, первая женщина на Луне, постоянная лунная база, развитие исследований нашей солнечной системы, первая человеческая миссия на Марсе, коммерческое производство в космосе и др. В связи с этим аддитивное производство будет быстро развиваться, чтобы удовлетворить растущие потребности. Автор выделяет в своей статье проекты 3D-печати для космоса, на которые стоит обратить внимание в 2021 году. Их можно разделить на три категории. Системы запуска (ракеты), двигатели и спутники, которые отправляются в космос, все чаще строятся с использованием 3D-печати. Оказавшись в космосе, 3D-печать играет несколько ключевых ролей: среда с нулевым ускорением на космической орбите открывает двери для печати материалов, невозможной под влиянием земной гравитации, детали и запасные ча-

сти могут быть напечатаны по запросу, а конструкции могут быть построены с исключением стресса при запуске. Еще дальше, на поверхности Луны и Марса, структуры должны быть построены с использованием местных материалов, и крупномасштабная 3D-печать также является ключевой частью этого решения. Рассмотрим подробнее.

1. Ракета Terran. Компания Relativity Space возглавляет разработку того, что они называют фабрикой программного обеспечения будущего. Они объединяют аддитивное производство, искусственный интеллект и автономную робототехнику для создания Terran, первой в мире ракеты, напечатанной на 3D-принтере, с двигателями Aeon, которые также в основном печатаются на 3D-принтере. На производственном предприятии Stargate («Звездные врата») находятся крупнейшие в мире 3D-принтеры по металлу, а для изготовления корпусов ракет используется технология направленного воздействия энергии и запатентованные сплавы. Запуск Terran запланирован в 2021 году.

Фото: Relativity Space



2. Ракетная лаборатория. Компания Rocket Lab — лидер в области коммерческих запусков спутников. Ее ракетный двигатель компании «Резерфорд» был впервые испытан в конце 2016 года, и с тех пор было выпущено более 200 моделей. Их камеры сгорания, форсунки, насосы и главные топливные клапаны напечатаны на 3D-принтере с использованием электронно-лучевого плавления. Новые двигатели компании Curie и HyperCurie, построенные с использованием тех же принципов, уже привели в действие более 20 пусков. В 2021 году будет организована первая частная лунная миссия по выводу экспериментального навигационного спутника CubeSat на лунную орбиту для NASA, а в 2023 году планируется частная миссия по исследованию Венеры — все с использованием двигателей, напечатанных на 3D-принтере.

3. RAMPT. Проект NASA RAMPT продвигает разработку технологий аддитивного производства для 3D-печати огромных ракетных камер сгорания, тяговых камер и сопел. Они могут показаться простыми, но на самом деле они очень сложны и традиционно требуют много времени на изготовление — часто более года. Среди исследуемых технологий — крупномасштабная 3D-печать методом прямой подачи энергии и порошка и новые пригодные для печати сплавы на основе меди. Разработка планируется для включения в проект Artemis, который призван вернуть NASA на Луну и дальше.

4. Шлемы SpaceX. Скафандры SpaceX, которые носят астронавты во время миссий SpaceX Crew Dragon, привлекают к себе большое внимание. Они защищают экипаж от возгорания или разгерметизации, регулируют температуру и уровень кислорода и индивидуально разработаны для обеспечения комфорта. Шлемы изготавливаются по индивидуальному заказу с использованием технологии 3D-печати и включают в себя встроенные клапаны, механизмы для втягивания и блокировки козырька, а также микрофоны внутри конструкции шлема. Компания не раскрывает подробности, но предполагается, что их материал представляет собой РЕКК, который обеспечивает высокую термостойкость и химическую стойкость, а также способность выдерживать большие механические нагрузки.

5. Модуль для производства керамики компании Made in Space. В 2020 году на МКС протестирован модуль для производства керамики с использованием 3D-печати на основе SLA. Идея состоит в том, что при печати в среде с нулевым ускорением полученный продукт подвергается меньшему и более равномерно распределенному внутреннему напряжению, и поэтому его можно сделать легче и прочнее. Созданы первые образцы для испытаний, которые проходят тестирование. В случае успеха существует потенциальный рынок для сверхвысокопроизводительных турбинных лопаток, изготовленных на специально спроектированном орбитальном заводе. Во время длительных миссий эта технология также поможет отремонтировать тепловые экраны и другие важные детали.

6. BioFabrication Facility (BFF) компании Techshot. Космические приложения биотехнологий представляют интерес по двум причинам. Во-первых, среда невесомости допускает печать, невозможную на Земле, и в будущем заменяющие ткани и органы могут быть напечатаны на орбите и доставлены для использования на Землю. Во-вторых, они будут предназна-

чены для лечения космонавтов и исследователей во время автономных долгосрочных миссий. В прошлом году принтер BFF на борту МКС произвел 3D-печать человеческого мениска, а также других тестовых образцов. BFF следующего поколения будет запущен в 2021 или 2022 году.

7. OSAM-1 компании Tethers Unlimited. Разработка решений для обслуживания, сборки и производства на орбите (OSAM) потенциально имеет решающее значение для будущих миссий на Луну и Марс. В рамках миссии NASA OSAM-1 будет произведена заправка и обновление существующего спутника, а также проверка важных технологий. На борт будет доставлен SPIDER («Ловкий робот для космической инфраструктуры»), который будет содержать модуль MakerSat для 3D-печати 10-метровой композитной конструкции из углеродного волокна. В случае успеха концепция будет умножена на создание огромных космических структур, включая антенные решетки и поля солнечных батарей.



8. Миссия OSAM-2 — Archinaut One. NASA заключило контракт с компанией Made in Space на запуск демонстрационного корабля, который с помощью 3D-печати будет изготавливать детали спутников и собирать их прямо на орбите. В частности, будут напечатаны подставки для развертывания гибких солнечных панелей с обеих сторон спутника. Груз будет скомплектован в 2021 году для запуска в 2022 году компанией Rocket Lab.

9. OrbWeaver нового поколения от Tethers Unlimited. Финансируемый DARPA в 2018 году проект OrbWeaver по переработке космического мусора предусматривал небольшую машину, которая «перезевывает» металлические детали и использует полученный материал для печати или отливки новых конструкций. На МКС уже дважды успешно опробовали Refabricator — переработку пластиковых матери-

алов в 3D-печатные объекты. Распространение этой идеи на металлические материалы является одновременно привлекательным и интригующим.

10. AI SpaceFactory и Marsha. Новаторская работа компании ЕКА заложила многие основы 3D-печати структур с использованием реголита (тонкие отложения пыли, камней и минералов, обнаруженные на поверхности Луны) еще в 2013 году. Впоследствии NASA провело серию широко разрекламированных конкурсов на проектирование трехмерных печатных лунных и марсианских жилищ. AI SpaceFactory стала одним из победителей по 3D-печати жилья с их блестящим дизайном Marsha. Это было больше, чем концептуальное упражнение; в нем уделялось глубокое техническое внимание строительству во враждебной инопланетной среде за миллионы миль. Для 3D-печати была разработана инновационная смесь базальтового волокна, извлеченного из марсианской породы, и возобновляемого биопласта, полученного из растений, выращенных на Марсе. Полученный материал был сертифицирован как в два-три раза более прочный, чем бетон при сжатии, и в пять раз более долговечный, чем бетон в условиях замораживания-оттаивания. Было извлечено много уроков, которые были учтены в дальнейших исследовательских проектах. Они также находят применение на Земле, и наземные версии становятся коммерчески доступными.

11. Icon и Olympus. В конце 2020 года NASA заключило контракт с Icon Technology на разработку «внеземной системы строительства». В результате появился проект Olympus, который разрабатывается совместно с двумя отмеченными наградами архитектурными фирмами: Vjarke Ingels Group (BIG) и Space Exploration Architecture (SEArch+).

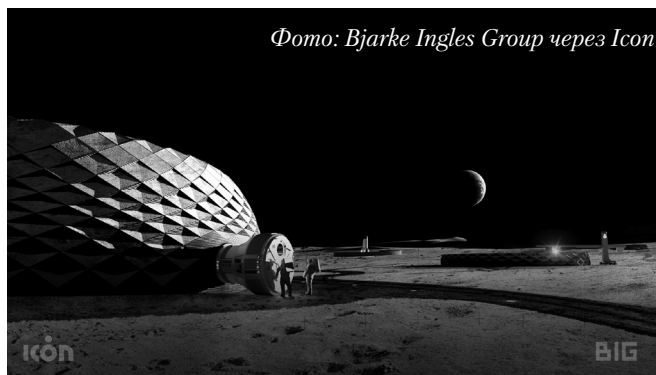


Фото: Vjarke Ingels Group через Icon

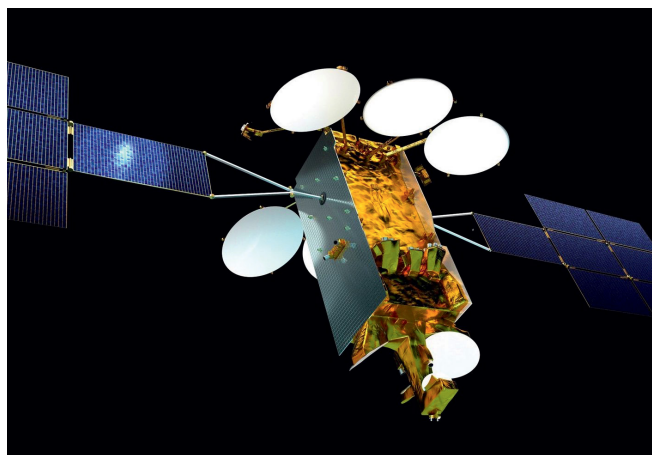
Еще рано говорить, но мы можем увидеть важные разработки в 3D-принтере Icon Vulcan, предназначенном для применения в строительстве, а также в новых передовых технологиях материалов и в сопутствующей автоматизации, включая робототехнику.

<https://all3dp.com>

Напечатанные детали для спутников

Производитель аэрокосмической отрасли Airbus напечатал на 3D-принтере в общей сложности 500 компонентов для серии спутников-ретрансляторов Eurostar Neo компании Eutelsat. Путем аддитивного производства радиочастотных деталей, в том числе многоволноводных блоков и сетей сборки переключателей, Airbus смог сократить время выполнения заказа и снизить затраты. После установки на спутники Eutelsat Hotbird 13F и 13G эти детали будут осуществлять качественное вещание компании в Европе, на Ближнем Востоке и в Северной Африке. Хотя Airbus и раньше создавал детали для антенн Eutelsat, этот проект примечателен тем, что сейчас запущен в крупносерийное производство.

Фото: Airbus



Использование 3D-печати для создания оптимизированных деталей спутников становится все более распространенным. Буквально несколько свежих примеров. Компания Fabrisonic, специализирующаяся на 3D-печати металлом, использовала свою запатентованную технологию UAM для создания более эффективных теплообменников для Лаборатории реактивного движения NASA. Модернизированные устройства предназначены для лучшего регулирования температуры спутников, работающих в холодном космическом вакууме. Поставщик услуг 3D-печати компания 3DCeram помогла Anywaves – дочернему предприятию Французского космического агентства (CNES) — наладить производство керамических антенн для своих небольших спутников. Anywaves рассматривает сейчас вопрос о том, чтобы продолжить их серийное производство. Ученые из Сколковского института науки и технологий («Сколтех») работали с поставщиком материалов «РУСАЛ» над 3D-печатью терморегулирующего корпуса детектора для спутника Ярило. Деталь изготовлена из нового алюминиевого сплава.

<https://3dprintingindustry.com>

Разработка нового двигателя

30 декабря 2020 года предприятиями АО «ОДК» завершена сборка первого демонстратора нового отечественного двигателя ВК-650В для вертолета Ка-226Т. Двигатель установлен на испытательный стенд АО «ОДК-Климов».

В первом демонстраторе ВК-650В — 12% деталей (в массовом соотношении) изготовлено с применением аддитивных технологий. Сопловые аппараты, корпусные детали турбин, завихрители камеры сгорания были изготовлены из отечественных металлопорошковых композиций сплавов на основе никеля и титана производства ФГУП «ВИАМ». С сентября по ноябрь 2020 года силами ФГУП «ВИАМ» изготовлено на базе аддитивного производства 98 заготовок ответственных деталей третьего уровня 6 наименований. По результатам испытаний будет проводиться доводка конструкции двигателя.

Полученный научно-технический задел позволит специалистам АО «ОДК-Климов» и ФГУП «ВИАМ» приступить к выполнению работ по изготовлению деталей турбовального двигателя ВК-1600В для многоцелевого вертолета Ка-62 и его модификаций. До конца января 2021 года будет изготовлено и поставлено 140 заготовок деталей 10 наименований.

Двигатель разрабатывается для импортозамещения зарубежных двигателей Aggus 2G1 и Ardiden 3G компании SAFRAN (Франция).

<https://viam.ru/news/7917>

Нарастили потенциал

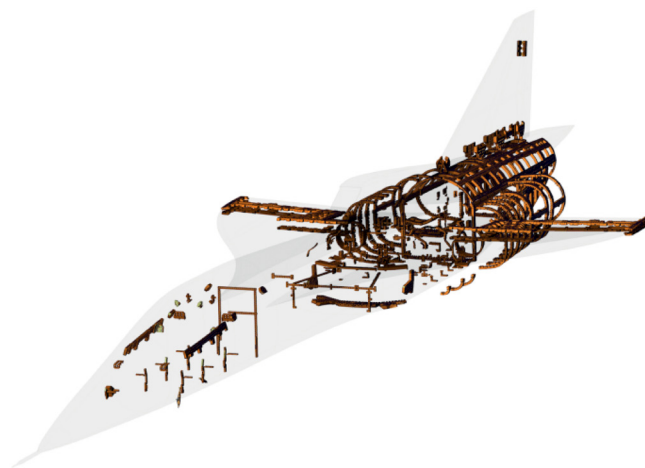
Центр аддитивных технологий Госкорпорации «Ростех» ввел в эксплуатацию 24 новые единицы оборудования для изготовления деталей авиадвигателей методом промышленной 3D-печати. Это позволит нарастить объемы производства на 261% в 2021 году, сообщает пресс-центр корпорации. Центр также получил статус сервисной компании полного цикла, что позволяет организовать серийное производство изделий для новейших отечественных авиадвигателей, включая ПД-14.

www.rostec.ru

Детали для сверхзвукового самолета

ХВ-1 — это демонстратор в масштабе одной трети сверхзвукового пассажирского самолета Overture, разработанный для подтверждения в испытаниях ключевых технологий безопасного, эффективного и устойчивого полета на сверхзвуковых скоростях. Его часто сравнивают с выведенным из эксплуатации Concorde. В нем задействовано более 300 уникальных печатных деталей для оборудования двигателя, систем экологического контроля и других структурных компонентов. Из этих 300 деталей 21 металлическая, сделанная с использованием технологий 3D-печати

Фото: Boom Supersonic



VELO3D. VELO3D помог компании Boom Supersonic изготовить некоторые из самых сложных титановых деталей ХВ-1, в том числе коллекторы для системы регулируемых выпускных клапанов, которая удаляет лишний воздух из компрессора двигателя. При использовании АМ создание детали может занять всего несколько недель по сравнению с месяцами при использовании традиционных методов. Более того, это позволило инженерам Boom Supersonic получить желаемую геометрию детали. Созданные детали были в 40 раз прочнее и на 50% легче. В этом году планируются испытания ХВ-1.

<https://habr.com>, <https://interestingengineering.com>

Рекордный уровень производительности

Поставщик аэрокосмической продукции Premium AEROTEC вместе с производителем 3D-принтеров GE Additive объявили о достижении нового рубежа производительности в серийном производстве титановых деталей для авиационного сектора. Партнеры с помощью авиакосмической компании Airbus успешно прошли аттестацию мультилазерных титановых сборок на системе GE Additive Concept Laser M2. Томас Билефельд, руководитель проекта в Premium AEROTEC, поясняет: «Благодаря этой передовой технологии мы теперь можем получить однородную, квазиизотропную структуру с превосходными свойствами материала в области перекрытия. В то же время с нашим партнером GE Additive нам удалось повысить производительность производства компонентов более чем на 30 процентов». Флагманская система GE включает два лазера и объем сборки 250×250×350 мм, а также 3D-оптику с переменным диаметром пятна. Premium AEROTEC уже заявила о планах использования утвержденной системы для производства многолучевых компонентов для самолетов серии Airbus A320.

<https://3dprintingindustry.com>

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ: ПОСТОЯННОЕ РАЗВИТИЕ

Татьяна Карпова

7 декабря в рамках выставки «Здравоохранение» состоялась конференция «Аддитивные технологии для медицины: мировой и российский опыт», привлекая внимание к проектам, позволяющим использовать новые подходы и получать значительный эффект в медицинской практике.

Доклады участников отразили такие передовые направления внедрения 3D-печати, как IN SITU биопринтинг (3D Bioprinting Solution), замещение костных дефектов в онкологии (CVL AT Medical), хирургия позвоночника и коленного сустава с установкой индивидуальных имплантов (Pozvonoq, «ИНОР») и даже выращивание волос (3D Bioprinting Solution). Также на конференции рассматривались инновации в стоматологии (BEGO, Mydent 24), применение аддитивных технологий для создания моделей с целью проведения предоперационной подготовки, возможности ускорения ремонта медицинской техники (CVL AT Medical), вопросы подготовки аддитивного производства медицинских изделий и их контроля (Z-axis). И что особенно хочется подчеркнуть, эти сложные разработки ведутся в России.

Так, 3D Bioprinting Solutions — это лаборатория биотехнологических исследований, основанная крупнейшей частной медицинской компанией в России INVITRO. Ее деятельность — это разработка и производство биопри- нтеров и материалов в области трехмерной биопечати, разработка новых технологий в биофабрикации. Компания проводит исследования не только на Земле, но и в космосе: один из биопри- нтеров находится на международной станции МКС.

Представленная технология IN SITU в биопечати подразумевает сочетание хирургической робототехники с трехмерной биопечатью в условиях операционной. Ис-

Фото: 3D Bioprinting Solution

VISCOLL — гидрогель для биопринтинга

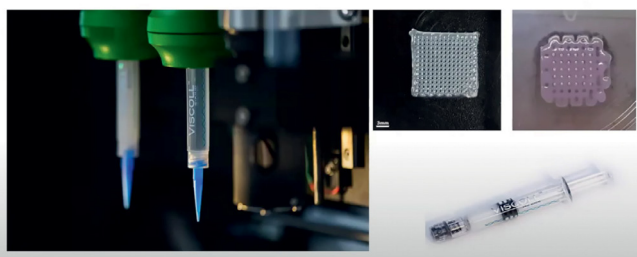


Фото: BEGO

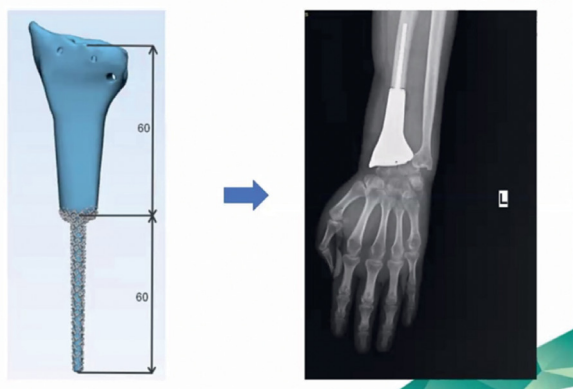


пользование специальных роботических манипуляторов позволяет печатать не только на горизонтальных поверхностях, но и заполнять тканевые дефекты неправильной формы под нужным углом. Биопечать IN SITU минимизирует риски отторжения органа и развития различных осложнений после трансплантации, минимизирует проблемы патологического разрастания сосудов. Многие в процессе биопринтинга определяют гели, поэтому используемая в эксперименте новая линейка гелей Viscoll обладает свойствами биосовместимости и биodeградации, хорошо подходит для печати на любом биопри- нтере. Развивая направление IN SITU, компания ставит задачи устранения трофических патологий, замещения хрящевых дефектов. Эксперименты на животных проводятся и по замещению костных тканей.

Группа CML AT Medical — проектная компания Северо-западного центра трансфера технологий, специализирующаяся на проектировании индивидуальных и серийных медицинских изделий, адаптированных под 3D-печать. За время работы компании с 2018 года было спроектировано более 1000 медицинских изделий, более 200 изделий были напечатаны и установлены, развивается 10 направлений применения 3D-печати, среди основных: проектирование индивидуальных эндопротезов, систем фиксации, анатомических моделей, шаблонов и хирургических инструментов. Например, весной 2020 года совместно с НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН компанией были спроектированы 6 онкоимплантов. Конструкции стали заменой лучевой, плечевой, большеберцовой костям и плечевому суставу, пораженных раковыми опухолями. На протезирование и 3D-печать в среднем требо-

Фото: CVL AT Medical

Опыт проектирования онкологических имплантов CML[®]



валось 2,5 недели. Операции оцениваются как успешные. В настоящее время импланты показывают хороший уровень остеоинтеграции, а пациенты проходят курс послеоперационной реабилитации.

Компания POZVONOQ занимается направлением, связанным со спинальной хирургией и лечением позвоночника, а именно — производством серийных и индивидуальных межпозвоночных кейджей, изготовленных на базе аддитивных технологий. Учитывая возрастающие требования к имплантам, в т.ч. механическую устойчивость и прорастание через них эндогенной кости, компания изготавливает продукцию из титанового сплава Ti6Al4V методом SLM. Изделия отличает: ячеистая структура повышенной прочности, обеспечивающая высокое сцепление, высокий уровень остеоинтеграции и последующей васкуляризации.

Компания «ИНОР» («Индивидуальные ортопедические решения»), в свою очередь, предлагает сервис проектирования и 3D-печати индивидуальных направителей для хирургической замены коленного сустава. В результате их применения пациент получает бережный индивидуальный подход, врачебную помощь по показаниям, проводит меньше времени под наркозом, быстро восстанавливается. Для врача в данном случае важны возможность дооперационного планирования на макете кости, сокращение времени операции. Причем операцию может проводить даже молодой врач, т.к. индивидуальный направитель дает более точное позиционирование компонентов эндопротеза по сравнению с традиционным инструментарием.

Если говорить о стоматологии, то работа клиники или зуботехнической лаборатории в цифровом режиме тоже имеет множество плюсов: увеличение скорости работ, возможность работы на большом удалении, исключение многих материалов и оборудования на этапах изготовления, возможность планирования сложных работ без потери времени на изготовление гипсовых моделей и их пересылку, возможность более качественного планирования с учетом глубокой диагностики, использования диагностических программ. Все это повышает качество обслуживания пациентов.

Компания Z-axis на конференции традиционно представила технологические возможности своих партнеров, и в этот раз речь шла о финишной обработке напечатанных изделий и трансфере данных MPT, КТ, Рентгена в STL файл с целью осуществления печати анатомических 3D-моделей. Данные технологии являются неотъемлемой частью аддитивного производства. Был также продемонстрирован спектр современных материалов (прочных, водостойких, маслостойких и др.), которые значительно расширяют области применения такой уже привычной технологии, как FDM-печать.

Фото: Z-axis



Преимущества аддитивных технологий особенно ярко проявились в период пандемии COVID-19. И, как было отмечено в докладе от «НацПромТех», активные действия со стороны целого ряда компаний, работающих в сфере 3D-печати, позволили во многих странах в сжатые сроки организовать производство изделий для защиты медиков, диагностики населения, ремонта медтехники. Были созданы целые библиотеки моделей со свободным доступом к файлам, позволяющие максимально быстро приступить к печати на местах. Посредством цифровых технологий мир сплотился для борьбы с общей угрозой. В качестве примера в числе многих была приведена и российская разработка комплекта одежды для врача-инфекциониста «Антик» от группы компаний: ООО «Акцент», «Навигатор-Т», «АБ Универсал», «НацПромТех».

Как ни удивительно, медицина оказалась одной из наиболее восприимчивых областей для применения аддитивных технологий. И хотя здесь, как и в других отраслях, есть серьезные требования к материалам и процессам с вытекающими сертификациями и апробациями, но темпы развития поражают. И даже трудно представить, какие впечатляющие выступления мы сможем услышать на данной конференции уже через год.

Организаторы ЦВК «Экспоцентр» и компания Z-axis планируют развитие проекта и приглашают к участию заинтересованных специалистов.

Ознакомиться с видеозаписью конференции можно по ссылке:

<https://www.youtube.com/watch?v=rkACfoXeyCk&t=1759s>

Аддитивное формообразование изделий из металлов и сплавов пучком электронов.

Селективное плавление (часть 1)

Е.В. Краснова, Б.П. Саушкин, Московский политехнический университет

Аддитивные технологии, основанные на процессах электронно-лучевого сплавления металлического порошка или плавления проволоки, являются перспективным направлением получения ответственных металлических изделий сложной конфигурации с различным химическим составом и программируемой структурой [1].

Основные термины и определения

В соответствии с международной терминологией [2] аддитивное формообразование изделий из металлов и сплавов относят преимущественно к категориям Powder Bed Fusion и Directed Energy Deposition. В отечественном стандарте [3], разработанном на основе [2], синтез на подложке (Powder bed fusion) рассматривают как процесс АП (аддитивного производства), в котором энергия от внешнего источника используется для избирательного спекания или сплавления предварительно нанесенного слоя порошка. Directed Energy Deposition, или в отечественном стандарте — прямой подвод энергии и материала, — это процесс АП, в котором энергия от внешнего источника используется для соединения материалов путем их сплавления в процессе нанесения.

Исходными материалами для электронно-лучевого плавления являются порошки из металлов и сплавов определенного гранулометрического состава и калиброванная проволока. Порошки используются как в процессах синтеза на подложке, так и в процессах прямого подвода энергии и материала, проволоку применяют только в последних. Основным физическим процессом превращения исходного материала (плавление) или его части (спекание) в конечную форму является: нагрев до температуры плавления — фазовый переход — перегрев жидкой фазы до температуры, не превышающей температуру кипения, — охлаждение — фазовый переход — охлаждение твердой фазы.

Из сказанного следует, что аддитивное формообразование электронным лучом (ЭЛ) представлено двумя освоенными методами и технологиями. Первый из них — селективное электронно-лучевое сплавление (СЭЛС) определяется в [4] как «разновидность процесса синтеза на подложке, в ходе которого изготовление деталей осуществляется путем послойного избирательного сплавления частиц металлического порошка электронным лучом в вакууме». Второй метод заключается в том, что выращиваемое изделие формируется в результате перемещения электронного луча по рабочей

поверхности, заполняя сечения цифровой модели при одновременной согласованной подаче рабочей части металлической проволоки в область фокусирования электронного пучка. Ниже используется аббревиатура ЭЛПП (электронно-лучевое плавление с подачей проволоки). Электронно-лучевое плавление с подачей порошка непосредственно в ванну расплава обладает рядом недостатков и пока мало применяется.

В иностранных источниках встречаются различные акронимы этих технологий такие, например, как EBM (Electron Beam Melting), EBF (Electron Beam Fusion), EBS (Electron Beam Synthesis), EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing) и SEBM (Selective Electron Beam Melting).

История создания и область применения

Эффект плавления металла под воздействием электронного пучка известен с 1879 г. (В. Крукс). Первое технологическое применение электронного луча для плавления металлов датируется 1905 г. (М. Пирани). В 1934 г. электронный луч, сфокусированный магнитными линзами, впервые использован для прошивки отверстий (фон Ардене), в 1952 г. Карл Штайгервальд построил первую промышленную установку для

перфорации отверстий. К настоящему времени технологии электронно-лучевой обработки (ЭЛО) получили значительное распространение и развитие, мировой парк соответствующего оборудования включает в себя около 4,5 тысяч единиц. Технологии ЭЛО применяются в производстве наукоемкой продукции на предприятиях авиационного и ракетно-космического машиностроения, приборостроения.

В 1995 г. V. Dave в своей диссертации, выполненной в Массачусетском технологическом институте, предложил использовать основные принципы электронно-лучевой сварки для процесса аддитивного формообразования. Эта идея была развита в NASA, Langley Research Center (K. Taming, B. Braun and al). К 2000 г. в LaRC разработана технология EBF3 (Electron Beam Freedom Fabrication), предназначенная для аддитивного производства сложных изделий авиационно-космической техники [5].

Значительный вклад в развитие технологий аддитивного производства с применением электронного пучка внесла компания Arcam AB (Гетеборг, Швеция, основана в 1997 г.), разработавшая в начале 2000-х основные принципы технологии селективного электронно-лучевого плавления и доминирующая к настоящему времени в этом сегменте мирового рынка оборудования.

По отношению к другим методам аддитивного производства изделий из металлов и сплавов электронный пучок как концентрированный поток энергии обладает следующими достоинствами:

- высокая производительность построения изделий — до $2500 \text{ см}^3/\text{ч}$ при ЭЛПП;
- возможность изготовления более крупных изделий за приемлемое время;
- низкая пористость материала (менее 0,2%);

— высокие физико-механические свойства материала изделий;

— простота и точность позиционирования электронного луча, нечувствительность источника электронов к запылению продуктами испарения;

— возможность исключить использование мелкодисперсных порошков в производственном процессе (экологичность);

— пучок электронов может фокусироваться и перемещаться без инерции с помощью электромагнитных линз. В результате достигается скорость перемещения луча до 10^5 м/с в пределах заданной площади, то есть он способен почти мгновенно перемещаться по поверхности из точки в точку.

Основными недостатками этого носителя энергии как инструмента аддитивных технологий являются:

— относительно невысокие точность и шероховатость поверхности изготавливаемых изделий;

— высокая энергоемкость;

— высокая стоимость оборудования и квалификация персонала;

— в отличие от селективного лазерного плавления (SLM), которое можно использовать для металлов, полимеров и керамики, область применения электронного луча ограничена металлическими электропроводными компонентами;

— вероятность электростатического заряда порошка, что может привести к нестабильности процесса.

Технологические особенности электронно-лучевой наплавки наряду с экологичностью и эффективностью делают этот аддитивный процесс востребованным для использования в космическом пространстве [1, 6, 7].

Технологии СЭЛС

Разработчиком этой технологии и оборудования является компания Arcam AB, партнер од-

ной из крупнейших корпораций General Electric. Технический уровень машин, разработанных другими компаниями (опытные образцы), на сегодняшний день существенно ниже.

Контуры слоев выращиваемой модели выстраиваются электронным пучком, плавящим материал в определенных местах. Процесс построения основан на данных САПР об изделии, разделенном на слои постоянной толщины. Процесс протекает в вакууме (10^{-2} – 10^{-3} Па), что особенно важно для металлов и сплавов с высоким сродством к газам, таким как кислород и азот. Подача гелия («контролируемый вакуум») под давлением 10^{-1} Па применяется для предотвращения электростатического заряжения порошка и так называемого явления задымления [8], которые приводят к распылению порошка в камере и в конечном итоге к прекращению процесса.

Электроны, испускаемые горячей вольфрамовой нитью (Arcam S12, A2, A2x) или гексаборидом лантана (катод LaB6) (Arcam Q10, Q20), ускоряются до энергии 60 кэВ, фокусируются и отклоняются с помощью электромагнитных линз. Ток пучка составляет от 1 до 50 мА, что приводит к максимальной мощности луча около 3 кВт.

Схема построения изделия показана на рис. 1 [6]. Как видно, процесс протекает циклически, и каждый цикл состоит из четырех этапов: дозирование и разравнивание слоя порошка, предварительный подогрев слоя порошка, плавление порошка в соответствии с геометрией данного сечения электронной модели, опускание платформы на один шаг.

Изделие строится послойно. После построения последнего слоя изделие охлаждается внутри машины. Охлаждение обычно ускоряют за счет заполнения технологической камеры гелием.

На первом этапе процесса наносится тонкий слой порошка скребком на площадке построения. Порошок подается двумя порошковыми дозаторами, расположенными над плоскостью построения. Толщина слоя порошка выбирается исходя из толщины наплавляемого слоя (от 50 до 150 мкм). Первый слой наносится на предварительно нагретую стартовую пластину (подложку), как правило, из нержавеющей стали. Свойства порошка влияют на стабильность процесса и свойства получаемых материалов.

Текущая температура порошка должна быть как можно выше. Обычно используются сферические порошки, полученные газовым распылением, с рекомендуемым размером от 40 до 105 мкм. Микрофотография частиц в произвольной выборке показана на рис. 2а.

На стадии предварительного нагрева нанесенный слой порошка нагревается путем многократного сканирования расфокусированного электронного пятна (рис. 3а). Это делается для создания температурного поля в объеме построения и предварительного спекания частиц порошка. Спекание приводит к увеличению электропроводности порошка, предотвращает нестабильность процесса в результате задымления, когда порошок распыляется внутри рабочей камеры из-за взаимного отталкивания заряженных частиц порошка [9]. При нагреве расфокусированный электронный пучок несколько раз сканирует площадку построения со скоростью около 10 м/с, а мощность пучка последовательно увеличивается примерно до 3 кВт.

Температуры и стратегии предварительного нагрева зависят не только от металла или сплава, но и от свойств порошка. Как правило, температура, измеренная термопарой на стартовой пластине, колеблется от 300°C для чистой меди до 1100°C для интерме-

Рис. 1. Схема единичного цикла процесса СЭЛП

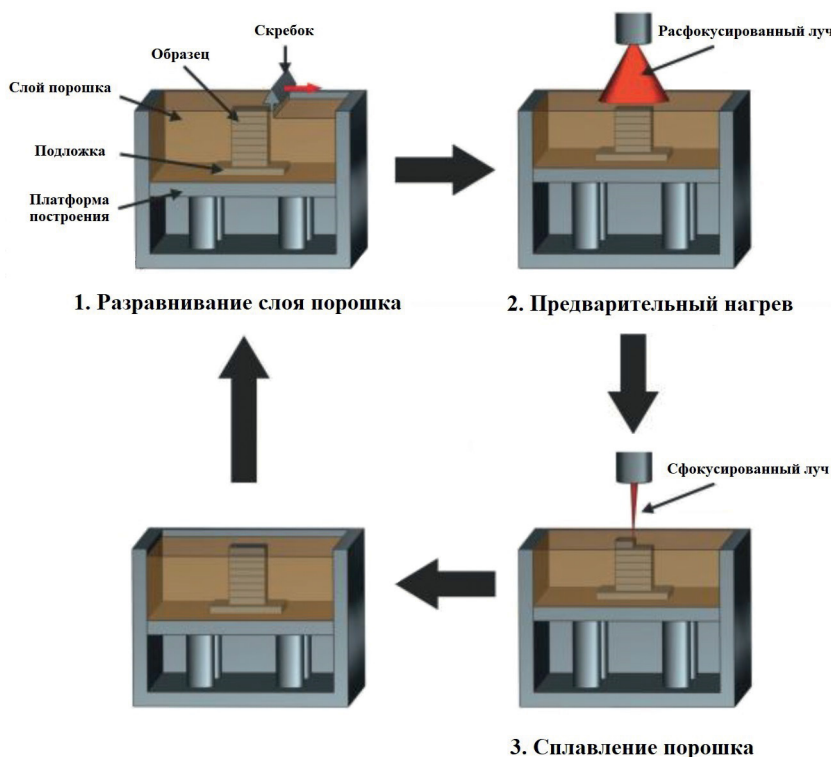
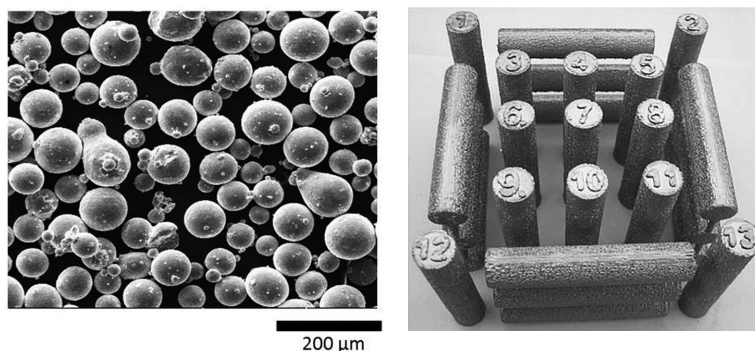


Рис. 2. Микрофотография выборки порошка из сплава Ti-6Al-V4 (видны несферические частицы, агломераты частиц и спутники) (а), цилиндрические образцы с различным расположением оси относительно плоскости построения после удаления порошка пескоструйной обработкой (б)



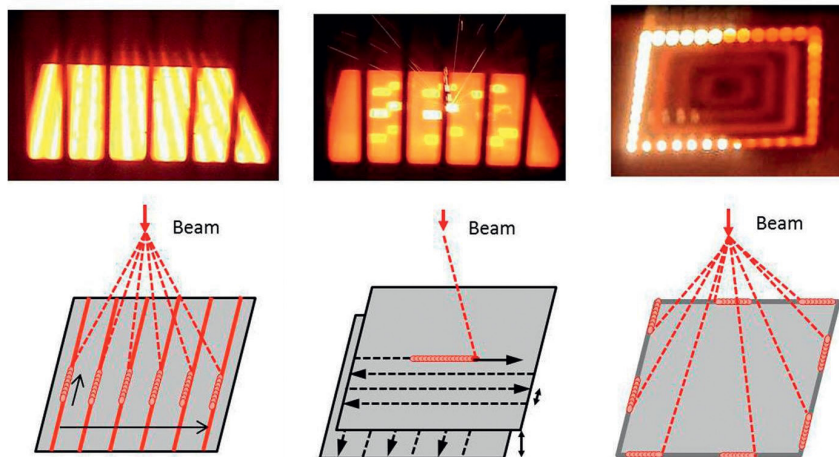
таллических фаз или некоторых сплавов на основе никеля. Если доля мелких частиц в порошке высока, то предварительный нагрев необходимо проводить очень осторожно, чтобы предотвратить задымление.

Температура и стратегия предварительного нагрева не определяются непосредственно температурой плавления материала. Повышенная температура стабилизирует слой порошка, обеспечивая его спекание. Нагрев до высоких температур необходим также

при плавлении сплавов, склонных к образованию трещин.

Высокие температуры подогрева оказывают большое влияние на остаточную микроструктуру и напряжения. По сравнению с лазерными АМ-процессами [10], которые обычно выполняются при значительно более низких температурах, уровень остаточных напряжений при ЭЛПП ниже [11], а микроструктура материала более грубая из-за пониженных скоростей охлаждения и температурных градиентов [12].

Рис. 3. Фотографии слоя и схемы перемещения ЭЛ в процессе СЭЛС: а) подогрев квазимноголучевым сканированием всей площади построения, б) плавление зоны штриховки внутренней области, в) квазимноголучевое плавление контура



В результате этой стадии после завершения построения образцы оказываются заключенными в замкнутый объем (блок) слегка спеченного порошка. Порошок может быть удален и отделен пескоструйной обработкой, так как уровень спекания все еще очень низок: ярко выраженные шейки спекания не присутствуют (рис. 2б). Порошок может быть почти полностью переработан и повторно использован [13], если применяются соответствующие условия обработки. Потери порошка малы, но агломераты должны быть удалены просеиванием перед повторным использованием порошка.

На стадии построения (селективное сплавление порошка) электронный луч сканирует слой порошка с меньшей скоростью (обычно 4 м/с) и расплавляет частицы порошка там, где должен образоваться твердый материал. На рис. 3б, в показано плавление областей и контуров.

Основными параметрами процесса, которые необходимо определить при разработке технологии, являются: мощность пучка — P , ток пучка — I , скорость перемещения пучка в плоскости построения — v , расстояние между средними линиями треков — d , смещение фокуса пучка, количество

контуров. Плавление внутренних областей обычно происходит путем штриховки с периодическим изменением направления перемещения луча. Кроме того, СЭЛС позволяет контурам плавиться в так называемом квазимноголучевом режиме, когда расплавляются почти одновременно до 100 точек (отрезков). На рис. 3 эта стратегия применяется для того, чтобы увеличить качество поверхности, то есть уменьшить шероховатость.

Важное отличие между СЭЛС и селективным лазерным спеканием (СЛС) заключается в характере поглощения энергии. Фотоны поглощаются или отражаются в веществе в пределах слоя, толщина которого по величине на 2-3 порядка меньше глубины проникновения электронов [14]. Поэтому для СЛС процессы испарения и отражения лазерного излучения играют важную роль, особенно при обработке некоторых высокоотражающих материалов, таких как чистая медь и медные сплавы.

Диссипация энергии электронов в веществе является функцией их энергии (напряжения ускорения), атомного номера материала (глубина проникновения уменьшается с увеличением атомного номера) и угла падения [14]. Феноменологическая модель

для описания поглощения электронного пучка в слое порошка представлена в работе Klassen et al. [15]. Эта энергия преобразуется в тепло, и в конечном итоге частицы порошка плавятся, формируется ванна расплава в течение нескольких мс [16]. Гидродинамика расплава определяется главным образом силами поверхностного натяжения и реактивными силами, возникающими при испарении (выброс факелов паров).

Чтобы получились полностью плотные материалы, ванна расплава должна достичь критической глубины, которая значительно превышает толщину слоя. В экспериментах [17] глубина ванны примерно в 3–4 раза превышала толщину слоя, чтобы предотвратить образование дефектов, то есть нерасплавленного порошка или несвязанных слоев. Численное моделирование показывает, что это связано с шероховатостью поверхности, приводящей к сильным локальным колебаниям толщины нового порошкового слоя. Тем не менее корректный выбор технологических параметров позволяет получить плотность осажденного вещества выше 99,5%. Природа формирования пористости при СЭЛС рассмотрена ниже. Микроструктура и механические свойства консолидированных материалов сильно зависят от параметров обработки. Один и тот же материал, обработанный с различными параметрами режима и стратегиями сканирования, может быть изотропным или анизотропным, мелкозернистым или крупнозернистым, иметь однородный или неоднородный химический состав.

По окончании построения слоя платформа опускается на один шаг, равный толщине насыпного порошка, и описанный цикл повторяется. Необходимое количество слоев m рассчитывают по выражению $m = H/k \cdot h_{cr}$, где H — высота фигуры построения, h_{cr} — высо-

та слоя, формируемого скребком, k – коэффициент, учитывающий усадку порошкового материала при переплаве.

Материалы для технологий СЭЛС

В табл. 1 приведены материалы и их свойства, исследованные при S-EBM [6]. Так как применение чистых металлов ограничено, большинство исследований проводится в области сплавов. Исключение составляет чистый

титан для медицинского применения, чистая медь благодаря ее очень высокой тепло- и электропроводности и ниобий.

Как правило, используются предварительно легированные порошки. Также применяется локальное легирование с помощью порошковых смесей. При оценке свойств материалов важно различать просто построенные, термически обработанные и обработанные горячим изостатическим прессованием (ГИП) (+ термически обработанные) материалы.

За последнее десятилетие было показано, что материалы СЭЛС могут достигать свойств, соответствующих или превосходящих по качеству кованные материалы, из-за быстрых условий охлаждения, приводящих к формированию тонкой микроструктуры.

В [6] представлен также обзор литературы, посвященной исследованию свойств материалов, представленных в табл. 1.

Микроструктура и локальная термообработка

Помимо затвердевания и охлаждения характерная для СЭЛС термообработка *in situ* оказывает сильное влияние на полученную микроструктуру и остаточные свойства материала в связи с высокими температурами построения. Кроме того, свойства построенной структуры зависят от положения изделия из-за различных условий термообработки внутри камеры построения. На рис. 4 показано влияние некоторых параметров режима на микроструктуру образца из сплава Ti-6Al-4V [18].

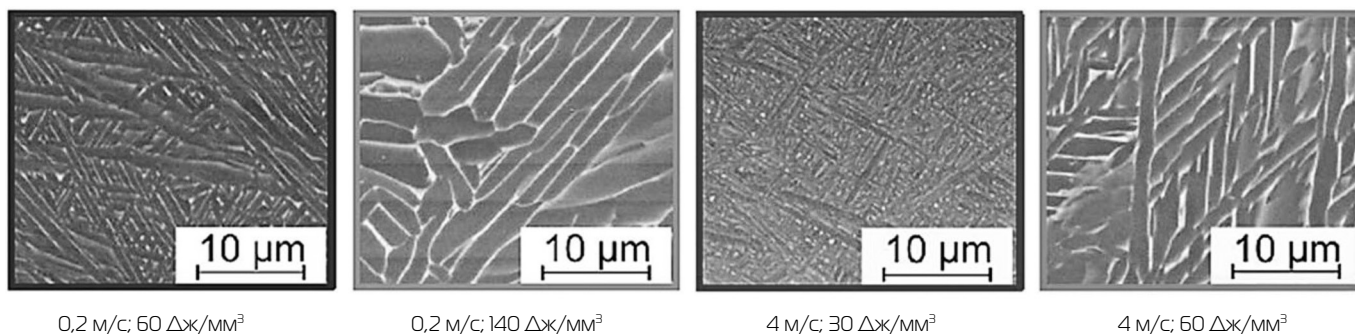
После окончательного затвердевания (во время СЭЛС материал может переплавляться несколько раз) температура некоторое время в рассматриваемой точке колеблется из-за нагрева и плавления соседних треков и последующих слоев. Моделирование эволюции температуры в окрестностях выбранной точки показало, что рядом с плоскостью построения температура может

Таблица 1. Исследованные материалы и их свойства

Материал	Изученные свойства
Группа сплавов Co-Cr-Mo Co-26Cr-6Mo-0.2C Co-28Cr-6Mo-0.23C-0.17N	Структура, дефекты, механические свойства Микроструктура, текстура, термическая обработка на месте, анизотропные механические свойства, ползучесть
Cu, чистая медь	Электрическая и тепловая проводимость, предел текучести
Fe, чистое железо	Микроструктура, механические свойства
Сталь 316L	Микроструктура
Сталь H13	Микроструктура
Nb, чистый ниобий	Микроструктура
Ni, чистый никель	Микроструктура
IN625	Микроструктура
IN718	Микроструктура, текстура, структура зерна, текстура, механические свойства, остаточные напряжения
CMSX-4	Микроструктура, термическая обработка
Rene142	Микроструктура
Ti, чистый титан	Микроструктура
Ti-6Al-4V	Микроструктура, механические свойства, текстура, шероховатость поверхности, поверхностные воздействия, проницаемость
TiAl-сплавы	
Ti-48Al-2Cr-2Nb	Микроструктура
Ti-47Al-2Cr-2Nb	Микроструктура
Ti-45Al-7Nb	Микроструктура, селективное испарение, прочность на сжатие

Имеются отдельные данные по материалам: Fe/нержавеющая сталь, TiAl/In625, CoCr

Рис. 4. Влияние скорости перемещения луча и плотности энергии на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V [18]



несколько раз достигать температуры плавления и несколько раз переходить температуру твердофазных переходов. Более или менее постоянная температура устанавливается лишь после построения 10–20 слоев относительно наблюдаемой точки, то есть через 10–20 минут [6].

Кроме того, в материале протекают процессы гомогенизации и старения. Указанные процессы определяются положением выбранной точки, временем и параметрами режима построения.

Твердофазные превращения приводят к преобразованию текстурированной столбчатой, ранее осажденной структуры [19]. Показано, что фазовые переходы могут разрушить или уменьшить текстуру. Так, с момента затвердевания титанового сплава Ti-6Al-4V формируется исходная колоноидальная β -структура, которая ниже температуры β -перехода превращается в $(\alpha + \beta)$ -микроструктуру [19]. Таким образом, после начального затвердевания расплава, приводящего к формированию столбчатых зерен, вытянутых в направлении построения, образец подвергается последовательной многократной термической обработке благодаря осаждению соседних треков и следующих слоев.

В зоне термического воздействия температура материала может превышать один или несколько раз температуру α -перехода, от которой она охлаждается в двухфазную $(\alpha + \gamma)$ -область, что приводит к рафинированию микроструктуры [20]. Как правило, получаемые микроструктуры далеки от равновесия, так как скорости затвердевания и температурные градиенты очень высоки (10^8 – 10^9 К/м, 10^4 – 10^5 м/с по результатам цифрового моделирования). Образующиеся микроструктуры зависят от количества введенной энергии и стратегии сканирования.

Пористость материала при селективном электронно-лучевом сплавлении

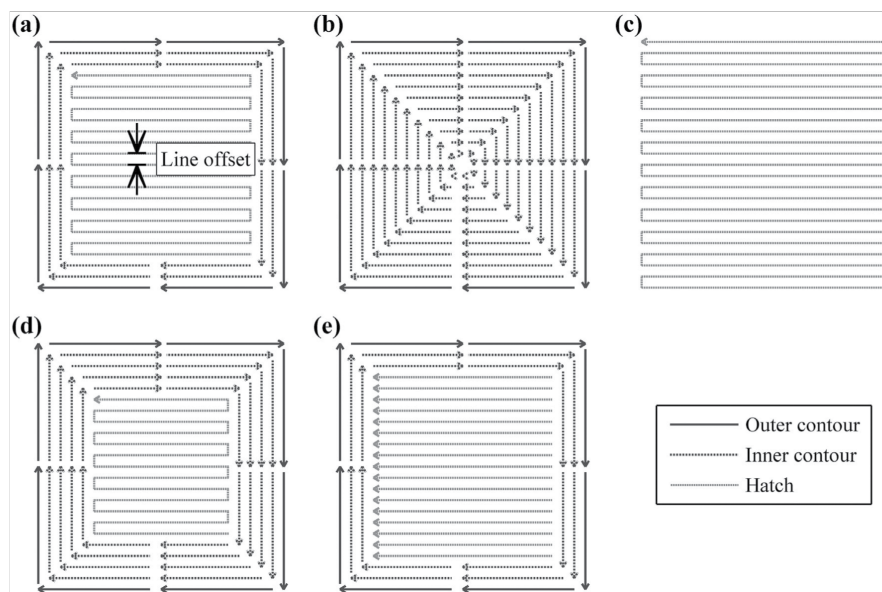
Избирательное электронно-лучевое плавление (СЭЛС) является перспективной АМ-технологией производства изделий. Однако без постобработки (ГИП) усталостная прочность таких изделий ограничена из-за наличия пористости. Поскольку усталостная прочность является одной из основных эксплуатационных характеристик наукоемкой техники, исследования, посвященные механизму формирования пористости и влиянию на нее условий и параметров режима, проводятся достаточно интенсивно.

В работе [21] размер, форма, объемная доля и пространственное распределение пор в модельных образцах, полученных при различных условиях, были изучены с привлечением методики РКТ (рентгеновской компьютерной то-

мографии). В целом результаты сканирования РКТ с высоким разрешением позволили получить хорошее согласование с обычными 2D-измерениями с помощью оптической микроскопии, до предела размера ~ 5 мкм. Данные, полученные при более грубой шкале сканирования с пределом разрешения ~ 25 мкм, позволили выявить и локализовать крупномасштабные изъяны в материале.

Средняя объемная доля пор (менее 0,2%) была заметно ниже, чем обычно наблюдается в конкурирующих процессах, таких как селективное лазерное плавление. Найдена сильная корреляция распределения пор-дефектов с параметрами процесса и стратегиями, используемыми для построения контура (contouring) и заполнения (штриховки) (hatching) остальной части сечения изделия, что делает их влияние на усталостную прочность потенциально более значимым.

Рис. 5. Схематические изображения некоторых стратегий перемещения ЭЛ, использованные в [21]: а) С0: сначала формируются три исходных наружных контура с более низкой скоростью перемещения фокусного пятна. Затем следует штриховка внутреннего контура. Стандартная схема машины Arcam 2X; б) С1: формируется последовательность контуров, каждый последующий контур смещается внутрь до тех пор, пока не будет переплавлено все поперечное сечение; в) С2: формируется только штриховка, контур не используется, площадь штриховки увеличена, чтобы покрыть все поперечное сечение; д) С3: количество проходов контура устанавливается равным 5, что дает меньшую площадь штриховки; е) С7: штриховка осуществляется в одном направлении.



Некоторые стратегии построения образца приведены на рис. 5. Указано направление движения луча и смещение линии (расстояние между траекториями центров соседних треков).

Обнаружено, что большинство пор — это мелкие сферические газовые поры, сконцентрированные в зоне штриховки. Это объясняется более низкой плотностью энергии и меньшей фокусировкой луча, используемого в стратегии штриховки, что затрудняет возможность выделения пузырьков газа из ванны расплава. Действительно, эксперименты подтвердили, что увеличение плотности энергии или фокусировки луча выявило сильную корреляцию со снижением уровня газовой пористости.

При стандартных параметрах построения было установлено, что подавляющее большинство пор представляет собой небольшие сферические газовые пустоты. Эти поры возникают изначально из-за загрязнения аргоном порошкового сырья. Небольшие пузырьки газа, запертые в гранулах порошка, расширяются в ванне расплава в связи с пониженным давлением в камере построения.

Более редкие поры неправильной формы обнаружены в местах слияния между слоями. Некоторые из этих образований были довольно значительными (до 190 мкм) и были преимущественно сосредоточены в области контура (рис. 6).

На рис. 7 показано влияние стратегии сканирования на распределение пор. При более низком разрешении 3D PКТ сканируют весь образец, показывая все поры (красного цвета), обнаруженные в каждом образце, проецируемые в плоскость x - y для визуализации их пространственного распределения в этой плоскости. Плоскость сечения образца 10x10 мм, высота — 25 мм.

Большинство пор сконцентри-

ровано во внутренней области штриховки, что объясняется более высокой плотностью энергии, используемой при формировании контура. В результате формируется более объемная и глубокая ванна расплава, облегчающая выделение пузырьков газа, повышается степень переплавки предыдущего слоя. Авторы считают, что поры неправильной формы, обнаруженные в области контура, по-видимому, являются результатом многолучевой подачи энергии, влияющей на стабильность ванны расплава.

Более низкая средняя плотность энергии в области штриховки четко коррелирует с более

высокой средней плотностью газовых пор (рис. 7). Кроме того, установлено, что использование более сфокусированного луча дает возможность снизить газовую пористость без увеличения потребляемой энергии за счет более глубокой ванны расплава, которую он создает.

При стандартных условиях построения перемещение от кромки сечения к центру в плоскости x - y выявляет два пика пористости на расстояниях 0,9 мм и 1,6...2 мм. Оба пика связаны с краем области штриховки. Первый пик образовался в результате перемещения пузырьков газа к краю каждого штриха (хода). Эти пузырьки

Рис. 6. Микрофотографии типичных пор, наблюдаемых в материале при SEBM: две сферические поры (а); поры нерегулярной формы, вызванные отсутствием расплава (б). Построение направлено вертикально вверх к плоскости страницы [6]

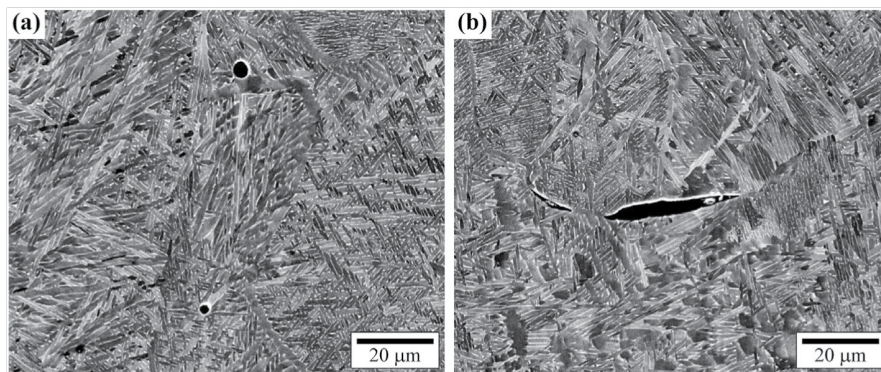
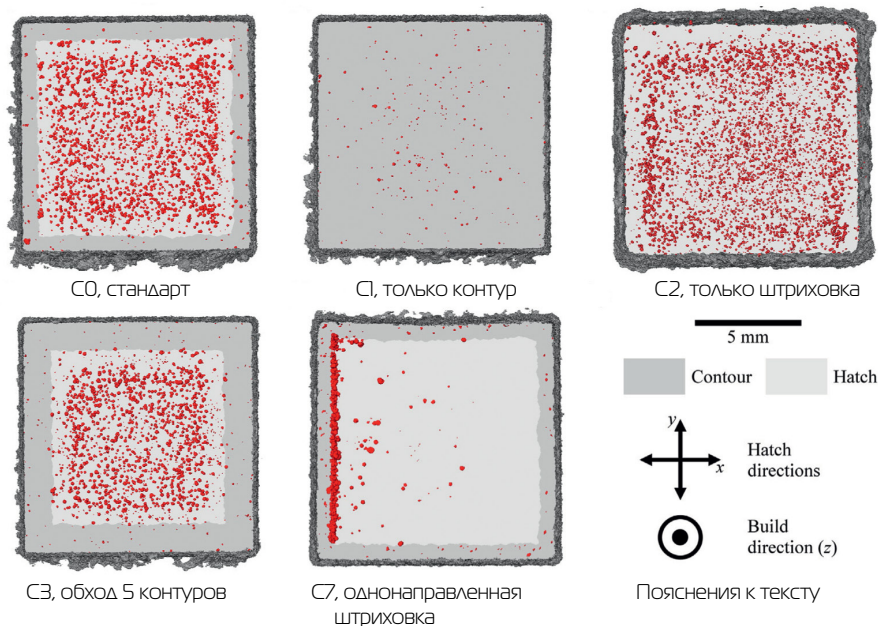


Рис. 7. Влияние стратегии сканирования сечения образца на распределение пор



накапливаются в конце линии штриховки, когда ванна расплава меняет направление перемещения. Предполагают, что второй пик обусловлен эффектом реверса электронного луча при штриховке. Похоже на то, что происходит перераспределение остаточного тепла впереди пятна контакта за счет ускорения луча в момент изменения направления своего движения. Это приводит к понижению плотности энергии и к появлению большого количества газовых пор, наблюдаемых на краю участка штриховки.

Авторы работы [21] провели классификацию видов пор (рис. 8). Рисунок построен на основе стандартной выборки, С0. Показаны сферические поры, маленькие (i) и большие (ii); две близкие к сферическим поры, соединенные вместе (iii); нерегулярные поры, маленькие (iv) и большие (v). Направление построения z, а x и

у обозначают направления штриховки.

Таким образом, предложен механизм формирования пор при SEBM и показана возможность минимизировать пористость до приемлемого уровня за счет оптимизации параметров режима формообразования. Установлено, что чем выше скорость луча и меньше перекрытие между слоями, связанными со штриховкой, тем меньше ванна расплава и тем меньше вероятность выхода пузырьков газа из расплава.

Погрешность формы, остаточные напряжения и шероховатость поверхности

Точность изделий является одной из проблемных тем для аддитивных технологий. Существуют различные факторы, влияющие на точность: средний диаметр порошка, диаметр пучка, дефор-

мация и искажение формы из-за термической усадки и остаточных напряжений. На рис. 9 показана T-образная балка из Ti-6Al-4V с опорами, при изготовлении которой отчетливо наблюдаются искажения формы.

Параметры процесса построения и толщина образца оказывают сильное влияние на шероховатость поверхности [22]. Влияние параметров режима на шероховатость поверхности сплава Ti-6Al-4V исследовано в [23]. По сравнению с СЛС значения шероховатости, полученные при СЭЛС, в два-три раза больше. Определяющими факторами являются применение более крупных частиц порошка, большей толщины слоя и большего диаметра пучка.

Оборудование

Рассмотрим комплектацию оборудования для СЭЛС на примере установки компании Arcam. Данное оборудование предназначено для изготовления сложно-профильных изделий из различных металлических порошковых материалов, особенно чувствительных к окислению.

Некоторые модели установок оснащены двумя платформами — для одновременного изготовления изделий разных конфигураций или из различных материалов. Другой особенностью таких установок является возможность «многолучевой» обработки, то есть сплавления порошка в нескольких местах (до 100) одновременно [24].

Общая компоновка и основные функциональные элементы установки компании ARCAM представлены на рис. 10. В верхней части установки расположена электронная пушка, в средней — рабочая камера, в нижней — устройства перемещения стола по оси z и бункеры для оставшегося порошка.

Рис. 8. Виды пор, наблюдаемых в материале при СЭЛС

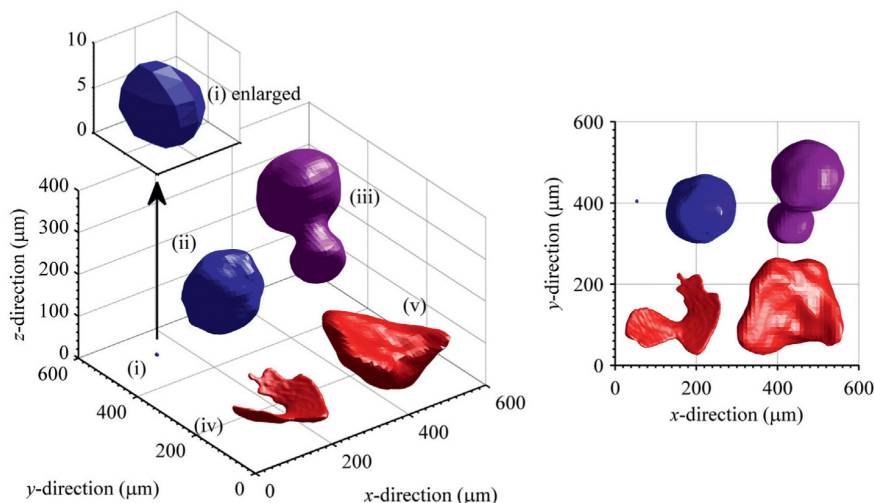


Рис. 9. Деформация и шероховатость поверхности образца

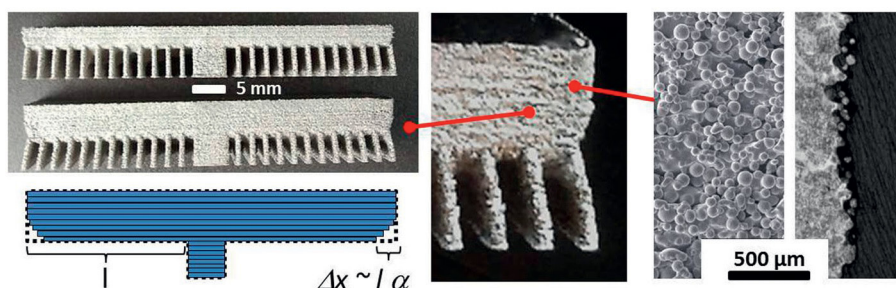
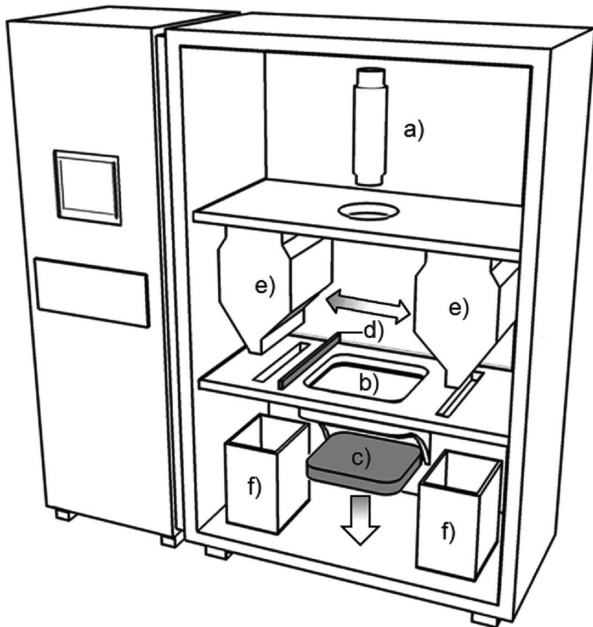


Рис. 10. Основные элементы конструкции установки фирмы Arcam: а) электронно-лучевая пушка, б) порошковый слой, с) платформа построения, d) скребок для выравнивания порошка, е) бункеры с порошком, f) бункеры для оставшегося вне зоны построения порошка



Технические характеристики установки ARCAM 2X:	
Мощность электронного пучка, Вт	50–3500 W (с плавной регулировкой)
Диаметр электронного луча, мм	0.2–1.0 (с плавной регулировкой)
Скорость сканирования, м/с	до 800
Скорость построения (эталонная модель ARCAM), см ³ /ч	55/80 (Ti6Al4V)
Количество электронных лучей	1–100
Размеры рабочей камеры (длина, ширина, высота), мм	200x300x380 мм
Энергопотребление	3x400 В, 32 А, 7 кВт
Массогабаритные показатели	1850x900x2200 мм (WxDxH), 1420 кг
Связь с CAD	программная на ПК
Формат CAD-файла	STL
Технологические характеристики, полученные на эталонных образцах*:	
Производительность (объемная скорость построения)	до 80 см ³ /ч
Точность построения	± 0,13 мм
Шероховатость поверхности (по вертикали и горизонтали)	Ra 25/Ra35
* Данные снимались с использованием эталонных моделей ARCAM. Материал Ti-6Al-4V в соответствии с ASTM F136–02a (FLI Grade 23). Отечественный аналог ВТ 6, градация 44–106 мкм.	

На рис. 11 показаны популярные модели оборудования компании ARCAM. Компания выпускает собственные исходные материалы (порошки) для СЭЛС, постоянно совершенствует и расширяет модельный ряд оборудования, ориентированного на использование в авиационно-космической промышленности и в производстве медицинских изделий (импланты и протезы). На рис. 12 представлены примеры деталей, изготовленных по технологии СЭЛС. На рис. 13 показаны изделия, при построении которых используются поддержки, на рис. 14 показан комплект изделий, построенных в едином технологическом цикле.

Установки, в которых в качестве источника энергии используется электронный луч, характеризуются высокой производительностью, относительно низкой себестоимостью получаемых деталей и повышенной плотностью материала. На практике в процессе построения изделия встреча-

Рис. 11. Установки СЭЛС компании Arcam AB



ARCAM 2X



Q10PLUS

ются ограничения по объему построения, которые определяются размерами вакуумной рабочей камеры, однако данная проблема решается путем оснащения оборудования несколькими платформами или разработкой специальных установок под конкретные задачи.

Отмечается, что в области прохождения луча могут возникать электрические и магнитные поля, которые могут привести к отклонению луча и нарушению режима плавления. Влияние магнитных полей чаще всего вызвано остаточной намагниченностью материалов подложки или проволоки.



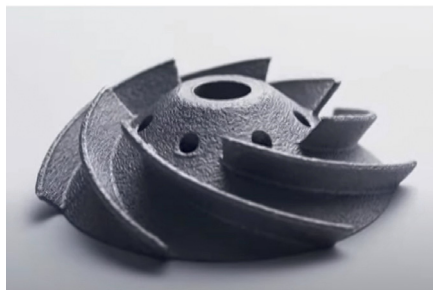
а) Чашка эндопротеза



б) Сопло ракетного двигателя



в) Ажурная деталь гоночного автомобиля



г) Крыльчатка



д) Выпускной коллектор



е) Корпус насоса в сборе

Рис. 12. Изделия, полученные технологией СЭЛС

Как известно, оба эти фактора устраняются на этапе подготовки оборудования к работе.

В сравнении с технологиями лазерного сплавления или спекания, которым присущи высокая точность построения и меньшая шероховатость получаемой поверхности изделий, аддитивное

формообразование электронным лучом позволяет получить практически монолитный материал, механические свойства которого сравнимы с изготовленными традиционными методами литья иковки [25–27]. Более того, лазерные аддитивные методы имеют низкую энергетическую эффек-

тивность (2...5%), в отличие от методов электронно-лучевой обработки (15...20%) [28].

В [29–30] также подтверждается, что несмотря на сравнительно высокую шероховатость поверхностей изделий, полученных технологией СЭЛС, плотность и структура материала лучше, чем

Рис. 13. Образцы для испытаний с поддержками

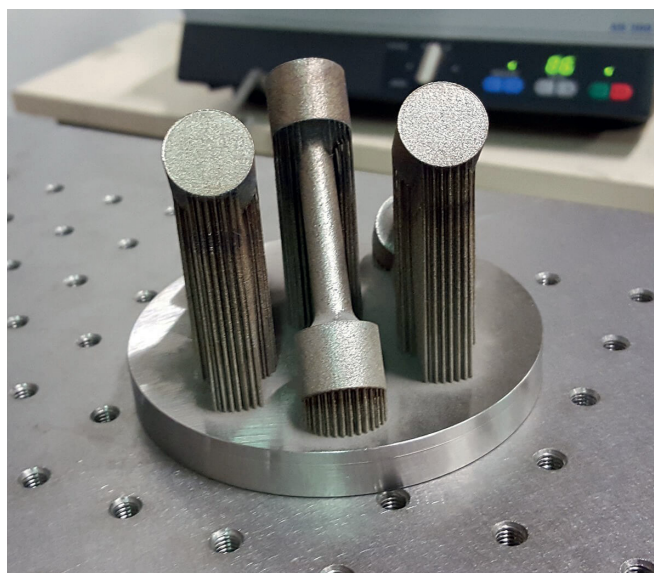
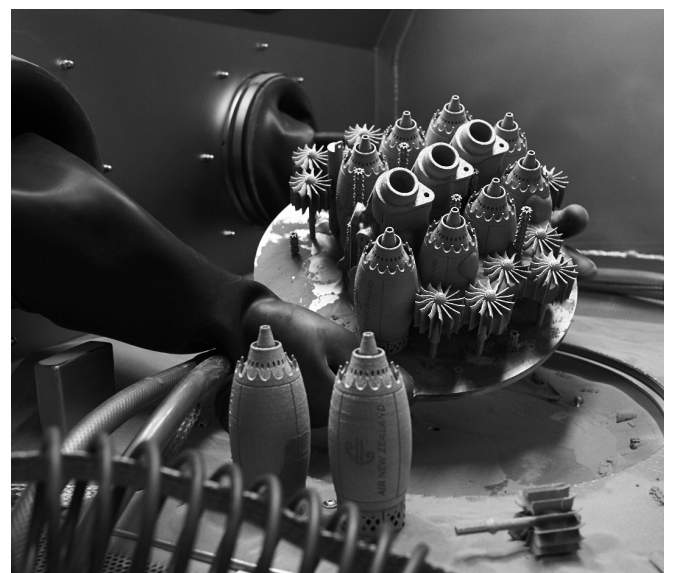


Рис. 14. Изделия, построенные в едином технологическом цикле



при выращивании лазерными методами [29–30]. Производительность электронно-лучевого оборудования составляет 55–80 см³/ч по сравнению с 2–20 см³/ч для аналогичных по размерам лазерных машин.

В области развития технологий электронно-лучевого сплавления проводятся многочисленные исследования, направленные на повышение технологических характеристик процесса и качества получаемых изделий. НИОКР проводятся по таким направлениям, как анализ использования и получения исходных материалов, нахождение оптимальных параметров режима обработки электронным лучом, разработка оборудования и оснастки, разработка регламентирующих документов, сокращение объемов постобработки изделий и многим другим.

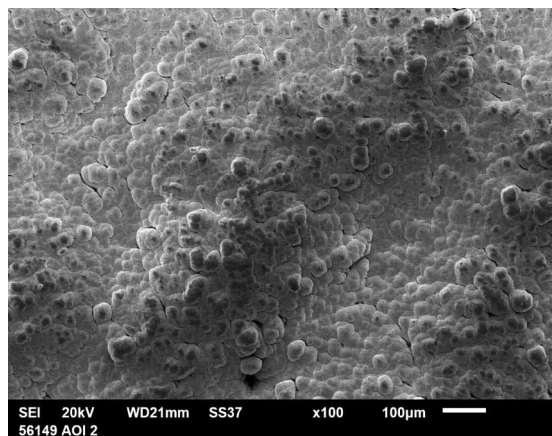
Интегрированные технологии ЭЛ-формообразования и нанесения покрытий

Одним из перспективных направлений исследований является получение композиционных изделий методами послойного электронно-лучевого сплавления и ионно-плазменного напыления.

Суть такой технологии заключается в сплавлении электронным лучом тугоплавких металлических порошков с получением заданной формы и последующем нанесении металлических и керамических материалов-покрытий с помощью электронно-лучевого испарения и конденсации в вакууме (ионно-плазменное осаждение).

На рис. 15 показана поверхность образца, полученного методом послойного электронно-лучевого синтеза из порошка титанового сплава ВТ 6 и последующего электронно-лучевого напыления металлического слоя из сплава NiCoCrAlY и наружного керамического слоя из оксидов цирко-

Рис. 15. Микрофотография поверхности образца многослойного материала, полученного методом СЭЛС с нанесенным на него покрытием



ния и иттрия ($ZrO_2 + 8\% Y_2O_3$). Как видно, наружная поверхность образца имеет мелкозернистую структуру, формируемую в результате конденсации паров. Шероховатость поверхности подложки, полученной при послойном электронно-лучевом синтезе поверхности, определяет характерную морфологию конечной поверхности в связи с относительно небольшой толщиной покрытия (технологическая наследственность).

Подобные технологии позволяют получить детали горячей части энергетических машин из относительно легкого титанового сплава, способных работать при более высоких температурах из-за наличия жаростойкого (барьерного) поверхностного слоя. С применением предложенной интегрированной технологии возможно изготовление деталей сложной конфигурации. Можно также сформировать сложные композиции из металлических и керамических материалов, которые трудно получить другими способами. Создание технологий и оборудования для выращивания изделий и нанесения покрытий методами послойного электронно-лучевого синтеза и электронно-лучевого вакуумного напыления позволит увеличить ресурс и достичь высоких эксплуатационных характеристик высоконагруженных деталей и узлов ракетных комплексов,

авиационных двигателей и наземных газотурбинных установок [31].

В завершение отметим, что АО «Композит» выполняет работы по адаптации отечественных порошковых материалов под зарубежные аддитивные установки, сопровождающиеся разработкой технологических режимов послойного синтеза. Одной из обрабатываемых для данных целей технологий является СЭЛС [32]. Задача использования отечественных материалов для технологии электронно-лучевого аддитивного формообразования рассматривается и в других работах. Так, предложено использовать несферические порошки титановых сплавов, полученные на основе технологий гидрирования–дегидрирования.

Еще одним актуальным направлением является исследование процесса постобработки изделий, полученных электронно-лучевым сплавлением. Анализ выращенной по технологии СЭЛС детали из титанового сплава Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si показал, что дополнительная термическая обработка позволяет уменьшить внутренние напряжения в материале, снизить коэффициент износа и скорость поглощения водорода при газофазном насыщении [33]. ■

1. Моргунов Ю. А., Саушкин Б. П. Аддитивные технологии для космической техники/ Аддитивные технологии. 2016. № 1. С. 6–15.
2. ISO / ASTM52900–15, Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, 12 p.
3. ГОСТ Р 57558–2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения/ М.: Стандартиформ, 2018. 12 стр.
4. ГОСТ Р 58419–2019 Аддитивные технологии. Изделия из титановых сплавов, изготовленные методом селективного электронно-лучевого сплавления/ М.: Стандартиформ, 2018. 8 стр.
5. Электронный ресурс: <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/ebf3.html>, https://en.wikipedia.org/wiki/Electron-beam_freeform_fabrication
6. Korner C. Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting – areview /International Materials Reviews. 2016. Т. 61. № 5. PP. 361–377.
7. Электронный ресурс: <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/ebf3.html>
8. M. Kahnert, S. Lutzmann and M. F. Zaeh: 'Layer formations in electron beam sintering', Proc. SFF Symp. Austin Texas, 2007, 88–99.
9. J. Milberg and M. Sigl: 'Electron beam sintering of metal powder', Prod. Eng. Res. Devel., 2008, 2, 117–122.
10. C. Guo, F. Lin and W. Ge: 'Study on the fabrication process of 316L stainless steel via electron beam selective melting', J. Mech. Eng., 2014, 50, (21), 152–158.
11. L. M. Sochalski-Kolbus, E. A. Payzant, P. A. Cornwell, T. R. Watkins, S. S. Babu, R. R. Dehoff, M. Lorenz, O. Ovchinnikova and C. Duty: 'Comparison of residual stresses in Inconel 718 simple parts made by electron beam melting and direct laser metal sintering', Met. Mater. Trans. A: Phys. Metall. Mater. Sci., 2015, 46, 1419–1432.
12. M. Ramsperger, L. Mujica Roncery, I. Lopez-Galilea, R. F. Singer, W. Theisen and C. Korner: 'Solution heat treatment of the single crystal nickel-base superalloy CMSX-4 fabricated by selective electron beam melting', Adv. Eng. Mat., 2015, 17, (10), 1486–1493.
13. H. P. Tang, M. Qian, N. Liu, X. Z. Zhang, G. Y. Yang and J. Wang: 'Effect of powder reuse times on additive manufacturing of Ti-6Al-4V by selective electron beam melting', JOM, 2015, 67, (3), 555–563.
14. T. E. Everhart and P. H. Hoff: 'Determination of kilovolt electron energy dissipation vs penetration distance in solid materials', J. Appl. Phys., 1971, 42, (13), 5837–5846.
15. A. Klassen, A. Bauerreis and C. Korner: 'Modelling of electron beam absorption in complex geometries', J. Phys. D: Appl. Phys., 2014, 47, (6), 065307.
16. T. Scharowsky, F. Osmanlic, R. F. Singer and C. Korner: 'Melt pool dynamics during selective electron beam melting', Appl. Phys. A, 2014, 114, 1303–1307.
17. H. E. Helmer, C. Korner and R. F. Singer: 'Additive manufacturing of nickel-based superalloy Inconel 718 by selective electron beam melting: processing window and microstructure', J. Mat. Res., 2014, 29, (17), 1987–1996.
18. T. Scharowsky, V. Juchter, R. F. Singer and C. Korner: 'Influence of the scanning strategy on the microstructure and mechanical properties in selective electron beam melting of Ti-6Al-4V', Adv. Eng. Mat., 2015, 17, 11.
19. A. A. Antonysamy, J. Meyer and P. B. Prangnell: 'Effect of build geometry on the beta-grain structure and texture in additive manufacture of Ti-6Al-4V by selective electron beam melting', Mater. Charact., 2013, 84, 153–168.
20. J. Schwerdtfeger and C. Korner: 'Selective electron beam melting of Ti-48Al-2Nb-2Cr: microstructure and aluminium loss', Intermetallics, 2014, 49, 29–35.
21. S. Tamas-Williams et al. XCT analysis of the influence of melt strategies on defect population in Ti-6Al-4V components manufactured by Selective Electron Beam Melting/ Materials Characterization 102 (2015) 47–61
22. A. Safdar, H. Z. He, L-Y. Wei, A. Snis and L. E. Chavez de Paz: 'Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V', Rapid Prototyping J., 2012, 18, (5), 401–408.
23. M. Jamshidinia and R. Kovacevic: 'The influence of heat accumulation on the surface roughness in powder-bed additive manufacture', Surf. Topogr.: Metrol. Prop., 2015, 3, (1), 14003.
24. <https://yandex.ru/search/?lr=213&clid=2233626&text=Arcam%20X>, <https://pdf.aeroexpo.com.ru/pdf-en/arcam-ab/arcam-brochure/171999-10126.html#open>
25. Федоров В. В., Клименов В. А., Клопотов А. А. Влияние структуры и дефектов на разрушение сплава Ti6Al4V, сформированного в условиях электронно-лучевого послойного сплавления. Ч. 1: Состав и структура /Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Том 17. № 2. С. 216–227.
26. Влияние технологий подвода энергии при 3d-принтинге на структуру и свойства деталей из сплава Ti-6Al-4V / Педаш А. А. [и др.] //Авиационно-космическая техника и технология. 2018. № 8 (152). С. 86–90.
27. Gong X., Anderson T., Chou K. Review on powder-based electron beam additive manufacturing technology// ASME/ISCIE2012. International symposium on flexible automation. American Society of Mechanical Engineers. 2012. 507–515.
28. Brandla E. Additive manufactured Ti-6Al-4V using welding wire: comparison of laser and arc beam deposition and evaluation with respect to aerospace material specifications // E. Brandla, B. Baufeldb, C. Leyencs, R. Gaultd//Proceedings of the Laser Assisted Net Shape Engineering. Vol. 5, Part B. 2010. 595–606.
29. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of selective laser and electron beam melted titanium aluminides. Conference paper of 22nd International symposium «Solid freeform fabrication proceedings», University of Texas, Austin, 2011, 547–556.
30. Murr L. E., Gaytan S. M. Electron beam melting. Comprehensive materials processing, 2014, v. 10, 135–161.
31. Соколов Ю. А., Равилов Р. Г. Получение композиционных изделий на базе методов электронно-лучевого плавления и напыления //Электрофизические и электрохимические методы обработки. 2016. № 1 (91). С. 12–17.
32. Перспективные направления исследований в области аддитивных технологий, реализуемые АО «Композит» / Сентюрина Ж. А. [и др.] // Сборник трудов 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси. Минск. Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2020. С. 604–608.
33. Пушилина Н. С., Кудияров В. Н., Сыртанов М. С. Постобработка титановых сплавов, изготовленных с помощью аддитивных технологий //Сборник научных трудов «Вестник современных технологий». 2019. № 3 (15). С. 70–74.



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Тринадцатая международная специализированная выставка

30 марта - 1 апреля, 2021

Россия, Москва,
ЦВК «Экспоцентр», павильон 1



Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК) и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ



Выставка участник системы



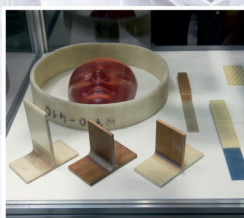
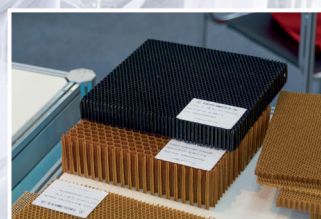
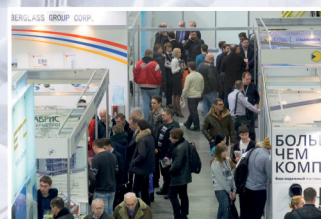
независимый выставочный аудит

Параллельно проводится выставка:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Двенадцатая международная специализированная выставка
www.polyurethanex.ru



Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд,
дом 7, строение 10, офис 507 | Тел.: 8 495 988-1620
E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

Организаторы:

[youtube.com/user/compoexporussia](https://www.youtube.com/user/compoexporussia) @compoexporus @ocompo



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-
МОРСКОЙ
САЛОН



INTERNATIONAL
MARITIME
DEFENCE
SHOW

Организатор:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

При участии:



Министерство
обороны



Министерство
иностраных
дел



Федеральная служба
по военно-техническому
сотрудничеству



Администрация
Санкт-Петербурга



РОСОБОРОНЭКСПОРТ

Устроитель:



ООО «Морской Салон»

www.navalshow.ru

IMDS
2021

23-27 июня

РОССИЯ

Санкт-Петербург

“Через сотрудничество – к миру и прогрессу!”



★ ARMY 2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ
ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

22–28 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО

WWW.RUSARMYEXPO.RU

24-28 | 05 | 2021

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»
www.metobr-expo.ru



2021

21-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛООБРАБОТКА

«Оборудование, приборы
и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

При поддержке:



Реклама 12+



Организатор:



ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «РИТМ машиностроения» с любого месяца. Стоимость одного номера — **250** рублей, стоимость годовой подписки (10 номеров) — **2500** рублей.

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

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 101000, г. Москва, Милютинский пер., 18А
Почт. адрес: 101000, г. Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с
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 — **250** рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — **1000** рублей.

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



101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с, пом. 1, т/ф (499) 55-9999-8,
e-mail: ritm@gardesmash.com, www.ritm-magazine.ru
e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru