

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Автоматизированная отраслевая система управления аддитивным производством в режиме одного окна – отечественное ПО в реестре Минцифры (№ 19099)

Расчет, планирование, учет, управление, контроль, аналитика и не только – в режиме онлайн для менеджера, оператора, технолога, техника, ОТК и руководителя

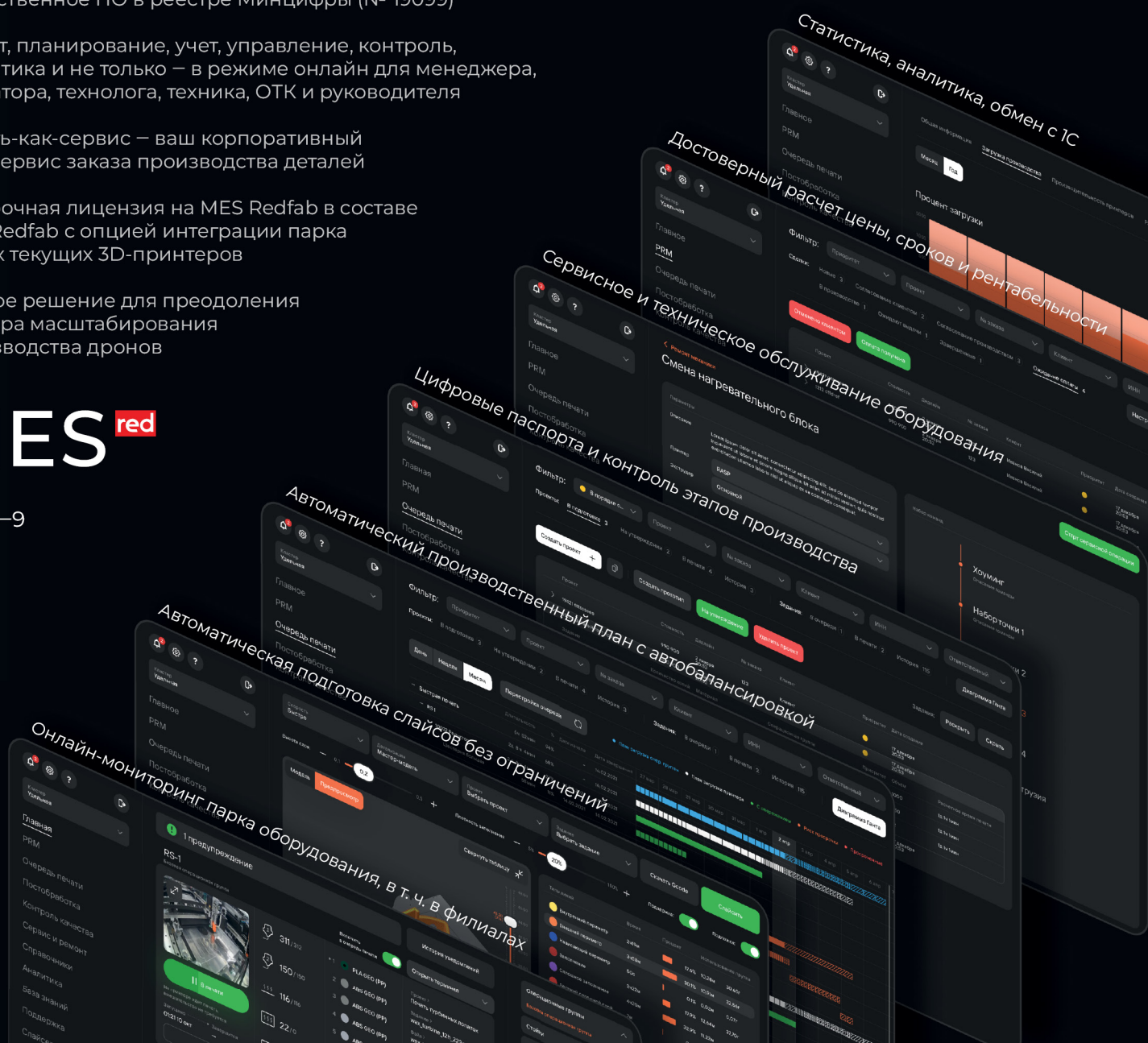
Печать-как-сервис – ваш корпоративный web-сервис заказа производства деталей

Бессрочная лицензия на MES Redfab в составе ПАК Redfab с опцией интеграции парка ваших текущих 3D-принтеров

Готовое решение для преодоления барьера масштабирования производства дронов

MES ^{red}

Стр. 7–9



Аддитивные технологии в медицине: новые возможности
32



3D-печать для БПЛА и дронов
37



Защитно-декоративные покрытия металлических и неметаллических изделий
40

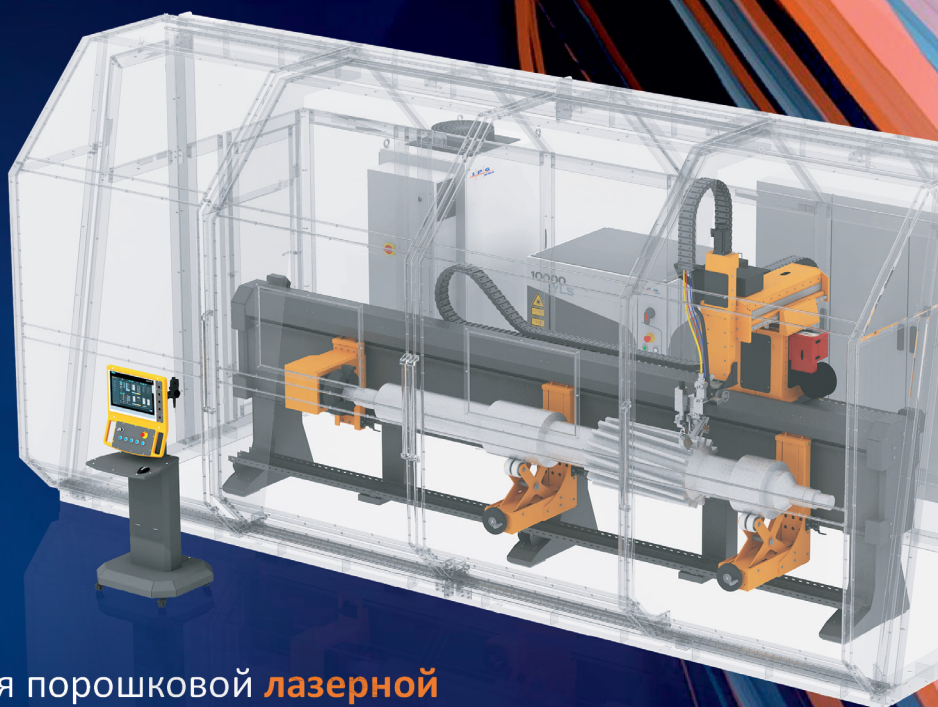
ПОЛНОСТЬЮ УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ FL-CPM



FL-CPM – универсальная система лазерной обработки.

Модульная конструкция координатной системы и **широкий выбор** съемных навесных элементов крепления заготовок дают возможность создать Вашу **уникальную конфигурацию** станка.

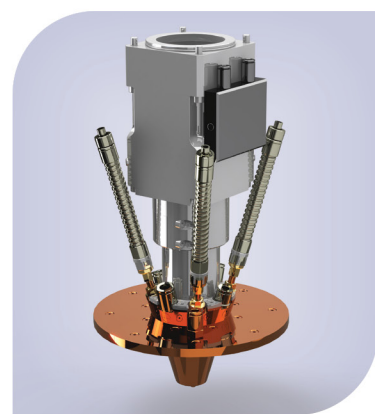
4-осевая сопловая насадка для порошковой **лазерной наплавки** - будет **идеальным дополнением** к системе.



ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР IPG ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ

Высокий коэффициент использования материала: в случае наплавки проволокой – 100% (до 90% при наплавке порошком). Локальная обработка поверхности, минимальная постобработка, стабильная высота наплавляемого слоя, минимальное перемешивание основного и наплавляемого материалов. Отсутствие деформации изделия в процессе обработки. Также система позволяет проводить высокоэффективную лазерную сварку и термообработку.

4-осевая сопловая насадка предназначена для четырехсторонней подачи наплавляемого материала и защитного газа в область фокусировки лазерного луча. Насадка полностью совместима с головками FLW D50. 4-осевая сопловая насадка – точный и надежный инструмент, с дополнительной защитой от воздействия отраженного излучения.



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

+7 (495) 477-72-77; sales@ntoire-polus.ru

www.fl-cpm.ru



БЕСПЛАТНАЯ АРЕНДА 3D-принтера ProtoFab



Платите только за расходные материалы

Почему именно 3D-принтеры ProtoFab?



Скорость печати



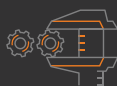
Детализация изделий



Компактность оборудования



Качество материалов



Стабильность работы



Простота обслуживания

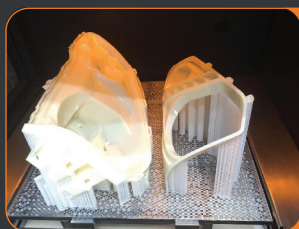


5

лет опыта применения

в российском производстве

Выгодное предложение для решения задач:



Прототипирование и промышленный дизайн



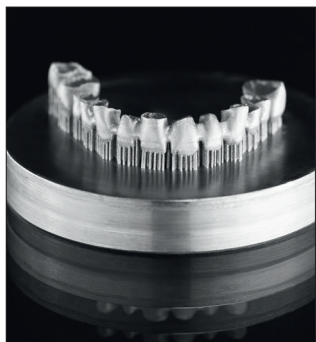
Прямое производство изделий из фотополимеров



НИОКР, ОКР и образование



Создание оснастки и литейных мастер-моделей для литья по выжигаемым моделям



20



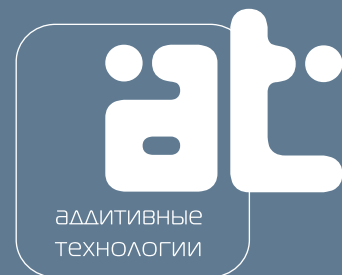
22



27

СОДЕРЖАНИЕ

- 4 Новый принтер с новыми кадрами
- 7 Автоматизация управления аддитивным производством
- 10 Проблемы развития отечественных аддитивных технологий — Per aspera ad astra!
- 20 Персонализированная медицина и аддитивные технологии: путь к инновациям с технологией SLM
- 22 Аддитивные технологии в развитии
- 26 3D-печать для стоматологии
- 27 Теория есть, а практики нет
- 30 ChatGPT в 3D-печати: инструкция по применению
- 32 Аддитивные технологии в медицине: новые возможности
- 37 3D-печать для БПЛА и дронов
- 40 Защитно-декоративные покрытия металлических и неметаллических изделий



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:
Т. Карлова, Э. Сацкая
С. Куликова

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

отдел рекламы
т/ф (499) 55-9999-8

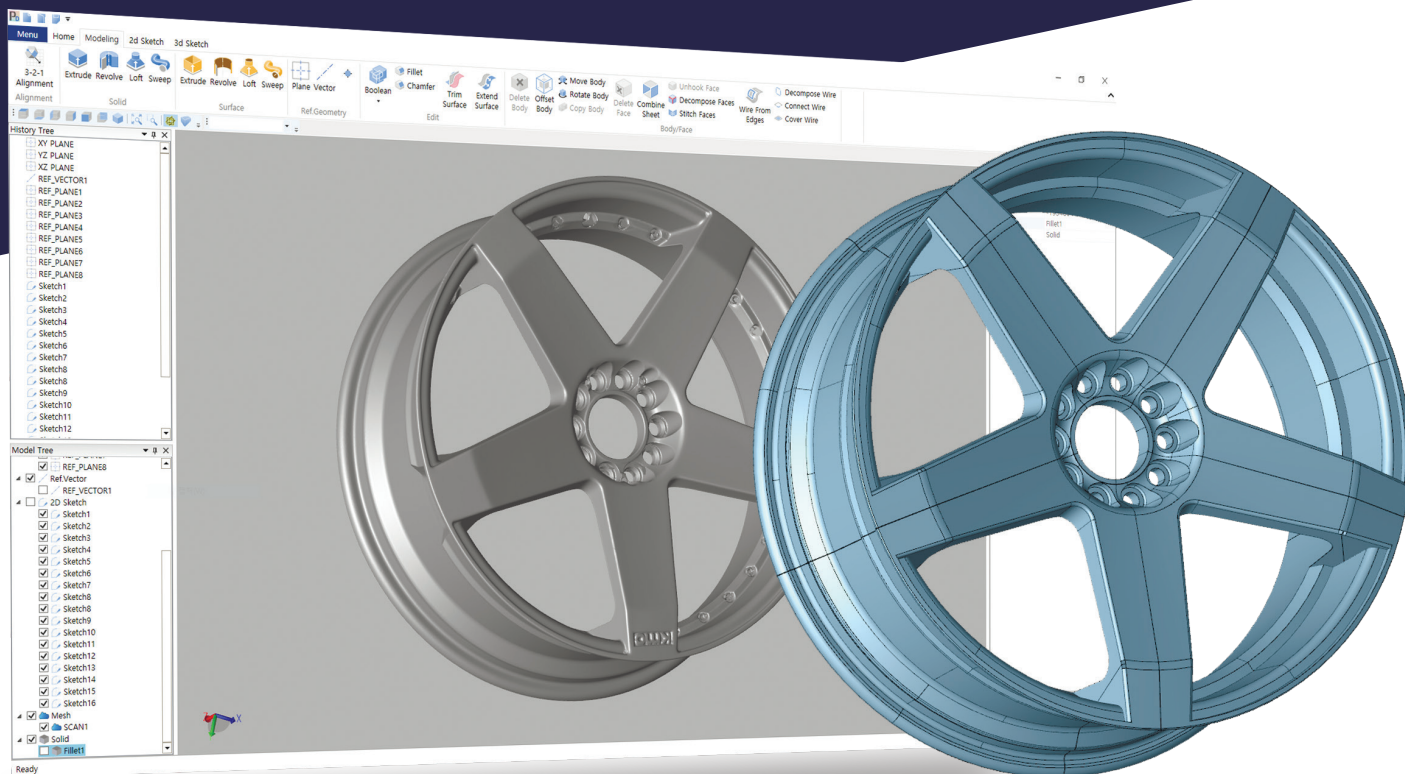
АДРЕС: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

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

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

PointShare™

Программное обеспечение для обратного проектирования и контроля геометрии



**Хотите стать дилером или получить бесплатную демолицензию на 14 дней? Обращайтесь!
Мы открыты к сотрудничеству!**

ООО «Инспект» — официальный дистрибьютор программного обеспечения PointShare на территории Российской Федерации.



Инспект

ООО «Инспект»

Москва, ул. Золотая, 11, офис 4Б13а

Тел.: +7 (925) 682-19-87

info@inspectus.ru

www.pointshape.online

www.inspect-tech.ru

Новый принтер с новыми кадрами



Денис Власов, основатель компаний «Эксклюзивные Решения» и ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА» поделился с редакцией журнала «Аддитивные технологии» итогами прошедшего года.

Прошедший 2023-й для двух наших компаний ООО «Эксклюзивные Решения» и ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА» стал годом перерождений и переосмыслений. Сейчас модно говорить о поиске и создании смыслов, но это о другом: думать о философии времени не было, так как этот год был для нас годом действий и напряженной работы; годом, который утвердил веру в одних людей и принес разочарования в других; годом, который оправдал наши экономические ожидания, базирующиеся на наших производственных философиях «золотых продуктов». Врывались в 2023-й мы полными надеж и планов, отмахнувшись от влияний ретроградного Меркурия и веря в то, что никакое взаимное расположение звезд не способно противостоять силе духа и технологической решимости.

Начну с позитивного, но не первостепенного итога — наши производственные аддитивные принципы «золотых продуктов» заработали в полную мощь и показывают стабильный рост в части серийного выпуска аддитивно переосмысленных изделий. Как итог — год печати 24×7 и расширение собственного парка систем аддитивного производства. Следствие такого опыта — обкатка вживую новых собственных 3D-принтеров. Такая практика позволяет лучше любых программ испытаний обкатывать и совершенствовать свои разработки.

Самое же яркое событие 2023-го для нас — это старт новой системы печати металлами RussianSLM Factory и последующий исключительный интерес к этой установке на рынке, который вылился уже в несколько поставок установки. Скажу без ложной скромности — система великолепна: Factory в ревизии 2023 года — это девятилетний опыт разработки 3D-принтеров сотрудниками наших компаний, помноженный на богатый набор

оптических компонентов премиум-класса и усиленный функциональным САМ ПО Triangulatica. Система сохранила свой компактный форм-фактор, при этом она занимает нишу среднеобъемных систем аддитивного производства. Установка получила новую двухступенчатую активную систему фильтрации защитного газа с функцией замены фильтров «чистые руки» и индикатором загрязненности фильтров. В установке использованы лучшие отечественные системы сканирования, лучшие отечественные абсолютные энкодеры, собственные контроллеры нового поколения и внутреннее ПО контроллеров, полностью водоохлаждаемая оптика, новейшие планетарные редукторы собственной разработки с многоточечным приводом рабочих столов и мощный лазерный источник с исключительным качеством пучка.



Гордимся тем, что разработку многих узлов нашей новой системы вели выпускники колледжей Санкт-Петербурга. Не зря два года назад мы стали активно дообучать выпускников на своей производственной базе — эти ребята теперь в нашей команде и еще покажут множество смелых и классных технических решений!

Наше ПО Triangulatica в этом году стало поставляться несколькими отечественными производителями систем аддитивного производства в качестве родного ПО с выпускаемыми ими 3D-принтерами. Triangulatica активно развивается, и профессионалы рынка видят в ней драйвер для усиления продаж собственных принтеров. Также мы нашли перспективных партнеров в Китае и странах Ближнего Востока, но это уже истории, которые станут известны уважаемой публике, когда мы будем подводить итоги 2024 года.

Мы благодарим всех партнеров, что были с нами в 2023-м и что остаются сейчас! Отдельные слова благодарности замечательному коллективу редакции журнала «Аддитивные технологии» за поддержку! Постараемся в ближайшие годы быть вашим самым преданным партнером. ■

Победители Formnext Start-up Challenge

В рамках девятого международного конкурса Start-up Challenge компания Formnext отметила пять многообещающих предприятий из мира аддитивного производства за их инновационные бизнес-идеи и технические разработки.

Новый подход к 3D-печати непрерывного углеродного волокна, предложенный берлинским стартапом Endless Industries, позволяет получать чрезвычайно прочные компоненты, которые используются в автомобилестроении, машиностроении и других отраслях. Endless Industries не намерена выпускать на рынок собственный 3D-принтер, а вместо этого концентрируется на разработанном ею материале, собственном программном обеспечении (ПО) и запатентованной насадке, обрабатывающей одновременно углеродные волокна и пластик.

Helio Additive, стартап, основанный в Китае в 2020 году и сейчас базирующийся в США, использует свое ПО для анализа слоев с целью улучшения 3D-печати пластмасс и композитных материалов. ПО Dragon обеспечивает термическое моделирование процесса аддитивного производства.

Во всем мире 15 миллионов человек не могут самостоятельно опорожнить кишечник и носят мешок для стомы. Он прикрепляется к основанию или пластине для защиты кожи, которая в свою очередь крепится вокруг искусственного отверстия. Испанский стартап Odapt представил первую силиконовую опорную

пластину, напечатанную на 3D-принтере, которую можно адаптировать к любой форме стомы и к любому имеющемуся в продаже мешку, что обещает повысить удобство использования приспособления.

По данным польского стартапа Progresja New Materials, в ЕС чрезвычайно низкий уровень переработки титана. Компания хочет изменить это как можно быстрее. Титановый лом будет собираться со всего ЕС и перерабатываться, в результате чего будет получен порошок, пригодный для аддитивного производства. В настоящее время компания находится на пороге запуска масштабного производства. Планируется создание сети центров на всей территории ЕС.

Американский стартап Vitro3D из Боулдера, штат Колорадо, разработал технологию объемного высокоскоростного аддитивного производства, позволяющую обрабатывать широкий спектр материалов, включая высоковязкие смолы, и сочетать различные свойства материалов в одной детали. Технология печати на основе картриджей также устраняет необходимость в опорных конструкциях. Первоначально стартап планирует реализовать разработку в стоматологии и электронике.



<https://formnext.mesago.com/>

rosmould & 3D-TECH
rosmould.ru

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

18–20 июня 2024
МВЦ «Крокус Экспо», Москва

3D-TECH
Специализированная экспозиция аддитивных технологий и 3D-печати

QR code

Промокод для получения бесплатного билета
RM24-WJ7HC

AA GEFERA MEDIA



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА

МИР
ЛАЗЕРОВ
И ОПТИКИ

26–29 марта 2024

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

Реклама



12+

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.photonics-expo.ru



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

65 ЭКСПОЦЕНТР

Автоматизация управления аддитивным производством

redfab.ru

Redfab — российский разработчик и производитель специального промышленного оборудования для 3D-печати, а также ваш партнер по контрактному производству изделий из термопластов.

Мы производим комплектующие и электронику для 3D-принтеров, разрабатываем отраслевые программные продукты, оказываем услуги импортозамещения, обучаем инженерные команды заказчика.

С 2019 по конец 2023 года команда Redfab выполнила 12 тысяч заказов на контрактное производство изделий из термопластов. Полученный опыт организации производства мы предлагаем как самостоятельный продукт в виде ПО с января 2024 года.

Прогноз на 2024 год по применению аддитивных технологий для производства дронов и станкостроения

В 2024 году ожидается старт нацпроекта по БАС с объемом мер поддержки > 1 трлн рублей до 2030 года. По заявлениям официальных лиц АСИ, НТИ и многих других, к 2030 году только дронов должно быть в воздухе около 1 млн единиц, преимущественно коммерческих (логистика, агротехника, геодезия и т. д.)

В 2024 году ожидается принятие бюджета проекта по мерам поддержки производителей и потребителей в станкостроении и робототехнике в объеме ~500 млрд рублей.

Из вышесказанного, если отбросить лирику, можно сделать несколько логических выводов, имеющих прямое отношение к развитию аддитивных технологий в нашей стране, а именно:

1. Большое количество инженерных команд будет участвовать в разработке дронов, их комплектующих и инфраструктуры, аналогично — в робототехнике и станкостроении.

2. Этими инженерными командами востребованы услуги прототипирования — для изготовления макетных и опытных экземпляров своих устройств. Если все эти команды будут создавать собственные производственные аддитивные центры, они усилят уже существующий кадровый голод в отрасли.

3. Часть из этих инженерных команд сосредоточится на импортозамещении иностранных устройств, станков,

дронов и их комплектующих — ими будут востребованы услуги сканирования и реверс-инжиниринга.

4. После преодоления этапа проектирования, когда инженерные команды выйдут на опытный образец, будут востребованы услуги технологов для оптимизации конструктива, повышения технологичности и снижения себестоимости производимой продукции.

5. Заключительный этап — масштабирование производства. Далеко не каждая инженерная команда сможет получить заказ, который позволит ей оправдать приобретение пресс-форм и выход сразу в крупную серию. Производства корпусов, элементов механизации, элементов рам и планеров, фюзеляжей, двигательных элементов, корпусов электроники и многого другое в условиях санкций потребует поиска отечественных решений, увеличит спрос на производство своих собственных комплектующих.

6. Центры аддитивного производства и сама технология 3D-печати может сыграть ключевую роль в решении данных задач, а именно — обеспечить плавное преодоление барьера масштабирования производства продукции. Современная 3D-печать успешно конкурирует с литьем на ТПА в сериях до 50 тысяч единиц изделий в месяц, в зависимости от технологии (в том числе по времени и итеративности процесса — не нужно морозить миллионы на срок в 17 недель).

7. Центры компетенций аддитивных технологий (как отдельные студии, так и технопарки, НПЦ, оказывающие услуги контрактного производства) снижают остроту кадрового голода в отрасли, предлагая молодым инженерным командам услуги высококвалифицированных технологов на всех этапах развития продукта.

8. Средства автоматизации аддитивного производства позволяют организовать серийный выпуск продукции в условиях кадрового голода за счет минимизации трудоемкости процессов.

MES Redfab как готовое решение для автоматизации аддитивного производства

Компания Redfab предлагает с 2024 года внедрение отраслевой системы управления производством MES Redfab (Manufacturing Execution System). MES Redfab — это комплексное решение автоматиза-

ции, зарегистрированное в Реестре отечественного ПО Минцифры за № 19099 от 18.09.2023.

Наша система применяется в случаях, когда клиенту необходимы:

- **Автоматизация:** организация процессов, учет, планирование, аналитика собственного аддитивного производства под ключ.

- **Масштабирование:** расширение мощностей, снижение затрат, повышение конкурентоспособности.

- **Производство:** крупносерийное и штучное изготовление продукции в срок, качественно с ОТК, минимизация накладных расходов.

- **Обучение:** повышение квалификации операторов, технологов, помощь в проведении собеседований.

Функциональные возможности MES Redfab

Будучи узкоспециализированной отраслевой системой, MES Redfab предназначена автоматизировать практически все процессы, характерные для аддитивного производства, включая, но не ограничиваясь:

- Автоматический достоверный расчет стоимости изделий по STEP/STL-модели (система считает не в попугаях, а сама строит управляющую программу, получает данные из справочников материалов, применяет их в расчете. Учитывается себестоимость материала, время работы станка, прогноз по энергопотреблению, амортизация, время работы сотрудников и многое другое).

- Автоматический достоверный расчет сроков производства (фактическое время печати прототипа берется за единицу времени, план производства конкретного проекта накладывается на реальную загрузку производства. Отклонение прогноза от факта зачастую не превышает часа на недельном промежутке).

- Управление рентабельностью производства (менеджеру больше не нужно уточнять у производства цену и сроки конкретного заказа. В настройках системы указываются тарифные сетки и ставки часа. Цену проекта считает система, визуализирует для менеджера полный расклад (доходы, расходы, прибыль, скидки) и контролирует, чтобы проект был рентабелен).

- Централизованная система производственных заказов для внешних и внутренних заказчиков (настройте интеграцию с CRM-системой или 1С, получайте данные по заказам в режиме онлайн. Для внутренних заказчиков есть возможность списания затрат в разрезе деталей с учетом ФОТ, возможна выгрузка отчетов в 1С).

- Интеграция с оборудованием заказчика (нет никаких проблем подключить любой 3D-принтер, работающий на прошивке klipper. Система полностью интегрирована с нашими автоматизированными комплексами поточной печати ПАК Redfab. Прорабатывается нативная интеграция с решениями Stereotech,

3Dlam, Volgobot. Picaso Designer X уже работает с нашей системой).

- Цифровой след каждого проекта (кто автор, кто ответственный, история проекта, история печати, статистика, история брака, постобработки, ОТК — информация собирается полностью автоматически, без необходимости ручного ввода данных).

- Цифровой паспорт проекта (параметры проекта, параметры заданий, приоритезация, материалы, копии, конструкторская документация, исходная модель, протестированный gcode. Это дает возможность повторить прошлые заказы, а также привязать производственный заказ к триггеру — например, если на складе взяли деталь, она тут же встала в очередь на производство).

- Сквозной процесс управления заказами по стадиям (новые, согласование клиентом, согласование производства, в ожидании оплаты, в производстве, ожидают выдачи, завершённые. При интеграции с CRM и 1С новые заказы автоматически отображаются в системе, а оплаченные сразу перемещаются в производство без необходимости в контроле менеджера. Менеджер работает в режиме одного окна, ему не нужно уточнять статусы заказов у производственного отдела).

- Сквозной процесс управления производством по стадиям (новые, на утверждении, в печати) и по отделам (отдел печати, постобработка, ОТК, склад готовой продукции). В случае, если деталь на этапах печати, обработки или ОТК будет забракована по любым причинам, как только нажимается кнопка «брак», автоматически добавляются копии в план производства с уведомлением ответственного за проект.

- Автоматическая диаграмма Ганта производственного плана (на основе данных текущих и запланированных проектов формируется диаграмма Ганта, визуализирующая производственный план в разрезе загрузки производства: филиалов, операционных групп, принтеров, отделов, сотрудников).

- Настройка ролей и прав учета-контроля доступа (разные пользователи системы видят и могут взаимодействовать только с разрешенной им частью информации в зависимости от роли. SUDO, администратор, начальник производства, оператор, менеджер продаж, техник постобработки, контролер ОТК, стажер. Информация по заказу ограничивается строго необходимой в зависимости от роли сотрудника в системе).

- Справочники и база знаний по технологии 3D-печати (в справочниках содержится информация по материалам с возможностью создания собственных материалов, опыт сотрудников Redfab и опыт специалистов заказчика в виде статей в формате wiki. База знаний доступна всем пользователям, справочники — в зависимости от роли пользователя в системе).

- Статистика и аналитика (система генерирует большой объем данных, в том числе с логированием

действий пользователей в системе: данные автоматизированного учета, производства, уведомления, инциденты, статистику печати, брака, расхода материалов. На основе этих данных клиентам доступны преднастроенные отчеты, которые позволяют отображать статистику в разрезе периодов, принтеров, филиалов, сотрудников, подразделений, материалов, доходов-расходов. Аналитические отчеты призваны дать конкретные рекомендации по улучшению процессов и снижению накладных расходов предприятия).

Формат поставки MES Redfab:

- ПО для развертывания на сервере в закрытой частной сети заказчика;
- годовая и бессрочная лицензии на ПО (MES), лицензия платформы (Maas);
- инструкция пользователя;
- возможно проектное внедрение под ключ.



Запросите КП или запишитесь на демонстрацию работы комплекса, написав нам на sales@redfab.ru

Отдел продаж:
+7 812 425 6232, sales@redfab.ru, <https://redfab.ru>

Особые условия поставки:

- при приобретении ПАК Redfab в любой комплектации ПО MES Redfab поставляется в формате бессрочной лицензии на внутреннем сервере ПАК.
- при приобретении от 2 единиц ПАК Redfab в любой комплектации ПО MES Redfab поставляется в формате бессрочной лицензии с установкой на сервер заказчика.

Предложения сотрудничества:

- Если MES Redfab Вас заинтересовал, мы готовы провести демонстрацию и дать демодоступ.
- Если вы производитель 3D-принтеров и хотите стать вендором продуктов Redfab, поставляя их вместе со своим оборудованием по партнерской программе, приглашаем к диалогу.

ПАК Redfab

- Redfab — это больше, шире и круче, чем просто промышленный 3D-принтер.
- Это отечественный полностью автоматизированный программно-аппаратный комплекс.
- Redfab — это не просто станок, из которого сами собой выпадают готовые детали. Это цифровое производство под ключ, готовая технология для тех, кто планирует производить десятки тысяч изделий в месяц.
- Redfab сам получит заказ из CRM, посчитает рентабельность проекта, спланирует производство, снимет готовую деталь, загрузит и поменяет материал, выгрузит отчет в 1С и даст рекомендации, как оптимизировать процесс.
- Redfab производит детали из пластмасс и композитов, которыми можно гнуть сталь.
- Создавайте цифровые паспорта и запускайте производство изделий автоматически в момент, когда деталь взяли со склада.
- Мы производим Redfab в Санкт-Петербурге — аддитивной столице России. Мы разработали и сами производим корпуса, элементы механики, производим печатные платы, разработали собственную систему управления аддитивным производством.
- Если вы тот, кто обеспечивает технологический суверенитет России, если перед вами стоят задачи по выпуску новой высокотехнологичной продукции, беспилотных и роботизированных комплексов, — наш Redfab поможет вам линейно масштабировать производство и быстрее выйти на окупаемость. ■

Приглашаем Вас в будущее!

Проблемы развития отечественных аддитивных технологий — Per aspera ad astra!



Павел Владимирович Ладнов,
ladnov@am.tech

В материале приведен авторский анализ основных проблем развития отечественных аддитивных технологий, представлены возможные варианты решений. Освещена информация о работе российской команды высококлассных инженеров над проектом разработки отечественного промышленного оборудования для послойного лазерного синтеза металлических порошковых материалов.

Немного из истории развития аддитивных технологий

Кажется, что термин «аддитивные технологии», возникший в текущем столетии, указывает на явления и процессы научно-технического прогресса лишь настоящего и будущего времени. Однако это не совсем верно. Взяв за основу концепцию общественного развития, описывающую развитие по спирали, можно легко убедиться в том, что большинство современных реализованных идей, процессов, явлений когда-то имели в своей основе принципы, открытия, законы, сформированные на более низком витке спирали. Сохранив определенные черты и поэтапно развивая идеи из прошлого, мы явно прослеживаем эту связь на новом, современном, более высоком этапе развития общества, когда ранее освоенные технологии наполняются новыми смыслами и возможностями. Аддитивные технологии не являются исключением из такой концепции.

Довольно много людей знает о патенте от 1986 года, полученном Чаком Халлом на стереолитографический принтер [1], и не так много людей могут сказать о том,

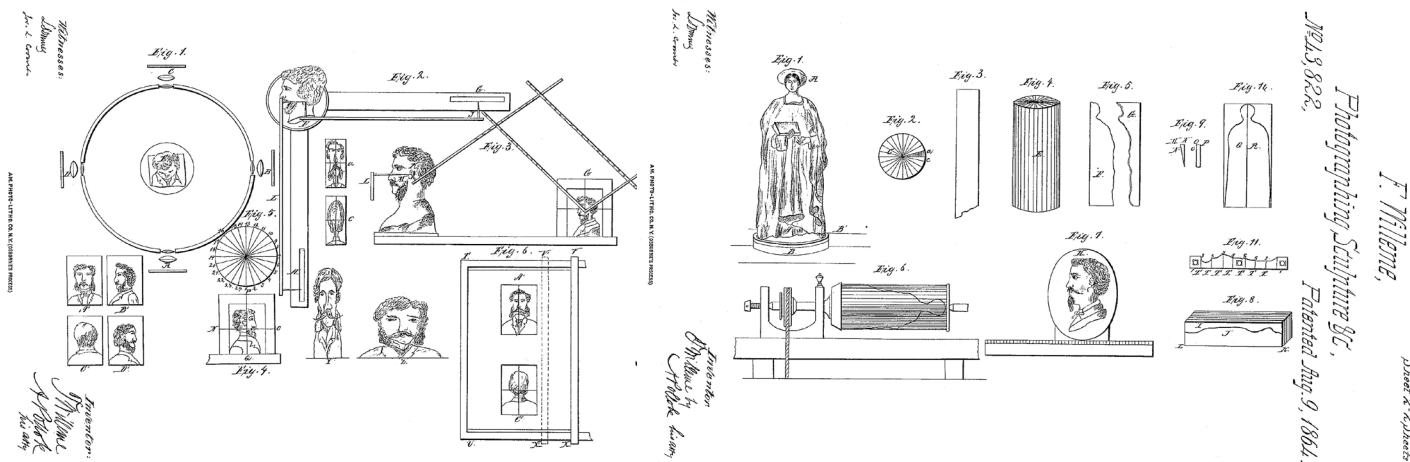
что до патента Халла рабочий прототип был описан Хидео Кадама еще в 1981 году [2]. Немногие вспомнят о том, что первый патент на устройство для селективного лазерного послойного спекания полимерных материалов, построенного на принципе тепловой маски, был предложен в 1979 году Россом Хаузхолдером [3].

Однако куда более интересным является факт того, что первые «аддитивные», в классическом на сегодняшний день понимании, технологии получения физических объектов зародились еще во второй половине XIX века!

Одним из родоначальников процесса получения физических объектов с использованием принципов послойного представления объекта является Франсуаз Виллем, который разработал первый в мире процесс создания объемных фотоскульптур, адаптировав недавно открытый процесс фотографии [4]. Процесс, предложенный Виллемом был интересен прежде всего тем, что являлся комбинацией аддитивного процесса и процесса аналогового трехмерного сканирования.

Идея Виллема заключалась в конвертации плоских фотографических изображений людей в трехмерное

Рис. 1. Иллюстрации из патента Ф. Виллема. Источник: <https://patents.google.com/>



представление (рис. 1). Он использовал 24 камеры, расположенные по кругу снимаемого объекта, и экспонировал одновременно на 24 фотографические пластины. После чего силуэты объекта вырезались из пластин и натурально соединялись между собой вокруг центральной оси. Полученная сегментная модель с внешним контуром объекта в дальнейшем использовалась в качестве лекальной модели для изготовления копии объекта из дерева путем механической передачи движения инструмента.

Кроме того, в 1890 году был подан патент на создание объемных рельефных топографических карт [5]. Процесс был основан на послойном соединении восковых контурных пластин между собой с последующей обработкой для снижения шероховатости внешнего контура трехмерного объекта.

Несмотря на то, что идеи аддитивных технологических процессов были предложены еще в XIX веке, ввиду неразвитости производительных сил промышленное применение таких процессов было невозможно по причине серьезных ограничений аналоговых способов производства.

Новый виток спирали развития науки и техники, связанный с использованием систем с числовым программным управлением, внедрением цифровых технологий, изобретением источников лазерного излучения, позволил заново пересмотреть идеи 150-летней давности и прийти к современному пониманию аддитивных технологических процессов, неотъемлемой частью которых является использование электронной модели получаемого объекта. Основные патенты на коммерчески используемые технологии были получены в течение последней четверти XX века, но активное внедрение таких технологий в промышленности начинается только с конца первой декады XXI века.

Основные группы аддитивных технологий

Согласно определению, данному в ГОСТ Р 57558-2017, аддитивные технологии (далее – АТ) – это процесс изготовления деталей, который основан на соз-

дании физического объекта по электронной геометрической модели путем послойного добавления материала. Ключевыми словами в данном определении являются «электронная геометрическая модель» и «послойное добавление материала». Таким образом, при определении отнесения процесса к АТ делается акцент именно на получении физического объекта с помощью цифровых, а не аналоговых технологий. Многообразие доступных АТ структурировано в несколько характерных групп, различающихся между собой базовыми технологическими принципами получения физического объекта. Перечень групп по ГОСТ Р 57558-2017 приведен в таблице 1.

Наиболее распространенными технологиями для работы с металлическими материалами при промышленном применении в инженерных системах являются технологии из групп «синтез на подложке» и «прямой подвод энергии и материала» (рис. 2), причем наиболее высокую степень индустриализации демонстрирует технология послойного лазерного синтеза на подложке (англ. – L-PBF, рус. – СЛС).

Например, по данным маркетингового исследования от компании AMPOWER, именно технологи СЛС занимает лидирующие позиции в индексе распространенности в промышленности среди других металлических АТ. Связано это с рядом объективных причин, таких как наибольшая изученность технологии, нарабатанная статистика и практика применения, очевидные преимущества при получении изделий сложной пространственной конфигурации, относительно неплохая доступность технологического оборудования и материалов.

Взяв за основу технологию СЛС как наиболее изученную и активно применяемую в производстве по всему миру, будет показательно осветить проблемы, возникающие в процессе внедрения данного технологического процесса на производствах в Российской Федерации, а также при разработке отечественного станочного промышленного оборудования для СЛС. В том числе интересно это по следующим причинам:

Таблица 1. Группы аддитивных технологий в соответствии с ГОСТ Р 57558– 2017

Вид технологии	Вид полуфабриката	Материал
Синтез на подложке (Powder bed fusion)	Порошок	Металлы, пластики
Прямой подвод энергии и материала (Direct energy deposition)	Порошок, проволока	Металлы
Экструзия материала (Material extrusion)	Проволока (филамент)	Пластики
Струйное нанесение материала (Material jetting)	Жидкость (смола)	Фотополимер, воск
Струйное нанесение связующего (Binder jetting)	Порошок, жидкость (смола)	Металлы, пластики, гипс, песок
Фотополимеризация в ванне (VAT photopolymerization)	Жидкость (смола)	Фотополимер
Листовая ламинация (Sheet lamination)	Лист (фольга)	Металлы, пластики

- Десятилетнее декларирование разработки и выпуска в производство линейки серийного отечественного оборудования, работающего по технологии СЛС.

- Взрывной рост количества отечественных компаний–производителей оборудования для технологии СЛС за последние 5–7 лет.

- Отсутствии на конец 2023 года групп отечественного оборудования серийного класса, установленного на серьезных промышленных площадках и применяемого для получения заготовок (деталей) согласно утвержденной документации.

- Сохранении высокого спроса на отечественное оборудование у основных потенциальных клиентов из различных отраслей промышленности, в том числе по причине ухода с российского рынка ряда крупных иностранных производителей оборудования.

Региональные особенности развития рынков

Российский рынок аддитивных технологий занимает крайне слабое положение по сравнению с другими развитыми и развивающимися странами. Так, если обратиться к статистике, собираемой для ежегодного отчета Wohlers, то доля Российской Федерации по такому показателю, как установленное годовое количество оборудования для аддитивных технологий, не превышает 1,5% от общемирового количества уже более 10 лет стабильно. Лидерами в 2023 году по количеству установленного оборудования остаются Северная Америка (СА) и Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР).

Безусловно, пандемия COVID-19 и наложение беспрецедентных санкций со стороны стран коллективного Запада критически повлияло на доступность технологического оборудования на российском рынке, однако и до этих событий наша доля в общем объеме рынка АТ была крайне низкой.

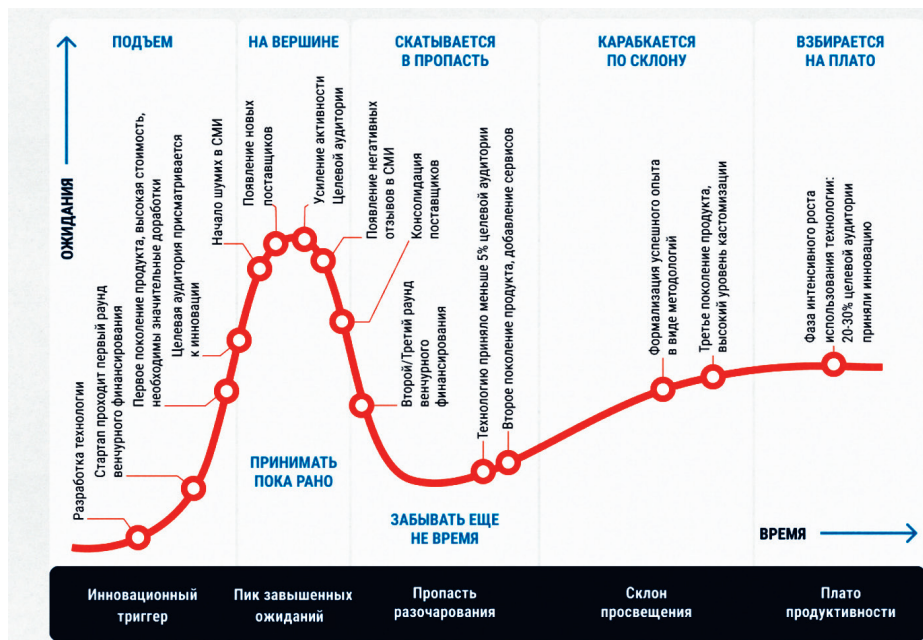
Для того чтобы понять проблемы, являющиеся причинами слабого развития АТ в России, следует для на-

Рис. 2. Индекс распространенности аддитивных технологий в промышленности. Источник: <https://additive-manufacturing-report.com/>



Рис. 3. Кривая Гартнера.

Источник: <https://blog.bitobe.ru/article/krivaya-gartnera/> © Блог ВITОВЕ



чала обратиться к особенностям становления отрасли как в странах коллективного Запада, так и стран АТР.

Развитие АТ, как и любой другой технологии, происходит поэтапно. Появившись и достигнув определенной зрелости, выдержав проверку временем, технология становится общеупотребительной, к ней привыкают. Лучшее всего данный процесс описывается кривой Гартнера (рис. 3) или графическим отображением цикла зрелости технологий, представляющего собой поэтапный процесс, через который проходит любая инновационная бизнес-модель или технология от стадии хайпа до про-

дуктивного использования. Будем использовать данную кривую для визуального представления положения точек начала развития АТ на примере технологии СЛС.

Основные компании-разработчики, представители западных стран, выпустили первые коммерческие образцы оборудования для процесса СЛС в начале 2000-х годов и фактически являлись родоначальниками развившегося впоследствии направления коммерческих металлических L-PBF-технологий. Они начинали на фазе подъема, выходя на рынок с абсолютно новой технологией, развивая интерес к новым производственным возможностям у потенциальных пользователей. У таких компаний-«прародителей» было время отработать свой MVP (от англ. Minimum Viable Product — минимально жизнеспособный продукт). Таким образом, уже проверенные решения вышли на рынок серийного оборудования аккурат к стадии вершины. Дальше оставалось лишь системно, последовательно развивать возможности технологии и привлекать к ней все новых и новых клиентов, опираясь на задел, созданный на фазах подъема и вершины. К текущему моменту можно выделить основные особенности рынка аддитивного оборудования для СЛС в странах коллективного Запада:

- Пройден основной длительный цикл разработки оборудования с нуля на этапе формирования спроса на технологию. Отработаны MVP-решения.
- Огромное портфолио клиентов.
- Высокая конкуренция между компаниями на мировом рынке (США, Европа, Япония, Юго-Восточная Азия).
- Политика постоянного улучшения качества продукции и внедрения новых технологических возможностей. Ориентация на сложные комплексные системы, доведенные до высокого технического уровня реализации.
- Часто наблюдаются договорные отношения между производителями по взаимному использованию патентов, технологий и работе с клиентами.

В странах АТР и прежде всего КНР первые коммерческие образцы оборудования СЛС приемлемого качества начинают появляться в начале 2010-х годов. Начало развития АТ и разработка оборудования в данном регионе пришлось на период вершины кривой Гартнера, выход серийного продукта с отработанными MVP-решениями произошел на плавном переходе к «пропасти». Основные черты существующего на данный момент рынка оборудования для СЛС из КНР:

- Более поздний старт развития направления производства оборудования по сравнению с западными странами.
- Государственная политика по копированию лучших образцов западного оборудования и комплектующих, позволяющая сократить сроки разработки и внедрения оборудования.

- Огромная потребность в оборудовании на внутреннем рынке в начале развития компаний-производителей оборудования.

- Стратегия на производство оборудования среднего технического уровня, но большой серийности.

- Выход на международный рынок с экономической и технической базой, накопленной на внутреннем рынке.

Активные публикации с информацией о начале разработок отечественного оборудования для СЛС появляются в прессе в период 2013–2014 годов. Несмотря на уже практически сформировавшиеся к тому времени мировые стандарты качества оборудования, получить к 2023 году компанию-производителя отечественного промышленного серийного оборудования для СЛС-процесса так и не получилось.

Отчасти такая ситуация связана с активным присутствием европейских производителей на российском рынке до периода 2020–2022 годов. Пионеры отрасли в РФ нарабатывали свой опыт использования технологии на качественном, отработанном оборудовании с сервисной поддержкой и высокой степенью клиентоориентированности. На этом фоне предложения от появляющихся российских разработчиков казались лабораторными поделками, а не серьезным законченным коммерческим продуктом. Конечно, можно считать, что это был нормальный ход процесса в период развития и «распробования» технологии, возбуждения аппетита к ней.

В интервале 2020–2023 годов в связи с уходом западных компаний, непонятной ситуацией с оборудованием из дружественных стран еще более остро встал вопрос об использовании отечественного оборудования как минимум на производствах специального назначения. Активные пользователи аддитивного оборудования для промышленного серьезного применения столкнулись в данный период с определенными трудностями: европейское оборудование, закупленное в 2000–2020 годах, морально и физически устаревает, отсутствует сервисное обслуживание и невозможно или слишком дорого закупать запасные части; оборудование из дружественных стран, как правило, не имеет качественного сервиса и является оборудованием с более низким по сравнению с европейским техническим уровнем реализации, к которому не привыкли пользователи. Кроме того, показательный быстрый уход иностранных производителей с российского рынка создает дополнительные обоснованные опасения по внедрению в производственные цепочки другого иностранного оборудования, пусть и из дружественных стран.

Однако быстрой замены иностранного оборудования на отечественные аналоги до сих пор не произошло. Так, к 2023 году ситуацию с рынком отечественного оборудования для СЛС в России можно охарактеризовать следующими положениями:

Рис. 4. Схема основных составляющих получения качественной заготовки методом СЛС



Таблица 2. Концептуальные группы задач

Группа	Представитель
Методология применения	Эксплуатант (пользователь технологии)
Администрирование процессов внедрения	Государство
Техническая реализация	Разработчик оборудования и технологии

- Более поздний старт развития направления по производству оборудования по сравнению с азиатскими и европейскими странами.
- Сформированные на мировом рынке стандарты качества для оборудования высокого технического уровня.
- Ориентация производителей оборудования на быстрый финансовый результат. Большое количество производителей опытных установок.
- Отсутствие достаточного количества профессионалов, разбирающихся в особенностях конструкции оборудования, специального программного обеспечения и технологического процесса.
- Ограниченный доступ к узлам и компонентам разрабатываемого станочного оборудования.
- Ограниченный рынок сбыта продукции.

Основные группы проблем, тормозящих развитие отечественных аддитивных технологий

К сожалению или к счастью, пройдя этап «распробования» технологии и накопив определенные требования к оборудованию, материалам и самому процессу получения изделий методами АТ, российский клиент уже не удовлетворяется просто поставкой оборудования, пусть и отечественного, и требует от разработчиков и людей,

Рис. 5. Иллюстрация замкнутого цикла проблем развития отечественного аддитивного производства



занимающихся развитием отрасли, конечные решения, ждет информации о технологии, материалах, методиках проектирования изделий, развития нормативной документации. И это правильно, так как, переходя от процесса эксплуатации единичных установок в рамках НИОКР к процессу встраивания оборудования в промышленные производственные цепочки, необходимо куда больший объем работы, чем просто получить одну заготовку сложной формы и рапортовать об активном внедрении новых технологий на предприятии.

Для того чтобы спроектировать и получить качественную деталь, пользователь должен быть уверен в качестве материалов, оборудования, параметров процесса синтеза и обработки, а конструктор должен четко понимать возможности и ограничения технологического процесса и лишь только после это приступать к проектированию новых изделий для серийного изготовления по какой-либо аддитивной технологии (рис. 4).

Обобщая круг проблем, связанных с отсутствием качественного отечественного оборудования и внедрением АТ в серийные промышленные производства, схематично можно представить бесконечно повторяющийся цикл, некий уроборос, поедающий сам себя (рис. 5).

Разорвать данный цикл могут только определенные волевые решения на уровне федеральных властей.

Рис. 6. Взаимодействие групп задач при реализации внедрения новой технологии



Ряд экспертов видит основную причину неутешительного положения российской аддитивной отрасли в недостатке системного подхода. Пожалуй, с таким утверждением можно согласиться, но для выработки последовательных решений проблем с развитием АТ, в частности развитием отрасли производства оборудования для процесса СЛС, прежде всего необходимо выделить основные группы или классы задач, в которых появляются проблемы, и проиллюстрировать взаимодействие таких групп.

Условно можно выделить три больших группы (уровня) задач, представленных в таблице 2, в рамках которых осуществляется развитие и практическое внедрение той или иной новой технологии.

При взаимодействии групп рождаются определенные формализованные и неформализованные отношения между типичными представителями. Применительно к ситуации с оборудованием для процесса СЛС такое взаимодействие можно проиллюстрировать схемой, изображенной на рис. 6.

На методологическом уровне основной проблемой является отсутствие в РФ четкой методологии проектирования технологичных конструкций деталей для того, чтобы учить конструкторов и технологов разработке деталей под аддитивные процессы. Отсутствует в широком доступе профильная справочная литература. Подчас полное отсутствие у многих представителей промышленности понимания области применения той или иной аддитивной технологии и методик расчета экономической эффективности. Хотя к настоящему моменту в литературе описано по меньшей мере шесть моделей формирования стоимости аддитивного производства. Отсутствие у заказчиков четких требований к параметрам станка, наподобие требований к металлообрабатывающим станкам, по причине непонимания критических факторов влияния на процесс.

На уровне технической реализации имеющиеся затруднения связаны:

- С недостатком понимания нюансов сложности учета параметров процесса, пониманием того, что технологический процесс изготовления изделий методами послойного лазерного синтеза металлических материалов связан с определенной трудностью — синтез структуры материала, а значит, и всех его основных свойств происходит непосредственно во время процесса получения фасонной заготовки, порождая достаточно большое количество возможных вариаций структур и их дефектов. Это роднит процессы аддитивного производства с такими процессами, как литье и сварка, и если литьем, например, человечество занимается уже на протяжении тысячи лет, то АТ как технологии прямого получения заготовок из металла активно внедряются в промышленность не более 15–20 лет.

- С отсутствием в стране четкой системы аттестации оборудования, материалов, специалистов и техно-

логии, сродни, например, аттестации в сварочном производстве.

- С отсутствием достаточно большого количества опытных и компетентных кадров, не только имеющих опыт работы на станках подобного рода, но и разбирающихся в нюансах технологии и конструктивных особенностях оборудования. На данный момент очень распространена ситуация, когда команды, решающие поставленные государством задачи по освоению технологии изготовления оборудования, не знали и до сих пор не знают многих нюансов технологии послойного синтеза для получения качественной заготовки.

- С проблемами отсутствия в стране компонентов, и не только критичных, применяемых в конструкции станков для аддитивного производства.

- С фокусированием компаний на изготовлении одного опытного образца и изготовлении изделий под заказ — тем самым постоянно вносятся критические изменения, что делает невозможным проведение аттестации технологии.

На административном уровне проблемы связаны с недоработками в администрировании мер государственной поддержки развития технологических направлений:

- Недостаточный уровень технических компетенций у экспертов, определяющих приоритетные направления и компании для поддержки. Невозможность объективно оценить уровень проработки решений.

- Отсутствие четкой системы классификации станочного оборудования в области АТ. Потенциальному заказчику непонятно, с какими параметрами он покупает станок и подойдет ли он для его задач, а компаниям-разработчикам и экспертам непонятно, какой сегмент рынка может закрыть продукция и как администрировать бизнес, исходя из сегмента приложения. Для оценки, к примеру, можно переложить ГОСТы, связанные с указанием классов точности отливок и классов точности металлорежущих станков.

- Неоправданно высокий уровень конкуренции компаний за получение государственных субсидий, при этом все заканчивается на этапе опытного образца.

Получают средства порой коллективы, которые не имели опыта работы с оборудованием и проектируют изделия по наитию, а закрытие ключевых показателей происходит сугубо по отчетам без детального анализа пригодности, работоспособности и практической значимости решений. Складывается парадоксальная ситуация: производителей АТ-оборудования формально в России много, но ни одной установки на серьезном заводе не стоит. Все оборудование носит характер единичного и опытного с постоянно меняющимися параметрами качества получаемой заготовки.

- Несостоятельность института организации совместных предприятий с иностранными партнерами в станкостроительной отрасли. Ожидаемой локализа-

ции с трансфером технологий не произошло. Основные узлы приходили на завод уже собранными. Осуществлялась только крупноузловая сборка, однако в ряде случаев статус российской продукции был получен.

Критикуешь — предлагай!

Для решения описанных выше проблем могут быть предложены следующие примеры вариантов решений в зависимости от той или иной группы проблем.

Необходимо сформировать руководящие документы по методологии проектирования технологических конструкций деталей для аддитивных технологических процессов.

На данный момент, в соответствии с информацией, размещенной на сайте Росстандарта, утвержден ряд стандартов в области аддитивных технологий, в том числе стандарты ГОСТ Р 59037-2020 «Аддитивные технологии. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы» (8 листов), ГОСТ Р 59930-2021 «Аддитивные технологии. Процесс синтеза изделий из металлических порошков на подложке для критических применений. Общие положения» (16 листов). Если сравнить данные стандарты, например, с ГОСТ Р 53464-2009 (48 листов) как стандарт на родственной СЛС процесс получения фасонных заготовок, то данные ГОСТ Р 59037-2020 и ГОСТ Р 59930-2021 никак не помогают на практике конструкторам и технологам с проектированием деталей под аддитивные технологические процессы.

Необходимо привлекать ведущих отечественных практикующих специалистов к составлению обучающих материалов и поддерживать на государственном уровне выпуск соответствующей учебной литературы, научных работ в области новых методологий проектирования.

На текущий момент конечный пользователь до конца не понимает, подходит ли то или иное оборудование его производственным задачам, поэтому

необходимо разработать стандарт оценки и систему классификации оборудования для аддитивных технологических процессов. Выделить классы оборудования и определить методику проверки соответствия оборудования тому или иному классу.

В Росстандарте есть утвержденный ГОСТ Р 59184-2020 «Аддитивные технологии. Оборудование для селективного лазерного сплавления. Общие требования». В данном ГОСТе приведен ряд контролируемых параметров оборудования, в том числе и точностных, однако стандарт не определяет требований к периодичности проверки соответствия характеристик при работе,

а также не дает классификации оборудования по степени точности, качеству изготовления и т.д. В утвержденных стандартах ГОСТ Р 57588-2021 «Аддитивные технологии. Оборудование для аддитивных технологических процессов. Общие требования» и ГОСТ Р 59586-2021 «Аддитивные технологии. Образцы для испытаний. Оценка геометрических способностей систем аддитивного производства» классификация аддитивного станочного оборудования по качественным и количественным показателям тоже отсутствует. Такое положение создает условия, когда пользователь при выборе российского оборудования не может адекватно оценить область практического приложения станка, адекватность стоимости оборудования и, следовательно, сформировать планы по внедрению оборудования на свое производство. Поэтому следующим шагом после разработки общероссийской классификации станков для аддитивных технологических процессов может быть введение обязательной классификации всего ввозимого импортного оборудования для процессов АТ с выдачей сертификата.

С целью выстраивания последовательной системной работы над внедрением аддитивных технологий на промышленные предприятия

необходимо организовать единый ответственный за аттестацию оборудования, технологии, материалов и специалистов орган.

В качестве рабочего примера можно использовать опыт создания национального агентства контроля сварки (НАКС). Заключение такой организации будет достаточно для подтверждения качества технологического процесса. При проектировании изделий разработчик, прописывая в технических требованиях аддитивный способ изготовления с контролем аттестации авторизованным органом, будет иметь возможность разделить ответственность в принятии решения о применении аддитивной технологии. Такая система позволит качественно расширить уровень применения АТ и позволит разработчикам быть смелее.

Ввиду крайне ограниченного рынка сбыта отечественного аддитивного оборудования одним из работающих вариантов поддержания интереса производителей и разработчиков оборудования могут быть:

Внедрение института государственного планирования – гарантированного заказа на изделия, полученные методом АТ, комплектующие и аддитивное оборудование различного класса.

Разработанная шкала налоговых льгот, в том числе ограниченная по времени отмена или частичное снижение НДС на продукцию, получаемую с помощью аддитивных технологий. Степень льгот можно варьировать в зависимости от технологии, ответственности деталей и объемов выпуска продукции.

Субсидирование установки промышленного аддитивного оборудования в учебные заведения среднего и высшего профессионального образования с целью практического освоения технологии студентами, не столько в качестве инструмента академических исследований, а для прикладного применения.

Малый объем рынка сбыта аддитивного оборудования делает экономически непривлекательным для бизнеса инвестирование в отрасль, где требуются большие вложения, срок окупаемости велик, а маржа достаточно мала по сравнению с сырьевыми секторами, стройматериалами и т.п. Получается, что если и есть где-то производство оборудования, то оно малотиражное, почти единичное или индивидуальное, а следовательно, стоимость оборудования достаточно высокая.

Нужно смотреть правде в глаза. В ближайшем обозримом будущем российское аддитивное оборудование вряд ли будет качественней европейского и дешевле китайского оборудования. Ориентация частных компаний на получение прибыли не позволит им осознанно сделать выбор на внедрение отечественного оборудования при доступности дешевых аналогов из КНР. Поэтому основным рынком для отечественного аддитивного оборудования, пусть и весьма ограниченного объема, в ближайшие годы будет только рынок стратегических отраслей промышленности государственных корпораций и оборонных предприятий там, где стоимость оборудования не так важна по сравнению с доступностью сервисного обслуживания и стабильностью работы, а стоимость конечного изделия жертвуется в угоду улучшения функциональности, скорости разработки и изготовления. Однако даже в такой парадигме ни одно серьезное предприятие не будет вкладываться в отечественное оборудование без подтверждения соответствия предъявляемым техническим требованиям по стабильности и качеству работы, пусть не на уровне лучших европейских аналогов, но на уровне лучших производителей из КНР.

AM.TECH — инструменты производства для людей нового времени

Для решения сложной ситуации, сложившейся в отечественном станкостроении, в том числе и аддитивном, в Российской Федерации был утвержден ряд профильных программ по развитию отрасли и технологического суверенитета.

Например, распоряжением правительства от 14 июля 2021 г. № 1913-р была утверждена стратегия развития аддитивных технологий, был сформирован федеральный проект «Развитие производства средств производства». Одной из наиболее действенных мер, поддерживающих в том числе частные компании–разработчики

сложного технологического оборудования, является субсидирование работ НИОКР в рамках постановления правительства от 12 декабря 2019 года № 1649.

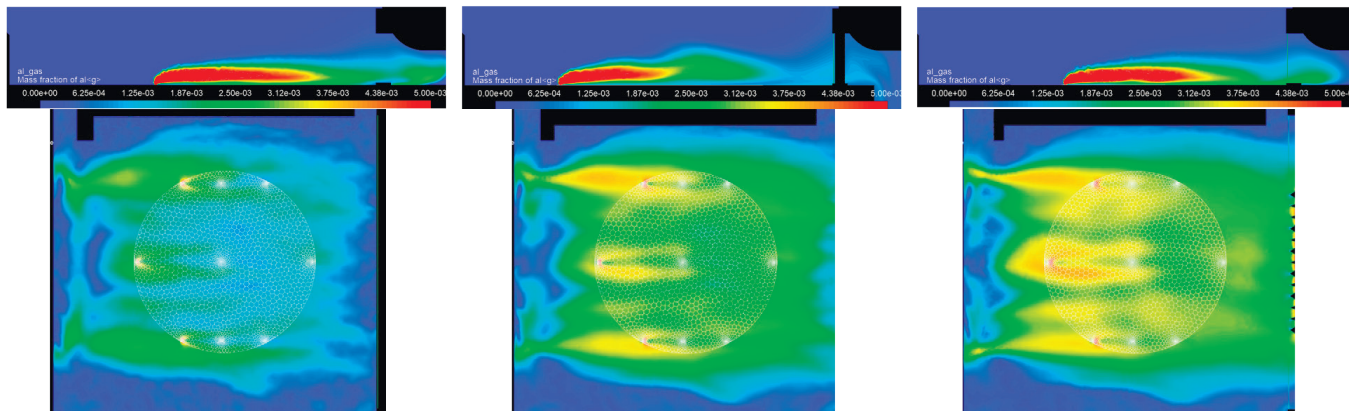
В конце 2022 компания ООО «НПО ЗД Интеграция» получила субсидию на развитие инновационного проекта в области разработки и производства промышленного аддитивного оборудования.

На текущий момент компания ООО «НПО ЗД Интеграция» под торговой маркой AM.TECH осуществляет активную разработку собственных одно- и многолучевых аддитивных комплексов для послойного лазерного синтеза из порошковых материалов. Так, за период с февраля по декабрь 2023 года удалось не только разработать с нуля и изготовить опытные образцы малогабаритного аддитивного комплекса АМТ-16, но и привлечь в штат компании два десятка высококлассных инженеров. Сотрудники компании имеют обширный опыт работы в иностранных компаниях–разработчиках аддитивного и иного специального оборудования, ряд сотрудников имеет профильные дипломы по аддитивным технологиям от ведущих европейских вузов. Каждый из специалистов конструкторской группы обладает внушительным портфолио ранее выполненных проектов из области специального технологического оборудования и робототехники. Технологический отдел компании осуществляет поэтапное внедрение отечественной системы планирования, подготовки и управления производством с полностью отслеживаемыми маршрутами изготовления каждой детали и сборочного узла.

Ориентируясь на сегмент промышленного оборудования, компания прекрасно понимает важность последовательного подхода к разработке и постановке на производство высокотехнологичной продукции. Все работы по созданию нового продукта в компании ведутся в соответствии с методиками, описанными в ГОСТ. Помимо разработки РКД для изготовления аддитивных комплексов AM.TECH осуществляет разработку собственного специального программного обеспечения, систем контроля качества процесса СЛС в реальном времени.

Одними из основных составляющих обеспечения качества процесса послойного лазерного синтеза металлических материалов являются грамотно спроектированные оптическая и газовая системы станка. При проектировании своих аддитивных комплексов AM.TECH уделяет пристальное внимание моделированию процессов, происходящих в газовой системе оборудования. Моделирование процессов осуществляется с перекрестной проверкой результатов расчетов, получаемых штатными специалистами компании, с результатами специалистов из сторонних организаций, специализирующихся на проведении газодинамических расчетов (рис. 7).

Рис. 7. Пример варианта моделирования процесса движения защитного газа в рабочей камере комплекса АМТ-16



Теоретические расчеты впоследствии проходят процедуру верификации при проведении натурных испытаний на собственной площадке опытного производства. Таким образом АМ.ТЕСН стремится обеспечить наилучшие показатели среди отечественного и ряда зарубежного оборудования по сохранению изотропии процесса синтеза на всей площади построения внутри рабочей камеры.

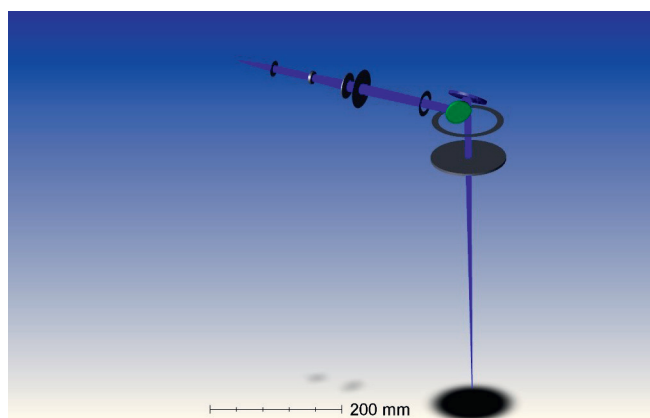
При проектировании оптической системы для своего оборудования АМ.ТЕСН не согласна довольствоваться малым, доступным на российском рынке оборудованием с ограниченным функционалом. Для реализации всех поставленных разработчикам задач было принято решение поэтапно разрабатывать собственную трехосевую систему сканирования, удовлетворяющую предъявляемым к оборудованию требованиям. Привлекая к работе профильных специалистов-оптиков и грамотно ставя им задачу, были полностью спроектированы оптические тракты, получены данные о характеристиках линз, оптомеханических узлов.

Помимо этого была разработана собственная методика калибровки и внесения поправок в фокусирующую оптику комплексов.

Рис. 9. Аддитивный комплекс АМТ-16 на выставке «Лидер-форум-2023» представлен раису Республики Татарстан Р. Н. Минниханову, г. Казань



Рис. 8. Один из промежуточных вариантов компоновки системы сканирования с предварительной фокусировкой



Свой первый аддитивный комплекс АМТ-16 компания АМ.ТЕСН успешно представила на таких выставках, как «Технофорум-2023», г. Москва, и «Лидер-форум-2023», г. Казань (рис. 9, 10).

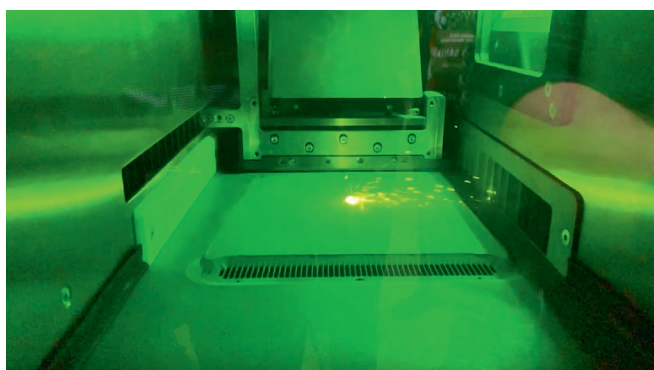
Предлагая большую рабочую область и более мощный лазер, чем другие установки аналогичного размера, комплекс АМТ-16 представляет собой гибкую производственную систему, отвечающую конкретным



Таблица 3. Основные технические характеристики аддитивного комплекса АМТ-16*

Полный габаритный размер (Д x Ш x В)	1311×864×2100 мм
Типоразмер рабочей области	Цилиндр
Размер рабочей области (Ø x В)	Ø160×250 мм
Количество источников лазерного излучения	1
Длина волны источника лазерного излучения	1080±10 нм
Номинальная оптическая мощность источника лазерного излучения	500,00 Вт
Номинальный диаметр пятна лазерного луча (в фокальной плоскости)	60...80 мкм
Электропитание, напряжение	1Ph+N+PE, 220 (опционально 3Ph+N+PE, 380)
Электропитание основного рабочего модуля, ток защитного автомата	25 А
Электропитание, ток защитного автомата подключения чиллера	20 А
Номинальная электрическая мощность комплекса	6,0 кВт
Требование к сжатому воздуху, давление	7 Бар
Требование к сжатому воздуху, класс чистоты	ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 [1:4:1]
* Производитель допускает внесение изменений в техническую документацию в соответствии с требованиями заказчика	

Рис. 10. Пример процесса послойного лазерного синтеза металлических порошковых материалов на комплексе АМТ-16



потребностям пользователей: начинающие практики металлических аддитивных технологий могут разрабатывать процессы, масштабируемые на более крупные системы АМТ; исследовательские институты получают преимущества от набора инструментов и ПО для разработки материалов; производственные предприятия могут выпускать прототипы, малые серии компонентов в рамках серийного производственного процесса.

Компания АМ.ТЕСН не останавливается на достигнутом результате и уже к выставке «Металлообработка-2024» планирует показать прототип своего среднегабаритного многолучевого аддитивного комплекса АМТ-32.

Вывод

Развитие в нашей стране собственных современных технологий, особенно в отрасли станкостроения и производства средств производства, крайне важно с точки зрения решения задач по осуществлению техно-

логического суверенитета, выстраиванию новых систем технологичных производств, обеспечению высокого уровня производительности и сохранению конкурентоспособности продукции, в том числе и специального назначения, на мировом рынке. Эти задачи нельзя решить без внедрения новых эффективных технологий.

Однако бездумное, излишне формальное внедрение там, где это не требуется, может навредить еще больше. Проблемы, накопленные за последние несколько десятилетий и связанные с отсутствием высококлассных специалистов, расчетом на поставки зарубежного оборудования вместо развития своих решений привели к серьезному отставанию РФ в области отраслей, где получают продукцию с высокой добавленной стоимостью.

Сложившаяся в настоящее время общемировая обстановка просто не оставляет нам, ответственным и мотивированным специалистам своей страны, выбора, кроме как в активном развитии собственных отечественных решений в области аддитивных технологий. ■

i3d.ru

3d@i3d.ru

+7 (495) 108 60 68

Литература

1. Hull, C.W.: Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. <https://patents.google.com/patent/US4575330A/en> (1986)
2. Kodama, H.: Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Rev.Sci.Instrum.* 52, 1770–1773 (1981). <https://doi.org/10.1063/1.1136492>
3. Housholder, R.F.: Molding process. <https://patents.google.com/patent/US4247508B1/en> (1981)
4. Willème, F.: Photo-sculpture. <https://patents.google.com/patent/US43822> (1864)
5. Blather, J.E.: Manufacture of contour relief-maps. <https://patents.google.com/patent/US473901A/en> (1892)

Персонализированная медицина и аддитивные технологии: путь к инновациям с технологией SLM



Николай Дробченко, руководитель отдела аддитивных технологий 3DLAM

Современное здравоохранение переживает революцию, и одним из ключевых элементов этой трансформации являются аддитивные технологии. В данной статье

мы исследуем роль аддитивных технологий, в частности, технологии селективного лазерного плавления (SLM) в персонализированной медицине, и инновации производства, представленные 3DLAM. Также рассмотрим технические, экономические и экологические аспекты использования 3D-печати металлом в медицинской практике.

Краткое описание принципов SLM

Селективное лазерное плавление (SLM) – это метод аддитивного производства, который заключается в плавлении мелкодисперсного порошкового (металлического) материала с помощью лазера.

Технология SLM предоставляет уникальные технические преимущества при создании медицинских устройств. Основными элементами этой технологии являются:

- **Лазерное плавление металла:** путем воздействия энергии лазерного излучения порошок нагревается до температуры плавления, и металл наращивается слой за слоем, создавая трехмерный объект. Этот процесс позволяет создавать сложные геометрические формы, контролировать размер и структуру изделия. За счет минимального пятна фокусировки лазерного луча 47 мкм и правильно подобранных режимов изготавливаемые детали попадают в 10 квалитет точности.

- **Индивидуализация:** дает возможность создавать медицинские изделия, индивидуально подходящие для каждого пациента. Это особенно важно в случаях, когда требуется точное соответствие анатомии пациента, например, имплантов или ортезов. Размеры готовых изделий ограничены габаритами камеры построения принтеров 3DLAM и на данный момент могут достигать Ø318×400 мм.

- **Применение различных материалов:** системы 3DLAM поддерживают широкий спектр металлических порошков от алюминия до высокопрочных сплавов,

например, титановых. Есть возможность выбрать материал, наилучшим образом соответствующий конкретному медицинскому изделию.

- **Создание пористых структур:** что уменьшает риск отторжения и способствует более быстрому приживлению изделий.

Вот несколько примеров успешного применения SLM в медицинской печати (рис. 1):

- **Персонализированные протезы и импланты:** предоставляет возможность создавать точные протезы и ортезы, что обеспечивает пациентам более комфортное и функциональное восстановление.

- **Прецизионная хирургия / медицинские инструменты:** позволяет производить инструменты с высокой точностью, что делает прецизионную хирургию доступнее и эффективнее. Хирурги смогут планировать и проводить операции с уникальной точностью, минимизируя риски.

Обзор роли аддитивных технологий в современной медицине

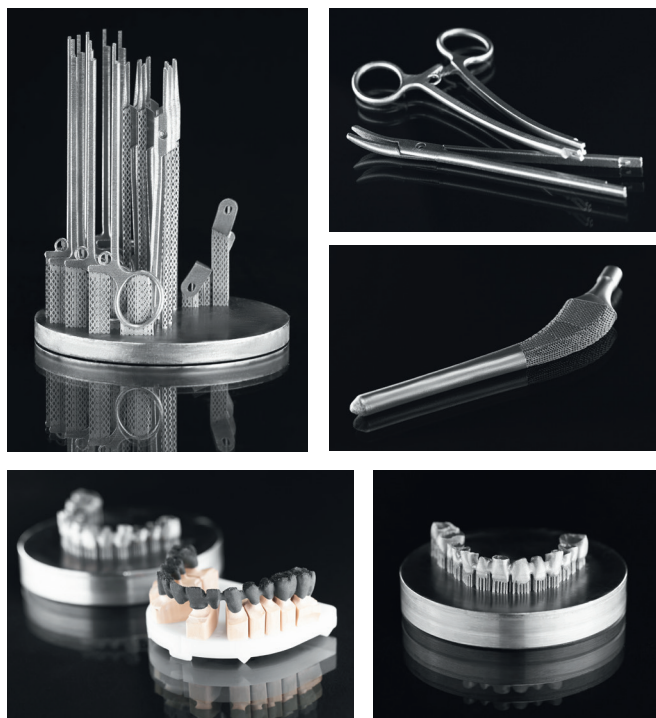
Персонализированная медицина (ПМ) – это подход, основанный на учете специфических характеристик каждого пациента, включая генетическую информацию, окружающую среду и образ жизни. Этот подход дает возможность более точно подобрать оптимальное лечение, исходя из специфических особенностей каждого пациента.

Аддитивные технологии предоставляют уникальные возможности для создания индивидуальных медицинских решений. Эти технологии позволяют точно изготавливать медицинские устройства, имплантаты и протезы, учитывая анатомические особенности каждого пациента.

Представление 3DLAM и его вклад в аддитивное производство

3DLAM – российский производитель комплексов для промышленной 3D-печати металлами по технологии SLM, ключевой игрок на рынке аддитивных технологий, в том числе и медицинских.

Рис. 1. Примеры применения SLM-технологии в медицине



Принтеры 3DLAM предоставляют медицинским учреждениям и производителям медицинской техники возможность создавать персонализированные решения с использованием технологии SLM. Это особенно важно в случаях, когда требуется точное соответствие анатомии, например, для имплантов или ортезов.

Сравнение технологии SLM с традиционными методами изготовления медицинских устройств

Внедрение аддитивных технологий в медицинскую индустрию сопровождается рядом экономических и экологических преимуществ. Для более подробного понимания их важности рассмотрим сравнительный анализ по следующим аспектам:

1. Стоимость производства: традиционные методы изготовления медицинских устройств, в частности, в случае индивидуального изготовления, дорогостоящие. 3D-печать значительно снижает стоимость производства за счет оптимизации материалов и процессов. Важна и экономия на трудозатратах: установки 3DLAM созданы таким образом, чтобы оператору не нужно было постоянно находиться в непосредственной близости от машины, один специалист может работать одновременно сразу с несколькими установками.

2. Складское хранение: технология 3D-печати дает возможность создавать медицинские изделия по мере необходимости, что снижает затраты на хранение.

3. Время: 3D-печать существенно сокращает время производства медицинских изделий. Важно отметить, что в медицинской области время часто играет крити-

ческую роль, например, при срочных операциях или создании протезов.

4. Минимизация отходов: по сравнению с традиционными методами изготовления медицинских изделий, такими как литье и обработка металла, где до 90% заготовки уходит в отработку, в 3D-печати при создании предметов используется только необходимое количество сырья — до 95% материала превращается в готовое изделие, отходы сводятся к минимуму.

5. Медицинская экология: использование аддитивных технологий может способствовать экологически более устойчивому производству, так как тратится меньше материала и в принтерах 3DLAM применены лазеры мощностью 300–500 Вт. Уменьшение отходов материалов и оптимизация энергопотребления ведут к снижению негативного воздействия на окружающую среду.

5. Масштабируемость: 3D-печать позволяет легко масштабировать производство при необходимости, что делает эту технологию более гибкой и экономически эффективной.

Будущее персонализированной медицины

Массовое внедрение этой технологии пока находится на начальной стадии, но в будущем можно ожидать расширения ее применения, снижения стоимости производства медицинских изделий и увеличения доступности для пациентов. 3DLAM, будучи российским производителем, продолжает исследования и разработки, направленные на улучшение производственных процессов, чтобы сделать свои устройства более эффективными и доступными.

Безопасность и надежность медицинских устройств были и остаются важнейшим приоритетом для государства, и российские установки 3DLAM в этом отношении предоставляют решения, соответствующие самым высоким стандартам. Наличие чистых химических составов материалов и строгий контроль производства делают данные принтеры на сто процентов подходящими и для медицинских целей.

Современные достижения в области персонализированной медицины, подкрепленные технологией SLM, не только открывают новые горизонты в медицинской индустрии, но и вносят весомый вклад в будущее здравоохранения. Сегодняшние эксперименты и первые попытки внедрения 3D-печати металлом в сферу стоматологии, имплантологии и другие области показывают, что перспективы огромны. ■



технологии будущего
для производства сегодня!

<https://addtechno.ru/>

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ

Татьяна Карпова

На площадке «Печатники» ОЭЗ «Технополис Москва» прошла встреча «ТехноКлуба» по 3D-печати «Перспективы внедрения аддитивных технологий: курс на технологическую независимость».



Модератором выступила представитель департамента маркетинга ОЭЗ «Технополис Москва» **Анастасия Смирнова**, которая предложила всесторонне рассмотреть аддитивные технологии, чтобы понять, как они развиваются.



Анастасия Шершнева, главный эксперт по кооперации «Ассоциации развития аддитивных технологий», отметила что по прогнозам экспертов к 2030 году принтеры будут стоять практически в каждом доме. Аддитивные технологии преобразуют процессы производства, позволяя создавать более инновационные продукты,

оптимизировать производственные цепочки и улучшать функциональность продуктов в различных отраслях промышленности благодаря гибкости, возможности персонализации и высокой скорости производства. Также она пояснила, что на текущий момент почти половина российского рынка приходится суммарно на задачи для космоса, авиастроения, двигателестроения, ОПК, наблюдается рост применения АТ в маши-

ностроении, проявляется интерес со стороны атомной промышленности.



Дмитрий Филиппов, руководитель Центра аддитивного инжиниринга компании SIU System, рассказал о реверс-инжиниринге — драйвере импортозамещения — и поделился реальными кейсами.

Дмитрий отметил, что часто приходится печатать детали, которые вышли из строя, когда их поставщик ушел с российского рынка. Для этой задачи применяются 3D-сканеры, которые позволяют выполнять измерение с точностью до 3 мкм, и промышленные томографы, позволяющие увидеть наличие дефектов детали без ее разрушения. Например, российский 3D-сканер L5 производства Scanform позволяет сканировать объект размером от 10 см до 4 м, в т. ч. черные и глянцевые поверхности, обладает компактным размером, небольшим весом и мобильностью.

Когда поступает задача, связанная с реверс-инжинирингом, в компании SIU System осуществляются следующие этапы работ: анализ проблемы, поиск решения, обсуждение решения с заказчиком, сканирование образца, разработка 3D-модели: перевод облака точек в рабочую 3D-модель, анализ материала и структурный анализ при необходимости, изготовление пробного образца, опытная эксплуатация отпечатанного образца, анализ результатов работы опытного образца, изготовление партии, тиража. Результативность проводимых работ была рассмотрена на примерах.

Рис. 1. 3D-печать крыльчатки насоса. Фото из презентаций компании SIU System



Рис. 2. Моделирование держателя. Фото из презентаций компании SIU System



Кейс 1: 3D-печать крыльчатки насоса. Проблемой стало то, что оригинальные колеса из латуни и чугуна изнашиваются и нет возможности поставить новые. Был осуществлен реверс-инжиниринг и печать детали из материала PA12. В результате цена с 14 тыс. руб. за оригинальную модель снизилась до 7,5 тыс. руб., срок поставки (без учета реверс-инжиниринга) — с 30 до 4 рабочих дней, вес — с 904 до 116 г., ресурс вырос с 3 до 6 месяцев (рис. 1 — оригинальная деталь и напечатанная после окончания срока эксплуатации).

Кейс № 2: печать держателя. Проблема заключалась в том, что при выходе из строя оригинальной детали не было возможности поставить новую. Предложенное ранее решение не сработало. В Центре аддитивного инжиниринга компании SIU System была доработана существующая 3D-модель (рис. 2), что позволило снизить вес, укрепить проблемные места, доработать каналы под печать. Как итог: оригинальная модель стоила примерно 140 тыс. рублей, новая — порядка 54 тыс. руб., срок поставки сократился с 60 до 3 дней, вес снизился с 2100 г до 600 г.



Владимир Чеверикин, ведущий научный сотрудник НИТУ МИСИС, посвятил свое онлайн-выступление перспективам внедрения аддитивных технологий. Докладчик отметил, что природоподобные технологии, к которым можно отнести 3D-печать, — не только модный тренд, но и на деле позволяют решать сложнейшие

задачи, например, совмещать несовместимые материалы, создавать смесь композиционных материалов, например, алюминий–сталь, наносить различные металлы на стекла.

Большое внимание в университете уделяется развитию новых материалов, которые высоко востребованы для авиакосмической отрасли, транспортного машиностроения и не только.

Парадигма разработки новых материалов со временем изменялась и на разных этапах развития включала:

- анализ экспериментальных данных;
- термодинамическое моделирование, основанное на теоретических знаниях процессов;
- компьютерное моделирование на основе термодинамических данных, кинетических данных, теории функционала плотности и молекулярной динамики (там, где возможно);
- анализ больших данных на основе предыдущих парадигм.

Анализ больших данных сейчас позволяет создавать много перспективных материалов за счет расчетных методик. Например, внедрение упрочняющих частиц

в алюминиевые сплавы, получение стального композита вместе с титаном и керамикой. Однако одно дело создать, другое дело — воспроизвести. По экспертной оценке, на территории РФ за последние 10 лет создано порядка 5000 материалов, внедрено же порядка 25–30. Отсюда родилось и требует активного развития направление цифрового материаловедения.

Владимир также уделил внимание подготовке кадров в этом направлении. Аддитивные технологии — это междисциплинарная отрасль: новые знания появляются на стыке наук, внутреннее и внешнее сотрудничество осуществляется в образовательной, производственной и исследовательской деятельности, что требует гибкости индивидуального образовательного трека обучения. Таким образом, в университете на основе коллегиального обсуждения был предложен перечень курсов для специалистов, создающих металлические материалы в области АТ. Интересно привести его полностью:

1. Материаловедение.
2. Современные методы исследования характеристик и свойств металлических материалов.
3. Основные технологии аддитивного производства.
4. Термодинамическое моделирование материалов.
5. Способы получения металлических порошков для АТ.
6. Полиметаллические материалы.
7. Наноструктурные металлические материалы.
8. Металлические наноструктурные материалы.
9. Полиметаллические материалы, получаемые методом ХГН.
10. Аддитивное производство новых материалов и сплавов.
11. Эффективный дизайн для аддитивного производства металлических изделий.
12. Компьютерное моделирование процессов аддитивного производства.
13. Компьютерное моделирование процессов коробления изделий.
14. Формирование структуры металлических материалов в процессе аддитивного производства.
15. Спекание металлических порошков.
16. Коробление изделий в процессе термической обработки.
17. Производство порошковых материалов из новых материалов и сплавов.



18. Программирование на различных языках.

19. Безопасность жизнедеятельности.

20. Проектирование и дизайн материалов.

Вениамин Брыкин, руководитель участка аддитивного производства в Московском

авиационном институте, говорил об экономике производства аддитивного изделия.

По данным консалтингового агентства Roland Berger (2020 г.), 39% всех расходов по производству детали связаны с оборудованием, 35% — фонд оплаты труда, 20% — материалы, 6% — накладные расходы. Плюс еще закладывается норма прибыли, которая у каждого своя. Если все цифры просто просуммировать и сравнить со стоимостью промышленной установки, которая это изделие производит, можно прийти к печальному выводу, что «внуки ее обязательно окупят».

На самом деле, по мнению докладчика, применять АТ можно и нужно, но с умом, учитывая все аспекты. Например, для производства запасных инструментальных принадлежностей производственные отходы можно снизить с 85 до 15%, сроки поставки с 15 до 1–3 дней. Для функциональных нагруженных изделий количество сборочных единиц/операций можно сократить с 20 до 1–3, сроки ОКР от 50 до 10 дней. Как уже отмечалось ранее, преимущества включают: быстрое прототипирование, преимущества в скорости по сравнению с традиционным производством, снятие технологических ограничений, эффективность для малых серий и единичной продукции.



Дарья Орехова, генеральный директор академии аддитивных технологий «Цифра Цифра», посвятила доклад сфере образования по тематике аддитивных технологий и отметила, что оно составляет порядка 15% рынка (по данным проекта «Логика слоя»). Где же можно изучить аддитивные технологии?

Более всего сфера образования представлена вузами и НИИ. Преимущества среднего профессионального образования и вузов: фундаментальные академические знания, получение профессии и диплома, к их недостаткам можно отнести: отрыв обучения от реальных задач производства, отсутствие практики в необходимом объеме.

Учебные центры дополнительного профессионального образования дают актуальные знания «без воды», проводят практические занятия, осуществляют повышение квалификации и профессиональную переподготовку, отличаются разнообразием форматов и подходов. Однако к их недостаткам относятся: непостоянство качества, отсутствие государственного контроля регулирования.

Постпродажное обучение, которое осуществляется поставщиками оборудования, обеспечивает умения для работы на определенном оборудовании, дает практический опыт, быстрое внедрение полученных знаний

и навыков в работу. Есть и недостатки: узконаправленное обучение, обучение для текущих сотрудников, краткосрочность обучения и затраты на покупку оборудования.

Если сравнивать прошлый и текущий век, то произошла значительная трансформация системы образования. Для XX века в рамках традиционной системы предполагалось: личное участие, одна методология, одни учебники, только учителя школы/вуза, стандартный подход ко всем учащимся, разрыв между задачами обучения и жизненными задачами. Образование XXI века — это развитие дистанционного и смешанного обучения, любые учебные материалы, в т. ч. созданные пользователями, учителя и эксперты из разных стран мира, гибкость, персонализированность и практикоориентированное обучение.

В академии «Цифра Цифра» для себя выбрали модель 70:20:10 Чарльза Дженнингса, когда 70% знаний студент получает, выполняя целевые действия (практикоориентированное обучение), 20% — при общении с более опытными или равными ему по опыту студентами (социальное обучение), 10% знаний и навыков — при обучении в классе и при изучении литературы (формальное обучение). Такое соотношение теории (10%) и практики (70+20%) оптимально в рамках качественного образовательного продукта.

Академия — лицензированный профессиональный учебный центр по аддитивным технологиям. Уже проведены около 15 вебинаров, 2 крупных форума, работа осуществляется с более чем 30 партнерами и 25 экспертами. Если говорить о кейсах, то, например, академия предоставляет онлайн-курс «Аддитивные технологии — инструмент для импортозамещения», который состоит из 20 онлайн-лекций, проводимых 9 лекторами. По окончании курса выдается удостоверение о повышении квалификации.



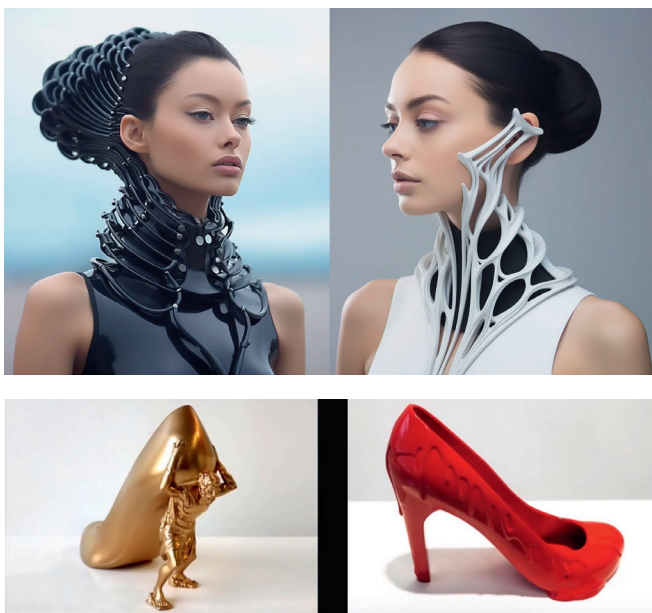
Артем Соломников, генеральный директор компании IMPRINTA, производящей 3D-принтеры Hercules, а теперь еще и «Муромец», рассказал о ярком опыте организации молодежного чемпионата, призванного привлечь кадры в отрасль.

В 2023 году компания выступила подрядчиком по проведению чемпионата по аддитивным технологиям «3D-ПРОФИ», организованного Департаментом предпринимательства и инновационного развития города Москвы. Задачей стало не повторить WorldSkills, а предложить оригинальную живую программу. В результате получилось интерактивно, насыщено, интересно.

Рис. 3. Проекты, выполненные в ходе чемпионата 3D-ПРОФИ: исследовательский дрон, протез руки. Фото из презентации компании IMPRINTA



Рис. 4. 3D-печать украшений и обуви. Фото из презентаций компании SIU System



Возраст участников составил от 14 до 23 лет (группы 14–17 и 18–23). Сам чемпионат проходил два дня, но ему предшествовало 2 месяца кропотливой работы, включавшей образовательную программу продолжительностью 44 часа. Изучалось: сфера АТ в целом, 3D-моделирование и 3D-печать, 3D-сканирование, устройство 3D-принтера, осуществлялась самостоятельная работа на оборудовании для проработки проекта.

В финал вышли 28 команд по 5 участников в каждой. Чемпионат включал 6 конкурсных блоков: изготовление продукта по ТЗ, сканирование объекта, поиск неисправности и ремонт 3D-принтера, выступление с проектом

перед отраслевыми экспертами, аддитивная викторина, демонстрация проектов в экспозоне.

Примерами проектов стали: зарядная станция для квадрокоптера, модульная обувь, исследовательский дрон, бионический протез руки по локоть (рис. 3), индивидуальный ортопедический воротник и т. д., и они были высоко оценены экспертами.

В результате все участники финала стали специалистами по АТ, им были выданы сертификаты, лучшим предложили пройти практику в производственных компаниях, а некоторые даже нашли работу. Отрасль же получила 180+ детей, которые понимают производство как минимум на уровне полимерной печати.



Светлана Яковлева, представитель российского департамента международной организации «Женщины в 3D-печати» (Wi3DP) и коммерческий директор компании SIU System, остановилась на творческой составляющей аддитивных технологий.

3D-печать находит применение в строительстве зданий и сооружений, создании малых архитектурных форм, в искусстве и скульптуре, при создании дизайна мебели, прототипов автомобилей, в индустрии развлечений, в fashion-сфере (одежда, головные уборы, обувь, аксессуары, сумки, украшения — рис. 4).

Светлана пригласила участников стать частью Wi3DP и ускорить вместе развитие 3D-отрасли, пояснив, что основной двигатель — это люди, которые хотят удивить, создавать волшебство и активно экспериментируют с материалами и различными технологиями. Деятельность организации включает совместные мероприятия, обучающие вебинары и семинары, неформальные встречи, общение в социальных сетях.

Завершилась встреча общением спикеров и публики уже в свободном формате, где участники смогли задать дополнительные вопросы. ■

Видеозапись конференции представлена по ссылке

https://vk.com/video/@technopolismoscow?z=video-148417152_456240579%2Fpl_-148417152_-2



Фото участников: <https://technomoscow.ru/>



3D-печать для стоматологии

В конце октября в Москве в люкс-отеле Lotte прошло двухдневное масштабное мероприятие «Цифра Конгресс № 1» на тему «Детальная диагностика: междисциплинарный подход в цифровой стоматологии». Организатором события выступила Академия аддитивных технологий «Цифра Цифра», лицензированный многопрофильный обучающий центр для профессионалов, использующих компьютерные технологии для моделирования, проектирования и производства.

Конгресс был посвящён инновационным методам лечения

в стоматологии. Его целью стала популяризация аддитивных технологий в стоматологии, так как инновационные методы могут как увеличить точность лечения, так и сделать этот процесс эффективнее для пациентов.

Аддитивные технологии в стоматологии — это современные инновации, которые позволяют создавать точные и индивидуальные ортопедические конструкции, хирургические шаблоны, модели, капы — не только с использованием 3D-печати.

На сегодняшний день 3D-печать активно применяется в ортопедии, ортодонтии, имплантологии, реконструктивной хирургии и зуботехнике. Благодаря данной технологии можно получать прочные биосовместимые изделия: сплинты, временные коронки и мосты, шаблоны для навигационной хирургии, десневые маски, фантомы и модели, капы для непрямого фиксации брекет-систем, а также с точностью воссоздать челюсть пациента для учебных целей.

Генеральный директор академии Дарья Дмитриева выступила с вступительным словом о важности цифровых технологий в практике современного стоматолога и упомянула, что миссией академии «Цифра Цифра» является популя-

ризация аддитивных технологий в России среди стоматологов различных специальностей и сотрудников промышленной сферы.

На конгрессе участники смогли послушать 9 докладов от 13 профессиональных лекторов.

С темой цифровой стоматологии и аддитивных технологий запомнились доклады:

1. Цифровая диагностика, индивидуальные протоколы.
2. Актуальные и перспективные технологии в протезировании All-on-X.
3. Непрямая фиксация брекетов в цифровом протоколе.
4. 3D-планирование в ортогнатии.
5. Интеграция цифровых протоколов в концепцию функциональной стоматологии.

Все 219 участников покинули мероприятие с новыми знаниями об аддитивных технологиях в области своей работы.

Аддитивные технологии — это возможность открывать новые методы лечения, ускорять работу, повышать эффективность вмешательств. Путь к совершенно новому уровню медицины в России и за рубежом уже намечен, и академия «Цифра Цифра» делает его проще и быстрее для профессионалов. ■



Теория есть, а практики нет

Зинаида Сацкая



Открывая панельную дискуссию «Драйверы внедрения аддитивных технологий в промышленности России», которая была частью деловой программы форума-выставки новых материалов и технологий АМТЕХРО-2023, модератор Дмитрий Трубашевский назвал ее целью намерение определить векторы развития сферы аддитивного производства в стране. Векторы, по его мнению, могут быть заданы динамикой спроса на аддитивные технологии и материалы со стороны ключевых отраслей промышленности.

Тема дискуссии предполагала разговор о реальном положении дел в области аддитивных технологий в России. Однако, как часто бывает, некоторым спикерам не удалось избежать соблазна использовать дискуссионную площадку в рекламных целях, и только вопросы модератора, признанного гуру аддитивных технологий, вывели дискуссию на «магистральный» тематический путь.

Владислав Кочкуров, генеральный директор ЦАТ ГК «Ростех», рассказал о разработке и изготовлении корпуса первой опоры для двигателя ВК-1600В, устанавливаемого на вертолет Ка-62, а также другие многоцелевые вертолеты взлетной массой до 8 тонн. Аддитивное исполнение вместо литья и традиционного производства позволило, в частности, в 8 раз ускорить сроки разработки технологии и производства, в два раза уменьшить объем мехобработки и в 4 раза уменьшить объем брака (кстати, эту деталь можно было увидеть на стенде выставки, сопровождавшей форум). Описываемая работа, по словам Владислава Кочкурова, позволила определить преодоление временного барьера основной задачей при разработке особо ответственных деталей. «Ситуация не позволяет тратить 8–10 лет на разработку продукта, надо как можно скорее проходить этап опытно-конструкторских работ. Мы понимаем, что в серийном изготовлении эта самая силовая деталь не будет аддитивной, но этап ОКР от получения конструкторской документации до получения годного опытного образца удалось пройти в 4–5 раз быстрее».

Верный теме цифровых двойников Алексей Боровков, проректор по цифровой трансформации СПбПУ Петра Великого, назвал свой доклад «Применение технологии цифровых двойников и АТ в высокотехнологичной промышленности». Применительно к любой отрасли промышленности необходимо создавать цифровые двойники для этапов разработки, производства

и эксплуатации изделия. Особо он подчеркнул важность цифрового двойника производства. «Это в первую очередь "технологическая наследственность" от традиционных технологий, то есть те остаточные напряжения и деформации, которые нужно либо убрать, либо снизить, либо создать такие, которые в эксплуатационных режимах будут другого знака, чем в рабочем режиме, и будут компенсировать друг друга». Алексей Боровков обратил внимание на неготовность главных конструкторов под любой напечатанной деталью поставить подпись. «Мы понимаем, что это тормозит развитие АТ, но задачу перевоспитать всю страну мы не ставим», — говорит Боровков. В университете студентам продолжают прививать вкус к аддитивным технологиям. Обучение происходит на реальных задачах, причем авторитет СПбПУ и самого Алексея Боровкова позволяют работать с такими серьезными компаниями, как, например «Вертолеты России». Студентам ставилась задача обязательно напечатать изделие и обязательно провести ресурсные испытания, чтобы снять сомнения в его пригодности и прочности.

Отвечая на вопрос модератора, что требуется для обеспечения технологического суверенитета, Алексей Боровков назвал передовые цифровые и производственные технологии, располагая которыми необходимо идти от рынка, а не от «тупого их продвижения».

Александр Жедаев, руководитель направления частного учреждения по обеспечению развития атомной отрасли «Наука и инновации», рассказал об одном из самых «перспективных» комплексов НИОКР по АТ, который проводится в рамках федерального проекта «Новые материалы и технологии» программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации» (РТТН). Докладчик подробно рассказал о применяемом комплексном подходе, который делится на три ключевых направления: изделия, технологии, материалы; оборудование; программно-аппаратная платформа и критические компоненты. На просьбу модератора высказать мнение о том, какие технологии сегодня наиболее востребованы российским рынком, Жедаев назвал селективное лазерное сплавление. А вот с технологией электронно-лучевого плавления «мы находимся в стадии разъяснения, что теперь уже можно работать с особо чистыми материалами и получать изделия, которые не требуют постобработки», — говорит

Александр Жедаев. — Главное, у нас есть потенциал повышения технологической вооруженности наших предприятий для работы с различными материалами».

Компания «Мортех» работает над реализацией проекта по созданию производства высокоскоростных судов под брендом Falco и с помощью 3D-печати предполагает печатать технологическую оснастку для судов из композитов.

Владимир Ларькин, генеральный директор компании, видит наибольшие перспективы развития аддитивных технологий в композитном судостроении, особенно маломерном. При традиционном способе изготовления матрицы, изделие из которой вынимается с помощью обстукивания, хватает на 30–40 корпусов. Аддитивные технологии позволяют напечатать разъемную матрицу. На печать матрицы массой 800 кг уходит 80 часов, затем следует постобработка. В результате вместо года-полтора, которые ранее уходили на изготовление матрицы, теперь требуется 2–3 недели. Раньше матрица для лодки 18 м стоила 2–3 млн рублей, с аддитивными технологиями затраты, по словам Владимира Ларькина, «сокращаются в десятки раз». Печать осуществлялась на оборудовании компании Siemens, которое было демонтировано и вывезено. «Мортех» сейчас строит свой принтер для экструзионной печати с помощью шнека и гранул, и Ларькин надеется, что эта работа завершится в 2024 году.

Далее слово получил Евгений Матвеев, генеральный директор компании «Ф2 Инновации», которая занимается разработкой и производством принтеров для 3D-печати гранулами. Докладчик согласился с модератором, что тема экструзионной печати с помощью шнека и гранул — сегодня одна из ведущих в мире, но пока не получившая достойного признания в нашей стране. Продукция Ф2 Инновации на 85% состоит из отечественных комплектующих, компания имеет статус российского производителя. В рассказе о высокопроизводительном оборудовании продукции, материалах и конкретных кейсах, в частности, прозвучало, что оборудование F2 позволяет делать печать под углом 90 и 45. Евгений Матвеев привел эффектный пример сокращения времени, материала и издержек при изготовлении обтяжного пуансона для одного авиапредприятия (рис. 1). Классический пуансон стоит 1,9 млн рублей, на изготовление уходит 8 месяцев. Компания «Ф2 Инновации» сделала пуансон за 18 часов при себестоимости 30–40 тысяч рублей.

Докладчик отметил, что клиенты сейчас значительно более подготовлены и с ними легче общаться: «Наблюдается очевидный рост познаний об аддитивных технологиях. Сейчас клиенты приходят на выставку и просят сделать то-то из такого-то материала. Мне кажется, тенденция эта максимально позитивная, поскольку позволяет не тратить время на ликбез, а заниматься решением реальных проблем».

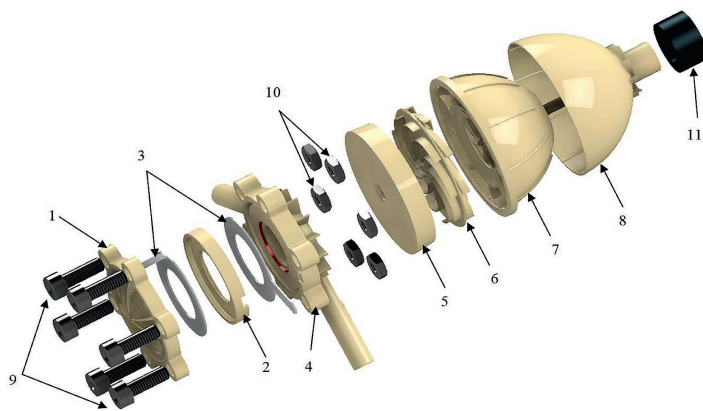
Рис. 1. Обтяжной пуансон для вытяжки панели крыла ТУ-214, вес — 40 кг, материал — 3С, время печати — 18 часов, габариты — 700×500×250 мм, напечатано на F2 Pellet



Научно-производственная компания «ЭКИПО» представила свое know-how — метод твердофазного сращивания керамических деталей. Вячеслав Тёмкин, советник генерального директора, рассказал, что разработанной в компании вакуумплотной керамики для 3D-печати в мире еще никто не делал. Технология позволяет создавать ракетные двигатели из керамики. В частности, на одном из слайдов презентации можно было видеть двигатель, который состоит из пяти деталей, напечатанных керамикой на 3D-принтере и соединённых методом твердофазного сращивания (рис. 2). Шов выдерживает такую же температуру, как основной материал, а рабочая температура здесь приближается к 1700°C. Были и другие интересные примеры.

На вопрос модератора, почему мы основательно отстаем в работах с керамикой, которая по ряду харак-

Рис. 2. Газотурбинный двигатель



- 1 — крышка, 2 — изолятор, 3 — электроды, 4 — вихревая камера сгорания, 5 — корпус соплового блока, 6 — сопловой блок, 7 — турбина, 8 — кожух турбины, 9 — винт, 10 — гайка, 11 — магнит (НЖБ) МЦД

Инновации:

Высокие температуры сгорания > 2000К → КПД.

Бесфорсуночная камера сгорания → снизить массогабаритные характеристики.

Газодинамическое охлаждение рабочей среды → упрощение конструкции, КПД.

Псевдо многоступенчатая турбина → упрощение конструкции, КПД.

теристик может быть приоритетным направлением в двигателестроении, Вячеслав Тёмкин, как и Алексей Боровков, в первую очередь назвал консерватизм конструкторов, которым проще вынуть одну деталь и поставить новую, тогда как обращение к аддитивным технологиям требует глубокой переработки изделия.

К тому же требуется российский 3D-принтер для печати керамикой, но пока нет даже ТЗ. Что касается мирового рынка 3D-печати керамикой, то, хотя он находится на начальной стадии развития, к 2028 году, по данным Smartech Publishing, достигнет 3,6 млрд долл США. ■

Выставочная экспозиция по теме 3D-печати и 3D-сканирования на форуме АМТЕХРО-2023: а – роботизированный комплекс «МЭЛ» для лазерной закалки, наплавки и нанесения легирующих покрытий ООО «Термолазер», б – 3D-принтер Hercules G4Duo компании «Импринта», в – автоматизированный настольный 3D-сканер на стенде ООО «РВ 3Д Технологии», г – 3D-сканер ООО «Сканформ», д – 3D-принтер AM150 ООО «Онсинт», е – изделия, выполненные на оборудовании ООО «Ф2 Инновации», ж – 3D-напечатанные кронштейны оригинальной конструкции и топологически оптимизированный на стенде АО «Композит», з – демонстрация возможностей материалов для 3D-печати на стенде НПО «РЭК»



а)



б)



в)



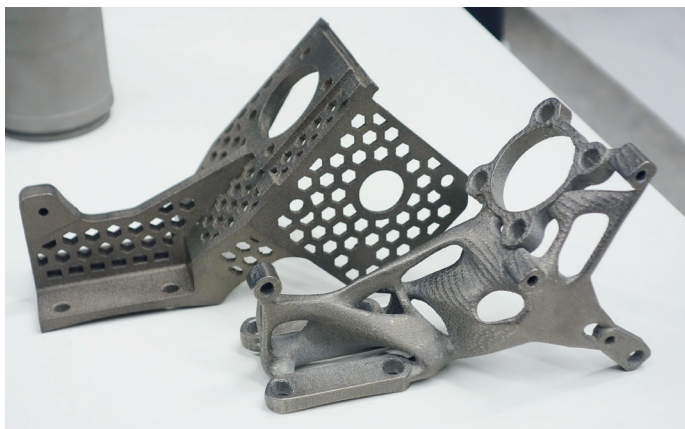
г)



д)



е)

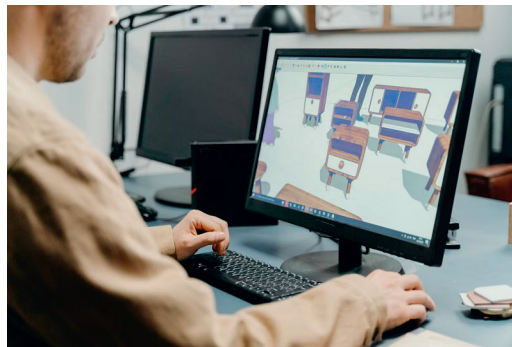


ж)



з)

ChatGPT в 3D-печати: ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ



Сэмюэл Л. Гарбетт | Источник: MUO
Блог компании iQb Technologies, <https://blog.iqb.ru/chat-gpt-3d-printing/>

Появившись на рынке в ноябре 2022 года, чат-бот ChatGPT компании OpenAI произвел фурор во всем мире. Этот инновационный инструмент искусственного интеллекта постоянно расширяет границы, и пользователи каждый день находят новые способы использования возможностей ChatGPT. Специалистам и энтузиастам аддитивного производства ChatGPT предлагает множество инструментов, которые значительно облегчают реализацию различных проектов. Как же можно использовать ChatGPT в 3D-печати?

Может ли ChatGPT помочь пользователям 3D-принтеров?

Прежде чем начать использовать ChatGPT в области аддитивных технологий, необходимо знать, что он имеет множество ограничений. Хотя он может генерировать базовые трехмерные модели, инструмент не заменит 3D-проектировщика, и это означает, что часть работы придется выполнять самостоятельно.

ChatGPT значительно упрощает создание файлов для 3D-печати и управление ими и позволяет сэкономить много времени и сил. 3D-моделирование — трудоемкий процесс, который часто включает в себя уйму повторяющихся задач. Чтобы его ускорить, стоит воспользоваться инструментами искусственного интеллекта.

Как сгенерировать STL-файл

STL — наиболее распространенный формат файлов для 3D-принтера. В файле STL хранятся наборы инструкций, которые позволяют CAD-программам и слайсерам построить 3D-модель, сохраненную в другом месте или созданную в другое время. Благодаря своей простоте ChatGPT может генерировать простые STL-файлы.

Начнем с простой 3D-модели и попросим ChatGPT сгенерировать куб в формате STL. Важно уточнить запрос, чтобы ChatGPT понял, о чем вы просите. В данном случае стоит указать, что STL-файл нужен в формате ASCII, чтобы его было легче читать.

Для начала работы необходимо перейти на сайт OpenAI ChatGPT, создать учетную запись и открыть чат-бот. Отправьте ChatGPT запрос «Generate a 3D model of a cube using ASCII STL format» («Сгенерировать 3D-модель куба в формате ASCII STL») и дождитесь ответа. Скопируйте текст из окна и вставьте его в чистый файл блокнота. При сохранении файла обязательно измените расширение на «.stl». Теперь можно загрузить файл в выбранную вами программу-слайсер и подготовить его к 3D-печати.

Обратите внимание, что при первой попытке не всегда получается именно та 3D-модель, которую вы ожидаете, и в этом случае вам придется попросить ChatGPT исправить ее.

Хотя ChatGPT, безусловно, имеет возможность создавать STL-файлы более высокой сложности, OpenAI не может выделить ресурсы, необходимые для такой работы бесплатным пользователям. Тем не менее это отличный инструмент для тех, кто хотел бы получить представление о том, как работают STL-файлы.

Создание скриптов 3D-моделей для CAD-программ с помощью ChatGPT

Многие программы для 3D-моделирования дают возможность формировать модели с помощью скриптов. Это не всегда самый эффективный способ создания 3D-моделей, когда приходится писать скрипт самому, но ChatGPT способен сгенерировать его за вас.

В зависимости от используемого программного обеспечения для 3D-моделирования необходимо провести исследование, чтобы определить язык программирования, на котором оно работает. В Blender доступен язык программирования Python, но ChatGPT может работать с разными языками.

Начните с запроса ChatGPT «Generate a Python script for Blender to create a cube 3D model» («Сгенерировать скрипт на Python для Blender для создания 3D-модели куба»). Возможно, чат-боту потребуется некоторое время для написания скрипта, но с простыми 3D-моделями возникнуть проблем у него не должно.

После того как скрипт скопирован, можно загрузить Blender и перейти в рабочую область Scripting. По умолчанию в левой части экрана должна появиться консоль скриптов. Вставьте сгенерированный ChatGPT скрипт в консольную панель и нажмите клавишу Enter, чтобы увидеть появление 3D-модели в рабочей области 3D.

Как и при генерации STL-файла с помощью ChatGPT, существуют ограничения, из-за которых чат-бот не будет пытаться создавать слишком трудоемкие скрипты. К счастью, в интернете можно найти платные сервисы, расширяющие возможности ChatGPT по написанию скриптов. Получив доступ к GPT 4, вы еще больше расширите возможности использования ИИ.

На что еще способен ChatGPT?

Чат-бот OpenAI может предложить поддержку и консультации по различным вопросам аддитивного производства.

1. Восстановление файлов G-кода

Файлы G-кода обычно используются в 3D-принтерах для хранения инструкций, выполняемых в процессе печати. Если файл G-кода поврежден или содержит ошибку, машина может отказаться печатать или напечатать модель некорректно. Вы можете попросить ChatGPT проанализировать ваши файлы G-кода и предложить рекомендации по их исправлению.

2. Подсказки по созданию 3D-модели

Попросите ChatGPT предоставить подсказки по 3D-моделированию. Подобные советы облегчают решение сложных задач по формированию трехмерных моделей, а также позволяют привлекать к работе сторонние инструменты.

3. Сторонние дополнения

Большинство приложений для 3D-моделирования имеют дополнения, позволяющие использовать ChatGPT для помощи в 3D-проектировании. Некоторые из этих инструментов используют подсказки, генерируемые ChatGPT, для создания 3D-моделей, в то время как другие полагаются на автоматически генерируемые скрипты.

4. Настройки 3D принтера

Выбор правильных настроек для материала, которым печатает 3D-принтер, — непростая задача, особенно когда обнаруживаются дефекты печати и прочие проблемы. С помощью ChatGPT можно устранить ошибки в настройках принтера и подобрать оптимальные параметры для печати.

Важно помнить, что все возможности ChatGPT еще не раскрыты. Пока же можно экспериментировать, обращаясь к чат-боту за помощью в 3D-печати: генерировать STL-файлы или скрипты 3D-моделей, проверять и исправлять файлы G-кода. Стоит потратить время на уточнение задаваемых вопросов, и тогда вы получите наилучшие результаты. ■



XXI Международная конференция «ОПТИКА ЛАЗЕРОВ» ICLO 2024

г. Санкт-Петербург, Россия, 1-5 июля 2024 г.

<https://www.laseroptics.org/>
conference@laseroptics.org

Тел.: +7 (812) 323 6348

Факс: +7 (812) 334 0824

Твердотельные лазеры
Высокомощные лазеры
Полупроводниковые лазеры, материалы и устройства
Управление лазерным излучением
Сверхсильные поля и сверхбыстрые процессы
Лазеры и системы для визуализации,
зеленой фотоники и устойчивого развития
Лазеры для космических систем связи,
локации, геодезии и навигации
Нелинейная фотоника
Оптические наноматериалы
Лазеры на свободных электронах
Нелинейная квантовая фотоника
Биофотоника

Выставка

Официальный язык конференции – английский

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Татьяна Карпова

5 декабря в ЦВК «Экспоцентр» в рамках международного научно-практического форума «Российская неделя здравоохранения – 2023» состоялась пятая конференция, посвященная применению аддитивных технологий в медицине. Организатором выступила компания Z-axis во главе с генеральным директором Сергеем Кулаковым при поддержке ЦВК «Экспоцентр» и информационной поддержке журнала «Аддитивные технологии».



Сергей Кулаков

« Данная площадка уникальна тем, что способствует внедрению новых инновационных технологий, оборудования, инструмента, материалов, подходов в такую массовую отрасль, как здравоохранение. Стимулами к неуклонному развитию направления являются персонализация изделий и услуг, экономичность в целом ряде случаев, улучшение качества жизни пациентов за счет новых оригинальных решений. На конференции этого года большое внимание было уделено стоматологии, травматологии и ортопедии. Докладчики приведенными примерами показали, какие преимущества дают аддитивные технологии в их работе. »



Алексей Собченко, руководитель проекта компании «Медиатроника», на примере протеза стопы ноги, изготавливаемого компанией, показал, как внедрение в 3D-печать новых материалов, а именно — замена пластика на карбон, позволила облегчить конструкцию на 20%.

Первоначально разработанный бюджетный протез стопы весил 1300 гр. (обычно

вес стопы примерно 1% от веса человека — порядка 700 грамм), что оказывало существенный дискомфорт при использовании изделия. Печать карбоном (композитом), внедренная в компании, позволила решить эту проблему. Использование карбона позволило снизить вес без существенного вмешательства в конструкцию (рис. 1). Из недостатков нововведения: скорость печати карбона в 2 раза меньше, чем PLA; пока примерно в 4 раза более высокая стоимость материала; более высокие температуры плавления; незащищенность перед растворителями. Тем не менее применение карбона было закономерным шагом вперед. Дальнейшее развитие технологии и материалов позволит предложить более совершенную и легкую конструкцию.

Рис. 1. Протез ступни с карбоновыми деталями ООО «Медиатроника»



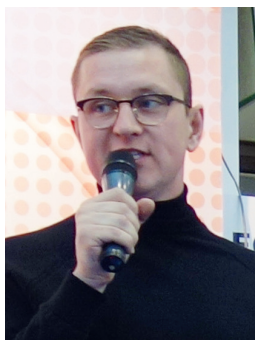
Технический специалист компании MyDent 24 Артём Лахтюхов рассказал о новых разработках компании Asiga для цифровой стоматологии. В частности, компания обновила программу-слайсер Composer 2.0. Например, стал проще интерфейс пользователя. При входе в программу сразу видно загрузку принте-

Рис. 2. Шина, напечатанная по технологии UltraGLOSS. Фото: компания Asiga



ров, возможно выбрать материал, выбрать один из трех лотков (для разных типов материалов), видеть в интерфейсе рабочий стол и расположение объекта. Была улучшена функция авторасположения — на рабочий стол можно добавлять несколько объектов, и они располагаются отдельно друг от друга. Появился темный режим и профили поддержек (детали с плоским основанием можно печатать от стола, для сложных деталей можно использовать ветвевобразные поддержки).

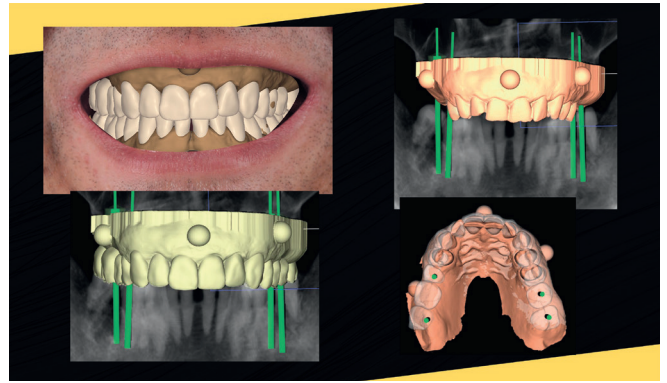
Новая технология UltraGLOSS компании позволяет отказаться от финишной полировки протезов. На рис. 2 представлена шина, промытая и не полированная механически. Используя новый лоток для материалов UltraGLOSS в 3D-принтере, можно получать глянцевую поверхность изделия сразу после печати. То есть теперь изделие можно получить непосредственно в кабинете стоматолога, что имеет множество преимуществ.



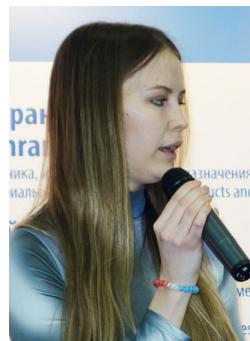
Семён Одинцов, практикующий стоматолог-ортопед, выступивший от компании AM-Core, рассказал про новую цифровую технологию, которую использует для установки дентальных имплантатов.

Традиционно хирурги-стоматологи выбирают место, куда можно поставить имплантат, оценивают кость и не смотрят, где будет стоять будущий зуб. В результате возможна ошибочная установка имплантата не по оси нагрузки на зуб. Новый цифровой подход позволяет имитировать движение челюстей пациента, индивидуально под череп пациента выстраивать зубной ряд, чтобы получилось функционально, красиво и долговечно. Только после планирования лечения на основании КТ следует выбирать места, где будут стоять имплантаты (рис. 3 — выделены зеленым), а далее после 3D-печати хирургического шаблона, который надевается прямо на зубы, их устанавливают в нужную позицию.

Рис. 3. Планирование места установки имплантатов. Фото из презентации Семена Одинцова



Оборудование, необходимое для цифровой стоматологии, включает: компьютер и программы, интраоральный или лабораторный сканер, фотоаппарат, 3D-принтер и оборудование к нему, компьютерный томограф.



Анна Ключева, практикующий врач-стоматолог-ортодонт; ортодонт-технолог, моделирующий сеталпы; лектор ортодонтических школ Orthodont expert, Ozz school и др., также выступила от компании AM-Core и рассмотрела цифровой протокол создания элайнеров.

Элайнеры — система прозрачных кап, которые помогают выровнять зубы. С их помощью создается некая последовательность перемещения зубов, целью которой является получение ровного зубного ряда. Элайнеры имеют ряд преимуществ перед брекетами. Они красивые, удобны, менее заметны в процессе ношения, не наносят вреда эмали, пациенту удобно чистить зубы, к ним быстро привыкаешь, возможны более длительные промежутки между контрольными приемами.

Новые технологические решения, например, 3D-сканирование полости рта, делают технологический процесс более точным и быстрым. Использование специальных программ позволяет осуществить подготовку производства изделий. Например, программа Maestro 3D, в которую загружаются сканы, автоматически их сегментирует и позволяет планировать движение зубов. В данный момент можно воспользоваться услугами искусственного интеллекта. Программа Diagnocat используется для анализа снимков зубов и позволяет прогнозировать лечение. После загрузки создается последовательность моделей, которые можно посмотреть как мультфильм, который демонстрирует пациенту весь процесс лечения. В данной программе можно, например, виртуально удалять зуб, поставить имплантат и оценить конечный результат вместе с выравниванием. После со-

гласования плана лечения изделие запускается в печать. После печати модели осуществляется термовакуумная формовка, техник обрезает края элайнеров, делая их более аккуратными и комфортными в ношении, изделия упаковываются и отправляются пациенту. Также возможно осуществлять промежуточный контроль методом наложения сканов. Если результат не соответствует модели, по которой изготовлен элайнер, можно внести коррективы в последующее лечение.



Михаил Шишкин, технический директор и основатель компаний REC и 3D Solutions, рассказал о материалах для 3D-печати, которые может предложить компания для медицинских применений. Например, полипропилен, обладающий высокой химической стойкостью, подходит для решения целого

ряда таких медицинских задач, как производство шприцев, трубочек для перегонки жидкостей, мешков для биоматериалов. PLA-полилактид хорошо подходит для изготовления ортезов. РЕЕК — полиэфир эфиркетон интересен врачам, которые занимаются производством таких изделий, как аппарат Елизарова, из него можно выполнять носители спиц. Материал автоклавируется, жесткий, прочный, не отравляет кровь, имеет высокую твердость и низкий вес. Он также может быть использован для восстановления костных соединений, может быть носителем или заготовкой для носителя присоединения костных тканей. Антибактериальные материалы, в процессе производства которых были введены специальные добавки без разрушения полимера, могут быть применены в системах вентиляции, в пищевом оборудовании, белье и одежде, одноразовых медицинских приборах.

На сегодня большое количество медицинских или околomedicalных изделий производится путем реверс-инжиниринга. 3D-печать позволяет выполнить большое количество образцов изделий, найти слабые их части, улучшить, не прибегая к большим затратам. Так, улучшенный медицинский турникет на кровоостанавливающие жгуты получил еще такое свойство как рентгеноконтрастность, что позволяет при его разрушении найти отколовшуюся часть в открытой ране на рентгеноконтрастном оборудовании.

Алексей Орехов, руководитель медицинского направления Harz Labs, также посвятил доклад материалам (компания производит фотополимеры для 3D-печати) и привел примеры изделий, выполняемых из них, отметив, что в год 50 тысяч клиентов проходят лечение с помощью материалов компании. Массовое



применение 3D-печати началось с зуботехники и стоматологии. Также сейчас отмечается, что все чаще применяют технологии 3D-печати в своей практике хирурги и ортопеды. Среди приведенных докладчиком примеров 3D-напечатанных изделий: временный 3D-съемный протез, комплект для эндопротезирования дистального отдела лучевой кости, ацетабулярный компонент тазобедренного сустава, шаблон для корригирующей остеотомии большой берцовой кости, шаблон для забора трансплантата и модель глазницы для адаптации.



Александр Косарев, директор по продукту компании «Здравпринт», посвятил выступление применению аддитивно изготавливаемых ортезов.

В России в год 2,5 млн человек получают переломы, поэтому актуальна замена тяжелого и неудобного гипса альтернативными средствами фиксации, особенно для детей. В частности, компания «Здравпринт» выпускает ортезы, которые производятся с помощью 3D-печати. Их легкая и прочная конструкция проста для наложения, их свойства сохраняют качество жизни пациента при лечении и реабилитации, позволяют осуществлять мобильную иммобилизацию. Для изготовления ортеза нужны только линейные размеры пациента, после получения которых по размерной сетке подбирается стандартная модель или изготавливается индивидуальная модель. Заготовку, как было показано во время мастер-класса (рис. 4), врач формирует под конкретного пациента.

Рис. 4. Мастер-класс по наложению ортеза компании «Здравпринт»





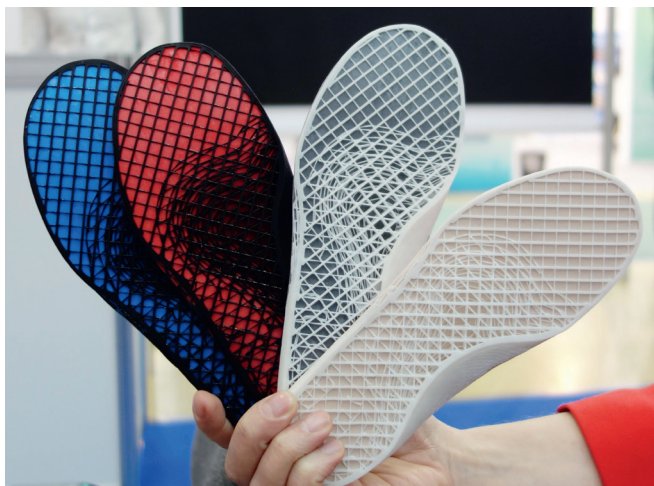
Темболат Байматов, начальник медицинской службы медицинского центра МЦОРОС, травматолог-ортопед, врач спортивной медицины, продолжил выступление Александра Косырева, поделившись опытом использования ортезов компании «Здравпринт», а также рассказал о применении 3D-технологий в изготовлении индивидуальных ортопедических стелек.

Всем известно, что плоскостопие приводит к травматизму нижних конечностей и сухожильного аппарата коленных суставов, голеностопа и спины. 20% — это врожденные случаи, остальные приобретаются в ходе жизни. Технология, применяемая в центре, включает 3D-сканирование стоп, выявление степени плоскостопия, моделирование и 3D-печать. 3D-формирование стельки из термостойкого эластопласта позволяет регулировать плотность печати. Возможно изготовление стелек для спортсменов, для людей возрастной группы, с сахарным диабетом.

В медицинском центре МЦОРОС было проведено исследование, целью которого был ретроспективный анализ эффективности индивидуальных ортопедических стелек 3D-Quicker (рис. 5) у пациентов с продольным плоскостопием в различных возрастных группах. В период с 2020 по 2023 годы было проведено около 2600 сканирований стоп с дальнейшим изготовлением индивидуальных ортопедических стелек. Проведен ретроспективный анализ данных пациентов с продольным плоскостопием, обратившихся повторно в 2023 году. Было исследовано 120 пациентов с длительностью лечения от 1 до 3 лет, среди них: старше 18 лет — 96 (80%), младше 18 лет — 24 (20%). В исследуемой группе пациентов 1-я степень плоскостопия была у 65

человек, 2-я — у 22 человек, 3-я — у 33 человек. Улучшение состояния стоп в течение первых 18 месяцев наблюдалось у 87 пациентов: 3 степень перешла во 2 степень у 31 человека (17 детей), 2 степень перешла в 1 степень у 25 человек (5 детей), 1 степень перешла в норму у 11 человек (8 детей). По оценкам, боль пациентов уменьшилась с 4 баллов (2–6) до 1 (0–2).

Рис. 5. Индивидуальные ортопедические стельки 3D-Quicker медицинского центра МЦОРОС



человек, 2-я — у 22 человек, 3-я — у 33 человек. Улучшение состояния стоп в течение первых 18 месяцев наблюдалось у 87 пациентов: 3 степень перешла во 2 степень у 31 человека (17 детей), 2 степень перешла в 1 степень у 25 человек (5 детей), 1 степень перешла в норму у 11 человек (8 детей). По оценкам, боль пациентов уменьшилась с 4 баллов (2–6) до 1 (0–2).



Марина Черкасская, сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ «Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ», посвятила доклад созданию фантомов для КТ и МРТ-исследований.

Современные средства визуализации невозможно представить без контроля их качества. Разработка новых решений также в большинстве случаев требует создания тест-объектов. Тканемитирующие фантомы — это изделия, которые повторяют физические, химические, механические, геометрические свойства отдельных частей человеческого тела и биопроцессов. В настоящее время создается множество фантомов, их применяют для калибровки оборудования, контроля качества, дозиметрии, оптимизации протоколов сканирования и тестирования новых технологий. Например, актуальны фантомы, которые имитируют рентгенологические свойства тканей, в т. ч. для оценки влияния рентгенолизирующего излучения. Поскольку фантомы, которые используются в настоящее время, дороги, и круг их применения ограничен, возникает необходимость разработки новых фантомов, в т. ч. по индивидуальному заказу, в т. ч. для конкретного пациента.

Фантомы можно получить при приготовлении растворов или гелей, методом фрезерования, литья и 3D-печати. Имитирующие модели для КТ и МРТ должны быть изготовлены из безопасных, нетоксичных материалов, которые сохраняют свою структуру и свойства в течение длительного времени. Их изготовление должно быть простым и воспроизводимым.

Интерес к методу 3D-печати растет в связи с возможностью создания фантомов сложных геометрических форм, что важно с точки зрения сохранения аналогии с реальными формами. 3D-печать значительно ускоряет процесс фантомного регулирования, позволяет изготавливать изделия с более низкой ценой по сравнению с коммерческими изделиями.

При 3D-печати фантомов для КТ успешно применяются полимолочная кислота, ABS, полиуретан, эпоксидные смолы. При 3D-печати фантомов для МРТ применяются полимолочная кислота, полиметилметакрилат, акрилонитрилбутадиенстирол и др.

Рис. 6. Фантом РСК-ФК2.
Фото из презентации Марины Черкасской



Так, в ГБУЗ «Научно-практический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ» был разработан фантом РСК-ФК2 (рис. 6) для оценки точности и воспроизводимости цитометрических исследований. Фантом моделирует поясничную область позвоночника, имеет вкладки для имитации подкожной жировой клетчатки. Представляет из себя полый цилиндр, стенки которого выполнены из полипропилена, торцы которого герметично закрываются фланцевыми соединениями. Во внутреннюю полость фантома помещается пластиковый штатив с четырьмя позвонками, и данная модель заполняется дистиллированной водой. Модели позвонков состоят из цилиндров, которые имитируют губчатые структуры позвонка, и параллелепипедов, которые имитируют вертикальный слой. Модели позвонков выполнены из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и заполнены растворами гидроортофосфата калия. Подкожную жировую клетчатку имитируют две парафиновые накладки. Фантом предназначен для повышения точности проводимых дозиметрических исследований с целью оценки минеральной плотности кости, а также для калибровки КТ-сканеров и автоматического определения минеральной плотности кости.



Рубен Степанян, учредитель обувной фабрики «Росвест» Смоленской области, презентовал метод моделирования и 3D-печати из полиуретана и резиноподобных материалов таких изделий, как формы для литья, стельки, маски (рис. 7).

В быстро развивающемся мире ключевыми являются стоимость и скорость изготовления товаров. С появлением методов 3D-печати у производителей появилась возможность существенно снизить свои расходы. На сегодняшний день стоимость пластика в разы меньше алюминия, используемого часто для этих целей, или других металлов. Если рабочие характеристики

Рис. 7. Напечатанные на 3D-принтере формы для производства подошвы обуви, стельки, маски для окрашивания



пластика правильно подобраны, то преимущества его очевидны.

Одним из самых важных параметров для создания будущей формы является точность воспроизведения. Приобретенное фабрикой оборудование обеспечивает точность поверхности до 10 мкм, что позволяет повторить как заданные рисунки профилей, так и мелкие подробности ортопедических форм. Для получения металлических форм такой точности требуется дорогостоящее оборудование и металлообработка с ЧПУ. На сегодняшний день возможности 3D-оборудования позволяют получить даже сами товары: подошвы и стельки из пластиковых материалов. В штучном макетном производстве они не имеют конкуренции. Однако при массовом производстве, конечно, уступают по стоимости товарам, получаемым литевым способом.

Полиуретан, используемый для этих целей, может иметь абсолютно разные характеристики плотности, твердости, мягкости, износоустойчивости, устойчивости к скольжению. Еще одной положительной характеристикой печати форм для литья является скорость производства, когда форма получается за считанные часы. Вместе с предварительной работой это составляет не более 3–4 дней. А производство металлических форм занимает до 3–4 недель.

Большое значение в производстве подошвы имеют внешний вид и цвет. 3D-технологии можно применить для печати так называемых масок для покраски готовых изделий, например, подошв или определенной их части. Это позволяет получить двух-, трех- и более цветную подошву. Стоимость этих приспособлений для покраски будет значительно ниже, чем у конкурентов.

Совокупность всех факторов открывает широкие бизнес-перспективы перед предприятиями, пользующимися данными технологиями.

Все выступления продемонстрировали высокий потенциал использования цифровых технологий и 3D-печати в медицинской области. ■

Видеозапись конференции:

<https://www.youtube.com/watch?v=5loySPTFCAQ>

3D-печать для БПЛА и дронов

<https://z-printing.ru/>

Сегодня 3D-печать FDM/FFF активно применяется для решения различных производственных задач, в том числе для изготовления беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Основные преимущества аддитивных технологий для данного направления: быстрое прототипирование, печать функциональных деталей для тестирования и их доработки, изготовление индивидуальных компонентов, обратный инжиниринг, печать деталей дронов. Изготовление изделий для БПЛА с помощью 3D-принтера предоставляет инженерам безграничные возможности, в том числе объединение деталей в узлы для снижения веса, улучшения аэродинамики и прочностных характеристик. При этом обычно изготовление изделий занимает до нескольких часов.

В данном обзоре мы кратко рассмотрим основные области применения 3D-печати для дронов и БПЛА. Представленные образцы выполнены на принтерах компании INTAMSYS (технология печати FDM/FFF).

Рис. 1. Рама дрона, материал PEEK-CF



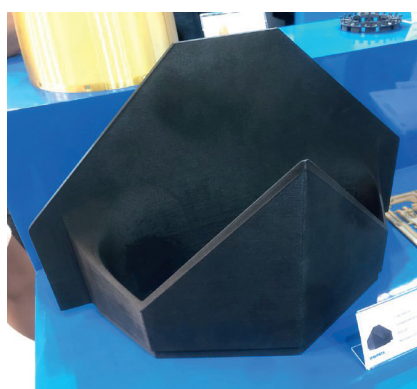
3D-печать корпусов и рам дронов

Производители дронов часто делают раму из инженерных пластиков, таких как PEEK, Ultem и др. (рис. 1). Они обеспечивают высокую жесткость конструкции при меньшем весе, чем если бы рама была из алюминия. Это позволяет добиваться более высоких аэродинамических характеристик и наращивать полезную нагрузку. При этом 3D-печать из полимеров зачастую дешевле, чем изготовление корпусов из легких металлов.

Рис. 2. 3D-печатные пропеллеры



Рис. 3. Воздухозаборник БПЛА материал PEEK-CF



3D-печать пропеллеров

Изготовленные на 3D-принтере пропеллеры дронов (рис. 2) обладают более высокой эффективностью, аэродинамикой, низким уровнем шума.

3D-печать аксессуаров и деталей дронов

3D-печать позволяет за короткое время изготовить детали для дронов (рис. 3–8), в том числе взамен поврежденных. Это особенно актуально, когда дроны используются вдали от мест возможной поставки: на море, в лесу, пустыне и пр.



Рис. 4. Носовая часть БПЛА материал PEKK

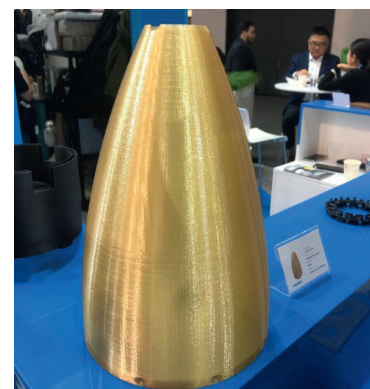


Рис. 5. Защита мотора дрона



Рис. 9. Обратное проектирование дрона

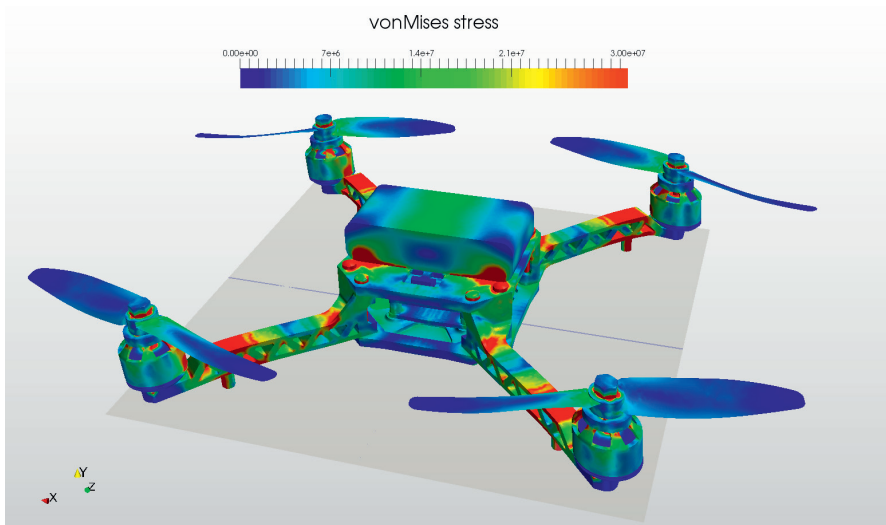


Рис. 10. Крепление антенны дрона



Рис. 11. Печать функциональных прототипов: а) проект пропеллера дрона, б) напечатанный пропеллер

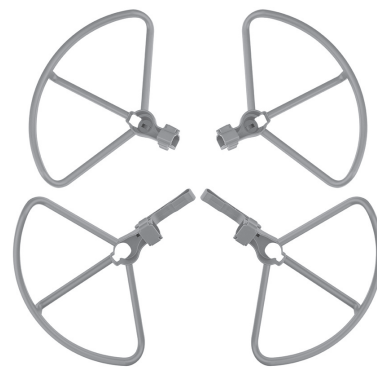
Рис. 6. Держатель аккумулятора



Рис. 7. Корпус лидара



Рис. 8. Защита пропеллера



Обратное проектирование деталей БПЛА

3D-печать копий оригинальных деталей через обратное проектирование (рис. 9) с помощью инженерных материалов – ULTEM, PEEK и др.

3D-печать антенн дронов и аксессуаров для их крепления

С помощью 3D-печати можно улучшить характеристики систем связи и навигации БПЛА, так как аддитивные технологии позволяют инженерам без проблем изготовить индивидуальные конструкции и крепление антенн (рис. 10), позволяющие улучшить передачу и прием сигнала.

3D-печать тестовых изделий для проведения испытаний

3D-печать идеально подходит для проверки и доработки конструкции дрона, печать функциональных прототипов изделий дрона занимает не более нескольких часов, далее напечатанная деталь тестируется (рис. 11). Это позволяет провести большое количество итераций за короткий промежуток времени, улучшить характеристики и качество БПЛА, ускорить выход изделий в серию.

Рис. 12. Дрон для распыления химикатов



3D-печать для дронов сельскохозяйственного назначения и для мониторинга

Дронам для мониторинга окружающей среды обычно требуются специализированные устройства для сбора информации, проб. Для дронов сельхозназначения необходимо производить форсунки для распыления (рис. 12), устройства для крепления полезной нагрузки. И 3D-печать идеально подходит для производства тестовых изделий и деталей небольшими сериями.

3D-печать для поисково-спасательных дронов

Для поисково-спасательных дронов требуется специальное оборудование (тепловизоры, медицинские аптечки и др.) и аксессуары,

Рис. 13. Спасательные дроны



их удобно изготовить с помощью 3D-принтера (рис. 13).

Гоночные дроны

Для соревновательных гонок нужны специальные конструкции каркаса и компонентов дронов (рис. 14) в соответствии с индивидуальными потребностями пилотов. Их удобно изготовить с помощью FDM-печати.

Транспортные дроны

Транспортировка грузов дронами (рис. 15) и БПЛА также требует индивидуальных решений по интеграции полезной нагрузки: держатели, зацепы, отсеки и др., которые могут быть оперативно изготовлены при помощи аддитивных технологий. ■



Рис. 14. Гоночный дрон



Рис. 15. Дрон-доставщик



Z-PRINTING

Тел. +7(495) 798-57-78

www.z-printing.ru

Заказ проектирования и изготовления изделий по 3D-технологии FFF/FDM из инженерных материалов (ULTEM; PEEK и др.) на промышленных высокотемпературных принтерах INTAMSYS (INTAMSYS FUNMAT PRO 610HT, FUNMAT PRO 410 и FUNMAT HT)

Защитно-декоративные покрытия металлических и неметаллических изделий

А.Н. Петров¹, Н.А. Моисеева², М.А. Петров¹

¹ Московский политехнический университет, ² НТЦ «Техноком-АС»

Металлы и сплавы подвержены разрушению под действием химических реакций, протекающих между металлом и окружающей средой: с находящимися в воздухе газами, с водой и с растворенными в ней веществами. Разрушение металлов под действием химического взаимодействия с окружающей средой называется коррозией.

На поверхности образуется новое вещество, оксиды, которые играют роль защитного покрытия основного металла от коррозии. Толщина пленки оксида может составлять от нескольких десятков до сотен нанометров. В процессе эксплуатации готовых изделий в разных областях применения: в авиационной, инструментальной, ювелирной и других — толщина защитного покрытия исчисляется десятками микрон.

Покрытие должно быть функциональным, поэтому выбор покрытия учитывает многие факторы, в том числе и условия эксплуатации изделия [1].

Покрытие в первую очередь должно защищать основной металл изделия от воздействия окружающей среды и тем самым увеличивать срок службы. Например, в авиационном двигателестроении применяют легкие сплавы на основе алюминия, титана и магния, никелевые сплавы, жаропрочные и жаростойкие стали. В условиях работы в газовой высокотемпературной среде применяют различные виды покрытий и технологии их нанесения, включая химические и электрохимические.

В автомобильной промышленности используют углеродистые стали и сплавы, которые защищают от атмосферной коррозии в условиях повышенных/пониженных температур и агрессивной среды с помощью металлических и неметаллических неорганических покрытий, наносимых химическим или электрохимическим способами.

В художественной и ювелирной промышленности, где применяют цветные металлы и сплавы на их основе, например, медь, серебро, золото, бронза, латунь, мельхиор, нейзильбер и т. д., широко применяют химические и электрохимические покрытия, необходимые для защиты от окисления этих металлов в атмосферной среде при низких температурах.

Согласно ГОСТу 9.008-82 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические», «Термины и определения», покрытие определяется как слой или несколько слоев материала, искусственно полученных на покрываемой поверхности. Насчитывается 26 видов покрытий и 16 различных способов получения этих покрытий, включая химический и электрохимический способы.

Защитные покрытия — покрытия для защиты основного покрываемого металла от коррозии. Защитно-декоративные покрытия — покрытия для защиты основного покрываемого металла от коррозии и придания его поверхности декоративного вида. Декоративное покрытие — покрытие для придания поверхности основного

покрываемого металла декоративного вида.

Требования к покрытиям изложены в ГОСТ 9.301-86 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические», «Общие требования». Независимо от своего назначения покрытия должны удовлетворять общему требованию: покрытия должны быть прочно соединены с металлом изделия и составлять с ним одно целое. Такое требование может быть удовлетворено при условии соблюдения технологического процесса подготовки поверхности изделия, ГОСТ 9.301-86.

Допустимая толщина покрытия устанавливается ГОСТ 9.303-84 исходя из условий эксплуатации и климатического исполнения согласно ГОСТ15150-69. Для случаев, когда оговаривается интервал толщин, увеличение минимальной толщины покрытия допускается в технически обоснованных случаях для покрытий: золото, палладий, родий и их сплавы, а также серебро.

Технология получения покрытий стандартизована ГОСТ 9.305-84 и устанавливает последовательность, параметры и режимы обработки операций, которые входят в технологические процессы.

Металлические покрытия получают, согласно ГОСТ 9.008-84, химическим, электрохимическим, газотермическим, вакуумным способами, в зависимости от условий эксплуатации конкретного изделия.

Химический способ представляет собой получение металлического или неметаллического неорганиче-

Рис. 1. Серебрение латуни



а) блестящее покрытие



б) матовое покрытие



в) серебрение и золочение

Рис. 2. Изделия с серебряным покрытием



а) подсвечник



б) графин

ского покрытия в растворе солей без электрического тока от внешнего источника. К таким покрытиям относятся металлические покрытия, полученные восстановлением: меднение, никелирование, серебрение и другие. Или неметаллические неорганические покрытия, полученные окислением, например, оксидирование, фосфатирование и другие.

Электрохимический способ представляет собой получение металлического или неметаллического неорганического покрытия в электролите под действием электрического тока от внешнего источника. Различают гальванические покрытия как вид электрохимического покрытия, полученного катодным восстановлением метал-

ла, и анодно-окисное покрытие, полученное анодным окислением металла.

С помощью химического или электрохимического способов можно создать на поверхности изделия искусственные пленки, которые обладают высокими защитными свойствами. Такая обработка не связана с выделением металла. Процесс образования оксидных пленок (соединение с кислородом) называется «оксидирование». Процесс образования пленок на основе сернистых и хлористых соединений называется «патинирование». Процесс образования фосфатных пленок при обработке в растворе фосфорнокислых солей марганца, железа и цинка называется «фосфатирование». Оксидирование и фосфатирование

— наиболее распространенные покрытия в машиностроении и других областях промышленности.

Наиболее часто встречающийся способ покрытия в машиностроении, художественном и ювелирном производстве и в других областях — это электрохимический способ (защитно-декоративные покрытия).

Например, серебрение применяют как защитно-декоративное покрытие в приборостроении и в химической промышленности, в фармацевтической и пищевой промышленности, а также в художественной и ювелирной промышленности. В чистом виде используется редко, в основном в сплавах с другими металлами. В практике получения покрытий электрохимическим способом применяют цианистые электролиты. Как правило, получают матовое покрытие (рис. 1).

Последующая полировка увеличивает трудоемкость и увеличивает расходы серебра. Блескообразующие органические и неорганические добавки позволяют получать блестящее покрытие на изделиях хорошего качества (рис. 1).

В ювелирном деле серебрение применяют для покрытия изделий из недорогих металлов в декоративных целях. Примеры серебряного покрытия на художественных изделиях приведены на рис. 2 и 3.

Рис. 3. Изделия с серебряным покрытием



а) статуэтка (серебро с чернением)



б) корона

Рис. 4. Титановая заготовка с силикатным покрытием после штамповки



Толщина покрытия столовых приборов — 10...30 мкм; ювелирных изделий — 1...25 мкм. Покрытие изделий (рис. 2 и 3) из латуни выполнено на оборудовании и по технологии фирмы НТЦ «Техноком АС», Москва.

В процессах обработки металлов давлением серебрение применяли для процессов горячей и изотермической штамповки титановых сплавов. В настоящее время для этих целей применяют более дешевый вид покрытий на основе силикатов. На рис. 4 показан общий вид заготовки газотурбинного двигателя после изотермической штамповки с покрытием на основе алюмосиликатов.

Золочение применяют для реставрации старых украшений. Золочению подвергают ювелирные изделия из серебра, золота и драгоценных металлов.

В приборостроении применяют для производства точных приборов. Толщина покрытия составляет 1...10 мкм.

Применяют цианистые электролиты в виде сложной комплексной соли. ГОСТ 9.305-84 регламентирует состав цианистых электролитов и режимы обработки. На рис. 5 и 6 изображены изделия, предостав-

Рис. 5. Изделия с золочением из музея, «Художественно-производственное предприятие»



Рис. 6. Изделия с золочением, НТЦ «Техноком АС»



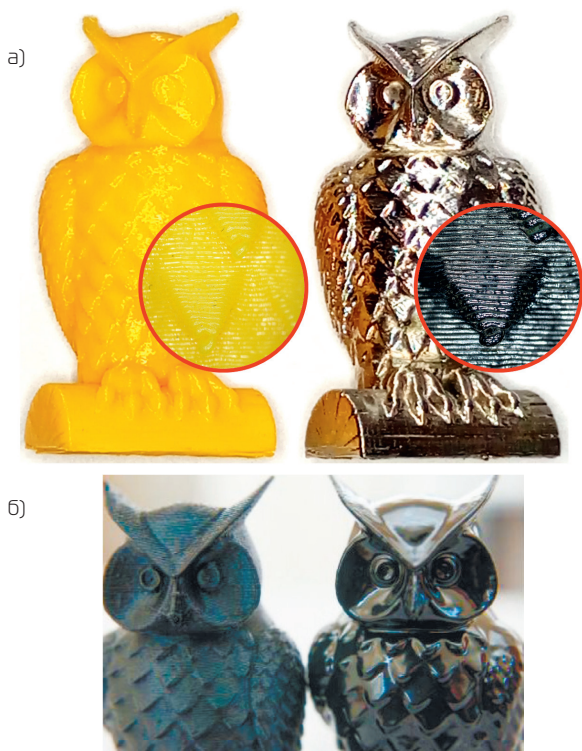
ленные музеем «Художественного производственного предприятия» и фирмой НТЦ «Техноком АС».

В настоящее время с появлением нового оборудования и новых производственных технологий, в частности 3D-принтеров и технологии экструзионной печати (ГОСТ 57589-2017), известной в англоязычном пространстве по аббревиатурам FDM/FFF, позволяющих изготавливать прототипы изделий по электронной модели (определение согласно ГОСТ 2.052-2021), разработка технологий получения металлических и неметаллических защитно-декоративных покрытий на полимерных материалах является весьма актуальной задачей.

Основным вопросом является влияние имеющейся неровности поверхности, образующейся естественным путем в процессе 3D-печати, на адгезионные свойства металлического покрытия (рис. 7а). Ощущаемая выкладка филамента и рельеф поверхности определяется больше термином «волнистость», нежели чем термином «шероховатость», так как характер неровности профиля повторяется на большой базовой длине измерения (ГОСТ Р ИСО 4287-2014). В таблице 1 дано сравнение шероховатостей поверхностей прототипов, полученных по разным технологиям 3D-печати.

После экструзионной печати прототипы могут быть подвергнуты нанесению аэрозольной краски, обработаны дробеструйным способом мелкой металлической или стеклянной дробью, абразивной бума-

Рис. 7. Пример металлизации: качество поверхности полимерного прототипа без постобработки (а), сравнение прототипов до (слева) и после (справа) химической обработки (б)

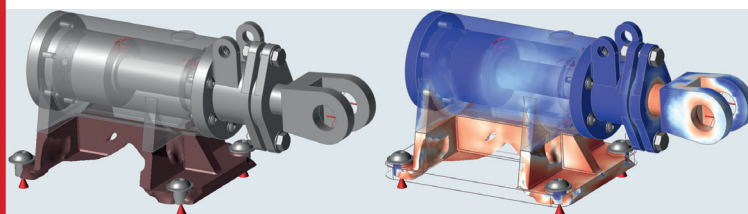


МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяется современное российское и зарубежное программное обеспечение.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

- исследование технологических свойств материалов для аддитивных технологий и выбор термомеханических режимов 3D-печати;
- разработка технологий и оборудования для аддитивного производства;
- обратный инжиниринг и топологическая оптимизация для решения задач обработки давлением и аддитивного производства;
- листовая и объёмная штамповка, прокатка — разработка, исследование, внедрение технологий на опытное или серийное производство;
- разработка, исследование, внедрение технологий изготовления метизных и крепежных изделий;



- специальные процессы штамповки: изотермическая штамповка и штамповка с кручением чёрных и цветных сплавов;
- повышение стойкости штамповой оснастки и кузнечно-штамповочного оборудования;
- разработка моделей материалов для компьютерного моделирования технологий обработки давлением.

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

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



Контактная информация:
115280, г. Москва,
ул. Автозаводская, д. 16
Тел.: +7/495/ 223-05-23, доб. 2344,
e-mail: omd.at@mospolytech.ru



гой разной зернистости. Известны способы получения полированной поверхности химическим способом, а именно — парами растворителей, например, на базе ацетона (рис. 7б) или дихлорметана [3], осуществляемые при помощи горячей или холодной бани или нанесением кисточкой. Подобная обработка в 5...7 раз снижает значение исходной шероховатости [4].

На рис. 8 и 9 показаны прототипы из полимера, изготовленные по электронным моделям на 3D-принтере Anycubic Kobra 2 из термопластика полиэтилентерефталатгликоль (ПЭТГ). Полуфабрикаты изделий (рис. 8 и 9) изготовлены под последующую роспись по эмали.

В НТЦ «Техноком АС» совместно с Московским Политехом (кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии») ведутся исследовательские работы по технологии изготовления и нанесению покрытий на художественные изделия из различных видов полимеров. Как пример ниже приведены рисунки изделий, отпечатанных на принтере с последующим нанесением никелевого покрытия.

На рис. 10 показаны объемные фигурки из полимеров для последующего электрохимического покрытия. На рис. 10б изображена фигурка «Сова» после печати и после нанесения никелевого покрытия. ■

Таблица 1. Показатели шероховатости полимерных прототипов, полученных по технологиям аддитивного производства [2]

Значение шероховатости	Технология 3D-печати*				
	SLS	MJF	SLA	FDM	PolyJet
Ra, мкм	2,5...8	4,4...12	1,5	22,5	2,1
Rz, мкм	19,7...50,1	31,1...69,4	10,1	114,9	17,2

* Примечание: SLS – selective laser sintering – технология порошковой 3D-печати преимущественно неметаллическими материалами; MJF – multi jet fusion – технология 3D-печати впрыском связующего, используется только один фотополимерный материал; SLA – stereolithography – обобщенное название технологий 3D-печати, в которых применяется фотополимер; FDM – fused deposition modeling – технология экструзионной 3D-печати; PolyJet – технология 3D-печати впрыском связующего, используется несколько фотополимерных материалов.

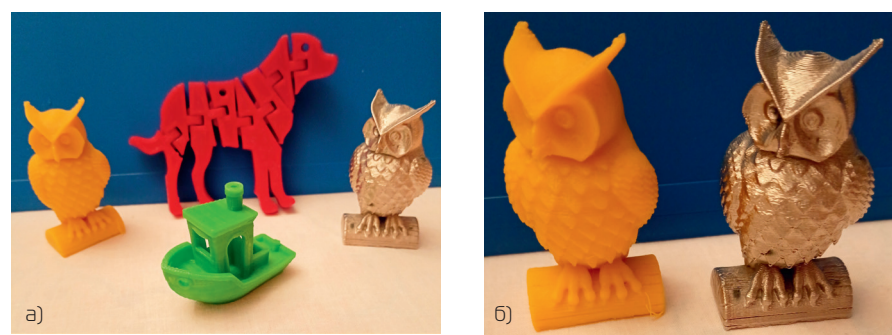
Рис. 8. Ваза: электронная модель с анализом толщины стенок в [мм] (а), прототип из зеленого (б) и белого (в) ПЭТГ



Рис. 9. Картина: каркасное представление полигональной модели (а) и прототип из белого ПЭТГ (б)



Рис. 10. Полуфабрикаты полимерных изделий



а) прототипы металлируемых изделий б) прототип до (слева) и после (справа) металлизации

Литература

1. А.Н. Петров, Н.А. Моисеева. Химические и электрохимические покрытия изделий: учебное пособие. М.: Московский Политех, 2020. С. 112.
2. <https://xometry.eu/en/surface-roughness-in-3d-printing/> (дата обращения: 09.01.2024)
3. <https://3dtoday.ru/blogs/harh/introduction-to-3d-printing-part-4-mechanical-and-chemical-postprocess?commentId=42736> (дата обращения: 09.01.2024)
4. J. Žigon, M. Kariž, M. Pavlič, *Polymers*, 2020, no. 12: 2797. DOI: 10.3390/polym12122797

Онлайн-регистрация на международную отраслевую выставку Rosmould & 3D-TECH 2024 объявляется открытой



Главная промышленная выставка летнего сезона Rosmould & 3D-TECH пройдет в Москве 18–20 июня 2024 года во 2-м павильоне МВЦ «Крокус Экспо» совместно с выставкой Rosplast, и онлайн-регистрация посетителей уже началась.

Rosmould & 3D-TECH — единственная специализированная выставка формообразующей оснастки в Восточной Европе, которая проводится в России с 2006 года. Выставка демонстрирует инновационное оборудование, технологическую оснастку и разработки в области производственных технологий, а также является флагманским событием в сфере аддитивных технологий и 3D-печати.

В 2024 году Rosmould & 3D-TECH представит крупнейшую экспозицию производителей технологической оснастки (пресс-формы, штампы, инструмент) для изготовления изделий, используемых в различных отраслях промышленности.

Экспозиция «3D-TECH — Аддитивные технологии и 3D-печать» продемонстрирует актуальные решения, продукты и новинки в области 3D-технологий от ведущих разработчиков и поставщиков 3D-оборудования и материалов для 3D-печати: «АМ.ТЕСН», «ЗД Вижн», «Авиметал 3Д», «Гранком», «Диполь», «Лидер 3Д», «Металком» («Русал»), НПО «Систем», «Рэндж Вижн», «Рэдфаб», «Синкам», «Терем», «Тоталзед», «Топстанок», «Топ3ДГрупп», «Хардлайт», «Цветной мир», «Центр аддитивных технологий» и других.

Из года в год выставка Rosmould & 3D-TECH демонстрирует рост экспозиции, и уже сейчас можно говорить об очередном увеличении площади: Rosmould & 3D-TECH и Rosplast пройдут в новых, больших по площади залах 2-го павильона «Крокус Экспо» и будут разделены по основным продуктовым группам. Общая площадь экспозиции составит более 20 000 кв. м, а экспонентами уже на данный момент предполагают быть более 500 компаний. Для сравнения — в 2023 году было 420 экспонентов. Посещаемость выставок также ставит ежегодные рекорды: в 2023 году Rosmould & 3D-TECH и Rosplast посетило 10 126 уникальных посетителей, что на 39% больше результатов 2022 года.

Среди экспонентов будут как иностранные компании и национальные павильоны Белоруссии, Индии, Ирана, Китая, Турции, так и российские компании и региональные коллективные экспозиции российских производителей. В этом году увеличение экспозиции происходит

благодаря активному интересу к российскому рынку иностранных участников, расширению продуктовых групп, а также активной работе с регионами. Для привлечения региональных участников мы продолжаем активно использовать программу поддержки предприятий малого и среднего бизнеса. Данная программа дает возможность компенсации затрат на участие в Rosmould & 3D-TECH. Подробная информация представлена на сайте выставки gsmould.ru.

Помимо экспозиции с широким охватом отечественных и иностранных производителей и поставщиков неотъемлемой частью Rosmould & 3D-TECH является разнообразная деловая программа, которая охватывает все заявленные тематические направления выставки. На данный момент в рамках деловой программы Rosmould & 3D-TECH запланированы следующие деловые и образовательные мероприятия:

- форум аддитивных технологий 3D-TECH;
- конференция по технологической оснастке;
- всероссийский инструментальный форум.

Сейчас детальная программа находится в процессе формирования. Подробное расписание деловой программы будет опубликовано ближе к выставке.

Традиционно выставка Rosmould & 3D-TECH является ключевым мероприятием для профессионалов индустрии пресс-форм и штампов, 3D-печати и аддитивных технологий. Это полная производственная цепочка на одной площадке, где вы получаете уникальную возможность всего за три дня закрыть все свои потребности и задачи как минимум на год вперед: изучить главных действующих участников производственного рынка, найти новых деловых партнеров, получить уникальные коммерческие предложения напрямую от производителей, узнать последние тенденции отрасли от экспертов рынка, ознакомиться с новинками в сфере формообразующей оснастки, 3D-печати и аддитивных технологий.

Запланируйте посещение Rosmould & 3D-TECH уже сейчас! Зарегистрироваться на выставку можно на сайте rosmould.ru, бесплатный билет по промокоду:

RM24-WJ7HC

Ждем вас на Rosmould & 3D-TECH 2024!

<https://rosmould.ru>

Тел. + 7 495 649 8775

marketing@rosmould.ru



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Шестнадцатая международная специализированная выставка

26 - 28 марта 2024

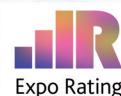
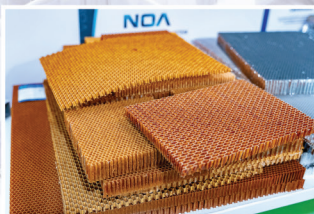
Россия, Москва,
ЦВК «Экспоцентр», павильоны 1 и 5



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



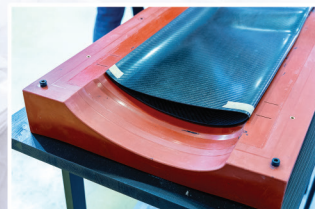
независимый
выставочный
аудит

Параллельно проводится выставка:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Пятнадцатая 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

Организатор:



youtube.com/user/compoexporussia



[@compoexporus](https://twitter.com/compoexporus)



[@compo](https://t.me/compo)

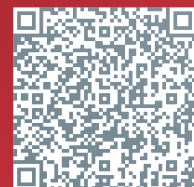


Мир-Экспо
Выставочная компания





24-я международная
специализированная
выставка



Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

20–24 | 05 | 2024

www.metobr-expo.ru

12+ РЕКЛАМА

65 ЭКСПОЦЕНТР

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ «АРМИЯ-2024»**

**12–18 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**

www.rusarmyexpo.ru

ВЫСТАВКА



21-24 МАЯ

МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»
ПАВИЛЬОН 1

NMF-EXPO.RU

НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛО- ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ФОРУМ-2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ
ВЫСТАВКА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

ONLINE-
METAL
WORKING



РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ НА 2024 год



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «РИТМ машиностроения» с любого месяца. Стоимость одного номера — 750 рублей, стоимость годовой подписки (7 номеров) — 5250 рублей.

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

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б
Почт. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
ИНН 7708266787
КПП 770801001
Р/с 40702810400120033781
ПАО АКБ « АВАНГАРД»
г. Москва
К/с 3010181000000000201
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 — 750 рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — 3000 рублей.

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



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