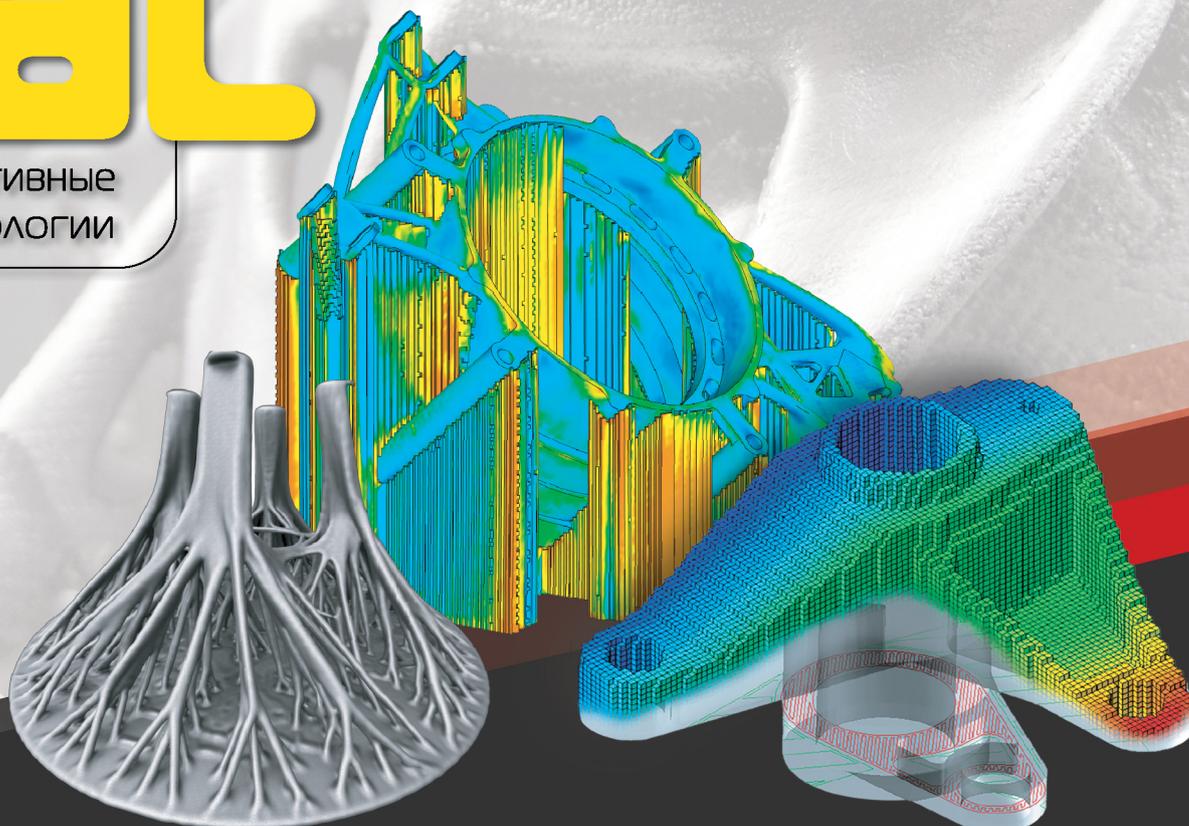


at

АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Компьютерное моделирование процессов 3D-печати

Лучшее решение в своем классе,
все стадии технологического процесса, комплексный подход

➤ Digimat™

additive manufacturing solution

Компьютерное моделирование 3D-печати деталей
из пластиков и композиционных материалов

➤ simufact additive

Компьютерное моделирование изделий из металла
методом 3D-печати

➤ Material Center

Система управления данными о материалах

➤ MSC Apex | Generative Design

Решение для топологической оптимизации, специально
адаптированное для аддитивных технологий



HEXAGON

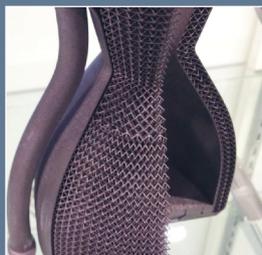
MSC Software

MSC Software RUS

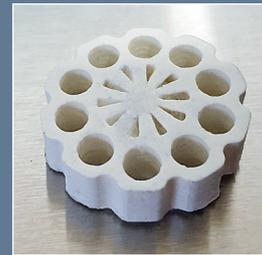
marketing.russia@mscsoftware.com
www.mscsoftware.ru



Новинки
и тенденции
10



Аддитивные
технологии
для производства
ракетного
двигателя
36



Аддитивные
технологии
для производства
изделий
из керамики
40

Оборудование для аддитивного производства

Ищете оборудование для аддитивного производства и литья порошков под давлением?

Микроструктурный анализ, измерение твердости, термообработка, измельчение и гомогенизация, а также анализ размеров и формы частиц – бренды Verder Scientific предлагают высококачественное оборудование, профессиональные консультации и поддержку пользователей по всему миру.

Пожалуйста, посетите наш веб-сайт www.verder-scientific.ru для получения более детальной информации.

**ООО "Вердер Сайнтифик" • Санкт-Петербург, ул. Бумажная, д. 17
(812) 777-11-07 • info@verder-scientific.ru**

Пробоподготовка для материалографии

Оборудование для резки, запрессовки, полировки и травления образцов в рамках подготовки поверхности к микроскопическому анализу.



www.atm-m.ru

Металлические детали требуют дальнейшего исследования, например, после процесса спекания. Большой выбор машин ATM для резки, полирования и травления позволяет обеспечить идеальную подготовку поверхности, необходимую для надежного микроструктурного анализа.

Высокотехнологичный отрезной станок Brillant 240 делает процесс подготовки образца для исследования надёжным и воспроизводимым. А новый **модульный пресс горячей запрессовки Oral X-Press** идеален для получения образцов с низкой усадкой, высокой плотностью и превосходным удержанием края.



Термообработка, спекание

Печи и термощкафы для термообработки, удаления связующих и спекания в среде воздуха, инертных и реакционных газов, а также вакуума.

Компания CARBOLITE GERO предлагает печи, специально разработанные для различных этапов термообработки металлических и керамических изделий, изготавливаемых с применением литья порошков под давлением и аддитивных технологий.

Области применения наших печей помимо прочего – высокотемпературное и каталитическое удаление связующих, сушка изделий после удаления связующих на основе растворителей, снятие внутренних напряжений, а также спекание в среде продувочного газа, водорода или вакуума.



www.carbolite-gero.ru





www.qness.com

Измерение твёрдости

QNESS специализируется на разработке и производстве инновационных твердомеров и предлагает качественные клиентоориентированные решения.

Измерение твердости в порошковой металлургии требует совершенно других параметров и процедур по сравнению с классическими испытаниями на твердость.

Порошок должен быть запрессован в смолу при помощи горячего пресса, а затем материалографический образец должен быть отполирован, чтобы получить чистую поверхность для испытания на твердость. Для проверки качества порошковых материалов идеальным решением является мощный микротвердомер по Виккерсу QNESS Q10/30/60.



Измельчение и просев

Мельницы для переработки сырья и промежуточных заготовок, просеивающие машины для отделения металлических порошков, остающихся после 3D-печати, для повторного использования.

В металлургии важную роль играет возможность повторного использования сырьевых материалов. Компания RETSCH предлагает широкий спектр оборудования, предназначенного для отсева порошков и измельчения металлических компонентов, что позволяет в дальнейшем повторно использовать переработанный материал в производственном процессе.



www.retsch.ru



Анализ размеров и формы частиц

Microtrac MRB производит инновационные оптические измерительные системы для характеристики частиц порошков, гранул и суспензий.

Такие свойства, как сыпучесть, сжимаемость, пористость или поведение во время спекания, которые влияют на пригодность металлического порошка для порошковых металлургических процессов, зависят от размера и формы частиц порошка.

Система CAMSIZER X2 является мощным инструментом для динамического анализа изображений, охватывающим диапазон размеров от 0.8 мкм до 8 мм.

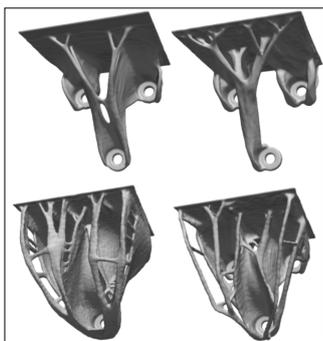


www.microtrac.com

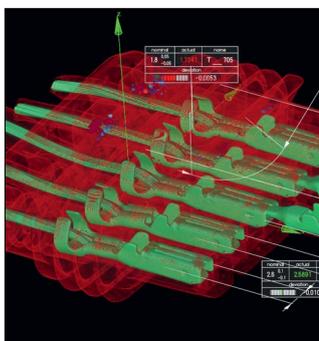




17



22



30

СОДЕРЖАНИЕ

- 5** Будущее здесь и сейчас
- 8** Дорогу осилит идущий
- 10** Новинки и тенденции
- 17** Formnext–2019: давайте напечатаем будущее
- 22** Решения MSC Software для аддитивного производства. Проектирование и топологическая оптимизация деталей, моделирование процессов
- 26** AM Solutions: полная технологическая цепочка для аддитивного производства. Инновации и решения от проектирования до финишной обработки поверхности
- 29** 3D-принтер с двумя экструдерами Magnum Creative 2 SW
- 30** Новый TomoScore XS – большие возможности в малом формате
- 32** Гранулометрический анализ частиц металлических порошков методом динамической обработки изображений
- 36** Аддитивные технологии для производства ракетного двигателя
- 39** Рентгеноконтрастный фотополимер HAZ Labs Dental RO
- 40** Аддитивные технологии для производства изделий из керамики

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

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

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

отдел рекламы
т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 101000, Москва
Милютинский пер., 18А,
оф. 3Бс, помещение 1
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

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

Тираж 5000 экз.

Распространяется на выставках
и по подписке.

Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.
Все права защищены ®.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации
в рекламных материалах
и оставляет за собой право
на редакторскую правку текстов.
Мнение редакции может
не совпадать с мнением авторов.



3D-ПРИНТЕР FHZL ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕСЧАНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

СДЕЛАЙ МОДЕЛЬНЫЙ УЧАСТОК ЦИФРОВЫМ



- Значительно ускоряет процесс литья:
Изготовление детали от чертежа до отливки занимает 3 дня
- Два бункера позволяют работать устройству без простоев
- Уменьшаются припуски на отливках, значительно снижается масса детали
- Возможность изготовления форм/деталей со сложной геометрией
- Песчаные формы - до 2200 мм

ПЕСЧАНЫЕ СТЕРЖНИ:



Стержень рабочего колеса



Стержень клапана



Стержень со сложной геометрией

КОНЕЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ:



Насос



Впускной патрубок



Сервотормоз самолета



i3D — дистрибьютор FHZL в России и странах СНГ. fhzl.ru
Телефон: +7 (495) 108 60 68 | e-mail: 3d@i3d.ru.
Главный офис: г. Москва, ул. Докукина, дом 16, стр. 3

Напечатали печень

Исследователи из Центра изучения человеческого генома и стволовых клеток Университета Сан-Паулу в Бразилии сумели напечатать на 3D-биопринтере работоспособные уменьшенные копии печени. Мини-версии органа могут производить жизненно важные белки, накапливать витамины и вырабатывать желчь, а также выполнять другие функции печени. Эксперимент длился 90 дней от забора крови пациента до полного созревания готового образца.

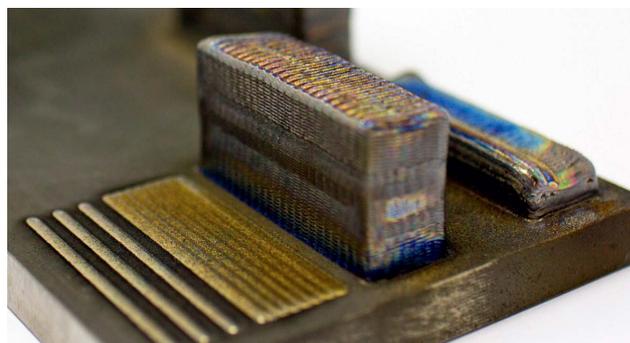
Одна из интересных особенностей проекта в том, что команда работала со скоплениями клеток, которые называются сфероиды, а не с отдельными клетками. Отмечается, что такой подход помог сохранить жизнеспособность тканей на более длительный период.

Первый этап процесса — это перепрограммирование клеток крови, которые должны превратиться в индуцированные стволовые клетки. После этого важнейшего шага начинается дифференциация, и скопления стволовых клеток становятся клетками печени. Затем готовые сфероиды можно смешать с биочернилами и приступить к печати на 3D-биопринтере CELLINK INKREDIBLE. Клетки готовых конструкций продолжают развиваться и достигают зрелости через 18 дней.

www.3dpulse.ru

Медь для твердости

В ходе экспериментов с селективным порошком титанового сплава ученые из Мельбурнского королевского технологического института обнаружили, что добавление в него порошка меди значительно увеличивает прочность получившегося изделия и частично препятствует образованию колоннообразных кристаллов.



«Добавление порошка меди позволило добиться полностью равноосной структуры: это означает, что кристаллы внутри изделия росли одинаково во всех направлениях, образуя прочные связи, а не в колоннах, что может привести к появлению уязвимых мест, склонных к растрескиванию», — поясняет Марк Истон, ведущий автор исследования.

<https://hightech.fm/>



VII Международный технологический форум «Инновации. Технологии. Производство»

15-17 апреля 2020 года

г. Рыбинск, Ярославская область



Программа и информация по участию в форуме доступна на сайте <http://itp-forum.ru>

Дополнительная информация по телефонам: 8 (4855) 326-038

Татьяна Карпова

Применение аддитивных технологий в медицине многогранно, актуально и расширяется быстрыми темпами, в том числе и в России. И тому прямое подтверждение — информационные сообщения участников конференции «3D-печать/Аддитивные технологии для медицины, мировой и российский опыт», которая впервые была организована компанией Z-Axis в рамках международного научно-практического форума «Российская неделя здравоохранения», проходившего в декабре 2019 г. на ЦВК «Экспоцентр» (г. Москва). Здесь были представлены возможности 3D-печати для хирургии, ортопедии, стоматологии и даже биопечати.

Так, из подробного доклада генерального директора компании CML Medical Яны Чекрыжовой видно, что процесс производства индивидуального напечатанного импланта многостадийный. Он включает проектирование, 3D-печать, термообработку, механическую обработку, очистку. Тем не менее реалии сегодняшнего дня таковы, что средний срок от предоставления результатов компьютерной томографии (КТ) до получения врачом изделия в среднем составляет только две недели. Компания в партнерстве с ООО «ТЕН. МедПринт» занимается проектированием и производством индивидуальных имплантов из медицинского титана, среди которых краниопластины, тазобедренные чашки, челюстные пластины, части позвоночника и др.



Наиболее ответственным, по мнению докладчика, является этап проектирования, который включает в себя:

- сканирование (получение КТ, МРТ-снимков анатомической области);
- обработку изображений в специализированном ПО, получение геометрии тканей и структур, для которых проектируется эндопротез;
- согласование с врачом требований и ограничений на проектируемый эндопротез, таких как: техника операции, место установки и крепления, тип крепления, тип фиксации, детали сборки, вес изделия, области с ячеистой структурой;
- проектирование эндопротеза с учетом требований, добавление ячеистой структуры, виртуальная проверка функциональности, технологическая проработка;
- согласование полученной геометрии с врачом, корректировка конструкции эндопротеза в случае необходимости, отправка на 3D-печать.

Важной составляющей для успешного проведения операции является предоперационная подготовка, которая позволяет снижать риски возникновения ошибок, обеспечивать точность проведения операции, сокращать время ее проведения и реабилитационного периода. И здесь возможности 3D-печати также востребованы. Например, вместе с краниопластиной компания CML Medical осуществляет поставку напечатанного сегмента черепа, чтобы врач мог состыковать их между собой, запланировать последовательность крепления, а также обдумать ход операции. Другим инструментом для точного позиционирования эндопротезов являются шаблоны и направляющие, также сокращающие время операции.

Созвучный по тематике доклад сделала и генеральный директор компании Rozvonoq Ольга Вобля, в котором рассказала о работах по изготовлению индивидуальных и серийных межпозвоночных кейджей (имплантов, используемых в хирургии позвоночника). Напечатанные импланты с множеством каналов,



Яна Чекрыжова,
компания CML Medical

Стоматологические капы
Фото: Mydent24



Кейджи
Фото: Pozвоноч



Краниопластина
Фото: CML Medical



образующих трехмерную сетку, наилучшим образом справляются с задачами обеспечения механической устойчивости и прорастания через них эндогенной кости. Отсутствие связующего звена между поверхностью и самим имплантом обеспечивает высокую структурную прочность, что снижает риск расслаивания, характерный для макрошероховатых покрытий. Геометрическое повторение базовой ячейки позволяет получать однородную и высокопористую внешнюю поверхность, которая характеризуется высоким коэффициентом трения. Компанией подготовлены 10 линеек изделий для различных сегментов позвоночника: шейных и крестцовых. Это больше 275 типоразмеров, два варианта исполнения: полый и с ячеистой структурой. В настоящий момент оформляется регистрационное удостоверение в Росздравнадзоре, необходимое для выпуска и реализации серийной продукции.

Конечно, в данном вопросе было интересно услышать и мнение практикующего врача. В докладе врача-нейрохирурга Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова Андрея Ваврына были приведены примеры операций, когда аддитивные технологии позволяли провести предоперационное планирование операционного вмешательства, определить тактику и объем трепанации черепа и провести одномоментную краниопластику. В перспективе развития и применения аддитивных технологий в академии были отмечены следующие направления: замещение дефектов костей свода черепа, предоперационное планирование хирургии головы и позвоночника, симуляционные модели, прототипирование новых и усовершенствование уже имеющихся инструментов. В плане же проведения краниопластики это изготовление пресс-форм для формирования пластин из полиметилметакрилата (PMMA) и непосредственная печать готовых пластин из тугоплавкого полиэфирэфиркетона (PEEK).

Еще одно направление для применения АТ — травматология и неврология. Об изготовлении и опыте применения напечатанных на 3D-принтере ортезов доклад сделал генеральный директор компании «Здравпринт» Александр Косарев. Преимуществами ортезов компании по сравнению с традиционными

гипсовыми повязками являются: малый вес, быстрая процедура наложения при помощи бытового фена, влагостойкость, дышащая структура, эстетичный вид, легкое снятие и последующая фиксация при необходимости. Существуют ортезы для верхних, нижних конечностей, индивидуальные маски. Среди успешно решенных задач, например, лечение подкожных разрывов сухожилий разгибателей пальцев кисти (за полтора года был пролечен 61 пациент, в 92% случаев полностью восстановилось разгибание дистальной фаланги пальца, в 6% получены удовлетворительные результаты). Примечательно, что для проектирования и печати ортезов достаточно фотографии тела человека.

Аддитивные технологии в стоматологии, можно сказать, уже стали привычными. Они обеспечивают экономию времени, денег и эстетику. Среди напечатанных изделий: модели (для формовки лайнеров, для планирования лечения), каркасы для литья или прессовки керамики, временные коронки, хирургические шаблоны, капы и др. По мнению Артема Гатича — представителя компании Mydent24, специализирующейся на поставке оборудования для стоматологических клиник, активному применению 3D-печати в зубоврачебной практике способствует все большая доступность оборудования, появление новых программных продуктов, расширение линейки материалов, накопление опыта применения АТ в решении стоматологических задач.



Клим Дорготовцев,
компания Z-axis

У компании Z-axis, поставщика оборудования, ПО и материалов, также большой опыт работы с медицинскими компаниями. Ее представители рассказали об использовании 3D-принтеров Intamsys (печать пластиковой нитью) и Sintartec (метод лазерного спекания порошка из пластика) для мелкосерийного и индивидуального производства це-

лого ряда медицинских изделий и оборудования: протезов, ортезов, инвалидных колясок, медицинского оборудования, обуви, оснастки для операций и др., а также о специальном программном продукте Paramatters, который позволяет значительно сократить время проектирования изделий для их печати на 3D-принтере.

Впечатляющие задачи решаются в рамках развития биопечати, последние достижения которой представил управляющий партнер компании 3D Bioprinting Юсеф Хесуани.



Юсеф Хесуани,
компания 3D Bioprinting

Трехмерный биопринтинг — это послойная роботическая биофабрикация функциональных трехмерных тканевых и органных конструкций на основе цифровой модели с использованием живых клеток в качестве печатного материала. Основные составляющие технологии: биопринтер, биочернила, биобумага. Технология развивается достаточно активно. Сейчас в мире порядка 80 компаний, производящих биопринтеры, около 1000 лабораторий имеют на вооружении биопринтеры для проведения разного рода исследований.

Существует несколько типов органов, которые

можно разделить по сложности печати (от простого к сложному): плоские (кожа, хрящ), полые трубчатые (сосуды, трахея), полые нетрубчатые (мочевой пузырь, матка), солидные (почка, печень). Отдельной группой являются эндокринные органы. Уже созданы принтеры и роботизированные установки для замещения дефектов кожи непосредственно в тканевый дефект, напечатаны сосуды для крыс, кроликов, минипигов. Особенно в данных направлениях продвинулись зарубежные ученые. Ведутся уникальные работы восстановления функций на уровне организма, где среди лидеров российская компания 3D Bioprinting. Так, в лаборатории 3D Bioprinting в 2015 г. у мыши была успешно заменена щитовидная железа, а в декабре 2018 г. проведены эксперименты в космосе на МКС. Были выращены конструктивы хрящевой ткани человека и щитовидной железы мыши.

Если говорить о перспективах развития биопечати, то, по оценкам Международного общества биофабрикации, первый орган, пересаженный человеку, появится в 2030 году. Кроме того, биопринтинг уже стал индустрией для фармацевтических компаний, которые проводят испытания лекарственных препаратов на трехмерных конструктивах, а не на животных.

Все эти сообщения еще несколько лет назад можно было назвать фантастическими, а сейчас это повод для размышления практикующим врачам над новыми подходами оказания качественной медицинской помощи. ■

**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ:
ОТ 3D-ПЛАНИРОВАНИЯ ДО БИОПЕЧАТИ**

Научно-практическая конференция с международным участием
Холидей ИНН Московские Ворота, Санкт-Петербург

10 апреля 2020

РНИИТО им. Р.Р. Вредена (Санкт-Петербург), ПИМУ, Ассоциация специалистов по 3D печати в медицине (Нижний Новгород) приглашают Вас принять участие в научном мероприятии основными вопросами которого будут: юридические аспекты и стандарты аддитивных технологий; чудеса 3D-визуализации; технологические аспекты 3D-печати; роль и место аддитивных технологий в медицине: реальные результаты.

КОНТАКТЫ. Научная программа: +7 (965) 073-38-81, Additivmed@yandex.ru, Денисов Алексей Олегович
Сервис: ООО «Альта Астра», (812) 386-38-31, 386-38-32, www.altaastra.com, mailto: info@altaastra.com



Татьяна Карпова

11 декабря 2019 г. в торжественной обстановке прошло открытие нового здания Инженерно-конструкторского центра, в котором расположились Научно-инженерная компания (ООО «НИК»), совместное российско-немецкое предприятие ООО «ФИТНИК» и Центр прототипирования и аддитивных технологий (ООО «ЦПАТ»). Целью создания Инженерно-конструкторского центра стало объединение конструкторского и производственного потенциала инновационных компаний и опыта мировых лидеров проектирования и производства. В данном случае компетенции ООО «НИК» — это проектирование и расчеты конструкций, ООО «ФИТНИК» — инжиниринг в области аддитивного производства, ЦПАТ — 3D-печать, механообработка, контроль качества и испытания полученных изделий.

Компания ООО «НИК» организована специалистами из ОКБ Мясищева в 1997 г. Направления ее деятельности: разработка конструкций, прочностные расчеты, проектирование конструкций из композиционных материалов, проектирование авиационных систем и бортового оборудования, техническое обучение и повышение квалификации инженеров, разработка алгоритмов и систем, обеспечивающих безопасность полетов, технологическая поддержка производства, внедрение и развитие аддитивных технологий. Собственными разработками компании являются: двухместный самолет «Сигма-7» со складывающимся крылом, новый транспортный самолет для местного воздушного сообщения, семейство беспилотных и пилотируемых автожиров и др.

Вокруг ООО «НИК» в консорциуме «НИК-Аэро» объединено несколько малых авиастроительных ком-

паний для эффективного использования потенциала каждой. Целый ряд перспективных проектов развивается в рамках международного сотрудничества. Так, 20-летнее партнерство с компанией Boeing не только позволило сохранить в свое время лучших специалистов, но и благодаря новейшим технологиям, принесенным в Россию, значительно нарастить кадровый потенциал компании. Сейчас штат инженеров ООО «НИК», включая работающих по программам Boeing, составляет более 500 человек. В 2018 году ООО «НИК» и Гуансийской инвестиционной компанией «Новый авиационный город» (Китай) основано совместное предприятие ANT-NIK. Его цель — создать авиационный городок, не имеющий аналогов в Китае, включая частные дома с летательными аппаратами, взлетно-посадочную полосу, летную школу, производство и сервис летательных аппаратов. В том же 2018 г. создается совместное предприятие с немецкой компанией FIT AG — мировым лидером по производству деталей и изделий с помощью аддитивных технологий.

Большое внимание в компании уделяют образовательной и общественной деятельности. Это и обеспечение профессиональной подготовки собственных сотрудников, и тесная работа с вузами по подготовке студентов, и профориентационная работа со школьниками. По инициативе ООО «НИК» в 2015 году создан фонд «Легенды Авиации».

ООО «ФИТНИК» — совместное предприятие ООО «НИК» с немецкой компанией FIT AG — мировым лидером по производству деталей и изделий с помощью аддитивных технологий с более чем 25-летним опытом.

FIT AG — это более 330 высококвалифицированных специалистов, более 50 установленных машин, реализующих различные технологии по пластику, фотополимерам, металлу, керамике, песку и др., более 750 тысяч различных деталей в год. Одно из ноу-хау компании — организация автоматизированного производства, объединенного в единую систему, где весь процесс контролируется единым программным обеспечением. Данное решение способствует как накоплению базы знаний, так и улучшению качества производства. Другая особенность компании связана с ее положением на рынке АТ. Большое количество известных производителей оборудования отрабатывает на ее базе свои технологии. В компании реализован полный цикл аддитивного производства от проектирования до контроля качества готовой продукции.



Таким образом, компания «ФИТНИК» открывает для российского рынка возможности серийного аддитивного производства, включая современные методы проектирования, сертифицированное серийное аддитивное производство в Германии, полный производственный цикл, контроль качества изготовленных деталей, разработку и внедрение новых материалов для аддитивного производства и др.

ООО «ЦПАТ» создано в 2018 г. с целью развития научной и производственной базы применения аддитивных технологий в г. Жуковском. В рамках мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития наукоградов РФ по государственной программе Московской области «Предпринимательство Подмосковья» на 2017–2021 годы, при поддержке правительства Московской области и администрации г. Жуковского, в ЦПАТ было поставлено инновационное оборудование на сумму 89,6 млн руб., а также предусмотрено дооснащение на 24,9 млн руб. Далее, в 2021–2023 годах планируется создание центра аддитивного производства, а в 2024–2025 го-



дах — создание «умного цифрового производственного комплекса».

В центре уже запущены: аддитивная установка по металлу от компании SLM-Solutions, пятикоординатный металлообрабатывающий центр DMG MORI, ленточнопильный и шлифовальный станки для отделения деталей от платформы и обработки платформ построения, а также чистовой обработки деталей. Имеется парк испытательного оборудования для определения качества порошка, изготовления и тестирования образцов-свидетелей, контроля геометрии изделий. Также установлены печь для снятия внутренних напряжений изделий, климатические камеры тепло—влага—холод. Центр оснащен новой офисной техникой, лицензированным программным обеспечением. Созданы удобные рабочие места, специализированные учебные классы.

«Везет тому, кто везет»

Данному торжественному событию предшествовала огромная напряженная работа руководства компании «НИК», возглавляемой Александром Николаевичем Корнеевым, правительства Московской области, администрации г. Жуковского и др. Тщательное изучение рынка на выставочных мероприятиях, многочасовые сложные переговоры, судьбоносные встречи, когда, по словам заместителя генерального директора ФГУП «ЦАГИ» Андрея Петровича Войтюка, люди-созидатели, смотрящие в одну сторону, притягиваются друг к другу.

В приветственных словах во время церемонии открытия отмечались высокая концентрация усилий в исполнении проекта, сплоченность и профессионализм команды, которая в едином порыве реализовала такую прекрасную идею, а также уникальность здания, представленных технологий и вытекающих возможностей. И, конечно, звучали пожелания благополучия и успехов в реализации поставленных целей и задач. ■



Фотом: <https://3dprintingindustry.com>

Н.М. Максимов, ООО «Ника-Рус»

Выставка Formnext становится основной площадкой в «старом свете» для аддитивных технологий. 850 участников, 34500 гостей (что на 28% больше 2018 г.), а также огромные выставочные площади в 4 павильонах, уникальные лекции специалистов каждый день и оптимизм участников и потенциальных потребителей в дальнейшем ускоренном развитии и росте числа приложений в промышленности. Поэтому в данной статье дается лишь краткая информация о новинках аддитивного производства (AM).

В 2019 г. более 40% пользователей AM применяли его для полномасштабного производства, т.е. произошло реальное удвоение в сравнении с прошлым годом (21%). Особенно это заметно по изменению отношения к AM в авиакосмической отрасли, где обоснованно снимаются многие ограничения как по ассортимен-

ту изготавливаемых AM-деталей, так и по радикальному изменению их конструкции в соответствии с принципами проектирования (DfAM).

AM-технологии работы с металлом представили на выставке 185 компаний. Наиболее востребованной из AM становится технология печати со связующим (Binder Jetting) из-за высокого разрешения, отличного качества поверхности изделий и огромной производительности, позволяющей печатать сотни и тысячи изделий. К преимуществам нужно отнести то, что не требуется подог-

рев подложки и камеры с последующим их охлаждением, не нужна инертная газовая среда, машина готова к следующей работе через 15–25 минут после завершения предыдущей. Но для получения готового изделия напечатанная заготовка должна пройти процедуру удаления связующего и спекания.

Ниже приведены несколько примеров новинок оборудования для работы с металлом. Это 3D-принтер DM P2500 (Digital Metal®) [1], который может печатать серию изделий без поддержки, размещая их рядами по

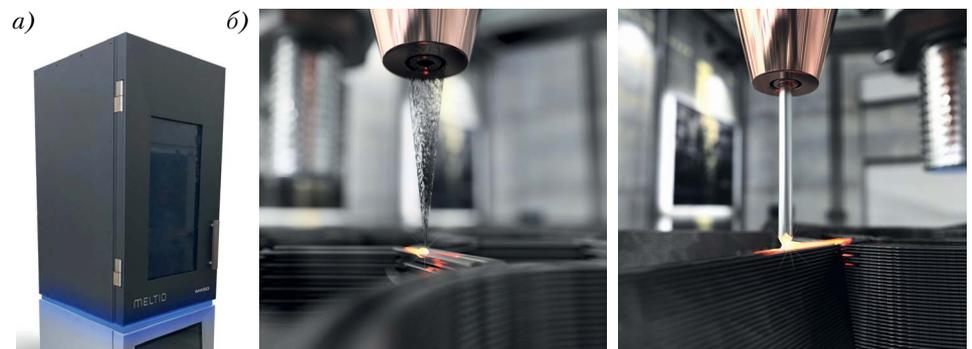


Рис. 1. Принтер DM P2500 (Digital Metal®)



Рис. 2. Принтер M450: а) внешний вид, б) печать порошком (слева) и проволокой с одной головкой, в) мульти-лазерная головка



высоте рабочей камеры (рис. 1). Его характеристики: разрешение 35 мкм, качество поверхности Ra 6 мкм, рабочая зона 203×180×69 мм, производительность до 100 см³/час, использует сплавы: стали 316L, 17-4PH, титановый сплав Ti6Al4V; супер-сплавы – инконель DM 625 и высокотемпературный DM 247. Применение в авиации. Принтер M450 [2] с возможностью одновременной или раздельной печати металлическими порошками и проволокой (технология LMD – лазерное нанесение металла) был впервые представлен компанией Meltio (Испания) – рис. 2. Компания обладает опытом в области 3D-печати, контроля качества и обратного инжиниринга и была создана на базе компаний Additec и Sicnova. Принтер может быть встроен в систему CNC-металлообработки (гибридное решение), оснащен роботом или портальной

системой. Его характеристики: рабочая зона 150×200×450 мм, камера с инертным газом, практически все доступные для AM материалы в виде порошков (45–90 мкм) и проволоки (диаметр 0,8–1,2 мм), подогрев подложки, проволоки.

Изделия обладают 100% плотностью, стоимость материалов значительно ниже рыночных материалов для 3D-печати (до 10 раз), можно печатать одно изделие разными материалами, скорость печати выше (до 10 раз), чем у конкурентов. Оборудование позволяет не только печатать изделия целиком, но и восстанавливать изношенные детали, делать наплавку, лазерное плавление, резку, нанесение текстуры и полировку (рис. 3). Используются твердотельные лазеры с диодной накачкой (количество лазеров – 3 и более) мощностью от 0,6 до 1,5 кВт.

Компания Launcher (США) [3] изготовила из медного сплава самую большую напечатанную на 3D-принтере EOS деталь. Это деталь двигателя E-2 малых ракет для вывода спутников на орбиту – камера сгорания высотой 860 мм и диаметром сопла 410 мм (рис. 4).

Швейцарская компания Urban Alps [4] использовала идею технологии «Стелс» для печати ключей, цилиндров и навесных замков высокой секретности. Идея заключается в том, что геометрия, определяющая код секретности, скрыта и защищена от дублирования ключа (рис. 5). Такое устройство найдет применение в местах повышенного риска, где физические ключи распределяются среди широкого круга сотрудников: правительственные учреждения, предприятия энергетического сектора,

Рис. 4. Ракетный двигатель с напечатанной камерой сгорания

Рис. 3. Примеры напечатанных на M450 деталей



а) ключ

б) цилиндр



Рис. 5. Напечатанный ключ (Stealth Key) с) замок



военные, пограничники, таможня и т. д.

АМ в автомобильном производстве получила признание из-за появления новых композитных материалов, дешевых и прочных, которые могут заменить многие металлические детали машин. Не нужно ждать изготовления оснастки и инструментов, поэтому сокращается время изготовления новых моделей и выхода их на рынок. Другой вопрос связан с производством запчастей для автомобилей и их хранением. При наличии АМ-оборудования и САД-файлов деталей можно отказаться от огромных складов запчастей, а производить требуемую запчасть на месте в нужное время независимо от года выпуска автомобиля. Это касается и кастомизированных деталей, выполненных по индивидуальному заказу. Как пример можно рассматривать сотрудничество компании Carbon и Lamborghini, где напечатанные полимерные детали (рис. 6, 7а) отвечают самым высоким требованиям надежности и качества автопроизводителя [5].

Мировой гигант в производстве шин — компания Michelin (Франция) представила новый дизайн шин (рис. 8), которые производятся с использованием АМ, под названием UPTIS (Unique Puncture-proof Tire System — уникальная устойчивая к проколам система шин).

Применение АМ в строительстве и архитектуре стремительно

растет, поскольку появляются новые возможности для свободного проектирования, включая автономное строительство сооружений на будущих базах на Луне и Марсе. АМ позволяет строить сложные формы по индивидуальному дизайну с высокой эффективностью, одновременно решая вопросы силовой нагрузки (армопояс из металла или композитов), теплоизоляции (вспененный материал), скрытых полостей для коммуникаций. Кроме того, в заводских условиях можно изготавливать с помощью АМ отдельные элементы входных и фасадных групп здания, накладные элементы, скульптурные группы и парковую архитектуру. В Дубае в финансовом центре с помощью АМ построен еще один павильон (рис. 9), представляющий абстрактные ботанические формы как символ единения с природой. Были использованы две технологии — FDM (компания Ai Build, UK) с материалами из 30000 использованных пластиковых бутылок для воды («зеленые технологии») и строительный принтер (компания Besix 3D, Belgium), [6].

Огромные перспективы открываются для АМ в области медицины и здравоохранения, особенно в биомедицине. Индивидуальные протезы конечностей, вставки для слуховых аппаратов, ортопедические стельки, напечатанные имплантаты суставов (тазобедренный, коленный, локтевой)

Рис. 8. Пример UPTIS шины от Michelin



Рис. 6. Крышка топливного бака Urus SUV Lamborghini напечатана на принтере L1 (Carbon), материал Epoxy (EPX) 82 resin.



Рис. 7. Вентиляционный короб (а) на панели Lamborghini SiánS (b), напечатанный на принтере L1 Carbon

a)



b)



для конкретного пациента — это становится уже повседневной практикой для клиник. Большой прогресс наблюдается в разработке новых материалов медицинского назначения для АМ, которые должны быть антими-

Рис. 9. Строительный проект в Дубае



Рис. 10. Модель десны, напечатанная на принтере Carbon [5]



кробными, антисептическими, биосовместимыми. В частности, материалы для костной ткани суставов должны иметь пористость для остеоинтеграции. В стоматологии применение АМ также стало рутинной процедурой: интраоральное сканирование, изготовление протезов зубов, мостов и коронок, вставок для ортодонтических процедур, применение напечатанных элементов для процедур (например, ложек для сканирования, рис. 10). Использование напечатанных органов и частей тела пациента для планирования хирургических операций и обучения студентов — еще одно важное применение АМ. В биомедицине печать на 3D-биопринтерах тканей для регенеративной медицины и органов для трансплантации является основой биотехнологий. Большие надежды связаны с успехами выращивания тканей и моделей печени, почек, кровеносных сосудов, легкого и сердца. В эти исследования включаются все большее количество участников от стартапов до крупных исследовательских центров.

АМ в электронике — это прежде всего возможность печати проводников, датчиков, антенн, электронных компонент на поверхности корпуса прибора, что позволяет использовать беспроводные технологии для «умного дома», для сбора энергии, для замены вредных технологий травления и т. д.

Аддитивное производство переопределяет машиностроение: от

прототипа к запчасти, от инструмента до полной сборки. На примере Германии, по итогам 2018 г. 47% машиностроительных предприятий уже используют АМ, еще 33% находятся в процессе интеграции АМ в свое производство. В 2016 г. таких предприятий было всего 8%. АМ демонстрирует свои преимущества там, где традиционное машиностроение достигает своих пределов.

Компания Huerfganic предлагает, например, не стандартный САД для проектирования сложных объектов, а способ описания объектов с помощью алгоритмов и искусственного интеллекта (AI); автоматизацию проектирования и инженерных процессов; контроль за процессом печати и возможность градиентной печати разными материалами. Получив исходные параметры для проектирования, программа автоматически создает модель для печати, при изменении этих параметров получается другая оптимизированная модель (рис. 11).

АМ реально изменило производство ювелирных изделий, часов и украшений. Почти 99% изделий (рис. 12) производятся с

Рис. 11. Образец печати теплообменника со сложной структурой каналов



использованием литьевых форм и восковых моделей, изготовленных на 3D-принтерах с высоким разрешением и точностью [7]. Есть 3D-принтеры, печатающие готовые изделия из порошков золотых сплавов.

Еще одно направление АМ — производство упаковки. Готовая продукция от ювелирного изделия до промышленной турбины должна быть правильно упакована и прийти к покупателю без повреждения. Особые требования предъявляются к специальной упаковке медицинских товаров, предметов искусства, где используется сканирование изделий с последующим определением точек

Рис. 12. Пример массового изготовления моделей для литья по выплавляемым моделям: а) напечатанные «елки» с моделями (около 4000 штук) на принтере DWS 030J; б) отливка напечатанной «елки»

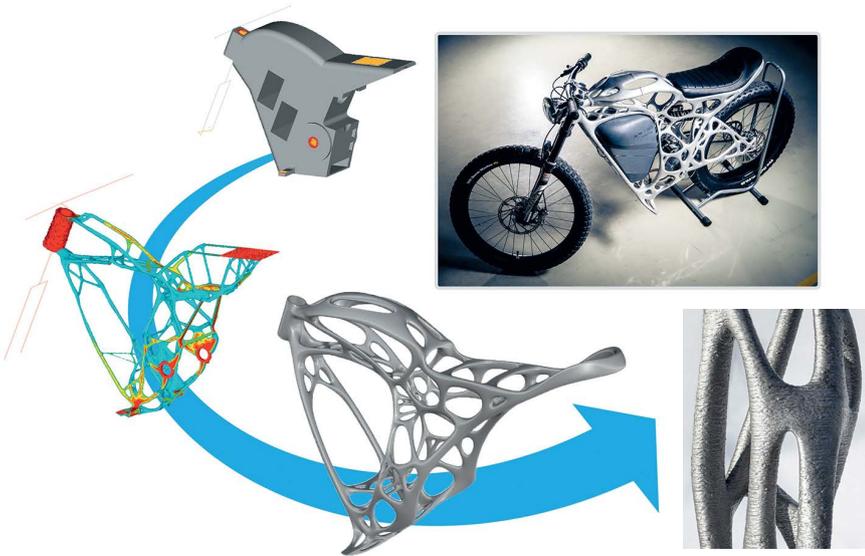
а)



б)



Рис. 13. Рама мотоцикла, сконструированная с помощью программы Altair с учетом топологической оптимизации. Уменьшение веса на 30%.



закрепления, конструированием индивидуальной упаковки и ее изготовлением. Это делает упаковку легче, дешевле, с меньшими затратами материалов и более надежной для сохранения изделий.

Софт для АМ — появилось специальное обозначение для дизайнерских программ для АМ — Design for Additive Manufacturing (DfAM). Предложено немало новых специализированных продуктов для конструкторов АМ. Как пример — достаточно сложная и трудоемкая процедура — постобработка для 3D-печати. Она бывает трех типов: термическая, механическая и термомеханическая. Термическая постобработка снимает часть остаточных напряжений и иногда изменяет структуру зерна. При механической постобработке удаляется опорная конструкция, а также делаются необходимые отверстия. Термомеханическая постобработка напоминает горячее изостатическое прессование (HIP). Важно минимизировать затраты на постобработку с самого начала процесса проектирования. Для этого необходимо сократить количество поддержек для 3D-печати (или даже убрать их). Другой, лучший способ — интегрировать эти опоры (это работа конструктора, а

не оператора станка) в конструкцию самой детали (рис. 13).

Часто при проектировании используют концепцию пространственной решетки типа пчелиных сот, что дает снижение веса при сохранении механических характеристик изделия. Другой пример применения дизайна для АМ — это изготовление руки промышленного робота (рис. 14), в котором принимали участие компании MX3D (Дания, оборудование) и Altair (софт) [8].

Исследователи из компании ETH Zurich и израильской компании Erlich Lab, занимающейся хранением ДНК, предложили способ изготовления копий напечатанных изделий без использования CAD файлов. Идея показана на примере белого кролика, в котором зашита инструкция,

Рис. 15. Гендиректор Anisoprint Ф. Антонов с принтером PROM IS 500



Рис. 14. Рука промышленного робота, напечатанная в соответствии с требованиями (DfAM), компания MX3D (Дания). Вес напечатанной детали вдвое ниже первоначальной.



как печатать модель. Информация в виде последовательности ДНК содержится в микроскопических стеклянных шариках, которые интегрированы в пластиковый материал. Для копирования изделия нужно взять небольшой кусочек изделия, расшифровать последовательность ДНК и получить STL-файл для печати [9].

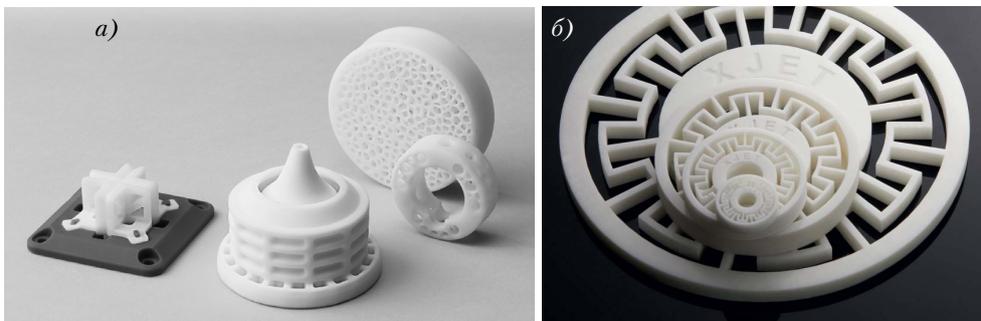
Российский производитель оборудования для печати композитными материалами — компания Anisoprint [10], зарегистрированная в Люксембурге, представила на выставке новую технологию и оборудование ProM IS 500 (рис. 15) для печати термопластиками, усиленными непрерывными волокнами, в том числе высокотемпературными PEEK и PEI.

Запатентованная технология Composite Fiber Co-extrusion

Рис. 16. Пример рукоятки, выполненной по технологии CFC



Рис. 17. Образцы керамики, напечатанные на принтере: а) технология DLP (Formlabs); б) технология NanoParticle Jetting (XJET)



(CFC) позволяет профилировать заполнение волокнами разного размера различных зон печатаемого изделия — на периметрах используется более тонкие и точные волокна, для заполнения обычных зон применяется более толстое волокно. При рабочей зоне в 600×420×300 мм производительность принтера в 5–10 раз выше существующих машин. Непрерывные волоконные композитные материалы в 30 раз прочнее термопластиков и сопоставимы по своим характеристикам с металлами, при том, что они дешевле и легче металлов (рис. 16). Так, предел прочности на разрыв их материала равен 860 МПа при плотности в 1,4 г/см³, что в два раза легче алюминия.

Напечатанные изделия из керамики (рис. 17) находят свое применение в разных приложениях из-за своих уникальных свойств: работоспособность при высоких температурах, твердость и прочность деталей. Количество пользователей принтеров для печати керамикой готовых изделий ежегодно растет быстрее, чем другими материалами. Так, за 2018 г. оборот печати керамикой соста-

вил \$98 млн, а в 2028 г. ожидается в \$3,6 млрд [11].

Nanan Gothait, который создал сначала технологию Polyjet (инжектирование материала с помощью матрицы сопел), будучи основателем компании Objet Geometries (Израиль), предложил в 2016 г. новую технологию печати металлов и керамики Nano Particle Jetting™ (инжектирование наночастиц) в компании XJET, где он занимает пост гендиректора. Суть технологии заключается в подготовке специальной жидкой суспензии с нанопорошками строительного и поддерживающего материалов, которые хранятся в картриджах принтеров нового поколения Carmel 1400 и Carmel 700 AM. Прецизионная точность головок и использование для построения по оси Z ультратонких слоев позволяет получить гладкую поверхность деталей и точное соответствие формы и размеров (рис. 18).

Печать стеклом изделий сложной геометрии показала компания ETH Zurich (рис. 19). Использовалась технология фотополимеризации DLP исходного материала, в который добавляли кремнезем

Рис. 18. Линейка машин XJET для производства керамических изделий



с солями бора или фосфора. После печати изделия обжигаются при двух режимах: 600°C и 1000°C, после чего изделие становится прозрачным. Метод отличается от их же предыдущего метода печати расплавленным стеклом большей точностью и высоким разрешением печати, но ограничен малыми размерами изделий [12].

Компания AMpolar i2 из Германии представила 3D-принтер dp polar для массового производства, работающий по технологии High-Speed Rotative AM Process (HSR) — высокоскоростная печать с вращающимся столом (рис. 20). Характеристики: площадь рабочего стола 2 м², толщина слоя 4–25 мкм, разрешение по осям 720×720×5000 dpi, скорость печати 12,8 мм/час.

В принтере имеются три рабочие станции AM, работающие по технологии инжектирования материалов (MJM), которые позволяют печатать одновременно различными материалами разных цветов. Процесс печати можно останавливать, вставлять необходимые компоненты и затем продолжить печать. Дополнительным преимуществом является работа

Рис. 19. Напечатанный образец из стекла: после печати — после обжига при 600°C — после обжига при 1000°C (прозрачное стекло). Можно оценить видимую усадку при обжиге.

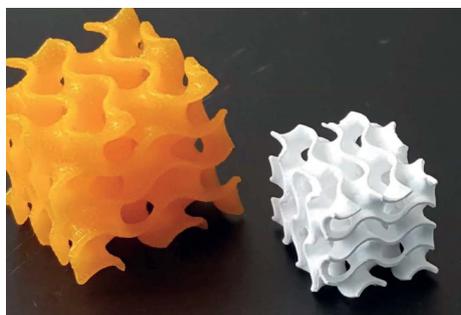


Рис. 20. Принтер dp polar с вращающимся столом компании AMpolar i2



с поддержкой, удаляемой в воде. Это позволяет автоматизировать постпроцессы с понятными выгодами [13].

Исследователи из университета Rice University (Houston, USA) обосновали теоретически устойчивую сотовую структуру, а затем напечатали куб из карбоновых волокон с такой структурой и проверили ее на опытах. Куб останавливал пулю, летящую со скоростью 5,8 км/сек, а его прочность была подобна алмазу (рис. 21). Структура материала куба представляет собой переплетенные углеродные нанотрубки, которые создают объемную пористую макроструктуру, обеспечивающую очень высокую прочность. При тестировании куба без нанотрубок и такой структуры куб прошивался пулей насквозь, в другом случае при наличии специальной структуры пуля задерживалась вторым слоем. Это связано с тем, что энергия удара поглощается сотовой структурой и не разрушает куб целиком, как в первом случае [14]. Открытие может найти применения в медицине, космонавтике, в военной сфере и безопасности.

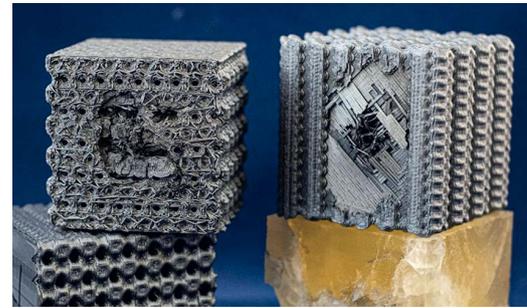
Компания CRP Technology (Франция) изготавливает стойки для размещения трех стандартных спутников Cubesat (размерами 100×100×113,5 мм, рис. 22). Материал и конструкция стойки должны отвечать жестким требованиям работы в космосе: размеры, ровная плоская поверхность, прочность, отсутствие газыделения, устойчивость к УФ-излучению,

допустимые термические расширения. По этой причине пока немного АМ напечатанных деталей находится в космосе [15].

Компания INTAMSYS (Китай) [16] представила широкоформатный принтер для печати высокотемпературными пластиками (PEEK, PEKK, ULTEM, PPSU) и печь для отжига готовых изделий (рис. 23). Температура в камере может достигать 300°C, а температура сопла головки 500°C.

По итогам опроса 114 руководителей предприятий [17] прогнозы развития АМ на 2020 г. могут быть следующие. Среди остающихся проблем АМ — невозможность массового тиражирования продукции (83%), пока изготавливают серии не более 100 единиц. При этом 100% видят преимущества АМ при массовом производстве, 99% уверены в этом в следующие 3–5 лет, 57% ожидают в перспективе возможность печатать серии из тысяч изделий. Потенциал рынка АМ составляет \$12 триллионов, и он уже начал осваиваться. Экономический эффект от использования АМ в производстве составит миллиарды долларов, в этом уверены 88% опрошенных. Основными нынешними проблемами, мешающими внедрению АМ в производство, называются высокая стоимость (42%), высокая стоимость материалов (35%), невозможность массового производства (34%), ненадежность напечатанных из-

Рис. 21. Напечатанные из нановолокон пуленепробиваемые кубы.



делий (31%). Поэтому основной тренд развития АМ прослеживается от прототипирования к производству готовых изделий и далее к массовому производству, добавлю — кастомизированных готовых изделий. ■

Использованы материалы:

1. <https://digitalmetal.tech>
2. <http://meltio4d.com/>
3. www.3dprintingbusiness.directory/company/launcher/
4. www.urbanalps.com/en/
5. [www.carbon3d](http://www.carbon3d.com/)
6. www.besix.com
7. www.dwssystem.com
8. <https://mx3d.com>, www.altair.com
9. <https://clck.ru/LkFKf>
10. <https://anisoprint.com>
11. www.smartechanalysis.com/news/ceramics-3d-printing-market/
12. <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/11/glass-from-a-3d-printer.html>
13. www.dppolar.de/en
14. <https://news.rice.edu/2019/11/13/theoretical-tubulanes-inspire-ultrahard-polymers/>
15. www.crptechnology.com
16. www.intamsys.com
17. <https://essentium3d.com>

Рис. 22. Стандартная стойка U3 для трех спутников Cubesat



Рис. 23. Напечатанные детали: а) из материала PEEK до отжига (слева) и после, б) из материала ULTEM 9085



Formnext–2019: давайте напечатает будущее

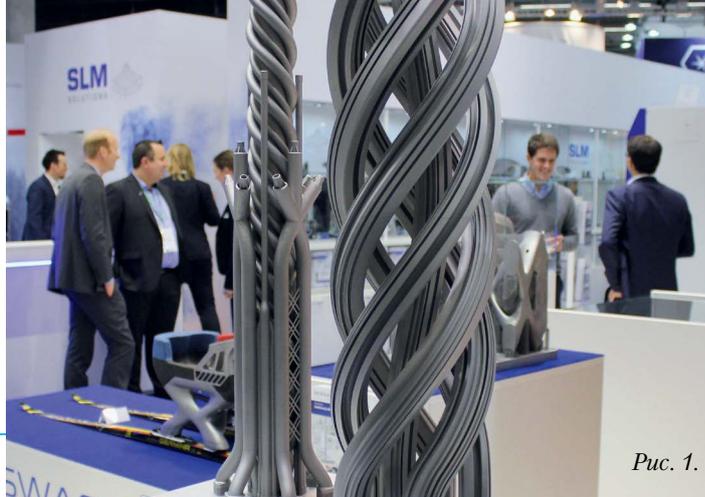


Рис. 1.

Семен Попадюк, iQB Technologies, <https://blog.iqb.ru/>

Международная выставка-конференция технологий производства нового поколения Formnext — грандиозная сцена, на которой разворачиваются главные события индустрии 3D. Здесь представлен максимально полный спектр достижений — от проектирования до постобработки, — которые нацелены на дальнейшую оптимизацию производства в процессе перехода к Индустрии 4.0 (рис. 1, 2).

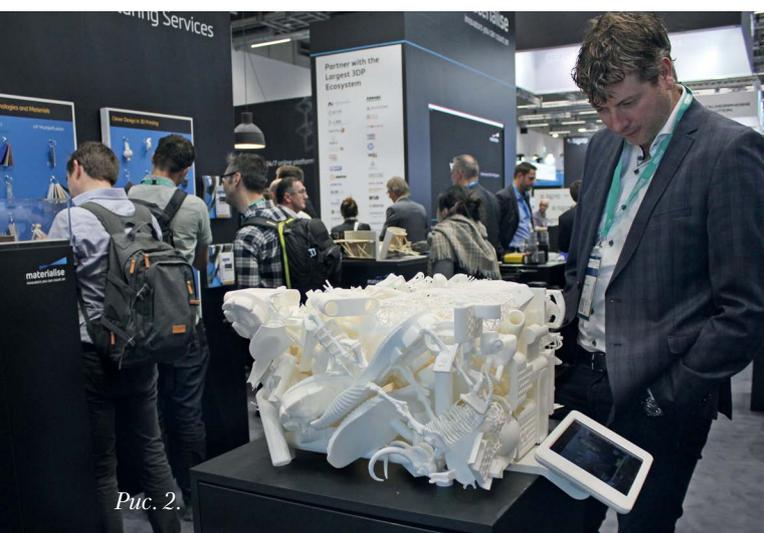


Рис. 2.

Пятая по счету Formnext, прошедшая с 19 по 22 ноября 2019 года, в очередной раз подтвердила свой статус авторитетного трейд-шоу в области 3D-технологий и поставила новые рекорды. Впервые она расположилась в четырех залах двух новых павильонов Messe Frankfurt на общей площади 53039 кв. м. В Formnext–2019 приняли участие 852 компании из 36 стран. 50% — немецкие производители, далее по убывающей следуют Китай, США, Франция, Италия, Великобритания, Испания и Нидерланды. Соединенные Штаты в этом году были объявлены страной–партнером выставки.

Рассмотрим основные тренды развития аддитивного производства, отмеченные экспертами компании iQB Technologies во время этого масштабного и интересного мероприятия.

Тренд 1: будущее за полимерами и композитами

Общий тренд, который можно отнести ко всем представленным на выставке аддитивным технологиям, — это достижения в области расходных материалов, в первую очередь полимеров. Мы увидели множество новых материалов с улучшенными механическими свойствами, например, огнестойкие (Evolution FR от Cubi-cure/Evonik) и водонепроницаемые фотополимеры (E-Aquasol от EnvisionTEC/Sartomer). Одно из важных направлений развития химической промышленности сегодня — работа над связующими веществами для композитных материалов. Ожидается, что композиты в ближайшем будущем совершат прорыв, который откроет совершенно новые возможности для аддитивного производства. Одновременно с этими тенденциями мы наблюдаем появление материалов для 3D-печати, ориентированных на конкретные производственные задачи.

В центре внимания: ProtoFab

Динамично развивающаяся компания ProtoFab демонстрирует свои решения на Formnext второй год подряд. В дополнение к широкой линейке SLA-принтеров впервые были анонсированы установки на базе технологий SLS и SLM (рис. 3). На стенде ProtoFab



Рис. 3.

красовались целых три стереолитографические машины (в том числе крупногабаритная SLA1600) и металлическая PF-M 150, а также разнообразные прототипы и изделия из пластика и металлов. Выпуск новых серий SLS- и SLM-машин на рынок запланирован на 2020 год. Как видим, всего лишь за год китайская компания, имеющая уникальный опыт производства оборудования и материалов и оказания 3D-услуг, проделала огромную работу и готова потеснить западных конкурентов.

Тренд 2: больше решений для медицины

Производственные компании демонстрируют ярко выраженный тренд на специализацию, то есть концентрируют свои усилия на определенной индустрии или сфере внедрения. Это неизбежный путь для предприятий, которые стараются наращивать свои компетенции. И если традиционно в топ самых перспективных для аддитивного производства отраслей входят машиностроение, автомобильная и авиационная промышленность, то на Formnext-2019 на заметное место вышла медицина, причем большая часть представленных решений ориентирована на стоматологию. Высокая точность 3D-печати и возможность реализовать сложнейшую геометрию позволяют учесть индивидуальные особенности пациентов при создании предоперационных макетов (рис. 4), хирургических шаблонов, имплантатов, протезов, элайнеров, ортезов и других устройств медицинского назначения. Аддитивные технологии помогают добиться более эффективных результатов лечения, сэкономить время и трудовые затраты, снизить себестоимость готовых изделий.



Рис. 4.

Тренд 3: 3D-печать металлами — это доступно

3D-печать металлами была представлена во всем многообразии брендов, технологий и материалов — это стабильный вектор развития рынка. Наряду с гигантами: SLM Solutions, 3D Systems, EOS, HP, Trumpf, Renishaw — интересные решения показали новые перспективные игроки, такие как Meltio, Tritone, One Click Metal, Laser Melting Innovations. По большей

части это компактные 3D-принтеры начального уровня, объединенные концепцией доступной печати металлами: они предназначены для малого и среднего бизнеса, образовательных учреждений, НИОКР. Ряд производителей 3D-оборудования расширил специализацию, впервые представив аддитивные установки печати металлом. За год был накоплен опыт освоения изделий, которые с помощью SLM-технологии ранее не производились.

Печать методом лазерной наплавки — аддитивная технология, которая все более активно используется производителями оборудования. Появились новые компании, в основном из Китая и Южной Кореи; свои машины и напечатанные изделия представили наши соотечественники — ИЛИСТ СПбГМТУ. В рамках уже упомянутого глобального тренда можно отметить, что предприятия, специализирующиеся по лазерным технологиям, начинают осваивать 3D-рынок как смежную индустрию.

В центре внимания: SLM Solutions



Рис. 5.

Один из лидеров рынка 3D-печати металлами SLM Solutions представил четырехлазерную установку SLM 500 со станцией утилизации порошка. Впервые были показаны новые уникальные изделия, в том числе напечатанные на самой крупногабаритной аддитивной системе этого производителя — SLM 800. Особое внимание посетителей привлёк совместный проект SLM Solutions и автомобильной компании Divergent Technologies, стартовавший еще в 2017 году. На стенде можно было увидеть переднюю часть кузова, шасси, подвеску и другие компоненты инновационного гиперкара Divergent 3D, созданные с помощью трех машин: SLM 280, SLM 500 и SLM 800 (рис. 5). На Formnext-2019 было объявлено, что Divergent приобретет пять установок SLM нового поколения.

Тренд 4: готовые решения для постобработки

Аддитивное производство не исчерпывается 3D-печатью, и выращенные в принтерах детали в той или

иной мере требуют финишной обработки, зачастую весьма трудоемкой. Актуальной задачей становится создание универсальных, гибких решений постобработки для обеспечения непрерывного автоматизированного производственного процесса. На Formnext – 2019 впервые громко заявили о себе компании (DyeMansion, AMT, Quintus Technologies и др.), которые позиционируют себя как производители готовых решений по формированию линий постобработки, начиная с кювет для химикатов, самих химикатов и заканчивая пятикоординатными станками.

Предприятия, производящие классические металлообрабатывающие станки, проявляют все больший интерес к аддитивной тематике, но со своей компетенцией. Таким образом, мы наблюдаем развитие тенденции, заданной одним из мировых лидеров рынка станочного оборудования – DMG Mori. Включив в свой продуктовый портфель 3D-принтеры, эта компания сумела выстроить полную автоматизированную технологическую цепочку в рамках своего бренда. На рис. 6. представлен инновационный станок DMG Mori Lasertex 125 3D Hybrid.



В свою очередь, лидеры в области аддитивных технологий продолжают разрабатывать системы полного цикла совместно с ведущими производителями металлообрабатывающего оборудования и оснастки. Так, 3D Systems и GF Machining Solutions представили результаты своего стратегического партнерства – комплексы 3D-печати металлами DMP Flex 350 и DMP Factory 500. С расширением круга производственных задач, выполняемых аддитивными технологиями, Formnext становится полноценной платформой для подобных решений.

Тренд 5: ПО для управления качеством аддитивного производства

В этом сегменте рынка стоит выделить появление ПО для аддитивного производства, которое позволяет

управлять качеством детали, полностью отслеживая каждый этап и с большей точностью диагностируя и устраняя ошибки и дефекты в процессе изготовления. Такой продукт – Quality Management Systems (QMS) – представила американская софтверная компания Link3D. Все крупные производители давно говорят о том, что каждое изделие должно обзавестись личным электронным паспортом. В нем должна содержаться вся информация о детали, включая, например, видеозапись ее послойного построения в камере принтера, с помощью которой можно отслеживать, что происходит в каждом слое. Новое программное обеспечение позволяет выполнять скрупулезный сбор данных об изделии в момент его создания и дальнейший анализ, связывающий способ и технологию производства с последующим жизненным циклом изделия. Такой полной программной реализации мы еще не видели.

В центре внимания: Materialise и Geomagic

Materialise представила обновление своего флагманского ПО для аддитивного производства Magics, а также новое поколение технологии Build Processor. Новые возможности версии Magics 24 помогут предприятиям ускорить подготовку моделей к 3D-печати и еще эффективнее оптимизировать процессы при масштабировании производства. К примеру, новая функция Bounding Box позволяет выполнить нестинг за миллисекунды, что в 30 раз быстрее, чем в Magics 23. Инструменты Support Transparency и Support Transfer облегчают создание поддержек, в том числе для обеспечения массовой кастомизации изделий.

Апдейт программного продукта для контроля качества Geomagic Control X 2020 содержит новые мощные инструменты, включая Inspection Viewer для более эффективного взаимодействия участников проекта, улучшенную функцию локализации дефектов и 20 новых методов контроля геометрии на основе контактных измерений.

Тренд 6: 3D-сканеры совершенствуются

3D-сканирование – неотъемлемая часть цифрового мира. На Formnext свои достижения демонстрируют все ведущие мировые игроки, включая Creaform, Scantech, Shining 3D, FARO, GOM, Hexagon, Zeiss. Задача, которую пытаются сегодня решить все разработчики 3D-сканеров, – улучшить их качество за счет новых видов лазеров. Ведутся эксперименты с разной длиной волны, чтобы обеспечить новые преимущества работы с зеркальными или, наоборот, абсолютно черными поверхностями.

В центре внимания: Creaform, Solutionix, FARO

В 2019 году компания Creaform укрепила свои лидерские позиции в области 3D-решений метро-



Рис. 7.

логического класса для измерений на производстве, выпустив два ручных 3D-сканера нового поколения: HandySCAN BLACK (рис. 7) и Go!SCAN SPARK. Оба устройства могут с высокой точностью оцифровывать объекты практически любой сложности, в том числе с черными и блестящими поверхностями, а их производительность и разрешение увеличились в несколько раз.

Нельзя не упомянуть еще один портативный 3D-сканер от Creaform — MetraSCAN 3D, обеспечивающий быстрое измерение объектов размером более 3 м в любых производственных условиях. Доступны роботизированные системы на базе MetraSCAN 3D, с помощью которых можно существенно ускорить контроль качества изделий прямо на конвейере.

Южнокорейская компания Solutionix, разработавшая уникальную технологию автоматизированной калибровки и сканирования, продолжает завоевывать мировой рынок. На Formnext был представлен стационарный оптический 3D-сканер Solutionix D700, позволяющий получать погрешность менее 8 микрон при работе с миниатюрными объектами.

FARO, еще один из лидеров рынка 3D-измерений, показал портативные решения (3D-сканеры и измерительные «руки») для оцифровки прототипов, деталей, узлов и других объектов сложной геометрии, которые помогают сократить сроки проектирования и разработки продуктов.

Тренд 7: растет популярность 3D-услуг

Судя по изобилию на Formnext-2019 провайдеров 3D-услуг, в Европе наблюдается настоящий бум в этой сфере. Помимо ведущих компаний, которые имеют крупные подразделения по выполнению заказов на базе 3D-технологий (Materialise, FIT, 3D Systems, Stratasys, HP, BASF и др.), на рынок выходят и успешно закрепляются все новые и новые бренды. Условие, определяющее возникновение таких пред-

приятий, — создание среды производителями оборудования и разработчиками технологий. В этой среде рождаются компании, которые специализируются в той или иной сфере, от проектирования до производства полного цикла. Но поскольку для охвата всех вертикальных направлений требуются огромные ресурсы, возникает ставка на нишевую специализацию в виде RP-центра. Востребованность 3D-услуг свидетельствует об увеличении числа компаний, которым выгодно применять аддитивные технологии через подрядчика.

Тренд 8: экосистема как бизнес-модель

Становится все более очевидным, что успешное аддитивное производство — это плод коллективных усилий: представители всех сфер промышленности видят необходимость во взаимном обогащении знаниями и опытом. В этом году на Formnext десятки производителей и поставщиков объявили о стратегическом партнерстве. Примеры таких экосистем:

- альянс HP с Volkswagen, Siemens, Materialise, поставщиками материалов BASF и Lubrizol, поставщиком оборудования для постобработки Rosler;
- German RepRap совместно с компаниями по производству высокотехнологичных материалов Royal DSM и Chromatic 3D Materials будут работать над решениями по 3D-печати полиуретаном;
- EnvisionTEC и Sartomer представили результат своей коллаборации — водонепроницаемый фотополимер E-Aquasol.

Примеров множество, и главный тренд — все более тесное сотрудничество участников 3D-рынка с химическими предприятиями и производителями материалов. Благодаря инициативам Formnext по поддержке стартапов крупные промышленные компании и компании венчурного капитала все активнее инвестируют в небольшие предприятия с инновационным потенциалом и создают с ними перспективные партнерства.

Тренд 9: глобальные компании выходят на рынок 3D

Продолжается выход на рынок аддитивных технологий больших международных корпораций. Дебютантом на Formnext стала Xerox, которая приобрела технологию 3D-печати металлом компании Vader Systems, а также представила решения на базе FDM и SLS. Путь крупных игроков именно так и выглядит: купить некую готовую аддитивную технологию, на которую можно сделать ставку, и затем развивать ее под своим собственным брендом. В какой-то момент, видимо, все глобальные компании последуют такому сценарию.

Тренд 10: русские идут!

Ощутимо выросло российское присутствие на ведущем трейд-шоу аддитивных технологий. Это гово-

рит о том, что отечественный рынок 3D развивается поступательными темпами и накапливает компетенции для выхода на международный уровень. Большая часть экспозиции располагалась в национальном павильоне России, организованном Российским экспортным центром. Свои новейшие разработки и решения представили ВИАМ, СПбГМТУ («Корабелка»), «Полема», «Русат», «Инновакс», «Зиас Машинери», PICASO 3D, RangeVision, Stereotech и другие компании. На рис. 8 представлены образцы металлических изделий, созданные по технологии прямого лазерного выращивания Институтом лазерных и сварочных технологий СПбГМТУ. Отметим, что российская экспозиция охватывала весь спектр решений: 3D-принтеры и расходные материалы, 3D-сканеры, программное обеспечение и 3D-услуги.

Подводим итоги

«Уже в пятый раз Formnext вписывает новую главу в свою впечатляющую историю успеха, — заявил Саша Ф. Венцлер, вице-президент по Formnext компании-организатора Mesago Messe Frankfurt GmbH. — Аддитивное производство окончательно нашло свое место в промышленности». Действительно, Formnext уже вышла за рамки узкоспециализированной технологической выставки, став полноценным международным трейд-шоу для промышленности в целом. Сегодня это глобальное мероприятие, которое дает



представление о возможностях современного производства и позволяет увидеть его будущее.

Кроме того, на экспозиции выставки сложилось стойкое впечатление, что прошло время сенсационных заявлений: участники выставки делают ставку на выгодные практические решения, которые можно внедрить в существующие процессы уже сегодня. И это логично: посетители и партнеры приходят на Formnext, уже твердо зная, что им нужно. С нетерпением ждем, какие открытия подарит нам Formnext 2020 — когда Индустрия 4.0 станет на год ближе. ■

Фото: iQB Technologies



VI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ»

Дата: **27.03.2020**
начало — 10:00.
Адрес: г. Москва,
ул. Радио, д. 17
(вход со стороны
ул. Доброслободской),
ФГУП «ВИАМ»

Регистрация на сайте
<https://conf.viam.ru/>

Контактная
информация:
(499) 263–89–17

Темы:

- проблематика внедрения аддитивных технологий в производство;
- преимущества аддитивных технологий в качестве альтернативы традиционным технологиям;
- моделирование процессов изготовления изделий;
- технологии баротермической и термической обработки;

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

- технологии неразрушающего контроля;
- задачи и проблемы разработки и практического использования базы нормативно-технической документации, регулирующей изготовление, испытание и применение изделий, полученных методами аддитивных технологий, в гражданских отраслях промышленности.

Решения MSC Software для аддитивного производства

Проектирование и топологическая оптимизация деталей,
моделирование процессов

А.В. Гуменюк, А.П. Гонтюк, ООО «Эм-Эс-Си Софтвэр РУС», г. Москва, www.mscsoftware.ru

Аддитивные технологии являются одним из важнейших революционных направлений развития современных инженерных технологий. Они открывают творческий простор инженерам для реализации самых необычных и смелых идей при проектировании эффективных, легких и прочных конструкций, внешние формы и силовые схемы которых не реализуемы с помощью традиционных технологий.

Для получения всех преимуществ от применения аддитивных технологий необходимо использовать специализированное программное обеспечение, которое изначально ориентировано на проектирование деталей для 3D-печати.

Одним из инструментов проектирования является топологическая оптимизация. Этот подход известен уже достаточно давно и заслужил признание у конструкторов как возможность предсказать варианты формы легкой и прочной конструкции на ранних стадиях проектирования.

Однако в использовании топологической оптимизации есть свои особенности:

- проектирование включает в себя несколько этапов;
- как правило, это длительный и сложный процесс;
- часто требуются экспертные знания и применение специального ПО для отдельных этапов проектирования;
- ограниченные возможности многих САД-систем по проектированию конструкций сложной формы (конструкций для аддитивных технологий).

Традиционные инструменты топологической оптимизации лишь подсказывают конструктору варианты, но не дают однозначного решения. Чтобы максимально автоматизировать процесс проектирования и минимизировать риски ошибок при выборе человеком не самого лучшего из предложенных вариантов, необходимо

специализированное программное обеспечение, работающее на новых принципах. Таким инструментом является модуль MSC Apex Generative Design, входящий в состав современной перспективной САЕ-платформы MSC Apex (рис. 1).

MSC Apex Generative Design — это:

- полностью автоматизированный процесс: от исходной до оптимизированной САД-модели;
- супербыстрый эффективный инструментарий;
- простой рабочий процесс проектирования;
- удобный и понятный графический интерфейс пользователя;
- идеально сглаженная геометрия после оптимизации;
- готовые к применению (к 3D-печати) результаты.

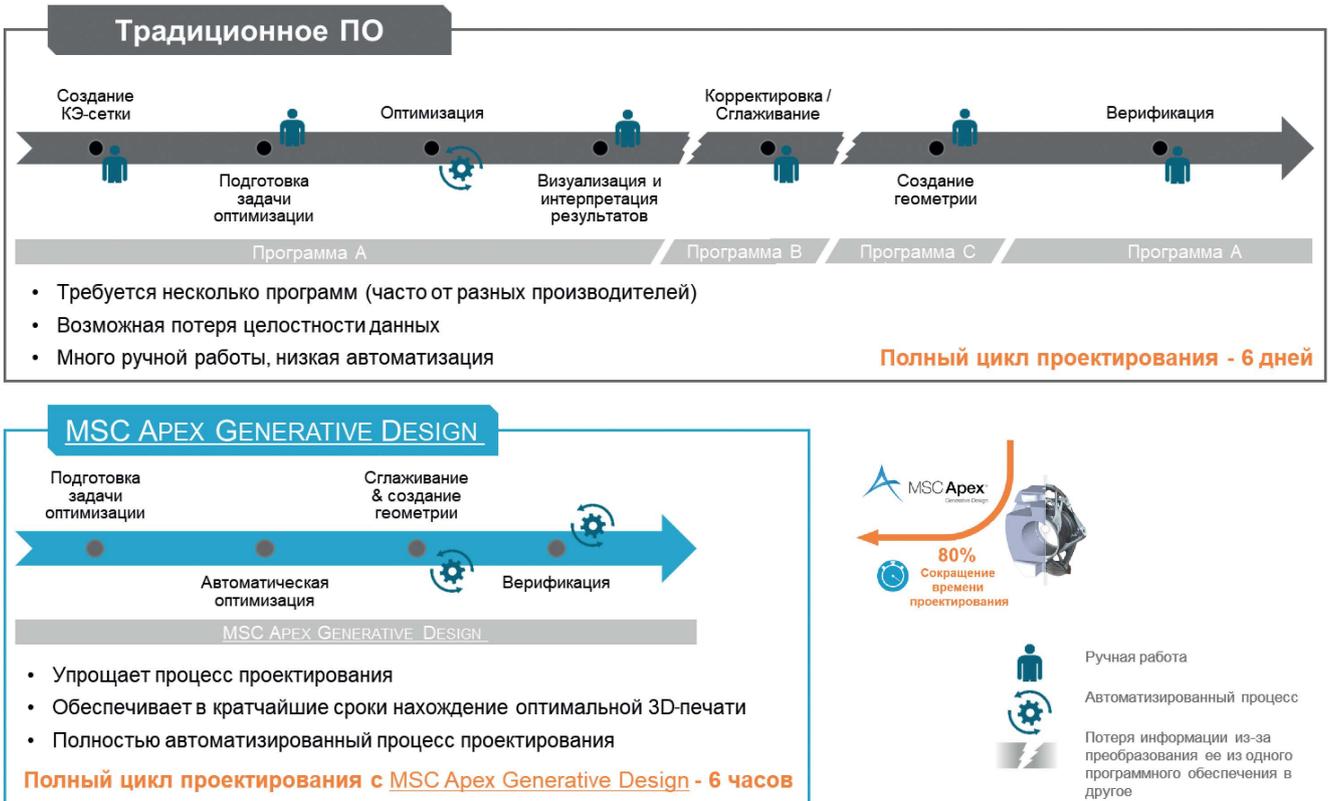
Сравнение процессов проектирования с применением традиционного программного обеспечения и MSC Apex Generative Design наглядно показывает существенные преимущества новой системы (рис. 2).

Ключевые преимущества
MSC Apex Generative Design

Уникальные возможности детализации. Программное обеспечение может генерировать очень под-



Рис. 1.



робные и сложные варианты конструкций, предназначенных для аддитивного производства. Реализация необходимого объема вычислений для таких случаев практически невозможна для обычного оптимизационного программного обеспечения.

Ориентированная на учет напряжений оптимизация. Напряжения обычно являются наиболее важным критерием будущей формы детали. Используемый в MSC Apex Generative Design алгоритм позволяет получить бионическую форму с однородно распределенным полем напряжений для обеспечения высокой равномерной прочности детали.

Учет правил и особенностей проектирования конструкций для аддитивного производства. Каждая технология изготовления имеет свои правила и особенности проектирования для успешного производства детали. И 3D-печать не исключение. В отличие от большинства распространенных программ топологической оптимизации, MSC Apex Generative Design уже содержит эти правила и полностью подходит для аддитивного производства.

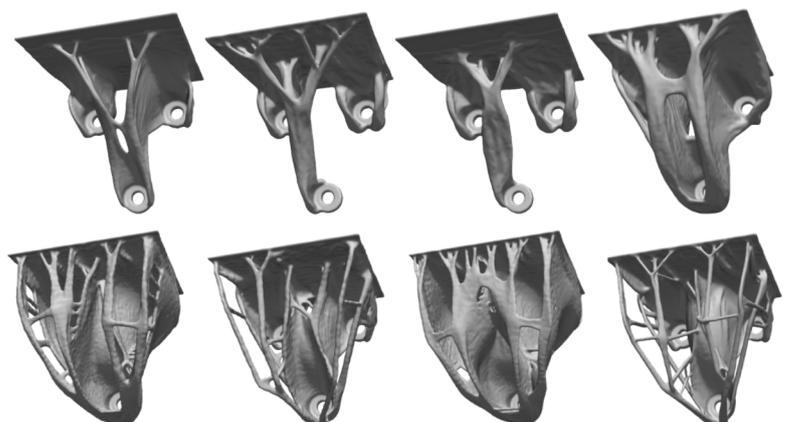
Автоматическое создание САД-моделей. Полученная после оптимизации структура должна быть сохранена в соответствующие САД-файлы. Обычное программное обеспечение для топологической оптимизации требует дополнительного программного обеспечения, а также знаний и опыта

работы в нем для сохранения геометрии. MSC Apex Generative Design включает в себя эту возможность и автоматически сохраняет геометрию для оптимальной работы с ней в САД/САМ-системах.

Автоматическое сглаживание. Интегрирован эффективный интеллектуальный алгоритм для автоматического создания гладких поверхностей на КЭ-сетке. Примеры поверхностей без дефектов для создания высококачественной геометрической модели детали представлены на рис. 3.

Автоматическое создание КЭ-сетки. Вместо ручного, трудоемкого процесса оптимизации в обычном программном обеспечении MSC Apex Generative Design автоматически создает не содержащую ошибок КЭ-сетку.

Рис. 3.



Оптимизация без области проектирования.

Стандартное программное обеспечение для топологической оптимизации требует задания области проектирования, из которого будет «удаляться» неработающий материал. MSC Apex Generative Design позволяет запустить процесс оптимизации без начального определения области проектирования. Такой подход намного быстрее и более управляемый для получения оптимальной формы.

Надежная автоматическая регулировка размера КЭ-сетки. В процессе оптимизации MSC Apex Generative Design может автоматически регулировать размер КЭ-сетки (путем ее локального перестроения) для получения оптимальной ажурной формы детали. После создания грубой сетки на исходной геометрии MSC Apex Generative Design автоматически уменьшает размерность КЭ-сетки до тех пор, пока не будет получена детальная тонкая конструкция.

Оптимизация с первого раза. Использование стандартного программного обеспечения для топологической оптимизации требует расчета нескольких вариантов с различными начальными условиями. Каждый вариант требует временных и финансовых ресурсов. MSC Apex Generative Design позволяет быстро отобразить первое (начальное) направление оптимизации и легко изменить его для получения правильного результата.

Значительное сокращение времени. Инновационная технология MSC Apex Generative Design и ее ориентированность на скорость в сочетании с высоким уровнем автоматизации обеспечивает значительное сокращение затрат времени на оптимизацию. Результатом является быстрый, экономичный и интегрированный процесс проектирования деталей для аддитивного производства.

Не менее важным направлением при работе с аддитивными технологиями является компьютерное моделирование процессов 3D-печати детали и определение ее характеристик (прочность, жесткость и т.д.) с учетом выбранных технологических параметров изготовления.

В настоящее время аддитивные технологии изготовления деталей стали широко применяться для производства деталей из пластика, включая армированные. Несмотря на активный интерес во всем мире к технологиям 3D-печати, широкому их применению для изготовления ответственных нагруженных деталей из пластика мешает ряд существенных проблем: ограниченный ассортимент совре-

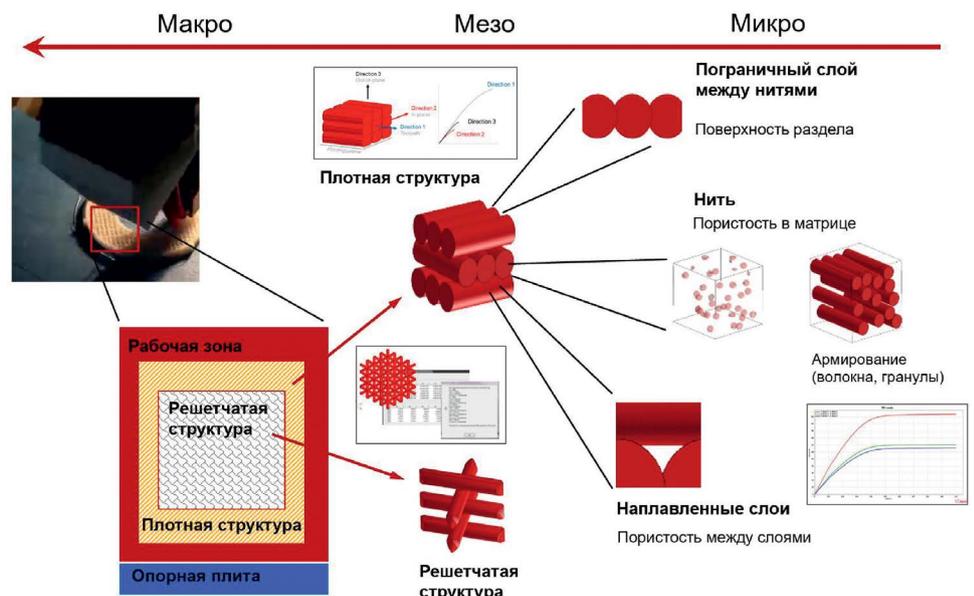
менных высокопрочных материалов, недостаточная точность детали из-за ее коробления после изготовления, трудно предсказуемые механические характеристики (прочность и жесткость) будущей детали, возможные дефекты (расслоение, отрыв от опорной плиты, зазоры и поры, остаточные напряжения и др.), длительность процесса изготовления. Все это приводит к идее использования виртуального моделирования с целью отработки технологии изготовления и получения будущей детали, соответствующей заданным механическим характеристикам и точности.

Для быстрого, точного и эффективного моделирования изготовления деталей из пластика с помощью аддитивных технологий компания MSC Software предлагает решение на основе программного комплекса Digimat, которое закрывает различные направления для аддитивных технологий: 1) точное определение механических, тепловых и электрических свойств материала; 2) моделирование изготовления детали методом 3D-печати для определения коробления, остаточных напряжений и деформаций; 3) расчет напечатанной детали на прочность и/или жесткость с учетом микроструктуры и возможных дефектов в ней с целью оценки полученных характеристик конструкции заданным требованиям и, при необходимости, изменения конструкции, материала или технологии изготовления.

Для виртуальной разработки детали с помощью 3D-печати и определения ее механических и жесткостных характеристик требуется определение свойств материала на каждом из уровней моделирования детали (рис. 4).

Реализованный в программе микроуровневый подход для определения характеристик материала позволяет точно определять его свойства: начиная от моде-

Рис. 4.



лирования свойств одной нити на микроуровне к свойствам плотной и решетчатой структуры на мезоуровне и заканчивая свойствами на макроуровне. Точные характеристики материала используются затем для моделирования изготовления детали из пластика с помощью аддитивных технологий и расчета ее на прочность и/или жесткость.

Из множества существующих в мире технологий 3D-печати Digimat поддерживает SLS-технологии (спекание порошковых компонентов лазером) и FFF/FDM-технологии печати (метод наплавления нити/метод послойного наплавления). Программа позволяет определить коробление и остаточные напряжения, возникающие при 3D-печати детали в зависимости от технологических параметров процесса изготовления, стратегии печати и выбранного материала. Digimat позволяет в дружественном интерфейсе моделировать полный цикл изготовления деталей: 3D-печать, удаление опоры и охлаждение детали. И включает в себя несколько этапов: подготовка рабочего процесса изготовления, виртуальное КЭ-моделирование послойного изготовления детали и анализ полученных результатов (рис. 5).

Моделирование процесса 3D-печати производится с помощью встроенного в модуль нелинейного КЭ-решателя Marc. Пользователю доступны различные подходы для моделирования изготовления детали: тепловой расчет, тепло-прочностной расчет или только прочностной расчет с использованием подхода Inherent strain.

Результатом моделирования являются: искаженная форма детали после 3D-печати, остаточные напряжения и деформации. Полученная искаженная геометрия детали после моделирования ее 3D-печати

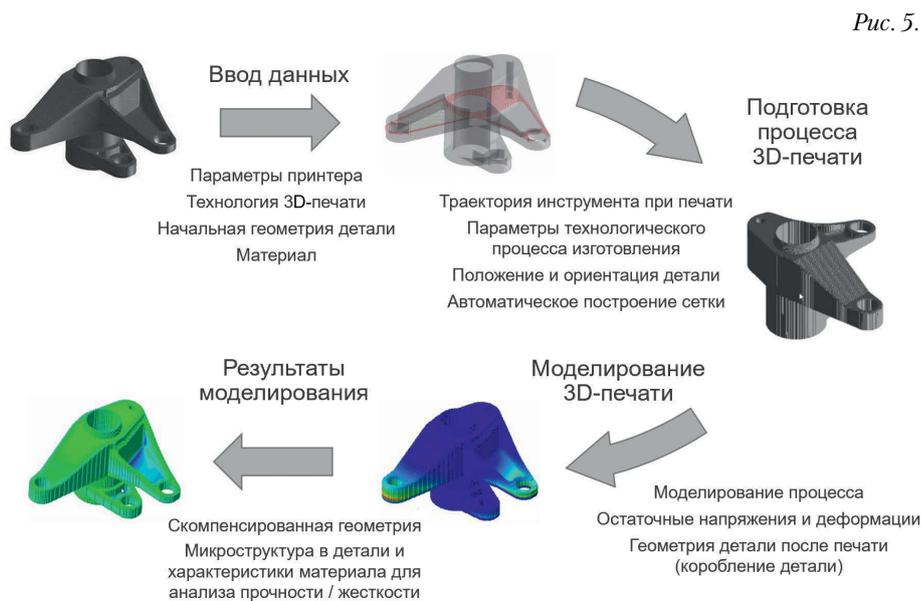


Рис. 5.

может быть использована для нахождения скомпенсированной геометрии для физической печати (начальной оптимально деформированной формы с целью компенсации искажений после физического изготовления).

Для анализа прочности и жесткости детали после 3D-печати остаточные напряжения и деформация передаются на конечно-элементную сетку для структурного анализа. При решении задачи прочности и/или жесткости детали Digimat на основе данных о микроструктуре детали после ее изготовления определяет нелинейные анизотропные характеристики материала в каждой точке конструкции и передает эту информацию в конечно-элементный решатель (рис. 6).

Возможности программного комплекса Digimat позволяют использовать его как единую платформу разработчиками материалов и 3D-принтеров, специалистами НИОКР и конечными пользователями, осуществляя тесное эффективное взаимодействие между ними для комплексного решения: от разработки материалов и моделирования процесса 3D-печати детали до получения ее прочностных и жесткостных характеристик. ■

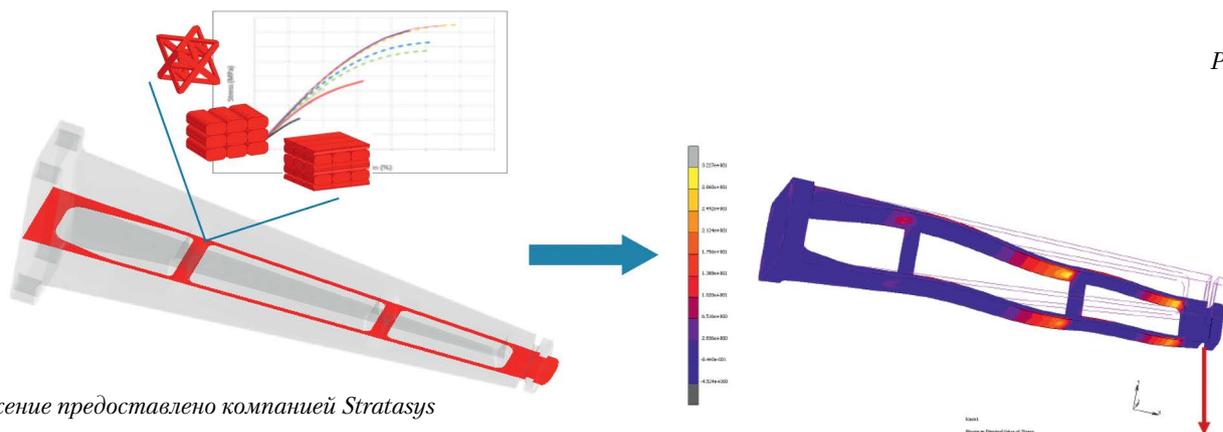


Рис. 6.

Изображение предоставлено компанией Stratasys

AM Solutions: полная технологическая цепочка для аддитивного производства

Инновации и решения от проектирования до финишной обработки поверхности

AM Solutions, бренд группы Rösler, деятельность которого сфокусирована на теме аддитивного производства, выступил на международной выставке по аддитивному производству и промышленной 3D-печати Formnext–2019 в качестве партнера в комплексном решении аддитивного производства начиная от проектирования, печати и заканчивая последующей обработкой вплоть до облагораживания поверхности деталей, напечатанных на 3D-принтере.

Численность предприятий и отраслей промышленности, которые используют аддитивное производство для серийного изготовления комплектующих деталей, постоянно возрастает. Данная тенденция приводит к увеличению и возникновению различных требований к структуре и качеству поверхности компонентов. В то же время разработанные методы последующей обработки комплектующих деталей, напечатанных на 3D-принтерах, должны отвечать установленным требованиям к безопасности технологического процесса, воспроизводимости результатов проверки, а также и к возможности воспроизведения обработки в соответствующей отрасли.

Автоматизированные решения для всех этапов последующей обработки

Обеспечение последующей обработки деталей на всех этапах возможно только при использовании автоматизированных решений. Подразделение AM Solutions – 3D post processing, занимающееся поиском решений и проектированием оборудования для последующей обработки деталей, полученных методом аддитивного производства, предлагает совместно со своими партнерами соответствующее портфолио решений, которое было представлено посетителям на прошедшей выставке Formnext–2019. Портфолио покрывает все области применения последующей обработки, начиная от отделения изделия от рабочей плиты, удаления поддерживающих структур, остатков налипшего порошка и частиц, образующихся в процессе спекания, до очистки изделия, полирования поверхности и скругления кромок, и вплоть до финишной обработки поверхности и покраски. Надежные технологические процессы предоставля-

ют возможность осуществлять автоматизированную и эффективную последующую обработку с воспроизводимыми результатами. Также возможно внедрение автоматизированной системы в объединенные производственные процессы на предприятиях.

Презентация широкого ассортимента нового оборудования

AM Solutions представила новую установку S2, специально разработанную для последующей обработки деталей, изготовленных на платформе построения с использованием порошкообразного полимера. Полностью автоматизированные процессы, включая обработку и выгрузку обработанных деталей, а также короткий цикл обработки позволяют удалить даже большой объем остаточного порошка, образующийся от нескольких 3D-принтеров, очистить и/или обработать изделие до получения однородной поверхности только в одной компактной установке. Наряду с этим оборудование отличается наличием функции непрерывной очистки и подготовки технологических средств, а также возвратом порошка в сборный приемник и возможности его повторного использования.

Рис. 1. AM Solutions – 3D post processing представляет бюджетную установку S1 Basic для удаления остаточного порошка и струйной очистки. В данной установке предусмотрено использование различных видов дроби. Благодаря небольшим габаритам она легко встраивается в любую существующую производственную линию.



Рис. 2. Полностью автоматизированные процессы, включая обработку и выгрузку обработанных деталей, а также короткий цикл обработки позволяют установке S2 с компактной рабочей камерой удалить даже большой объем остаточного порошка, образующийся от нескольких 3D-принтеров.



Следующее разработанное новое оборудование S3 объединяет в себе производительность и универсальность роботизированной обработки. В автоматизированном и тщательно контролируемом процессе обработки данная установка способна удалить с крупногабаритных деталей и деталей со сложной геометрией, изготовленных на основе металлического порошка или полимерных материалов, поддерживающую структуру и остаточный порошок, а также обработать изделие до получения однородной поверхности гидроструйным методом очистки с применением дроби.

Рис. 3. Универсальная установка S3, оснащенная робототехникой, в автоматизированном режиме при тщательно контролируемом процессе обработки гидроструйным методом очистки с применением дроби удаляет с крупногабаритных деталей и деталей со сложной геометрией, изготовленных на основе металлического порошка или полимерных материалов, поддерживающую структуру и остаточный порошок, а также осуществляет обработку изделия до получения однородной поверхности.



Еще одно главное событие AM Solutions на выставке ознаменовалось презентацией новой установки M3. Оборудование позволяет осуществлять бережную и в то же время интенсивную финишную обработку поверхности, при которой также могут быть обработаны сложные внутренние каналы. M3 сконструирована таким образом, что позволяет обрабатывать одну деталь, габариты которой достигают 650 мм или несколько деталей меньшего размера.

Рис. 4. Еще одним представителем бюджетных моделей является M1 Basic. Установка предназначена для сглаживания и полирования поверхности деталей, изготовленных методом аддитивных технологий с использованием металла и полимера. Благодаря своей компактности и удобства в обслуживании для пользователя M1 Basic легко встраивается в любую существующую производственную линию.



Рис. 5. Новая установка M3 разработана для бережной, и в то же время равномерной финишной обработки поверхности крупногабаритных деталей, изготовленных методом аддитивных технологий со сложной геометрией. Таким образом, возможно обрабатывать одну деталь, габариты которой достигают 650 мм или несколько деталей меньшего размера.



Кроме того, AM Solutions пополнил ряд новинок двумя бюджетными установками: S1 Basic и M1 Basic — в качестве базовых моделей, которые благодаря своей компактности и удобству в обслуживании для пользователя легко встраиваются в любую существующую производственную линию. S1 Basic предназначена для удаления остаточного порошка и струйной очистки детали. При применении данной установки предусмотрено использование разных видов дробы, и возможны другие модификации. Таким образом, корпус струйной кабины можно оснастить поворотным столом или поворотной корзиной. M1 Basic предназначен для сглаживания и полирования поверхности деталей, изготовленных методом аддитивных технологий с использованием металлического порошка и полимерных материалов. Оснащение установки включает в себя замкнутую систему циркуляции технологической жидкости и соответствующий контроль технологического процесса.

Полный пакет услуг в области 3D-печати — от разработки концепции до последующей обработки

AM Solutions — 3D printing services представил посетителям выставки Formnext-2019 единственный в своем роде полный пакет предлагаемых консультаций и услуг для разработок новых моделей, а также и для оптимизации существующих изделий, напечатанных на 3D-принтере. И независимо от того, идет ли речь о разработке совершенно новой конструкции изделий, усовершенствовании существующих деталей для аддитивного производства, проверке конструкции на соответствие требованиям или топологической оптимизации, специалисты подразделения AM Solutions, используя самые современные инструменты и обширные научно-технические знания и опыт, предоставляют возможность свободы выбора и использования всех инструментов в дизайнерском оформлении в процессе 3D-печати. В процессе трехмерной печати используются самые современные технологии аддитивного производства. Подразделение 3D printing services располагает всем необходимым оборудованием для проведения последующей механической обработки деталей, полученных методом аддитивного производства, а консультации по всем соответствующим вопросам дают квалифицированные сотрудники. В области последующей обработки деталей, изготовленных методом аддитивных технологий, AM Solutions — 3D printing services использует в работе все портфолио решений, разработанное подразделением AM Solutions — 3D post processing. Такое тесное сотрудничество обоих подразделений компании гарантирует, что уже на стадии проектирования изделия будут учтены все условия, отвечающие требованиям клиента к качеству обработки поверхности.

Рис. 6. AM Solutions — 3D printing services предлагает широкий спектр комплексных услуг начиная от проектирования, редизайна, 3D-печати и заканчивая механической постобработкой и финишной обработкой поверхности детали, отвечающей требованиям пользователя.



Фото: Rösler Oberflächentechnik GmbH

Под брэндом AM Solutions группа Rösler объединяет всю работу, посвященную аддитивному производству. Перечень предлагаемых услуг подразделения AM Solutions — 3D post processing содержит в себе подбор и реализацию оборудования, определение оптимального технологического процесса обработки и технологических средств, годные для использования в серийной и автоматизированной последующей обработке и финишной обработке поверхности изделий, полученных методом аддитивного производства, а также технический сервис по определению параметров, ориентированных на последующую обработку, а именно оптимизации деталей и процесса 3D-печати. AM Solutions — 3D printing services предлагает, в свою очередь, широкий спектр комплексных услуг в области аддитивного производства начиная от проектирования, редизайна, 3D-печати и заканчивая механической постобработкой и финишной обработкой поверхности детали, соответствующей требованиям пользователя. ■

Дополнительную информацию можно получить, обратившись по адресам:

ООО «Рёслер Руссланд»
РФ, 111020, г. Москва,
ул. Боровая, д. 7, стр. 4
Тел.: +7 (495) 247-55-80
E-mail: rosler-ru@rosler.com
www.rosler.com

AM Solutions S. r. l.
3D printing services
Via dell'Artigianato 39
I-20863 Concorezzo (MB)
Тел. +39 (039) 61-15-21
info@solutions-for-am.com
www.solutions-for-am.com

3D-принтер с двумя экструдерами Magnum Creative 2 SW

Печать сложных моделей с растворимой поддержкой — легко!

С выпуском модели SW компанией Магнум печать двумя соплами стала как никогда простой. Если раньше можно было столкнуться с проблемой вытекания пластика или задевания неактивного сопла за модель, то теперь эти проблемы полностью решены.

В 3D-принтерах серии SW неактивное сопло приподнимается и запирается, предотвращая вытекание пластика и задевание за модель. В конструкции использована запатентованная технология смены сопла, которая гарантирует надежное запираение активного сопла с высокой точностью, что положительно сказывается на качестве печати. Время переключения сопел занимает не более 0,5 секунды.

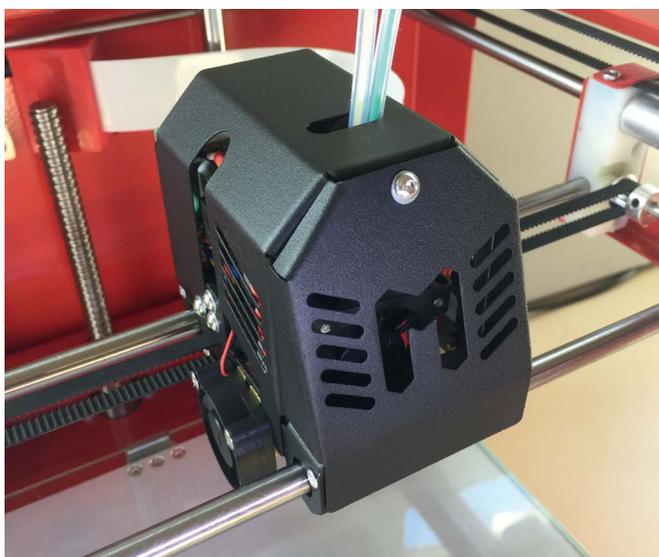
Новая головка уверенно работает с гибкими материалами, такими как Flex, а также поддерживает работу с воском WAX3D от компании Filamentarno!

Для удобства использования 3D-принтера добавлена полуавтоматическая калибровка высоты и расстояние между соплами. Это значительно упрощает и экономит время настройки 3D-принтера.

С принтером поставляются детально настроенные профили для программ RepetierHost и Cura, а также готовые профили для слайсеров Simlify3D и Slic3R.

Новая модель унаследовала легендарную надежность и простоту работы с принтерами Magnum. Обновленная программа управления и внутреннее про-

Запатентованная технология переключения активного сопла с гарантированно высокой точностью



граммное обеспечение принтера улучшает скорость и качество печати.

3D-принтер Magnum Creative 2 SW поддерживает работу с приставками «Лазер» и «Паста», расширяя возможности для творчества.

Принтер поставляется как в закрытом, так и в открытом корпусе



Характеристики Magnum Creative 2 SW

- Размер области построения модели **235 мм × 170 мм × 180 мм**
- Минимальная высота слоя **0,01 мм (10 микрон)**
- Технология печати **FDM — послойное наплавление пластика**
- Тип пластика для печати **ABS, PLA, PETG, FLEX, WAX3D, SBS Нейлон-6 и другие**
- Пластик для поддержек **PVA, HIPS**
- Максимальная температура экструдера **285°C**
- Максимальная температура стола **125°C**

Познакомиться подробнее с 3D-принтерами Magnum можно на сайте magnum3d.ru, где вы найдете фото и видео печати, а также в шоуруме компании или у официальных дилеров. ■



Веб-сайт: magnum3d.ru
Instagram: [#magnum3d](https://www.instagram.com/magnum3d)
8 (800) 555-98-38
E-mail: order@magnum3d.ru

Новый TomoScope XS – большие возможности в малом формате

В последние годы мировая промышленность по производству промышленных томографов сконцентрировалась на возможности измерения с высоким разрешением больших и сложных для прохождения рентгеновского излучения деталей. Для этого создают и проектируют большие и порой громоздкие томографы.

В таких томографах в основном используют рентгеновские трубки открытого типа, всего же существует два типа трубок: закрытые, которые должны меняться по истечении двух-трех лет, и открытые, которые должны подвергаться периодическому (несколько раз в год) обслуживанию, что влечет за собой частые простои оборудования и, как правило, сравнительно высокую стоимость обслуживания.

Новый томограф от компании **Werth TomoScope XS** обладает компактной конструкцией, но вместе с тем он открывает большие возможности для измерений.

Рис. 1. Новый томограф TomoScope XS компании Werth



TomoScope XS – уникальная в своем роде машина, объединяющая в себе преимущества томографов различных классов.

За счет установки открытой трубки с мишенью проходящего типа – впервые в моноблочной конструкции – удалось достичь малого размера фокального пятна при высокой мощности на трубке, что позволяет проводить измерения с высокой скоростью в высоком разрешении.

Новая рентгеновская трубка сочетает в себе преимущества закрытой трубки и открытой микрофокусной рентгеновской трубки. Моноблочная конструкция трубки (+ генератор и вакуумная установка) был впервые реализован в конструкции открытого типа. Благодаря этому получилось не только увеличить межсервисные интервалы, но и теоретически достичь безграничного срока службы. Время простоя оборудования и производственные затраты при этом сокращаются. Максимальное напряжение на трубке достигает **130 кВ** либо, как альтернативный вариант, **160 кВ**, таким образом могут быть измерены даже детали с большими размерами и из материалов с высокой плотностью.

Поворотная ось на воздушных подшипниках обеспечивает высокую точность позиционирования детали и, как следствие, минимальную погрешность измерения.

За счет компактной конструкции и малого веса значительно упрощаются требования к установке томографа и подготовке для него помещения. Малые ка-

питальные и эксплуатационные затраты обеспечивают быструю амортизацию.

Перспективная концепция предлагает возможность простой модернизации рентгеновской трубки уже на введенной в эксплуатацию машине и повышения ее мощности на месте **до 80 Вт**.

Как и на всех других томографах компании Werth, расчет и обработка получаемых СТ-сенсором данных происходит параллельно самому процессу измерения в режиме реального времени, что значительно сокращает время измерения и получения готового объемного изображения.

Применение **единого программного обеспечения WinWerth** для всего процесса измерения гарантирует прослеживаемость результатов измерения. Как первый и в настоящее время единственный производитель КИМ с томографическим датчиком, **Werth** гарантирует достоверные и прослеживаемые результаты измерений благодаря калибровке томографов **в соответствии с требованиями международных стандартов, в том числе и DAkkS**. Таким образом, впервые может быть предложено в столь компактном и доступном в ценовом плане приборе полное соответствие спецификации требованиям международных стандартов по калибровке!

Быстрая окупаемость и низкие эксплуатационные расходы новых высококлассных **TomoScope® XS** обеспечивают их широкое применение для самых разнообразных задач на производстве (рис. 3, 4).

Также стоит отметить, что в томографе TomoScope XS реа-

Рис. 2. Принцип реализации растровой томографии

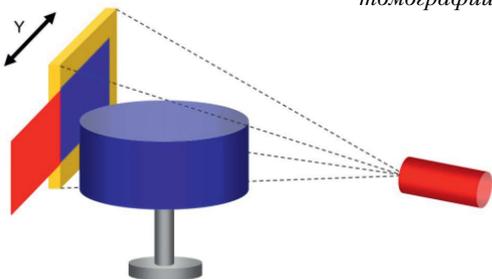
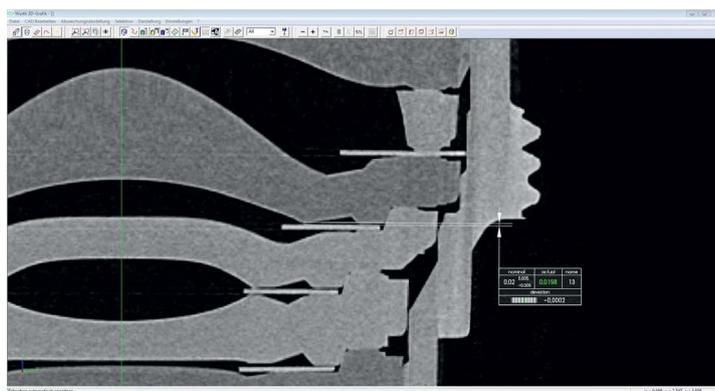


Рис. 3. Контроль зазоров (ок. 20 мкм) в объективе камеры мобильного телефона



лизованы два типа измерения. Первый метод подразумевает, что весь измеряемый объект помещается в поле зрения детектора аналогично измерению оптическим датчиком в классической КИМ. Если же деталь не может быть измерена в одном поле зрения, т.к. размер детектора меньше измеряемого объекта, то можно воспользоваться функцией «растровая томография» (патент). В этом случае друг за другом измеряются различные области детали и сохраняются соответствующим набором изображений. Охват большого диапазона может быть

реализован посредством высокоточного перемещения предметного стола с измеряемым объектом по оси Y. Этим способом **общий диапазон измерения может быть многократно увеличен**, а также **значительно повышается общее разрешение получаемых данных**, что также хорошо сказывается на погрешности измерения.

Технические характеристики томографа TomoScore XS:

Габариты:

Ш — 1300 мм.

Г — 674 мм.

В — 1370 мм.

Масса — ок. 880 кг.

Масса детали — 10 кг (max).

Погрешность измерения для СТ-датчика:

MPE E: 4,5 + L/75 мкм.

SD: 3,5 + L/100 мкм.

Измерительный диапазон:

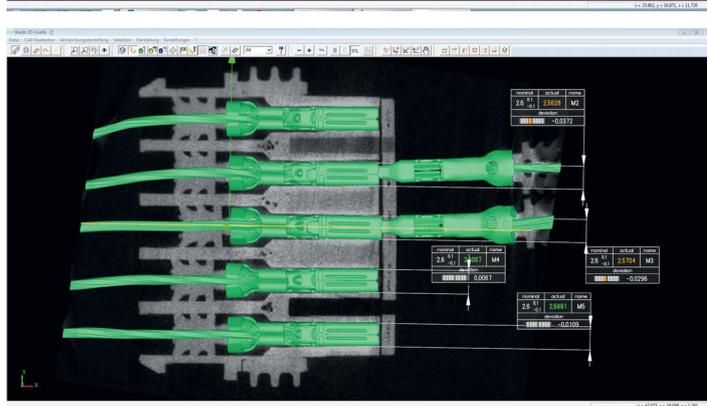
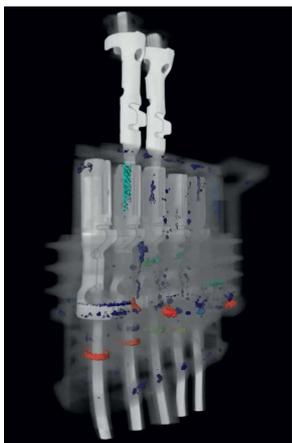
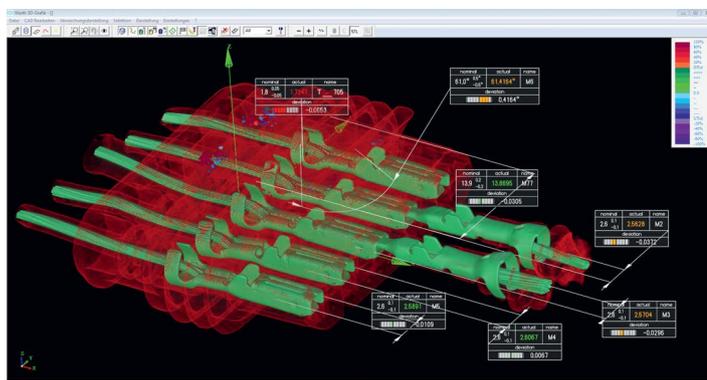
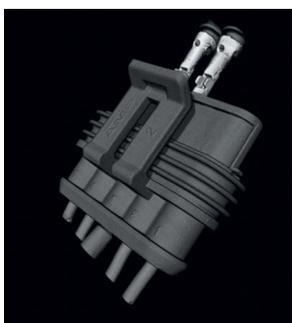
L — 42 мм (с опцией растровой томографии ок. 70 мм).

D — 51 мм (с опцией растровой томографии ок. 277 мм).

Преимущества томографа TomoScore XS:

- **уникальный форм-фактор:** компактные размеры и малый вес + высокая мощность;
- **измерительный 3D-томограф** (в отличие от аналогичных машин других производителей, которые в данном формате предоставляют чисто инспекционные машины);
- **моноблочная конструкция трубки** (снижение эксплуатационных расходов и времени простоя);
- **трубка с мишенью проходящего типа** (быстрые измерения и высокое разрешение);
- **высокоточная поворотная ось на воздушном подшипнике;**
- **возможность модернизации на месте** установки: повышение мощности трубки или установка трубки с большим напряжением;
- **погрешность измерения MPE E, а не SD;**
- **обслуживание трубки один раз в год** (для аналогичных других машин требуется 3–4 обслуживания трубки в год);
- **единое метрологическое программное обеспечение** от задания режимов сканирования детали до получения результатов измерения. ■

Рис. 4. Контроль геометрических параметров контактной группы и поиск скрытых дефектов



ЗАО НПФ «Уран», г. Санкт-Петербург
 тел/факс: +7 (812) 335-09-75
 моб: +7 (921) 310-17-12
<http://www.uran-spb.ru>

Гранулометрический анализ частиц металлических порошков методом динамической обработки изображений

В данной статье приведено несколько примеров определения размера и формы частиц наиболее активно используемых порошков металлов (Ti64, Al, Ni, Cr, W) и сплавов металлов методом динамического анализа цифровых изображений с помощью оптического анализатора CAMSIZER X2. Преимущества данного метода — высокая скорость, разрешающая способность и воспроизводимость результатов, а также огромный массив собираемых данных, позволяющий составить максимально подробную картину свойств порошка.

Динамический анализ изображений:
все, что нам нужно, — у нас перед глазами

Современные методы анализа изображений делают возможным изучение размера и формы частиц порошков. Принцип динамического анализа прост: все, что нам нужно, — у нас перед глазами. Алгоритмы программного обеспечения определяют параметры размера и формы частиц по их двумерным проекциям на изображении. Данные о длине и ширине частиц получаются прямым измерением проекций (см. рис. 1). Кроме этого, динамический анализ изображений делает возможным определение и других параметров размера и даже формы частиц. Примеры некоторых параметров формы показаны на рис. 2.

Применяется два метода анализа изображений — статический и динамический анализ (согласно ISO 13322-1 и -2). Статический анализ (световая микроскопия) главным образом используется для качественного исследования формы частиц материала. Однако недостаточно эффективное распределение частиц по предметному стеклу микроскопа и неболь-

шое количество материала снижают достоверность количественного анализа. Такими же недостатками обладает и сканирующая электронная микроскопия, не считая того, что последний метод еще более сложный, дорогостоящий и времязатратный.

Динамический анализ изображений, как правило, позволяет работать с частицами размером от 0,8 мкм до нескольких миллиметров, которые проходят перед видеокамерами в струе сжатого воздуха или в жидкости. Таким образом, становится возможно получать данные о частицах в количестве от сотен тысяч до нескольких миллионов всего за несколько минут. Используя репрезентативно отобранную пробу, можно быть уверенным в статистической достоверности результатов.

На рис. 3 показан принцип работы системы динамического анализа цифровых изображений. Частицы проходят в поле зрения видеокамер, освещаемые источником света, при этом находятся с одной стороны от потока частиц, а источник света — с противоположной. Программное обеспечение, анализируя проекции частиц на изображении, собирает данные о распределении частиц по размерам в течение короткого времени. Уникальная особенность оптического анализатора CAMSIZER X2, разработанного компанией Retsch Technology, — использование сразу двух видеокамер: две камеры с разным увеличением позволяют охватить более широкий диапазон измерения. Первая видеокамера, дающая изображение с большим увеличением, предназначена для анализа мелких частиц, а вторая, с меньшим увеличением, но более широким полем зрения — для одновременного анализа крупных частиц с высокой эффективностью

Рис. 1. Некоторые параметры формы частиц, определяемые методом динамического анализа изображений. Вычисляется распределение частиц по ширине (красная кривая), длине (синяя кривая) или эквивалентному диаметру проекции (зеленая кривая).

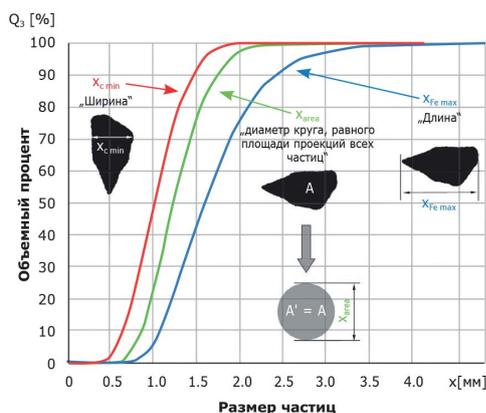


Рис. 2. Некоторые параметры формы частиц, определяемые методом динамического анализа изображений.



Рис. 3.
Уникальный метод измерения анализатора частиц CAMSIZER X2

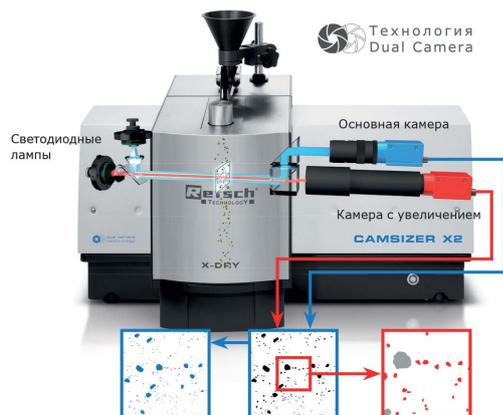
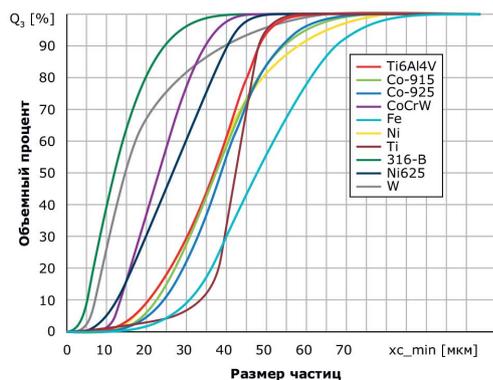


Рис. 4.
Гранулометрический анализ частиц десяти типов металлических порошков при помощи оптического анализатора CAMSIZER X2. Прямое измерение обеспечивает высокую точность результатов



обнаружения. Анализатор CAMSIZER X2 регистрирует более 300 изображений в секунду, при этом на каждом изображении легко умещается несколько сотен частиц.

Системы динамического анализа изображений позволяют вычислять распределение частиц по размерам и выполнять количественный анализ параметров формы частиц (процентное отношение округлых частиц по отношению к частицам неправильной формы, количество негабаритных частиц, агломератов и т. д.), а также определять самые малые количества частиц выше или ниже заданного диапазона, даже в концентрации всего 0,01%. Метод динамического анализа изображений делает возможным получение максимально полной и подробной картины параметров размера и формы частиц изучаемого материала. Данный метод идеально подходит как для научно-исследовательской сферы, так и для сферы контроля качества, отличаясь не только превосходной точностью и чувствительностью, но и надежностью и удобством.

Широкий спектр подходящих материалов, размеров и форм частиц

На рис. 4 показаны результаты гранулометрического анализа десяти типов металлических порошков, наиболее широко применяемых в отрасли. Независимо от химического состава, плотности, размера и формы частиц анализатор CAMSIZER X2 оптимально подходит для всех образцов в одной и той же конфигурации. Автоматический загрузочный желоб подает образец в измерительную камеру, в которой частицы диспергируются потоком сжатого воздуха. Давление сжатого воздуха регулируется в диапазоне от 5 до 460 кПа. В данном случае давления 50 кПа было достаточно для эффективного диспергирования, то есть равномерного распределения частиц в пространстве и разделения агломератов.

Средний размер частиц образцов варьировал в диапазоне 10–50 мкм, ширина распределения также отличалась. На рис. 4 видно, что самые крупные частицы — у образца железа (Fe), а самые тонкие — у образца стали (AISI 316). Образец титана отличается наиболее узким распределением частиц по размерам.

На графике распределения частиц по форме (рис. 5) показано, что образец железа обладает наименьшим отношением ширины к длине, а образец титана обладает наибольшим содержанием частиц сферической формы.

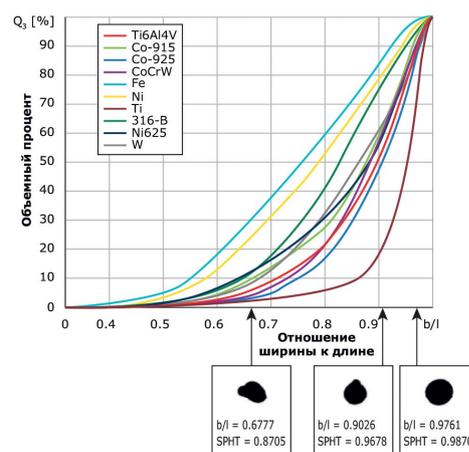
Важным требованием современных технологий порошковой металлургии является такой фактор, как широкое распределение частиц порошка по размерам, повышающий эффективность спекания порошка, так как пространство между крупными частицами сможет заполняться более мелкими. Частицы неправильной формы также важны для процесса спекания, так как способствуют лучшему контакту между частицами порошка. При этом, однако, неправильность формы частиц не должна быть слишком сильно выражена, в противном случае качество спекания может ухудшиться.

В технологиях аддитивного производства важным требованием является сферичность частиц, а также узкий и равномерный диапазон распределения по размерам: только в этом случае можно создать действительно гладкий и равномерный слой порошкового покрытия и повысить эффективность спекания. Поскольку средний размер частиц, как правило, составляет 10–50 мкм, образец титана, показанный на примере выше, подходит для аддитивного производства. Содержание частиц, размер которых больше допустимого, или частиц неправильной формы должно определяться с высокой точностью, поскольку наличие таких частиц может стать причиной дефектов готовой детали. Метод динамического анализа изображений позволяет надежно обнаруживать даже самые незначительные количества таких частиц. На рис. 5 наглядно показано, насколько легко динамический анализ изображений справляется с их обнаружением.

Тонкие металлические порошки, используемые в технологии литья под давлением

Для литья металлических порошков под давлением должны использоваться металлические порошки с частицами сферической формы, как правило, с медианным диаметром меньше 10 мкм. На рис. 6 показаны результаты измерения двух типов металлических порошков, активно используемых в данной

Рис. 5. Изучение формы частиц 10 типов металлических порошков с помощью системы динамического анализа цифровых изображений (оптический анализатор CAMSIZER X2). Помимо количественных данных полученные изображения позволяют наглядно изучать особенности морфологии и размеров частиц. Более сферичные частицы и частицы с большим отношением ширины к длине показаны в правой части графика. Возможность обнаружения даже самых малых количеств частиц неправильной формы при преобладающем содержании сферичных частиц — замечательная особенность метода динамического анализа изображений.



сфере. Для измерения использовался анализатор CAMSIZER X2 с модулем для диспергирования сжатым воздухом (давление 50 кПа). Следует отметить, что анализатор CAMSIZER X2 способен обнаруживать самые незначительные различия в свойствах изучаемых материалов и с высокой точностью измерять ширину распределения по размерам.

Воспроизводимость гранулометрических измерений порошков для пайки

В порошковой металлургии используется множество типов порошков, но особое место занимают порошки для пайки, используемые при производстве печатных плат. Какие бы типы порошков для пайки ни использовались, анализ размеров и формы частиц порошков должен выполняться с максимальной точностью для обеспечения соответствия техническим спецификациям (рис. 7).

Главным критерием определения достоверности результатов любого измерительного прибора является воспроизводимость этих результатов. Один из клиентов нашей компании — производитель порошков для пайки — для определения воспроизводимости результатов сопоставлял результаты измерения од-

ного и того же порошка для пайки четырьмя разными анализаторами CAMSIZER, используемыми на двух предприятиях. Испытания включали в себя 180 измерений, результаты которых представлены на рис. 8. По результатам измерений медианный диаметр частиц порошков составил 27,3 мкм при среднеквадратическом отклонении ниже 0,1 мкм!

Преимущества динамического анализа цифровых изображений по сравнению с другими методами

Лучшим методом гранулометрического анализа металлических порошков по-прежнему остается традиционный ситовой анализ. В стандартах ISO 4497 и ASTM B214 установлены основные процедуры проведения ситового анализа.

Абсолютный минимальный размер частиц для ситового анализа определяется по наименьшему полезному размеру отверстий сита (20 мкм) (воздухоструйная просеивающая машина). Это значение значительно выше среднего размера частиц порошков, используемых в сфере литья под давлением и аддитивного производства. Поэтому воздухоструйные просеивающие машины не обеспечивают достаточной точности и достоверности результатов анали-

Рис. 6. Результаты двух измерений двух типов металлических порошков с медианным диаметром частиц (d_{50}) 4,5 и 5,2 мкм соответственно. Порог обнаружения анализатора CAMSIZER X2 составляет 0,8 мкм.

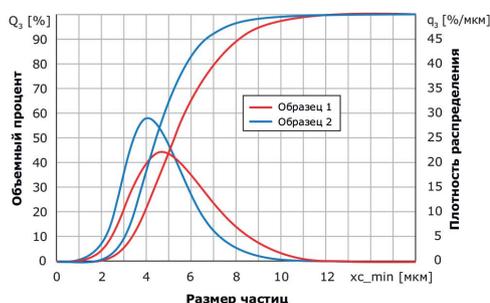


Рис. 7. Результаты измерения 6 типов порошков для пайки различных производителей. На графике показаны кривые комплексного распределения (Q_3 , левая ось y) и распределения частоты вероятности (q_3 , правая ось y)

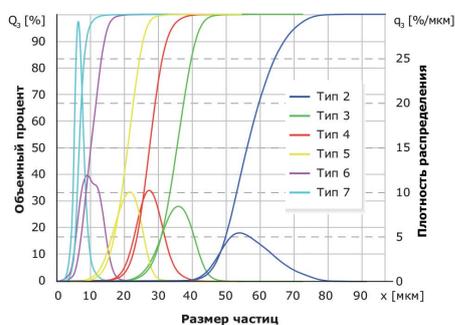
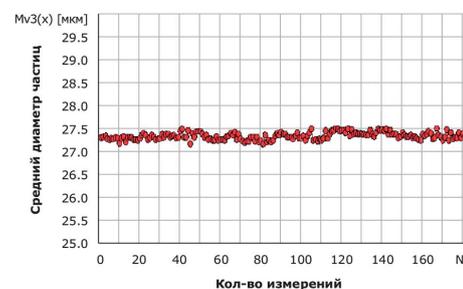


Рис. 8. Результаты 180 измерений порошка одного типа при помощи четырех анализаторов CAMSIZER, используемых на двух предприятиях. По оси x показаны номера измерений, по оси y — средний диаметр частиц. Средний диаметр частиц варьирует в пределах не более 0,1 мкм



за и не дают полной картины распределения частиц по размерам. Данные просеивающие машины главным образом предназначены для определения содержания негабаритных частиц (с использованием одного сита с размером отверстий, например, 45 или 63 мкм). Другой недостаток ситового анализа — отсутствие данных о морфологии частиц.

Метод лазерной дифракции в основном предназначен для тонких металлических порошков с размером частиц ниже 100 мкм. Лазерная дифракция также известна как метод статического рассеяния света, описанный в стандарте ISO 13320. Анализаторы, работающие по методу лазерной дифракции, отличаются удобством и высокой скоростью работы. Однако поскольку размер частиц определяется по углу рассеяния и интенсивности лазерного луча, направленного на частицы, лазерную дифракцию можно отнести к методам непрямого измерения. Для вычисления распределения частиц по размерам используются сложные программные алгоритмы с неизбежными допущениями и упрощениями. В частности, одно из таких базовых допущений — сферическая форма всех частиц. Соответственно, лазерная дифракция также не дает данных о форме частиц, а любые отклонения формы от идеальной негативно сказываются на распределении по размерам. Всё это снижает точность анализа, особенно при определении ширины распределения. Еще один серьезный недостаток этого метода — низкая чувствительность обнаружения негабаритных частиц (выше или ниже заданного диапазона).

В новейших стандартах VDI (Германия) приведены требования к порошкам для аддитивных технологий. В частности, см. стандарт VDI 3405, часть 2.3, в котором приведено описание метода динамической обработки изображений, показавшего наибольшую

эффективность определения размера и формы металлических порошков.

Заключение

Сегодня, когда такие передовые технологии, как литье металлических порошков под давлением и аддитивное производство, приобретают всё большую популярность, растет и спрос на специальные металлические порошки с определенными свойствами. Для достижения нужных свойств эти порошки должны не только обладать строго определенным химическим составом, но и определенным размером и формой частиц. В зависимости от применения к порошкам применяется широкий спектр требований. Оптический анализатор CAMSIZER X2 позволяет получить все необходимые данные о размерах и форме частиц сыпучих материалов. По сравнению с другими методами анализа, например лазерной дифракцией или (электронной или оптической) микроскопией, результаты анализа отличаются большей статистической достоверностью и воспроизводимостью, так как анализатор собирает данные об огромном количестве частиц. Один цикл измерения составляет всего 1–3 мин, что значительно повышает производительность и позволяет вести непрерывный контроль качества продукции. Таким образом, анализатор CAMSIZER X2 прекрасно подходит для использования в сфере порошковой металлургии, а превосходная точность и производительность этого прибора делает его идеальным инструментом контроля качества. ■



ООО "Вердер Сайнтифик"
190020, Санкт-Петербург,
ул. Бумажная, д. 17
Тел.: +7 (812) 777-11-07
Факс: +7 (812) 325-60-73
E-mail: info@verder-scientific.ru
www.verder-scientific.ru

Сопоставление методов ситового анализа, динамической обработки изображений и лазерной дифракции

Сопоставляемый параметр	Динамический анализ изображений (анализатор CAMSIZER X2)	Ситовой анализ	Лазерная дифракция
Широкий динамический диапазон измерений	+++	++	+++
Воспроизводимость и повторяемость	+++	++	+++
Высокое разрешение для получения узкого распределения частиц по размерам	+++	-	-
Анализ формы частиц	+++	-	-
Принцип прямого измерения	+++	+++	-
Возможность сопоставления результатов с измерениями, полученными другими методами	++	-	-
Надежное обнаружение негабаритных частиц	++	+++	-
Надежное и простое в использовании оборудование для проведения регулярного анализа	+++	+++	+++
Анализ отдельных частиц	++	-	-
Высокая скорость измерения	+++	-	+++

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. В. Федотов, НПФ «Элан-Практик»

Мы уже рассказывали о проекте Центра космических полетов имени Маршалла (MSFC) НАСА по разработке и изготовлению криогенного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) верхней ступени LCUSP (Low Cost Upper Stage Propulsion) [1] методами аддитивного производства (АП). Данный проект был частью ведущихся с 2010 года исследований НАСА по применению в производстве компонентов ЖРД различных методов АП [2].

Применение аддитивных технологий по сравнению с традиционным производством ракетных двигателей очень привлекательно, так как АП может значительно уменьшить стоимость производства, сократить сроки изготовления, повысить надежность за счет уменьшения количества деталей в агрегатах и улучшить работу отдельных компонентов, позволив применить в конструкции но-

вые элементы, изготовление которых обычными средствами невозможно.

Чаще всего при изготовлении деталей ЖРД в НАСА использовался метод селективного лазерного сплавления (SLM) [2], однако для некоторых компонентов двигателя использовался также метод прямой лазерной наплавки (DED) [3], электродуговой наплавки и лазерной наплавки с подачей проволоочного материала [4]. Эти методы АП были задействованы при производстве сопла ЖРД с каналами охлаждения с целью уменьшения стоимости производства и сроков изготовления.

Детали ЖРД достаточно просто изготовить в установке SLM, однако для изготовления сопла маршевого двигателя большой тяги в натуральную величину размеры рабочей камеры существующих установок очень малы. НАСА потребовалось оценить другие

методы, позволяющие в дальнейшем получать полноразмерные детали соплового блока ЖРД. На рис. 1 и 2 показаны размеры существующих ЖРД по сравнению с максимальными размерами рабочей камеры установки SLM.

При разработке технологии производства охлаждаемого сопла использовались различные методы АП, позволяющие формировать каналы охлаждения, распределяющие коллекторы и их комбинации внутри стенки. После изготовления опытные образцы сопел многократно тестировались на стендах.

Для изготовления деталей камеры сгорания и соплового блока ракетного двигателя LCUSP использовалась комбинированная технология: внутренняя стенка лайнер изготавливалась из медного сплава, обладающего более высоким коэффициентом тепло-

Рис. 1. Типовые ЖРД большой тяги

Рис. 2. Полноразмерный макет сопла ЖРД, изготовленный из жаропрочного сплава

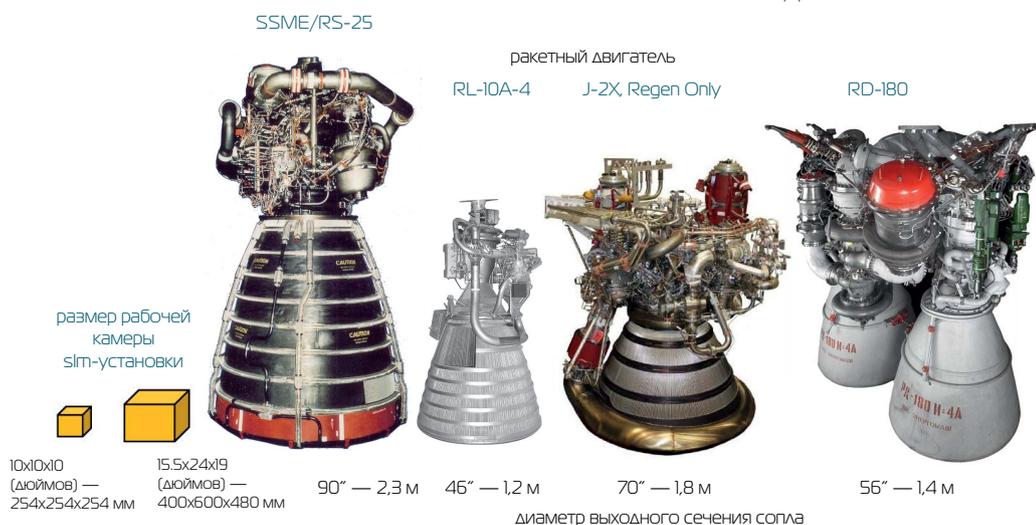
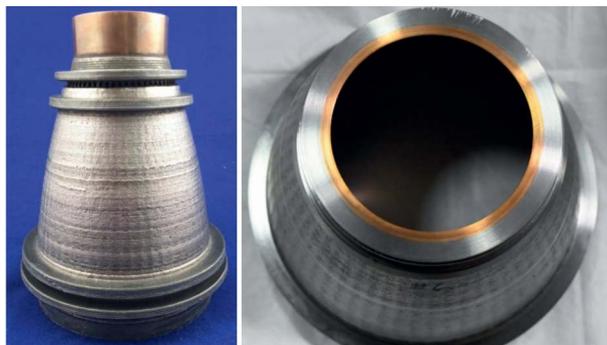


Рис. 3. Биметаллическое сопло



проводности, а силовая рубашка — из жаропрочного никелевого сплава (рис. 3).

Для наплавки силовой рубашки сопла из жаропрочного сплава на медный лайнер специалистами НАСА был разработан и запатентован метод лазерной наплавки с подачей проволочного материала Laser Wire Direct Closeout (LWDC) [4], (рис 4).

Для использования технологии LWDC в производстве деталей ракетного двигателя были разработаны математические модели процесса нагрева и сплавления материалов с разными коэффициентами теплового расширения, позволившие обеспечить характеристики

получаемой биметаллической конструкции без внутренних напряжений и трещин (рис. 5).

Успешный опыт проекта LCUSP продемонстрировал возможность использования различных технологий АП для цифрового проектирования и изготовления деталей и узлов ЖРД.

Опыт НАСА в области АП ракетных двигателей был использован компанией Virgin Orbit при изготовлении ЖРД ракеты LauncherOne. При участии MSFC для производства камеры сгорания этого двигателя был использован комбинированный процесс: сначала методом SLM изготавливался лайнер камеры сгорания из медного сплава, затем на гибридной установке DMG LT4300 на медный лайнер методом DED наносился слой жаропрочного сплава Inconel 625, после чего он обрабатывался режущим инструментом (рис. 6).

Дальнейшие перспективы производства ракетных двигателей с использованием аддитивных технологий базируются на использовании создан-

Рис. 4. Схема процесса LWDC

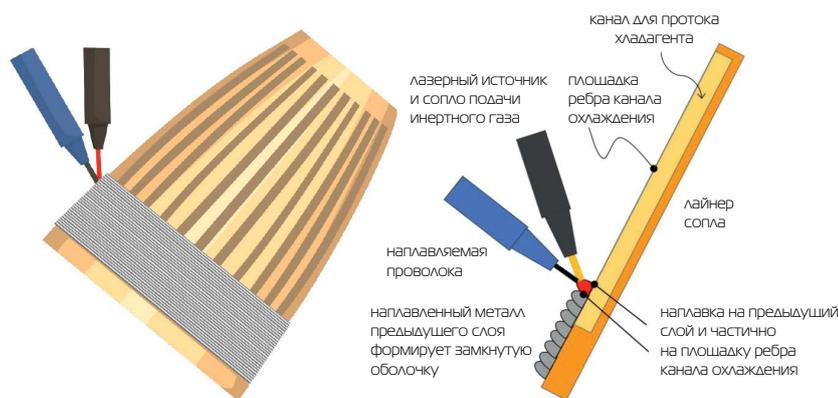
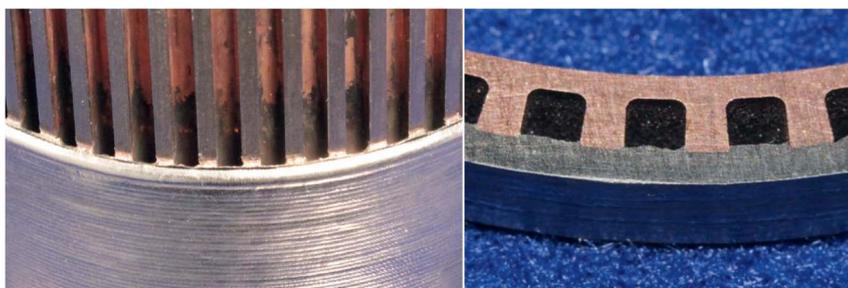


Рис. 5. Поперечный разрез и структура биметаллической конструкции, полученной методом LWDC



Научно-производственная фирма «Элан-Практик»

- ✓ Разработка и изготовление промышленных и исследовательских вакуумных установок для нанесения многофункциональных наноструктурированных покрытий и ионно-плазменного диффузионного насыщения
- ✓ Разработка и внедрение промышленных технологий многофункциональных наноструктурированных покрытий с новыми свойствами для широкого спектра применений (упрочнение, защита от коррозии и износа, снижение трения, «антисхватывание», новый дизайн и др.)



г. Дзержинск Нижегородской обл., ул. Бултерова, 51
тел.: 8313-20-44-44, 8313-20-40-45
www.elanpraktik.ru, www.эланпрактик.рф, praktik@sinn.ru

Рис. 6. Производство биметаллической камеры сгорания на установке DMG LT4300

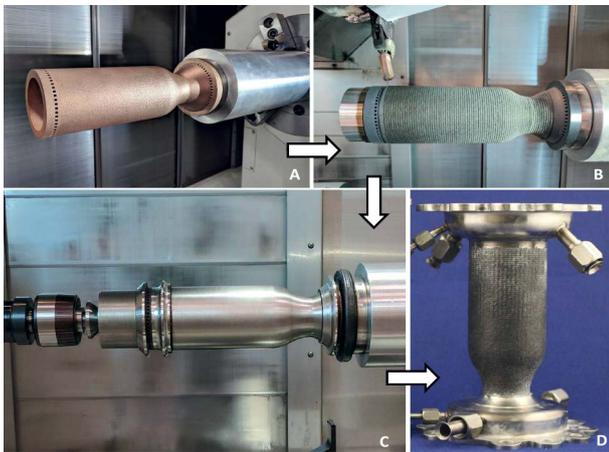


Рис. 7. Производство композитной камеры сгорания



Рис. 8. Концепция камеры сгорания с использованием ячеистых конструкций



ного НАСА технологического задела:

– проект «Экспресс-анализ и технология производства двигательной установки» Rapid Analysis and Manufacturing Propulsion Technology (RAMPT);

– использование ячеистых конструкций для формирования каналов охлаждения медного лайнера камеры сгорания.

Проект RAMPT предусматривает разработку и испытания ЖРД,

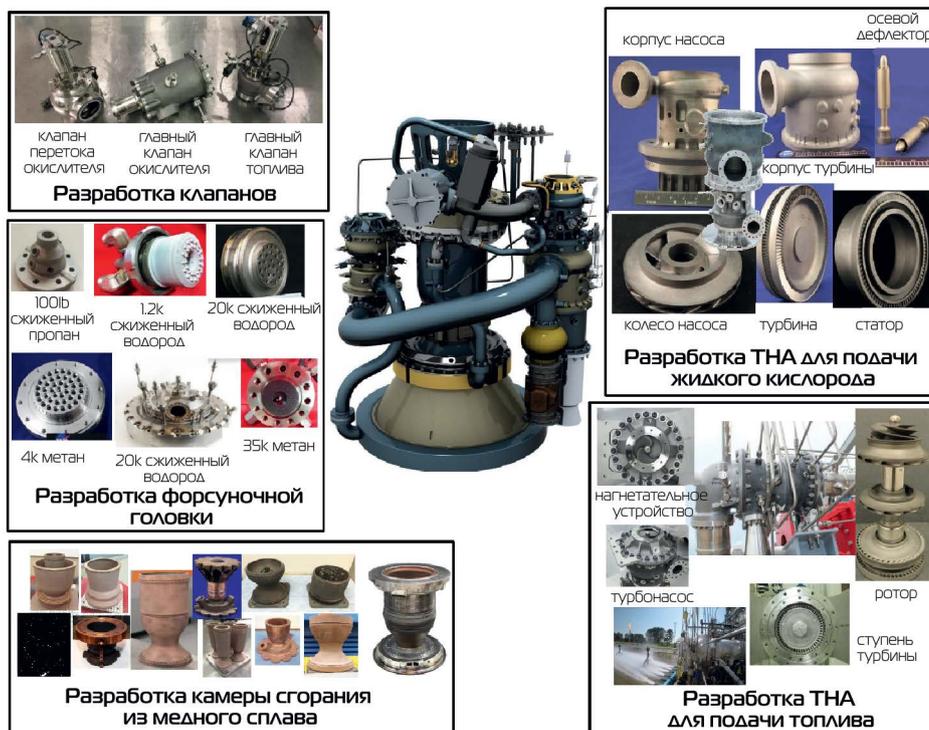
изготовленного по двойной технологии, включающей SLM медного сплава для изготовления лайнера камеры сгорания и сопла с каналами охлаждения с последующей намоткой силовой рубашки из углеродного композитного материала (рис. 7).

Использование в дальнейшем ячеистых конструкций для формирования каналов охлаждения медного лайнера позволит значительно снизить вес камеры сгорания и обе-

спечить лучший тепловой режим (рис. 8).

На рис. 9 изображена конструкция двигателя LCUSP, изготовленного с использованием аддитивных технологий. ■

Рис. 9. ЖРД LCUSP и компоненты, изготовленные с использованием аддитивных технологий



Литература

1. А. В. Федотов. Аддитивные технологии для печати ракет. Аддитивные технологии. 2018. № 1.
2. Paul Gradl, Sandy E. Greene, Christopher Protz, Brad Bullard, James Buzzell, Additive Manufacturing of Liquid Rocket Engine Combustion Devices: A Summary of Process Developments and Hot-Fire Testing Results, материалы конференции ASEE Joint Propulsion Conference. 2018.
3. Paul R. Gradl, Chris Protz, Tal Wammen, Additive Manufacturing Development and Hot-fire Testing of Liquid Rocket Channel Wall Nozzles using Blown Powder Directed Energy Deposition Inconel 625 and JVK-75 Alloys, материалы конференции ASEE Joint Propulsion Conference. 2019.
4. Paul R. Gradl, Chris Protz, Tal Wammen, Bimetallic Channel Wall Nozzle Development and Hot-fire Testing using Additively Manufactured Laser Wire Direct Closeout Technology, материалы конференции ASEE Joint Propulsion Conference. 2019.

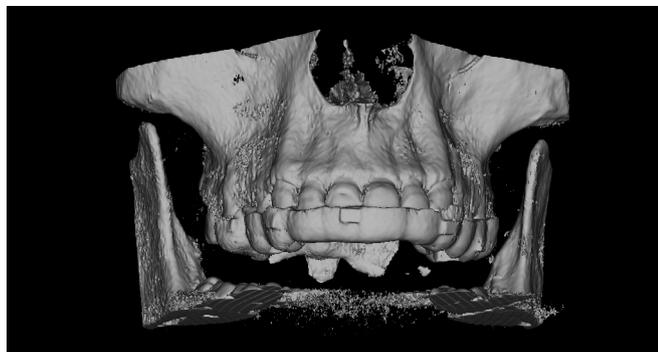
Рентгеноконтрастный фотополимер HARZ Labs Dental RO

Андрей Владимирович Адамов, HARZ Labs, info@harzlabs.ru

Аддитивные технологии находят всё больше областей применения. В частности, развитие материалов для фотополимерной печати позволяет ускорить, упростить и повысить качество стоматологического лечения. С появлением цифровой стоматологии возможности врачей и зубных техников стали намного шире, вплоть до виртуального планирования расположения имплантатов.

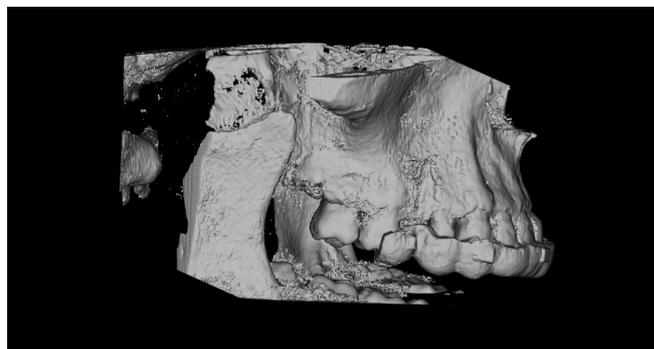
В процессе совершенствования протокола цифрового планирования было придумано большое количество вариантов рентгеноконтрастных шаблонов для наилучшего сопоставления КТ (компьютерной томограммы) и отсканированной гипсовой модели челюсти или скана челюсти, полученного с помощью интераорального сканирования. С появлением аддитивных технологий в стоматологии популярность 3D-печати сильно возросла и позволила открыть новые возможности в цифровом планировании операций.

Компания HARZ Labs постоянно работает над получением новых фотополимеров и развитием уже существующих. И если усовершенствование действующих разработок, например, позволяет делать более стойкие временные конструкции, то новые материалы существенно экономят время и средства при производстве.



Таким новым материалом стал рентгеноконтрастный фотополимер HARZ Labs Dental RO, который даёт возможность изготовить новый вид шаблона, позволяющий сократить протокол планирования. Его разработка и тестирование проходило совместно

с ГК «Риком». Тестирование прототипов проводилось в диагностическом центре 3Dlab на томографе Planmeca ProMax3DMax при участии стоматолога и челюстно-лицевого хирурга, имплантолога Сергея Юрьевича Юматова и зубного техника, CAD/CAM-оператора Ивана Сергеевича Голобородько.



Ранее процесс цифрового планирования проходил по порядку: приём пациента в клинике, снятие слепка, направление пациента на КТ и, при необходимости, отправление слепка в лабораторию, где он отливался из гипса, после чего зубной техник изготавливал ручную модель. Далее модель с полученной конструкцией посылалась обратно в клинику, где опять вызывали пациента и давали направление на КТ, только уже с рентгеноконтрастным шаблоном. Полученный таким образом DICOM-файл (формат КТ) отправлялся по почте в лабораторию или врачу для планирования.

С появлением HARZ Labs Dental RO появилась возможность смоделировать шаблон прямо в клинике и напечатать его в течение 1–2 часов, что позволяет сразу припасовать его в полости рта во избежание погрешности при КТ, и направить пациента уже с напечатанным изделием в диагностический центр. Данный протокол сокращает сроки планирования, поскольку отпадает необходимость тратить время на отправку слепка и изготовления шаблона зубным техником. Не стоит также забывать о финансовой стороне: напечатанный прототип в клинике по себестоимости выходит в разы дешевле, нежели при заказе изготовления в лаборатории. ■

Аддитивные технологии для производства изделий из керамики

П.П. Питерсков, Г.С. Побирохин, ООО «Аддитивное производство»
mail@additive-fabrication.ru, <http://additive-fabrication.ru>

Керамические материалы получили широкое распространение во многих областях промышленности: машиностроении (изготовление деталей повышенной твердости для увеличения жизненного цикла), радиоэлектронике (изготовление малогабаритных изделий из радиотехнической керамики), авиационной промышленности (изготовление элементов форм для высокоточного литья), медицинской отрасли (стоматологические протезы, имплантаты, приборы) атомной промышленности (элементы реактора), химической промышленности (фильтры, сосуды, емкости), ювелирной промышленности (украшения и предметы декора) и многих других.

Керамические материалы имеют уникальные свойства и применение благодаря своим прочностям связи, кристаллическим и зонным структурам. Они находят применение в качестве конструкционных материалов в термохимически сложных средах, а также имеют уникальные электрические, оптические и магнитные функциональные возможности. Ключевыми преимуществами данных материалов является их высокая твердость, высокая прочность, химическая стабильность и высокотемпературные характеристики. Однако высокая твердость и прочность керамических материалов также затрудняют формообразование и

обработку деталей. Такие способы формообразования керамики, как литье из шликера, сухое прессование, пленочное литье и гель-формование имеют определенные недостатки [1, 2]:

- Формирование сложных компонентов требует использования пресс-форм с высокой геометрической точностью. Поскольку изготовление высокоточных пресс-форм сопряжено со значительными затратами и длительными производственными циклами, трудно постоянно улучшать и обновлять изделие.

- Тела после спекания часто требуют либо обработки лазером, либо механической обработки с использованием твердосплавных или алмазных режущих инструментов для обеспечения достаточной точности размеров и формы готового изделия.

- Некоторые специальные формы и элементы трудно изготовить с использованием обычных процессов формования, например, внутренние полости, отверстия, внутренние канавки и изгибы с небольшими углами. Эти недостатки наложили значительные ограничения на широкое распространение высокотехнологичной керамики.

Благодаря использованию технологий аддитивного производства для формирования сложных керамических деталей можно обойти вышеупомянутые проблемы, сократить процент брака,

повысить гибкость производства и обеспечить быстрое изготовление высокоточных керамических деталей [2–4].

В начале 2019 года был представлен отчет фирмы Smartech Publishing об эволюции керамической 3D-печати. В документе сказано, что в 2028 году эта отрасль будет генерировать до 3,6 миллиарда долларов во всем мире. Согласно отчету, 3D-печать керамикой достигнет зрелости в 2025 году, распространяясь в качестве технологии производства в различных отраслях промышленности [5].

В соответствии со стандартом ISO/ASTM существуют две основные категории процессов аддитивного производства (АП) с точки зрения формообразования: 1) одностадийные процессы (также называемые «прямыми» процессами), в которых детали изготавливаются за одну операцию, где базовая геометрическая форма и основные свойства материала предполагаемого продукта достигаются одновременно, и 2) многоступенчатые процессы (также называемые «косвенными» процессами), в которых детали изготавливаются в две или более операций, где первая обычно обеспечивает базовую геометрическую форму, а последующая обеспечивает заготовке заданные свойства материала. Большинство процессов АП для формования керамики представляют собой

многоступенчатые (косвенные) процессы, в которых используется связующий материал для формирования частиц керамического порошка. Это связующее, как правило, удаляется при последующей термической обработке [4].

Единственными одностадийными процессами, близкими к одностадийному формообразованию керамических деталей, являются прямая передача энергии в место построения и плавление в порошковом слое. Последний процесс включает в себя селективное лазерное плавление (SLM) и селективное лазерное спекание (SLS) [4].

Ниже представлена дальнейшая дифференциация аддитивных процессов в соответствии с одностадийными/многостадийными процессами и механизмами связывания для плавления порошков.

Селективное лазерное спекание (SLS)

В процессе SLS, как следует из его названия, мощный лазерный луч используется для избирательного облучения поверхности целевого слоя порошка. Затем порошок нагревается и происходит спекание (т.е. межчастичное плавление) для объемного соединения. После этого новый слой порошка наносится на предыдущую поверхность для следующего прогрева и соединения. Таким образом, процесс повторяется слой за слоем, пока не будет изготовлена трехмерная деталь. Нет необходимости в специальной подготовке дополнительных опорных конструкций для нависающих областей во время процесса SLS, так как они все время окружены сыпучим порошком в слое.

Селективное лазерное плавление (SLM)

Принцип технологии SLM (selective laser melting) очень близок к технологии SLS, за ис-

ключением того, что это более экономичное по времени одностадийное полное плавление в заранее сформированном порошковом слое. В данном методе используются лазерные источники с гораздо более высокими плотностями энергии и не требуются вторичные легкоплавкие порошки.

Процесс экструзии материала является наиболее широко используемым процессом 3D-печати благодаря его адаптации к недорогим настольным системам вплоть до крупных каркасных промышленных машин. Разработка различных экструдеров для широкого спектра различных материалов также включает глины и полимеры с керамическим наполнителем.

Методы прямой передачи энергии в место построения, определяемые как «процессы аддитивного производства, в которых сфокусированная тепловая энергия используется для плавления материалов при их осаждении», используются для формирования макроскопических керамических деталей. Прямая передача энергии в место построения также широко известна как лазерная наплавка. Печатающая головка системы состоит из сопла, которое подает частицы керамического порошка в фокус лазерного луча. Порошок плавится и затвердевает на подложке [4].

Процессы струйной печати определяются как «процессы аддитивного производства, в которых жидкий связующий агент избирательно наносится для соединения порошковых материалов» (binder jetting). Они реализованы в так называемых трехмерных принтерах (3DP), состоящих из печатающей головки и устройства для нанесения порошка. Устройство 3DP может формировать керамические ком-

поненты, сначала нанося слой керамического порошка, а затем выбрасывая связующий материал, чтобы избирательно связывать керамический порошок. Как правило, можно различить два разных метода 3DP.

Наиболее распространенные в промышленном применении технологии 3D-печати на основе суспензионной керамики обычно включают в себя жидкие или полужидкие системы, диспергированные с мелкими керамическими частицами в качестве исходного материала, в виде чернил или паст в зависимости от загрузки твердого вещества и вязкости системы. Изделие может быть напечатано на 3D-принтере путем фотополимеризации, струйной печати или экструзии. Ниже описаны методы на основе фотополимеризации, такие как стереолитография (SL) и ее производные, то есть цифровая обработка света (DLP) и двухфотонная полимеризация (TPP), а также струйная 3D-печать наночастицами.

Технология NanoParticle Jetting (NPJ) использует герметичные картриджи, заполненные «твердыми наночастицами в жидкой суспензии». При загрузке в 3D-принтер наночастицы подаются с помощью сложной системы сопел, распыляющей их на ультрамелкие капли основного и поддерживающего материала. Высокие температуры внутри печатной камеры (до 300°C) приводят к испарению жидкой основы материала — таким способом удается получить твердые слои из керамики. Малый размер частиц в суспензиях обеспечивает высокую плотность готового изделия, а возможность напыления опорных материалов позволяет создавать детали практически неограниченной геометрической сложности. Как только процесс печати будет завершен, напечатанные объекты отправля-

ются в печь, где спекаются до готового вида, а поддерживающие структуры удаляются.

Двухфотонная полимеризация (TRP)

TRP (two-photon polymerisation) — метод, при котором полимеризация активируется за счет двухфотонного поглощения (ТРА) ближнего инфракрасного (780 нм) или зеленого (515 нм) лазерного излучения. Процесс осуществляется в светочувствительной смоле только при высокой интенсивности лазера в пределах локализованного в пространстве фокального пятна.

Digital light processing (DLP)

Метод 3D-печати DLP — альтернативный метод SLA, использует вместо лазерных установок светодиодные проекторы, которые значительно снижают стоимость 3D-принтеров. В отличие от метода SLA, при котором сканирование поверхности материала по контуру детали производится лучом от одной или нескольких головок, DLP 3D-принтеры проецируют и проводят затвердевание целого слоя фотоувствительного полимера, после чего аналогично наносятся последующие слои материала.

Лазерная стереолитография (SLA)

Технология SLA (stereolithography) представляет собой процесс, в котором источник света определенной длины волны (обычно в ультрафиолетовом диапазоне) используется для селективного отверждения поверхности жидкости в ванне, содержащей в основном фотополимеризуемый мономер в комбинации с требуемой твердой фракцией керамических порошков наряду с другими добавками в очень небольших количествах, в частности фотоинициаторами. Процесс полимеризации, активируемый светом

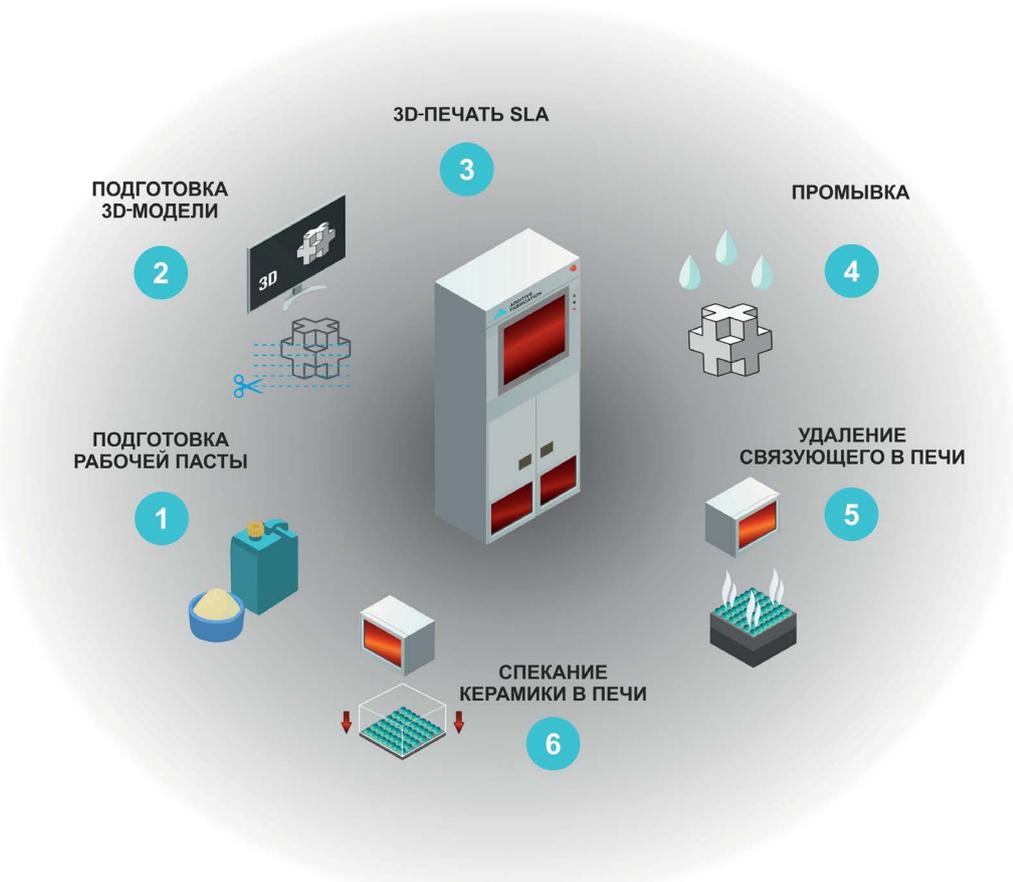
(то есть жидкий мономер превращается в твердую смолу), как правило, протекает от линии к линии, от линии к слою, затем от слоя к слою в соответствии со сканированием света на поверхности жидкости. Когда полимеризация завершается для одного слоя, чан или платформа, поддерживающие производимую деталь, перемещаются по высоте. В результате процесса печати получается геометрия детали из отвердевшей полимерной матрицы с высококачественным содержанием керамического порошка. Для получения финального керамического изделия требуется термическая обработка для удаления связующего полимера.

Все ранее упомянутые технологии представлены на российском рынке в качестве зарубежных продуктов (ЕС, США, Израиль). Отечественным производителем 3D-принтеров для печати кера-

микой по методу SLA является компания ООО «Аддитивное производство» с принтером AF-200 Universal. Компания предлагает не только принтер для 3D-печати, а полноценную платформу, которая включает в себя программное обеспечение собственной разработки для подготовки 3D-модели, принтер для 3D-печати, а также вспомогательное оборудование: устройство для подготовки керамической суспензии и печи для термической обработки полученного после печати изделия. Технология 3D-печати на принтере AF-200 Universal представлена на рис. 1.

С помощью ПО собственной разработки 3D-модель подготавливается к печати и загружается на принтер. Предварительно изготовленная керамическая суспензия наносится ровным слоем на ленту переноса с помощью специальной системы подачи ма-

Рис. 1. Технологический процесс 3D-печати керамики методом SLA



териала и распределительных ра-
келей. Рабочая платформа, на ко-
торой осуществляется построение
объекта, опускается до поверхно-
сти керамической пасты, оставляя
зазор, равный толщине печатае-
мого слоя (20–100 мкм). Далее
лазер, расположенный снизу, за-
свечивает слой изделия. После
засветки рабочая платформа под-
нимается вверх. Таким образом
происходит послойное построение
объекта (выращивание снизу
вверх). Примеры полученных ке-
рамических изделий представле-
ны на рис. 2.

В связи с развитием отечест-
венного рынка радиоэлектрони-
ки, военно-промышленного ком-
плекса (в частности — двига-
телестроение) важной задачей
становится производство высо-
коточных изделий из керамики
с определенными физико-хими-
ческими свойствами. Аддитивные
технологии позволяют решить
данные задачи и вывести отече-
ственное производство на новый
уровень. Вышеупомянутые тех-
нологии позволяют решить боль-
шую часть из имеющихся задач,
в том числе на отечественном
оборудовании. Увеличение доли
рынка 3D-печати керамикой в об-
щем объеме аддитивных техно-
логий говорит об экономических
перспективах направления и, как
следствие, развития отраслей про-
мышленности. ■

Литература

1. <https://www.omicsonline.org/scholarly/ceramic-materials-journals-articles-ppts-list.php>
2. Питерсков П. Сравнение традиционной технологии изготовления охлаждающих стержней лопаток газотурбинного двигателя и метода 3D-печати керамикой. Спб.: Молодежь. техника. космос статьи и доклады XI Общероссийской молодежной научно-технической конференции. Сер. Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ» 2019.
3. Chen Z, Li Z, Li J, Liu C, Liu C, Li Y, Wang P, Yi H, Lao C, Yuelong F. 3D printing of ceramics: A review//Journal of the European Ceramic Society. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>
4. Deckers, Jan & Vleugels, Jozef & Kruthl, J. (2014). Additive Manufacturing of Ceramics: A Review. Journal of Ceramic Science and Technology. 5. 245–260. 10.4416/JCST2014-00032.
5. <https://www.3dnatives.com/en/ceramic-3d-printing-170420194/>

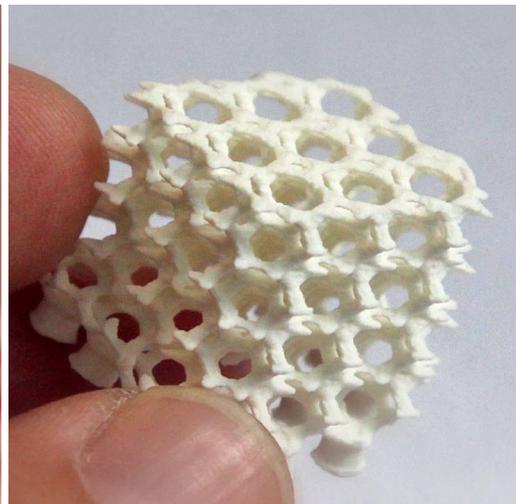
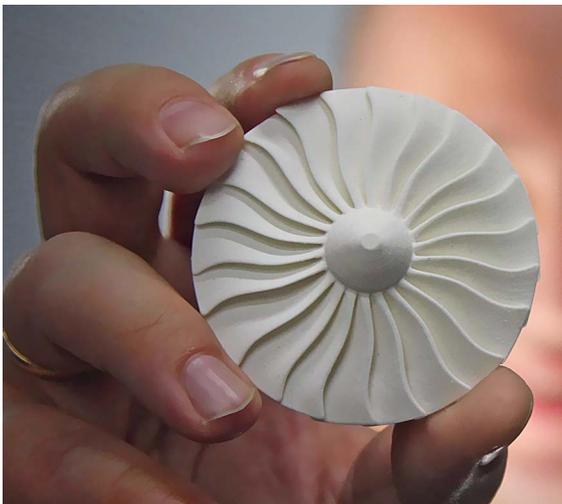
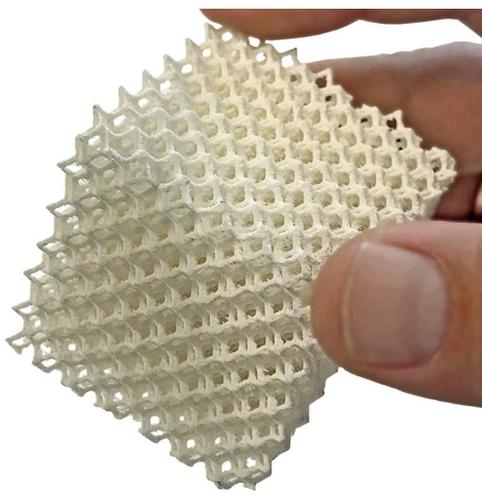
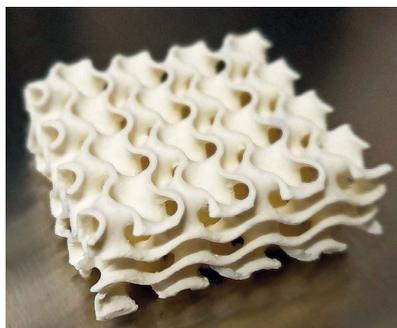


Рис. 2. Примеры керамических изделий, изготовленных по методу SLA

ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

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

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 101000, г. Москва, Милютинский пер., 18А
Почт. адрес: 101000, г. Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с
ИНН 7708266787
КПП 770801001
Р/с 40702810400120033781
ПАО АКБ «АВАНГАРД»
г. Москва
К/с 30101810000000000201
БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

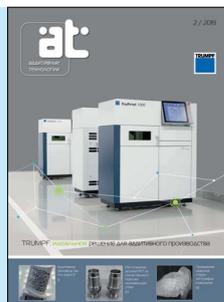
E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал «РИТМ машиностроения»: номер год
Подписка на журнал «Аддитивные технологии»: номер год



Вы можете оформить подписку на журнал «Аддитивные технологии» с любого месяца. Стоимость одного номера — 250 рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — 1000 рублей.

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



101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с, пом. 1, т/ф (499) 55-9999-8,

e-mail: ritm@gardesmach.com, www.ritm-magazine.ru

e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ

31 марта – 3 апреля 2020

При поддержке Министерства
промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ



Реклама 12+



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

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



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



25–29 | 05 | 2020

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



2020

21-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Реклама 12+



«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

При поддержке:

- Совета Федерации Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Союза машиностроителей России

Под патронатом ТПП РФ

Организаторы:

