

Additive Solutions — амбиции, помноженные на прагматизм
стр. 12



Производство
литейных форм
методом
послойной
печати
16



Технологии
гибридного
формо-
образования
34



Лазерная
стереолитография:
состояние и
перспективы
44



ПАРТНЕР



S7 Startup Challenge

Заявки принимаются до

31.10www.s7.sk.ru

Открытый отбор инновационных проектов для поиска наилучших проектов из числа талантливых специалистов, команд и стартапов



О конкурсе

Совместный конкурс авиакомпании S7 Airlines и Фонда «Сколково» для привлечения инновационных проектов в области цифровых и промышленных технологий. Лучшие проекты смогут претендовать на инвестиционную поддержку S7 и коммерческое партнёрство с авиакомпанией, а победителям предусмотрены денежные призы от S7 Airlines и гранты «Сколково». К участию допускаются проекты на всех стадиях: от идеи до действующего бизнеса. Заявки принимаются до 31 октября, очный финал состоится в Технопарке «Сколково» в феврале 2019-го.

Горячая линия 8 495 956 00 33 доб. 4460

s7challenge@sk.ru

СУШИЛКА
ПЛАСТИКА



FD1

FD5

НАСТОЛЬНЫЕ
3D-ПРИНТЕРЫ



XD10

XD20

XD30

СТАЦИОНАРНЫЕ 3D-ПРИНТЕРЫ

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ НАСТОЛЬНЫЕ
3D-ПРИНТЕРЫ



D100

D200

D300



D400

D400 Двойная Сушилка

Настольные 3D-принтеры высокого разрешения

- Лучшее качество поверхности в своем классе
- Печать высокоэффективными полимерами и стандартными материалами
- Пластик для 3D-печати Verbatim и Polymaker

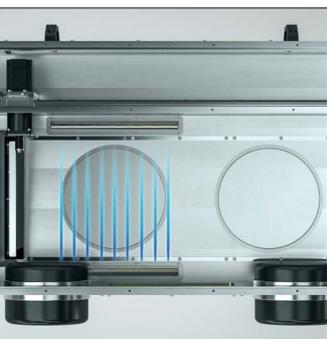
ООО «Шевалье.ру»
129626, Москва,

ул. 2-я Мытищинская, д. 2, стр. 1, оф. 502
(495) 967-55-62, 755-77-31, 755-58-10

Принтеры: www.mass-portal.ru

Пластик: www.4fdm.ru

 **MASS PORTAL®**



12



28



30

СОДЕРЖАНИЕ

- 12** Амбиции, помноженные на прагматизм
- 16** Производство литейных форм методом послойной печати
- 22** В ногу со временем или работа на опережение?
- 24** Инновационные решения студии «Game&Reality Studio» в кино и Cosplay
- 26** «ПОЛЕМА» запускает первое в России производство сферичных порошков для 3D-печати и покрытий в промышленных масштабах
- 28** Обновление линейки FDM-принтеров Magnum Creative 2
- 30** Газовые решения «Эр Ликид» для аддитивных технологий
- 32** Комплексный подход к интеграции аддитивных технологий в производство
- 34** Технологии гибридного формообразования
- 44** Лазерная стереолитография: состояние и перспективы

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:

Т. Карпова

Э. Сацкая

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. 36с, помещение 1, 3
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
(495) 256-80-86
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

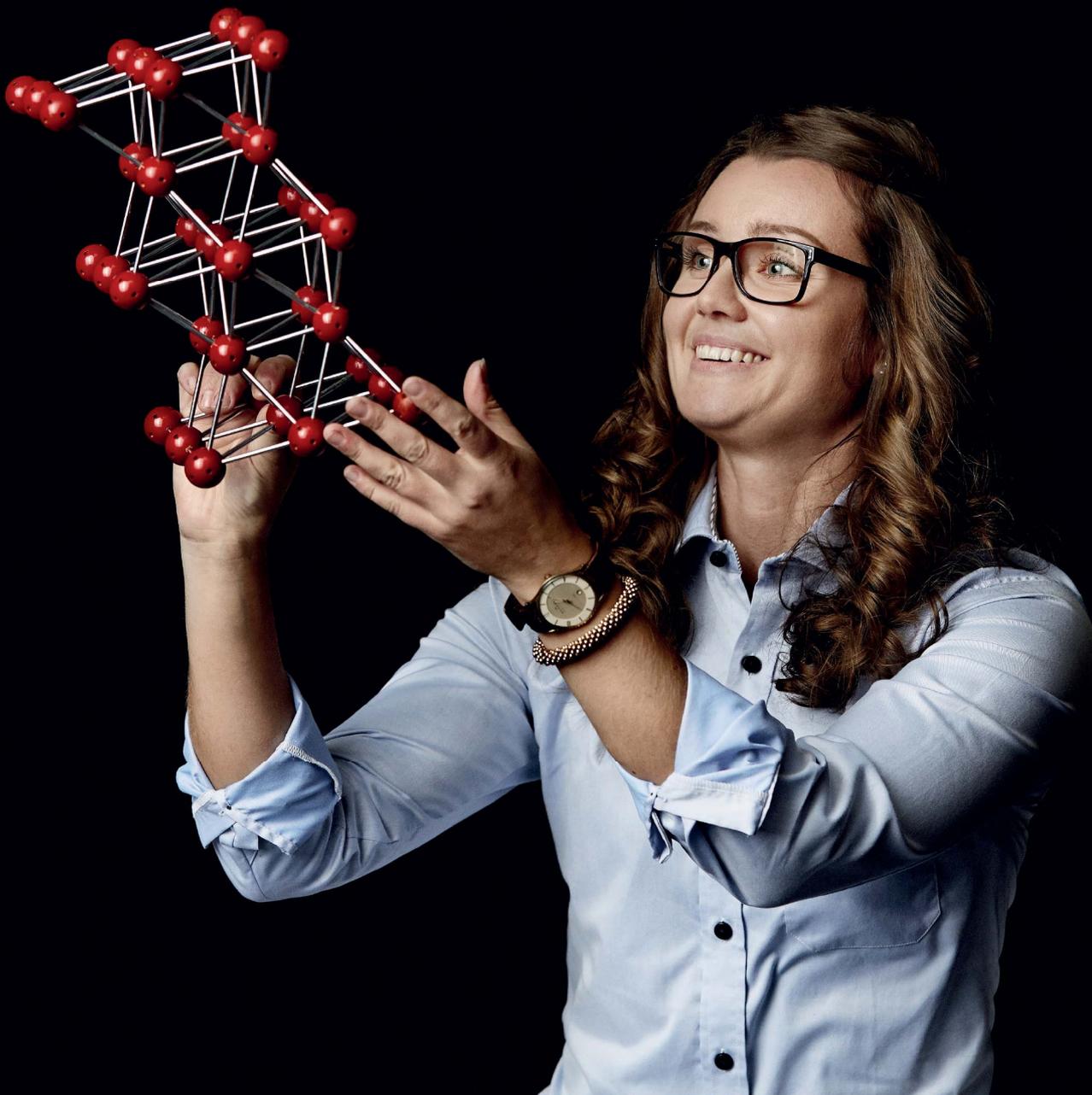
Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС 77-67106 от 15.09.2016.

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.



В этом наша суть

Технологии — движущая сила общества. Они развивают и видоизменяют нашу повседневную жизнь. Наши сегодняшние потребности отличаются от тех, какими они были десять ... или пять лет назад ... или даже в прошлом году. Технологии постоянно озадачивают инженеров, бросают вызов восприятию возможного и невозможного, выходя за рамки материалов и инструментов. Прогрессом движет постоянное стремление открывать неизведанные пути, стремление к усовершенствованиям.

В самом сердце каждого из нас — любовь к инженерному искусству и желание расширять горизонты. И всегда в тесном взаимодействии с вами — нашими заказчиками.

Формируем будущее вместе

www.sandvik.coromant.com

SANDVIK
Coromant

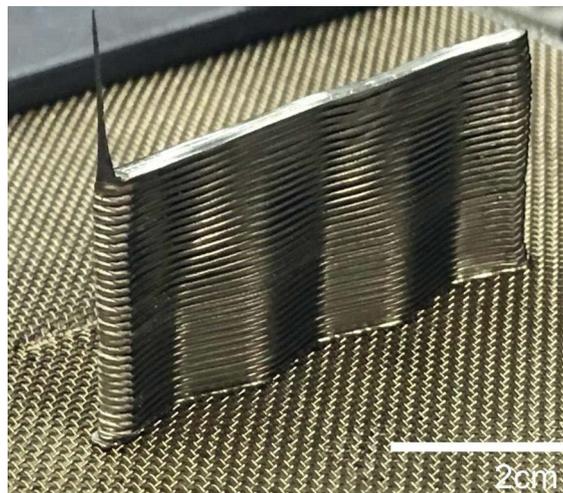
3D-печать из металлического стекла

Ученые из Йельского университета совместно с инженерами Desktop Metals создали простой метод 3D-печати металлических объектов. Исследователи продемонстрировали процесс создания металлических предметов с помощью сплавления нитей из металлического стекла. В отличие от обычных металлов, куски объемного металлического стекла (BMG) имеют в своем термодинамическом профиле сверхохлаждаемую жидкую область и обладают свойством непрерывно размягчаться при нагревании. Такое поведение характерно для термопластиков, но не для металлов. Этот материал обладает также высокой прочностью, эластичностью, вязкостью и коррозионной стойкостью.

Команда разработчиков опробовала BMG из циркония, титана, меди, никеля и бериллия с формулой сплава $Zr_{44}Ti_{11}Cu_{10}Ni_{10}Be_{25}$. В экспериментах использовались аморфные стержни диаметром 1 мм и длиной 700 мм. Экструзия производилась при температуре 400 градусов Цельсия и силой от 10 до 1000 ньютонов. Размягченные волокна с по-

мощью сопла размером 0,5 мм формировали в сетку из нержавеющей стали, нагретую до 400 градусов.

Из-за сходства метода FDM-печати термопластами и BMG для новой технологии можно использовать уже существующие разработки в данной области.



www.3dpulse.ru

Звуковые волны для 3D-печати

Исследователи из Гарвардского университета (SEAS) разработали новую технологию 3D-печати, которая использует звуковые волны для генерации капель из жидкостей с беспрецедентным диапазоном состава и вязкости. По мнению исследователей, этот метод позволяет печатать множество материалов и может быть использован для синтеза биофармацевтических препаратов и косметики, а также оптических и проводящих материалов.

В настоящее время микрокапсулы, используемые для доставки лекарств, изготавливаются на струйном 3D-принтере. Однако струйная 3D-печать подходит только для жидкостей, которые примерно в 10 раз более вязкие, чем вода. В то время как многие жидкости, представляющие интерес для исследователей, гораздо более вязкие. Например, биополимерные и насы-

щенные клетками чернила, используемые в биофармацевтических препаратах и биопечати, по меньшей мере в 100 раз более вязкие, чем вода. Некоторые биополимеры на основе сахара могут быть вязкими, как мед, который в 25 000 раз вязче воды.

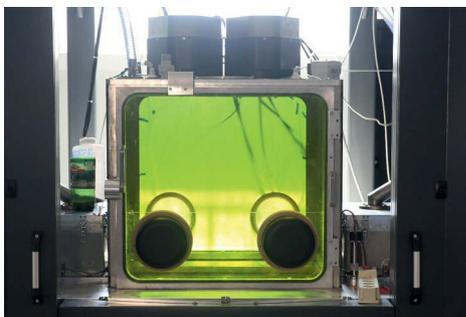
Поэтому исследовательская группа SEAS разработала систему 3D-печати, которая не зависит от свойств материала жидкости. Был спроектирован и изготовлен акустический резонатор, способный генерировать акустические поля, которые вызывают на кончике сопла принтера тяговое усилие, которое более, чем в 100 раз, сильнее обычных сил гравитации.

Исследователи протестировали процесс на широком спектре материалов, включая мед, чернила для стволовых клеток, биополимеры, оптические смолы и жидкие металлы.

www.3ders.org

Отечественная разработка

Ученые Госкорпорации «Росатом» разработали и изготовили двухлазерную двухпорошковую систему селективного лазерного плавления (SLM-печать) — 3D-принтер, работающий одновременно с двумя металлическими порошками. По сравнению с однолазерной системой ее производительность увеличена на 60%.



Работы выполнили специалисты из института технологии поверхности и наноматериалов ГНЦ РФ АО «НПО «Центральный научно-исследователь-

ский институт технологии машиностроения» (входит в машиностроительный дивизион «Росатома» — АО «Атомэнергомаш») и ООО НПО «Центротех» (входит в Топливную компанию «Росатома» «ТВЭЛ»). Принтер создан по заказу индустриального партнера проекта — Уральского электрохимического комбината (АО «УЭХК», также входит в состав Топливной компании Росатома «ТВЭЛ»), который так же, как и «НПО «Центротех», расположен в ЗАТО Новоруральск Свердловской области, где планируется создать основную производственную площадку в рамках развития аддитивных технологий в Госкорпорации «Росатом».

На принтере проведена тестовая печать демонстрационного образца из двух порошков. В ближайшее время в рамках реализации проекта планируется напечатать блиск турбины, лопатки которой составляют единое целое с диском ротора. Сам диск будет сделан из одного никелевого сплава, а лопатки — из другого. Подобная конструкция позволяет уменьшить массу рабочего колеса, увеличив его ресурс.

www.rosatom.ru

Новая технология

Компания HP Inc. анонсировала новую технологию, предназначенную для серийного производства металлических деталей методом 3D-печати. Компания утверждает, что ее разработка, получившая название HP Metal Jet, обеспечивает многократный прирост производительности (до 50 раз) при значительно более низкой себестоимости готового изделия по сравнению с другими технологиями для 3D-принтеров. Используемое HP Metal Jet оборудование (рис. 1) отличается вдвое большим количеством печатных линеек и увеличенным в четыре раза числом форсунок по сравнению с конкурирующими решениями. Применение технологии начнется с изготовления готовых деталей из нержавеющей стали. Они будут обладать степенью

изотропии не ниже той, которая требуется от стали согласно стандартам ASTM и MPIF.

Одним из первых клиентов, который будет использовать HP Metal Jet в промышленном производстве, стал автоконцерн Volkswagen. На рис. 2 изображена ручка автомобильной коробки передач, изготовленная при помощи новой технологии.



Рис. 1.



Рис. 2.

<https://3dnews.ru/975419>

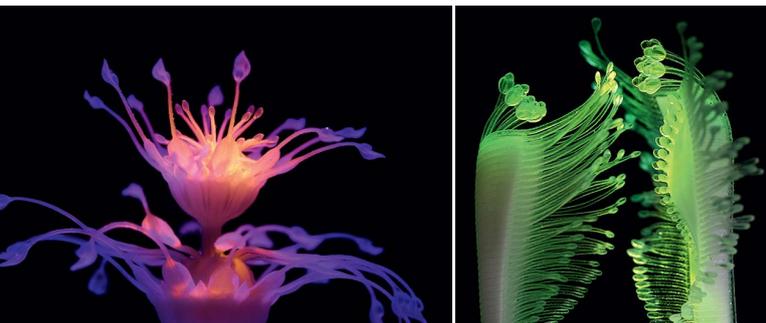


О СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В голландском Эйндове появится первое коммерческое жилье, напечатанное на 3D-принтере. Материал, из которого напечатают дома, — цемент. Первым станет одноэтажный дом площадью 95 кв. м с тремя комнатами. Предполагается, что он будет готов к заселению в середине 2019 года. Затем строители возведут дома в несколько этажей. Всего планируется построить пять зданий. Все они будут неправильной формы, почти без прямых углов, что позволит, во-первых, органично вписать их в окружающий ландшафт, а во-вторых, отработать технологии 3D-печати. Данный проект — совместная разработка местного архитектурного бюро Houben & Van Mierlo Architecten и Эйндовского технологического университета.

Это не первый эксперимент с 3D-печатью, который проводят специалисты университета. В прошлом году в городе Гемерте был открыт первый в мире бетонный велосипедный мост, также напечатанный на принтере. А весной в Амстердаме завершилась печать первого в мире двенадцатиметрового металлического пешеходного моста.

www.stroygaz.ru



Промышленный дизайнер Николь Хоун из Новой Зеландии представила коллекцию «гидрофитов» — футуристических водных растений. Они активируются за счет пневматических насосов и под воздействием гравитации, движения воды и прикосновений превращаются в динамические организмы.

Форму, текстуру и внутреннюю конструкцию гидрофитов удалось создать с помощью программ

Демонстрация ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Французский производитель автомобилей класса люкс Bugatti представил новый суперкар Bugatti Divo. В конструкции автомобиля демонстрируются возможности аддитивного производства для прогрессивного дизайна облегченных комплектующих. Так, в задней части Bugatti Divo расположен ряд напечатанных на 3D-принтере ребер-«плавников», 44 из которых подсвечиваются стоп-сигналами. По мере приближения к внешней стороне плавники становятся шире, делая свет фар интенсивнее, тогда как ближе к центру они тоньше, для обратного эффекта. Дизайн задних фар призван сделать внешний вид модели уникальным. Кроме того, в задних фарах используется градиент из двух оттенков, подчеркивая аэродинамический стиль автомобиля.



www.3dpulse.ru

Осязаемая анимация

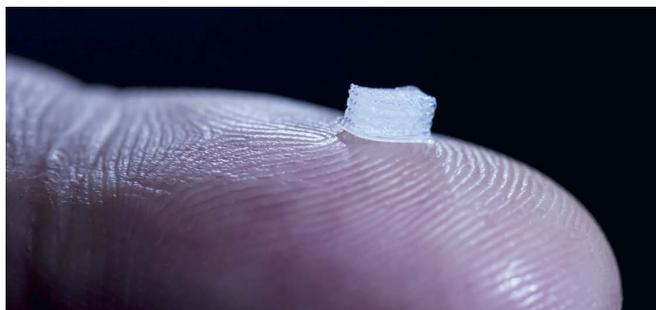
Rhino, Grasshopper и ZBrush. Каждый элемент напечатан на 3D-принтере как единое целое из нескольких светочувствительных материалов под воздействием ультрафиолетового излучения. Хоун объясняет, что она применила технологию Stratasys PolyJet для работы с жесткой и гибкой смолой — из них изготовлены герметичные камеры искусственных растений. После 3D-печати поддерживающий материал удалили в воде и очистили — на это ушло 4 часа.

Композитные материалы позволяют добиться поведения, удивительно похожего на живые организмы. На выставке растения демонстрируются в воде и подсвечиваются разными цветами, чтобы подчеркнуть индивидуальные особенности каждого элемента.

www.3dpulse.ru

Достижение в травматологии

Группа инженеров и научных исследователей из Университета Миннесоты совместными усилиями создали особое 3D-напечатанное устройство, имеющее большое значение для медицины. Оно поможет пациентам, страдающим от травм спинного мозга, минимизировать болевые ощущения и восстановить некоторые жизненно важные функции мочевого пузыря, кишечника и мышц.



Первое, с чего начали исследователи, — это печать «проводника» из силикона. Он работает в качестве платформы для пересадки в поврежденные части спинного мозга. В результате образуется своеобразный мост, соединяющий нервные окончания.

Этот случай — первый в истории, когда ученые смогли напечатать нейронные стволовые клетки, полученные из обычных человеческих клеток. Начинается все с забора человеческих клеток взрослого человека (крови или кожи). После этого применяются инновационные методы в области биоинженерии для перепрограммирования клеток в нервные стволовые образования. Нейронные стволовые клетки печатаются на силиконовой «направляющей» платформе. Данное 3D-напечатанное устройство поддерживает жизнеспособность нейронных стволовых клеток и превращает их в нейроны. Впоследствии их имплантируют в поврежденные участки спинного мозга для соединения живых клеток с обеих сторон от травмированного участка.

Несмотря на то, что аддитивная печать ячеистой конструкции была трудной задачей, куда сложнее оказалось обеспечить жизнеспособность полученных клеток. В итоге ученым удалось сохранить две третьих всего количества живых клеток во время трехмерной печати, а затем сделать из них здоровые нейроны. Прежде чем данный метод будет использоваться для лечения пациентов, его должны испытать на животных.

<https://make-3d.ru>

Метамолды

До недавнего времени силиконовое литье сложных форм было ремеслом, постижение которого требовало опыта и умения. Большая часть работы делалась вручную. Новый инструмент по созданию особых форм (так называемых «метамолдов»), разработанный группой Computer Graphics и Digital Fabrication в IST Austria, делает процесс доступным для каждого.

Работа инструмента основана на вычислении, где именно нужно интегрировать определенные сокращения. При этом аппарат использует минимальное количество частей пресс-формы. Также он анализирует, насколько легко и безопасно можно удалить полученный объект из формы. После этого компьютер создает шаблоны метамолда для 3D-печати.

Полученный метамолд применяют для изготовления силиконовых форм путем заполнения напе-



чатанной формы жидким силиконом. Силиконовые изделия могут повторно использоваться для литья копий. Метод идеально подойдет для малых и средних производственных масштабов. Также это прекрасный способ создания объектов искусства, ювелирных изделий.

<https://make-3d.ru>

Аддитивные технологии на «Иннопром-2108»

Ведущие российские промышленные предприятия приняли участие в экспозиции «Аддитивные технологии» в рамках Международной промышленной выставки «ИННОПРОМ-2018». Свои перспективные технологические разработки представили 13 российских компаний. Посетители смогли увидеть:

- промышленный 3D-принтер по металлу MЛ6 компании «НИИ ЭСТО» (ГК «Лазеры и аппаратура»);
- инновационный модульный принтер металлической SLM-печати MeltMaster 3D 160 компании «Русатом – Аддитивные технологии»;
- аддитивную установку селективного лазерного сплавления M250, разработанную компанией «Лазерные технологии»;
- промышленный 3D-принтер Totalz Anyform 650-PRO, разработанный и произведенный в России компанией «Тоталзед»;
- строительный 3D-принтер «Бетонатор 1.0» – разработку компании «Аркон»;
- опытные образцы изделий, изготовленных методом прямого лазерного выращивания, представленных «Объединенной судостроительной корпорацией»;
- продукцию и уникальные технологии Санкт-Петербургского политехнического университета Пет-



Фото: <https://vk.com/pgpuspb>

ра Великого: каркас передней части первого российского кастомизированного концепт-кара (CML Car), не имеющее аналогов в мире электродуговое выращивание;

- макеты, изготовленные методом селективного лазерного сплавления, Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов: макет двухстороннего двигателя, тангенциальный завихритель, корпус форсунки, дефлектор и др.

Теме «аддитивных технологий» были посвящены и некоторые сессии деловой программы «ИННОПРОМ»: состоялось заседание Межведомственной рабочей группы по развитию аддитивных технологий под председательством министра промышленности и торговли РФ Дениса Мантурова и круглый стол «Интеграция аддитивных технологий в промышленности: российский и международный опыт».

В 2019 году организаторы ожидают большой спрос на участие в экспозиции.

www.innoprom.com

Перспективный проект



Компания Stratolaunch Systems проводит испытания напечатанных на 3D-принтерах компонентов ракетных двигателей PGA, предназначенных для носителей в составе перспективной авиационно-космической системы воздушного старта Stratolaunch.



Водород-кислородный двигатель рассчитан на стартовую тягу в районе 90 тонн, а на долю аддитивных технологий в производстве его комплектующих придется около 85%, что поможет снизить себестоимость. В настоящее

время инженеры заняты производством и тестированием малоразмерных и полномасштабных прототипов. Системы зажигания уже проверены, теперь проводятся испытания систем впрыска топлива, а первые испытания газогенератора должны состояться до конца текущего года.

Как утверждают в компании, будучи на сто процентов собственной разработкой, двигатель PGA сможет поддерживать различные конфигурации будущих ракет и обеспечивать более приемлемую стоимость доставки на орбиту.

<http://3dtoday.ru>

Соглашение

«Русатом-Аддитивные Технологии» (специализированный отраслевой интегратор в рамках топливной компании «Твэл») в ходе V Международного форума NDEXPO 2018 в Сколково заключил соглашения с 3D Systems и Центром аддитивных технологий ГК «Ростех».

Меморандум с 3D Systems подразумевает применение в России передовых технологий аддитивной печати с учетом опыта мирового лидера. Соглашение с Центром Аддитивных Технологий госкорпорации «Ростех» направлено на объединение научно-технических и производственных потенциалов в сфере аддитивного производства. В числе ключевых пунктов совместной работы: разработка программного обеспечения, отладка технологий печати на 3D-принтерах РусАТ и ЦАТ, стандартизация и сертификация технологий и материалов.

www.3dpulse.ru

Ответственная деталь

По заказу ОКБМ Африкантов специалисты института технологии поверхности и наноматериалов АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (оба предприятия входят в машиностроительный дивизион Росатома — Атомэнергомаш) провели научно-исследовательские работы по возможности печати детали «Колесо» для промышленного электрического насоса. Изделие изготовлено на созданном в ЦНИИТМАШ отечественном 3D-принтере SLM. Также в рамках НИР



была разработана технология по доведению плоских и криволинейных поверхностей детали типа «Колесо» с помощью финишной обработки до требований по шероховатости и проведен химический анализ металлического порошка 12X18 Н10 Т для подтверждения его химического состава.

Уникальность проекта заключается в том, что впервые в работе был применен металлический порошок отечественного производства. Более того, опытный образец рабочего колеса для насоса методом 3D-печати также был изготовлен в России впервые.

<http://cniitmash.ru>

ЛАЗЕРНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Промышленный лазерный
3D-принтер по металлу

СЕРИЯ
МЛ6 производится с 2016

для послойного лазерного сплавления металлопорошков (SLM)



 **Разработано и произведено в России**

Разработка технологий

Объем построения: 60×60×200 мм, 100×100×200 мм, 210×210×200 мм

Технологическое сопровождение

Поставка «под ключ»

Сервисное обслуживание

Российское программное обеспечение

Открытые технологические настройки

Порошки нержавеющей стали, никелевых сплавов, кобальт-хромовых сплавов, титана, алюминия.

 **ГРУППА КОМПАНИЙ
ЛАЗЕРЫ
И АППАРАТУРА**

+7 499 710 00 53

sales@laserapr.ru

www.laserapr.ru

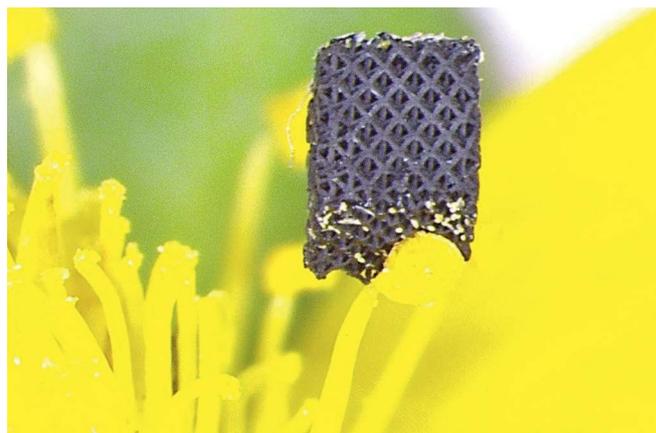
lia_laserapr

lia_laserapr

Печать графена

Исследователи из Политехнического университета Виргинии и Ливерморской национальной лаборатории в США разработали новый метод 3D-печати из графена — одного из наиболее высокопроизводительных материалов для аэрокосмической отрасли, хранения энергии и изоляции.

Ученые начали экспериментировать с графеном три года назад, применяя аэрогель и воздействие ультрафиолетом, известное как проекционная микростереолитография. Таким способом разрешение 3D-печати из аэрогеля с графеном было улучшено с 100 до 10 микрон. При создании сложных конструкций ученые начали с оксида графена, из которого с помощью кросслинкинга получили пористый гидрогель. Разбивая гидрогель ультразвуком и добавляя светочувствительные акрилаты, исследователи примени-



ли микростереолитографию для получения твердой трехмерной конструкции, в которой оксид графена оказался внутри длинных цепей акрилата. Затем модели размещали в печи, где полимеры расплавились, а части объекта соединялись друг с другом, образуя чистый и легкий графеновый аэрогель.

www.3dpulse.ru

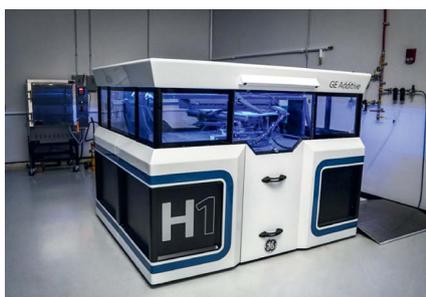
Для производства локомотивов

Компания General Electric, занимая лидирующую позицию на североамериканском рынке в производстве локомотивов, к 2025 году намеревается выпускать около 250 наименований запасных частей с помощью 3D-печати.

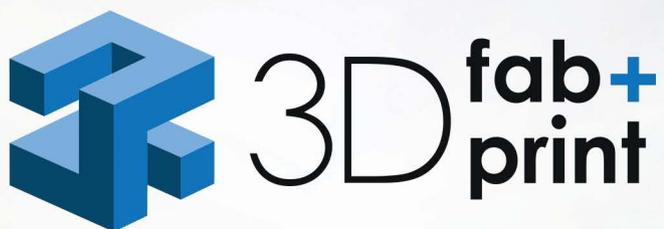
«Существует множество вариантов технологий, попадающих под определение аддитивного производства. Один вариант, выглядящий привлекательно в контексте производства компонентов для железнодорожной отрасли, это струйно-порошковая 3D-печать, где слои порошка склеиваются байндером, а получаемые заготовки спекаются в печах. Эта технология несколько сложнее, чем некоторые другие методы аддитивного производства, зато позволяет снижать себестоимость», — рассказал вице-президент General Electric Доминик Маленфант на сентябрьской выставке InnoTrans в Берлине.

Свою первую установку для аддитивного производства методом струйно-порошковой печати General Electric представила в декабре прошлого года. H1 — это высокопроизводительный аппарат для работы с разнообразными сплавами, включая различные марки стали и жаропрочные никелевые композиции. На коммерческий рынок 3D-принтеры H1 выйдут в середине следующего года.

Интересно еще и то, что аддитивные технологии должны помочь с созданием «зеленых» локомотивов — гибридных дизель-электрических платформ, способных курсировать в пределах населенных пунктов исключительно на аккумуляторах. Чтобы разместить необходимую начинку в локомотиве, необходимо значительно снизить габариты дизельных генераторов без потери мощности. Специалисты General Electric рассчитывают добиться этого с помощью передовых технологий производства и цифрового проектирования, таких как 3D-печать и топологическая оптимизация. Начало опытной эксплуатации первых 3D-печатных деталей локомотивов намечено на следующий год.



технологий производства и цифрового проектирования, таких как 3D-печать и топологическая оптимизация. Начало опытной эксплуатации первых 3D-печатных деталей локомотивов намечено на следующий год.



Проект аддитивных технологий
и 3D-печати в промышленности

29 января – 1 февраля 2019

www.3dfabprint.ru

в рамках выставки «интерпластика»



Ваше
трехмерное
пространство
в России

Место проведения:



Партнер:

Организатор:



000 «Мессе Дюссельдорф Москва»
119021 Россия, Москва
ул. Тимура Фрунзе, д. 3, стр. 1
Тел.: +7 495 955 91 99
messe-duesseldorf.ru



Амбиции, помноженные на прагматизм

Зинаида Сацкая

«Прямо пойдешь — стартап найдешь»

Так устроен рынок, что деньги должны делать деньги. И если компания, которая занимается продажами, однажды приходит к пониманию, что создавать добавленную стоимость значительно интереснее, она делает шаг к созданию собственного производства. Так произошло с компанией Additive Solutions, по сути, стартапом с командой амбициозных выпускников Бауманки.

Когда решили заниматься производством, то, как в древней былине, ощутили себя сказочным героем перед камнем с указанием нескольких направлений. Выбрали указатель с надписью «Аддитивные технологии». Муки выбора легли на Андрея Попкова, руководителя департамента маркетинга и сбыта, а что такое аддитивные технологии, он, по собственному признанию, вообще не знал. Но когда начал вгрызаться в тему, то понял, насколько она устремлена в будущее, хотя эмоционально это казалось «за гранью возможного».

В феврале нынешнего года было принято решение о смене профиля с поставки промышленного оборудования на производство 3D-принтеров. За эти полгода была собрана команда носителей критических технологий и, как сказал Андрей, «создан европейского уровня 3D-принтер для печати металлом по SLM-технологии с собственным программным обеспечением». На вопрос, запатентовали ли свою конструкцию,

подстраховавшись от возможного воровства, мой собеседник уверенно ответил, что know-how заключается не в конструкции, а в управлении механизмами и программном обеспечении: «Если ты обладаешь знаниями технологии, то воровство чужой конструкции утрачивает смысл».

Переходим к главному

Печать металлом была выбрана потому, что команда считает эту нишу свободной. «Мы не видим отечественных принтеров для печати металлом уровня коммерческого продукта, который можно купить, поставить и начать работать, — объясняет свой выбор Андрей Попков. — Мы видим свою миссию в том, чтобы ускорить переход мировой промышленности к потреблению изделий с новым качеством, а главное, вовлечь в это малый и средний бизнес».

Для работы на принтере компании предполагается использовать традиционный набор металлов с ориентацией на отечественных производителей порошков, как пример, ООО «Сфера-М». «У многих производителей 3D-принтеров порошок подается сверху через каретку, и из-за неидеальной сферичности гранул может заклинивать подающий вал каретки. У нас порошок подается снизу, и таким образом негативные факторы нивелируются, — продолжает рассказывать Андрей Попков. — Однако мы можем работать и на порошках с гранулами другой геометрии, нам только надо понять, какое качество деталей

у нас получится. Вот сейчас группа НИОКР экспериментирует с формой порошков».

Что предложить рынку

Как утверждает Попков, никто из отечественных производителей не предлагает комплексных решений, все хотят просто что-то продать. Продажа принтеров тоже входит в задачи Additive Solutions, но в комплексе с тем, что «до» него и «после». «До» предполагает работу с 3D-моделью, ее технологическую оптимизацию и обучение персонала, который будет этим заниматься. «После» вытекает из SLM-технологии, которая всегда требует постобработки.

Ответ на простой вопрос о размере серий изделий, которые можно печатать на принтерах компании, вышел за презентационные пределы и обрел масштаб государственной задачи: «Переход к серийному аддитивному производству — это общемировой вектор с распределением 20% на прототипирование и 80% на серии, — объясняет Андрей. — Лично мне такое распределение близко, но в нашей стране это не так, потому что АТ в стадии зарождения из-за отсутствия хорошего отечественного оборудования, дороговизны зарубежного, отсутствия государственных стандартов, с которыми может работать заказчик, и так далее. Пока все присматриваются, все экспериментируют. Как только у нас появятся стандарты на аддитивные технологии, то случится «прорыв плотины». Сегодня стандарты регламентируют исключи-

тельно язык, на котором общаются люди. Вот и возникают такие ситуации, когда мне потенциальный заказчик говорит: «Я хотел бы поставить твой принтер, но у меня гостя нет, чтобы я мог отчитаться перед оборонкой, на чем я сделал деталь».

Конкурентами в Additive Solutions считают не других производителей 3D-принтеров, а оборудование с ЧПУ токарно-фрезерной группы. Лицо, принимающее решение на «среднем» предприятии, в 99% примет решение в пользу привычного станка, потому что технология оператору, конструктору, технологу понятна и на высококонкурентном рынке традиционного оборудования всегда есть возможность найти выгодный вариант и по цене, и по качеству.

Принтер D250 от Additive Solutions глазами создателя

Разработанная компанией модель 3D-принтера содержит ряд технических решений, выгодно отличающих ее от продукции конкурентов:

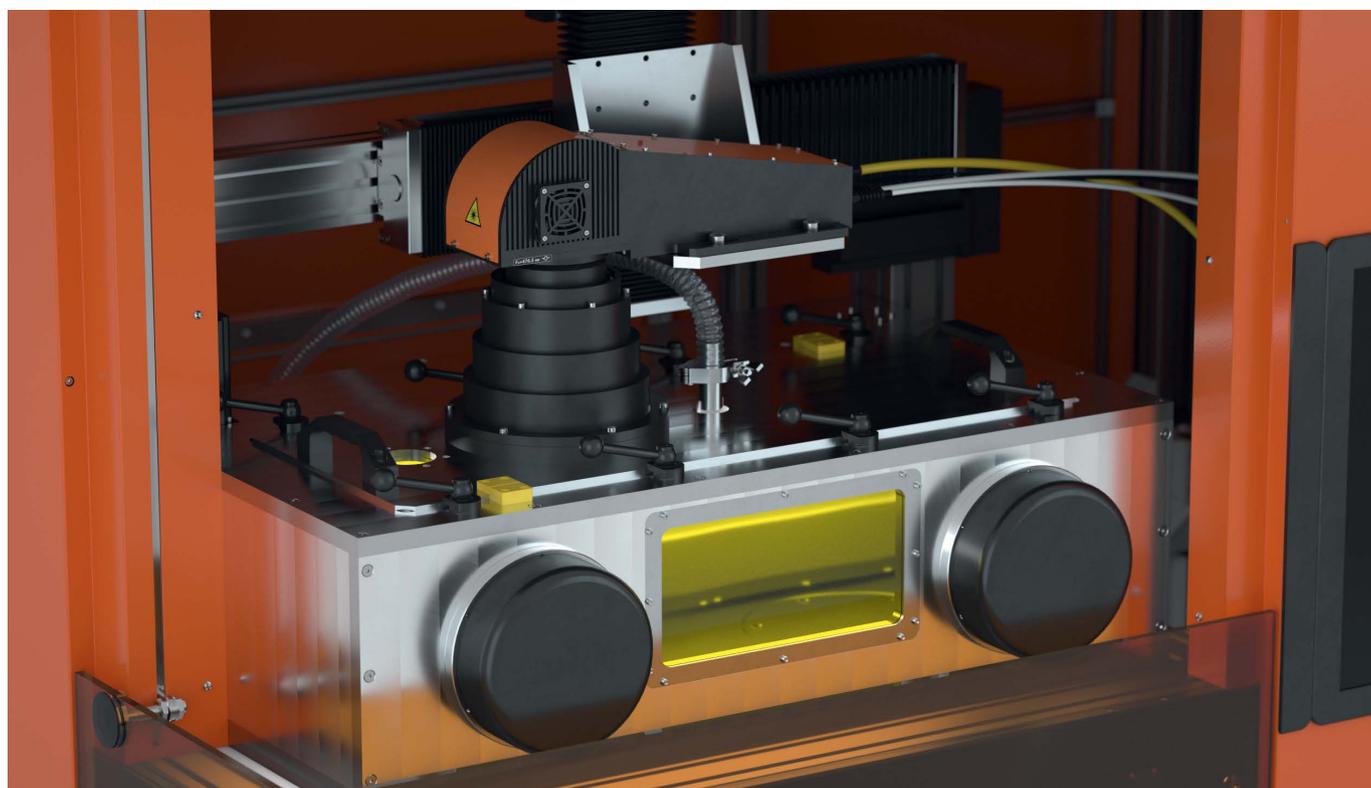
- Усовершенствована оптика, которая позволяет добиться равномерного распределения тепла по всей площади лазерного пятна. В результате на выходе получается изделие с меньшей пористостью и меньшими внутренними напряжениями за счет равномерного сплавления металлического порошка.

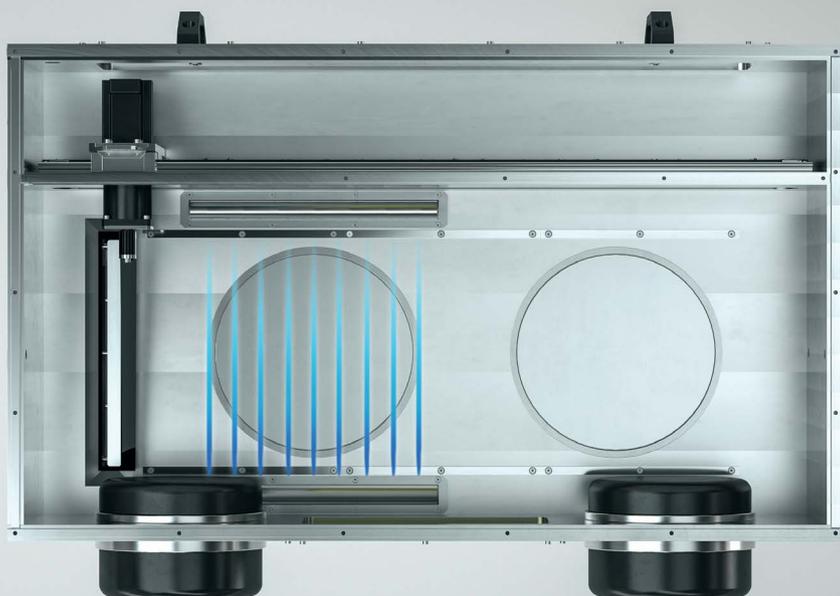
- Оригинальная система быстрой смены порошка. В конкурентных моделях требуется тщательная очистка боксов и фитингов системы загрузки/подачи порошка при смене материала печати, что требует много времени. Additive Solutions создала модульную систему боксов и фитингов. Если заказчику нужно работать с разными металлами, достаточно иметь отдельный блок загрузки/подачи для каждого из них и просто менять их при смене материала печати с минимальными затратами времени.

- Возможность работы на отечественных сплавах, что является важным условием для предприятий ракетно-космической

отрасли, авиастроения, ВПК. Как правило, компания-производитель 3D-принтеров для работы на своем оборудовании требует для печати порошки собственного производства. Программное обеспечение Additive Solutions позволяет 3D-принтерам компании работать на порошках любых производителей, что позволяет снизить зависимость ряда ключевых отраслей отечественного производства от импорта компонентов для 3D-печати в условиях нарастающего санкционного давления.

- Перчаточные порты для работы в камере позволяют оператору начать безопасную работу с изделием сразу по окончании печати, исключив вредное воздействие микрочастиц металла на органы зрения и дыхания. Кроме того, таким образом нейтрализуется фактор взрывоопасности самого порошка. Этим решением компания добилась повышенной степени пожарной безопасности оборудования в соответствии с требованиями НПБ 105-03 «Определение категорий помеще-





ний, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

- Ножные педали для манипулирования колодцами построения позволяют одному оператору отдельно поднимать, опускать и удерживать колодцы на нужной высоте.

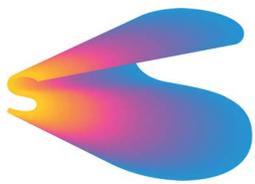
- Собственное кроссплатформенное программное обеспечение имеет настройку всех технологических параметров для производства качественных изделий и является необходимым и достаточным для работы как на 3D-принтере Additive Solutions, так и на принтерах других производителей. ПО содержит два блока программ: для генерации управляющих программ (подготовка данных для печати, «нарезка» на слой, генерация поддерживающих структур и др.); для управления 3D-принтером.

- Уменьшитель зоны построения. Улучшение, разработанное специально для исследовательских институтов, которым зачастую приходится работать с ограниченным объемом экспериментальных порошков.

Не принтером единым

Компания основательно готовится к выводу своей продукции на рынок, резонно исходя из того, что можно всё поправить: и технологию, и оборудование, а вот с репутацией так просто не получится. Репутация — это не для одноклассников, это для игроков вдолгую, и уже сегодня компания Additive Solutions твердо знает, что в пятилетней перспективе у нее будет расширенное производственное предприятие по выпуску не менее 60 принтеров в год. ■

Additive Solutions
 +7 (495) 477-53-95
 info@addsol.ru
 www.addsol.ru



SIU System™

Москва, 123022,
ул. Рочдельская, д. 15/23
Тел. +7 495 374 6007
www.siusystem.ru

SIU System — ведущий интегратор в области аддитивных технологий.
Основана в 2008 году.

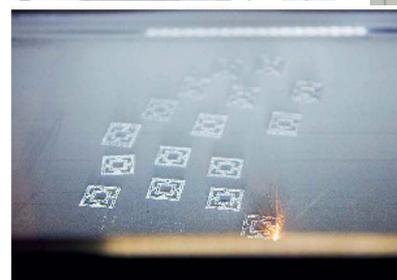
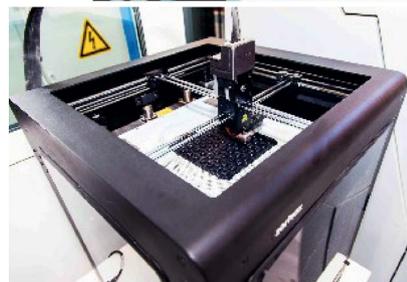
Единственная в России компания с полным циклом сервиса: собственная экспертиза, продажа и обслуживание оборудования, услуги печати и инжиниринг.



- ✓ Комплексные поставки всего спектра 3D-решений
- ✓ Проведение исследований, НИОКР, разработка материалов
- ✓ Аддитивный инжиниринг, технологический консалтинг и обучение
- ✓ Центр инноваций: собственное аддитивное и мелкосерийное производство



- Работаем в России и странах СНГ — более 40 представителей
- Взаимодействуем с крупнейшими производственными, научными и исследовательскими компаниями в России, Европе и Азии
- Разрабатываем «под ключ» проекты интеграции аддитивных технологий на производства заказчиков, проводим консалтинг и обучение
- Имеем собственное 3D-оборудование и лабораторию литья. В партнерском доступе более 100 3D-принтеров



Производство литейных форм методом послойной печати

Д.Н. Бычковский, А.Г. Неткачев, ООО «Аддитивные технологии»



Д.Н. Бычковский,
генеральный директор
ООО «Аддитивные технологии»

Проблема и решение

В настоящее время производство сложных габаритных высокотехнологичных отливок, таких как блок цилиндров и головка блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания для судостроения, автомобилестроения, тепловозостроения и т. д., на предприятиях России осуществляется по традиционной технологии, которая реализуется с помощью литья в разовые формы, созданные вручную по физическим мастер-моделям, что требует длинной технологической цепочки изготовления мастер-модели, подготовки смеси, формовки частей формы, их сушки, места

для хранения моделей и т.д, либо литья в кокиль (металлическую форму), что является очень долгим (от 6 мес. до 1–2 лет), затратным, трудоемким и экономически невыгодным способом, сопряженным с высоким риском брака при изготовлении кокиля. Используя традиционную технологию, невозможно или крайне затруднительно выполнить сложные каналы охлаждения, оптимизировать конструкцию и снизить припуск на последующую обработку, что ограничивает потенциал разработки продукции.

Для преодоления технологических ограничений и ускорения сроков проектирования и производства в последнее время мировыми лидерами машиностроения активно применяются аддитивные технологии. Создание литейных форм с использованием методов послойного синтеза позволяет обойти технологические ограничения традиционных технологий и сократить технологическую цепочку, отказавшись от следующих операций: изготовление мастер-модели из металла или композитных материалов, изготовление литниковой системы

и прибылей, формовка частей формы (установка мастер-модели и литниковой системы в опоку и засыпка смесью). Это приводит к сокращению времени производства и снижению стоимости формы на порядок.

Для примера рассмотрим изготовление литейного стержня для формирования внутренних каналов охлаждения двигателя различными методами (рис. 1, табл. 1).

Как видно из приведенного примера, стоимость изготовления формы с использованием разрабатываемой технологии на три порядка меньше, чем по любой другой технологии. Такой экономический эффект достигается за счет того, что 3D-принтер создает литейную форму сразу по цифровой модели. Цифровая модель литейной формы разбивается на слои, переносится в 3D-принтер, в котором отвердитель, согласно заданию, наносится на предварительно подготовленный слой песчаной смеси. В результате работы в зоне построения создается отвержденная часть песчаной смеси, точно повторяющая цифровую модель.

Рис. 1. Пример изготовления литейного стержня



Таблица 1. Сравнительный анализ технологий изготовления литейного стержня

Технология	SLA и SLS	На станке с ЧПУ	На песчано-полимерном 3D-принтере
Стоимость, руб.	46 560 руб.	21 560	45
Время, дней	9	24	1

Технологии печати, применяемые для производства литейных форм

Для производства литейных форм методом послойной печати могут использоваться две технологии: технология струйной печати и технология спекания плакированного песка.

Технология струйной печати для производства литейных форм была разработана в Массачусетском технологическом институте (MIT, US) в начале 90-х годов и носит название Binder Jetting (BJ). Принцип технологии описан в пионерских патентах MIT под названием «3D printing techniques»

US5204055 от 20.04.1993,

US5340656 от 23.08.1993,

US5387380 от 07.02.1995.

BJ представляет собой процесс послойного синтеза, в котором жидкий связующий агент избирательно осаждается для соединения частиц порошка. Печатающая головка наносит связующее на слой порошка в соответствующих участках. Рабочая камера опускается, и затем наносится следующий слой порошка, в который добавляется связующее. BJ имеет возможность печатать большие детали и часто более рентабельна, чем другие методы производства.

Для реализации BJ используется силикатный песок преимущественно совместно с фурановым связующим. Силикатный песок является одним из самых распространенных сортов песка в мире и получен из кристаллов кварца. Он используется для широкого спектра применений, включая создание пресс-форм и сердечников для промышленных отливок. Фурановое связующее представляет собой типичное связующее, не требующее обжига, которое является основой в традиционных применениях для песчаных отливок, поэтому для его использования не требуется никаких изменений в литейном производстве.

Печатные формы сразу доступны для литья без операции обжига. Также для печати могут использоваться керамические порошки, состоящие из силиката алюминия и обладающие отличными огнеупорными свойствами, высокой проницаемостью и низким тепловым расширением. Газы легко диспергируются, уменьшая потенциальную пористость при литье. Создание таких газопроницаемых форм, в том числе с применением керамики, описано в патенте EP1773559 от 18.04.2007 «Gas permeable molds». Формы, отпечатанные из таких керамических порошков, особенно рекомендуются для литья стальных сплавов или печатных сердечников, подверженных высоким условиям термического напряжения.

Недостатком известного решения является необходимость применения большого количества связующего вещества и активатора для получения достаточной прочности формы, что ведет к большему выделению вредных веществ в рабочую зону при построении формы и при заливке металла, увеличивает газовыделение, что, в свою очередь, приводит к появлению дефектов в отливке и увеличивает стоимость изготовления.

В случае лазерного спекания плакированного песка печать осуществляется за счет спекания песчинок, покрытых тонкой оболочкой смолы. Как и в случае струйной печати, песок наносится последовательно слоями, а каждый слой обрабатывается лазерным лучом. Главными параметрами для сравнения следует выбрать скорость построения и себестоимость получаемых форм. При одинаковых размерах зон построения скорость при печати лазером в 10 раз ниже, чем при струйной. Это при условии, что толщина слоя стремится к 200 мкм, что находится на грани возможностей технологии. Если толщина слоя

будет в пределах 100 мкм, то скорость печати еще более уменьшится и будет отставать от струйной печати почти в 20 раз. Таким образом, строить большие формы, размеры которых близки к метру или более, этой технологией просто невозможно. Сравним теперь себестоимость формы. Отбросим в расчете отчисления на амортизацию, стоимость рабочего времени и будем сравнивать только стоимость песка. При струйной печати требования, предъявляемые к песку для печати, почти такие же, что и при классическом ХТС-процессе, за исключением требования к однородности. И это требование критично для равномерного нанесения микроскопических слоев. Речь идет о толщинах, лежащих в пределах 200–500 мкм. Это несколько удорожает песок, применяемый для 3D-печати, по сравнению с используемым при ручной формовке, но средняя стоимость за тонну не превосходит 5 тысяч рублей. Стоимость же плакированного песка колеблется в пределах от 170 тысяч за тонну до 340 тысяч за тонну в зависимости от марки. То есть плакированный песок дороже в 30–60 раз, чем литейный для 3D-печати! Такая космическая стоимость плакированного песка делает производство литейных форм абсолютно неконкурентоспособным. Кроме того, в России такой песок не производится, что накладывает дополнительные риски, связанные с регулярностью поставок, даже если бы эта технология и нашла себе применение.

Отечественные 3D-принтеры для литейных производств

Применение установки с большой рабочей зоной для создания нескольких однотипных форм позволяет использовать технологию для изготовления серийных и крупносерийных деталей. На западе технология для создания пес-

чано-полимерных литейных форм развивается с 80-х годов XX века. Основными игроками на этом рынке являются компании ExOne и Voxeljet. Несмотря на ряд достоинств, вышеуказанные машины обладают и некоторыми недостатками, затрудняющими их проникновение на рынок:

- Высокое газовыделение при заливке металла с высокой температурой плавления в песчаные формы, что ограничивает использование установок при литье жаропрочных сталей и сплавов.
- Стоимость оборудования, которая в зависимости от размера камер может колебаться от 1 до нескольких миллионов евро.
- Стоимость расходного материала и зависимость от его поставок. Отечественные материалы не могут заместить импортные в силу особенностей технологии, используемой в импортных установках.
- Стоимость сервисного обслуживания, или, иными словами, стоимость владения.

Проанализировав вышеописанные недостатки, мы задались целью создать отечественный принтер, который смог бы конкурировать с западными аналогами. С этой целью в 2015 году была создана компания ООО «Аддитивные технологии». В 2016 году нами была разработана собственная технология послойной печати, на которую были поданы две патентные заявки и получен приоритет. В 2017 году мы собрали первый отечественный песчаный принтер AT300. Он имел камеру построения 500×300×300 мм (XYZ) и обеспечивал рост слоя толщиной 3,2 см в час, что соответствовало скорости построения 4800 куб. см в час, или 45 сек на один слой по вертикали (координата Z). Запуск первой модели позволил отточить все аспекты технологии, а также отработать систему управления печатью, состо-

ящую из двух основных блоков: управление приводами и управление непосредственно печатью (движение головок, впрыск связующего). Усовершенствования системы, полученные в результате опытных работ, позволили сократить время нанесения песка и печати одного слоя до 20 секунд, что обеспечивает рост 7,2 см в час. Я предпочитаю говорить именно об абсолютной скорости роста по вертикальной оси, поскольку объем построения зависит от горизонтальных размеров камеры построения. Так, для одной и той же вертикальной скорости, скажем 7,2 см в час, мы получим разные значения для камер с разными горизонтальными размерами (XY) 300×500 мм и 700×700 мм. Соответствующие значения объемов построения в этом случае будут 10800 куб. см в час и 35200 куб. см в час. Для еще больших размеров камер мы получим еще большие значения объемов при равной вертикальной скорости роста. Таким образом, к 2018 году нами была создана обновленная установка AT300 со значительно, более чем в 2 раза большей скоростью построения — 7,2 см в час, или, другими словами, 10800 куб. см в час. Эта установка была продемонстрирована нами на выставке «Металлообработка-2018».

Параллельно с работой над усовершенствованием AT300 велась работа по созданию принципиально новой установки AT700. Она имеет ряд коренных отличий от младшей модели. Во-первых, AT700 оснащена системой автоматической подачи песка. Если AT300 предполагает ручную засыпку песка в бункер построения после предварительного ручного смешивания с катализатором, то в AT700 песок подается автоматически в бункер замеса, где происходит впрыскивание катализатора и размешивание его в массе песка. Затем песок из бункера замеса автоматически подается в рабочий портал, который, двигаясь в горизонтальном, обеспечивает послойное нанесение песка. Данный процесс повторяется по мере того, как заканчивается песок. Во-вторых, AT700 предполагает сменный бункер построения. После окончания цикла печати бункер, в котором проводилось построение форм, можно выкатить, открыв боковые дверцы, а вместо него поставить новый пустой бункер и начать следующий цикл печати. Пока машина строит следующую партию, можно заняться выемкой и очисткой уже построенных форм. Это значительно экономит время и позволяет печатать формы практически непрерывно.

Рис. 2. Песчаные принтеры AT300 (слева) и AT700 (справа)



В-третьих, AT700 оснащена 4 головками вместо 1, как у AT300, и для нее создана другая версия системы управления печатью. AT700 обеспечивает вертикальную скорость печати 7,2 см в час, что соответствует 35200 куб. см в час. И наконец, в-четвертых, процесс печати на AT700 также полностью автоматизирован. На входе мы имеем STL-файл, который загружается в компьютер принтера. Далее машина все делает автоматически: разбивает файл на слои, подает их на систему управления, определяет необходимое количество катализатора и смолы, время замеса песка и оптимизирует процесс построения. Управление принтером может осуществляться как с выносной консоли, находящейся непосредственно на принтере, так и по удаленному доступу через Wi-Fi.

Таким образом, AT700 является серьезным конкурентом как для VoxelJet, так и для ExOne. Следует отметить: благодаря тому, что наши принтеры на 90% состоят из отечественных комплектующих, их стоимость в несколько раз ниже импортных аналогов. Кроме того, использование отечественных расходных материалов позволяет добиться себестоимости форм в пределах 100 рублей за кг или даже меньше при условии оптимальной заполнения камеры построения.

К настоящему времени нашей компанией разработана линейка отечественных принтеров для производства песчано-полимерных форм: AT300, AT700, AT1000 и AT2000. Номер модели коррелирует с размером камеры построения. AT300 имеет размеры XYZ 500×300×300 мм,

AT700 – 700×700×450 мм,

AT1000 – 1000×1000×450 мм,

AT2000 – 2000×1000–2000×700 мм.

Все модели имеют примерно одинаковую скорость построения по вертикали, колеблющуюся в пределах 7–9 см, что обеспечива-

ет объем построения до 250 тысяч кубических см в час у старших моделей. Подробную спецификацию можно скачать с нашего сайта: <https://www.add-technology.com>.

В процессе создания установок нами разработан ряд ноу-хау. Владельцем всех прав как на разрабатываемую установку, так и на технологию (патенты) является ООО «Аддитивные технологии». Интеллектуальная собственность включает в себя:

- собственную технологию изготовления песчано-полимерной смеси;
- собственную конструкцию блока управления головками и механикой;
- собственное программное обеспечение и систему управления;
- собственную конструкцию блока нанесения песка;
- собственный модуль подготовки песчаной смеси.

В сентябре 2018 года наша компания выиграла тендер на производство и поставку песчаного принтера AT1000 на Магнитогорский металлургический комбинат. В тендере принимал участие дистрибьютер компании VoxelJet, производящей аналогичные принтеры, а также несколько компаний, продвигающих на рынке технологию печати литейных форм из плакированного песка. На первом этапе тендера, по сути, проходил выбор технологии путем сравнения основных параметров: скорости построения и себестоимости форм. Поскольку технология спекания плакированного песка отстает по скорости построения от технологии полимеризации путем послойного внесения связующего в песок более чем в 10 раз, а стоимость тонны плакированного песка почти в 60 раз дороже стоимости песка применимого для VJ, то выбор естественным образом пал на технологию послойной полимеризации, лежащую в основе наших принтеров.

Сравнение остальных технико-экономических параметров привело к выбору нашей компании в качестве победителя тендера.

Литейное производство России является основной базой машиностроительного комплекса, и его развитие зависит от темпов развития машиностроения в целом. Перспективы развития литейного производства определяются потребностью в литых заготовках, их динамикой производства, уровнем развития литейных технологий и конкурентной способностью отечественных предприятий.

По данным на 2017 год, в России было около 1250 предприятий, которые производят отливки, оборудование, сопутствующие материалы. Однако уровень автоматизации литейного производства в России крайне низок: 78% отливок производится на механизированных линиях и машинах и вручную. В связи с этим разработка автоматизированных методов создания литейных форм является одним из приоритетных направлений развития отрасли.

На основе проведенного нашей компанией маркетингового исследования ведущих предприятий (консультации с главными технологами, директорами по инновационному развитию, техническими директорами), имеющих постоянную потребность в литье, можно сделать вывод, что в настоящее время многие предприятия проводят реконструкцию литейного производства на базе новых технологических процессов, материалов и перспективного оборудования. Основной целью реконструкции является расширение объемов производства, повышение качества продукции, отвечающего современным требованиям заказчика, снижение сроков производства и себестоимости продукции, а также улучшение экологической ситуации и условий труда.

С учетом активно идущих программ технического перевооружения промышленных предприятий ОПК с ориентацией на отечественные технологии и сырьевую базу предполагается высокий платежеспособный спрос. Общий объем программ технического перевооружения на предприятиях ОПК превышает 1 трлн рублей. Также предполагается наличие спроса у малых предприятий, ориентирующихся на мелкосерийное изготовление литевых изделий, и инжиниринговых компаний, занимающихся разработкой конструкции литевых изделий и литевой оснастки. Предлагаемая технология позволит им сократить издержки и сроки разработки.

С целью популяризации технологии и предоставления сравнительных данных заинтересованным предприятиям мы проводим демонстрации работы нашего оборудования на своей площадке в Санкт-Петербурге и производим для заказчиков тестовую печать различных образцов песчаных форм на принтерах AT300 и AT700 (рис. 3). Так, нами были отпечатаны формы для таких предприятий, как АО «Балтийский завод», Авиационная корпорация «Рубин», Камаз, ММК, АО НПО «Электромашина», ОАО «КУЛЗ», госкорпорации «Росатом» и ряда других. Помимо тестовых форм мы обеспечиваем выполнение заказов по печати литейных форм на платной основе. На сегодняшний день есть подтвержденные положи-

тельные результаты отливок в наши формы следующих металлов: сталь, чугун, магниевый, латунь, бронза.

Помимо самостоятельного продвижения технологии и оборудования на рынок мы заключили дилерское соглашение с компанией ООО «Современное оборудование», входящей в группу компаний «Солвер», по проведению совместной маркетинговой деятельности и внедрению продукции ООО «Аддитивные технологии» на российских предприятиях.

Немаловажным моментом при принятии потенциальным заказчиком решения о приобретении оборудования является наличие у производителя оборудования соответствующих производственных мощностей. Нарастание объема продаж влечет за собой огромные финансовые затраты и увеличивает финансовые риски. Мы выбрали основной производственной стратегией контрактное производство. Нами заключен лицензионный договор с компанией Zias Machinery (Барнаул), имеющей опыт в производстве подобного вида оборудования и имеющей необходимые производственные мощности и кадры для производства принтеров по лицензии ООО «Аддитивное производство». Это позволит избежать нежелательных финансовых затрат на создание производства и сконцентрироваться на основных наших компетенциях — разработке оборудования и его модификации. ■

Рис. 3. Песчаные формы, изготовленные на оборудовании ООО «Аддитивные технологии»



ООО «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Константинова, д. 1, пом. № 14.
<https://www.add-technology.com>

27–31 | 05 | 2019

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



2019

20-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Реклама 12+



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



**«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообработывающей
промышленности»**

При поддержке:

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

Под патронатом ТПП РФ

Организаторы:



РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

ЭКСПОЦЕНТР

В ногу со временем или работа на опережение?

Зинаида Сацкая

Долгие десятилетия Sandvik Group была известна миру режущим инструментом и горношахтной техникой. Наступление эры аддитивных технологий не застало компанию врасплох. И в этой области ей есть что предложить рынку. На вопросы обозревателя журнала «Аддитивные технологии» ответил Сергей Шпак, директор по продажам «Россия Восток Sandvik Coromant».



*Сергей Шпак,
директор по продажам
«Россия Восток
Sandvik Coromant»*

В чем суть решений, которые вы предлагаете для аддитивного производства?

Компания Sandvik Additive Manufacturing обслуживает всю группу компаний Sandvik Group и способна предложить комплексное решение — от идеи до готового продукта, в то время как многие другие компании только начинают осознавать перспективность аддитивного производства.

Как компания пришла к новому направлению?

Для Sandvik Group с ее знаниями и опытом в металлургии и универсальной компетентностью в металлических порошках аддитивное производство стало естественным путем развития.

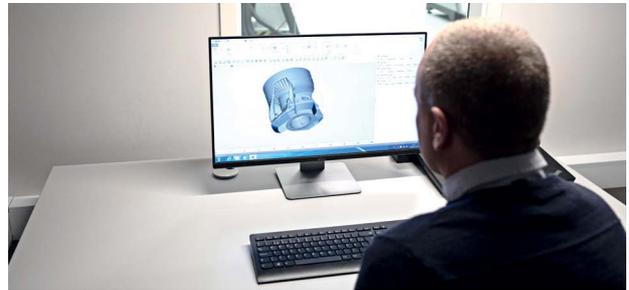
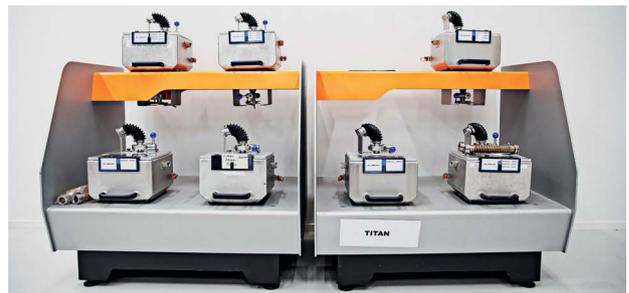
Без порошка соответствующего качества аддитивное производство не могло бы работать. Качество и свойства порошка оказывают сильное влияние на свойства изделия. В данном случае учитываются

три важнейших аспекта: выбор сырья, размер частиц и их морфология. Сегодня в процессах аддитивного производства используется пять больших групп сплавов: стальные, кобальтохромовые, никелевые, алюминиевые и титановые. В зависимости от производственного метода и спецификации расплав трансформируется в частицы нужного размера и морфологии в процессе газового распыления.

Кроме того, в последние годы мы вложили большие средства в НИОКР по различным технологиям аддитивного производства, и сегодня мы производим изделия промышленного назначения на глобальном уровне.

Велика ли конкуренция в этом сегменте и чем ваши решения отличаются от того, что есть на рынке?

Рынок аддитивного производства металлических изделий еще очень молод, но привлекателен и быстро растет. В 2015 году аддитивное производство металлических изделий только начинало свой путь от НИОКР и изготовления прототипов к производственному инструменту. В 2017 году движение к полноценной производственной технологии ускорилось, например, в области аэрокосмической, медицинской промышленности и инструментальной обработки. И сегодня на глобальном уровне у нашей компании нет равных конкурентов в этой сфере. Sandvik Group обладает компетенцией для того, чтобы предлагать рынку комплексное решение. Это происходит в том числе благодаря бизнес-направлению Sandvik Materials Technology, которое является крупнейшим в мире поставщиком металлического порошка, используемого в аддитивном производстве. Пока многие другие компании не имеют достаточно компетенций, которые смогут охватить весь процесс аддитивного производства: от производства и разработки металлического порошка до дизайна АП, выбора процесса АП и высококвалифицированной экспертизы в области технологий последующей обработки, таких как машинная обработка или спекание.



Насколько высок спрос на эту продукцию вашей компании?

Возможности Sandvik Group как в аддитивном производстве, так и в традиционном, субтрактивном производстве посредством станков с ЧПУ одинаково обширны благодаря такому бизнес-направлению, как Sandvik Coromant. Аддитивное производство — это фантастическое решение для многих областей, но для других более рентабельным остается субтрактивное производство. Поэтому обязательным этапом работы является обсуждение производственного метода с клиентом. У специалистов разных областей неоднозначный взгляд на такой метод изготовления изделий, но благодаря компетенции в обоих методах наши клиенты получают независимые и объективные рекомендации. Пока аддитивное производство остается предпочтительным выбором при изготовлении изделий со сложной пространственной структурой.

Каковы основные преимущества аддитивного производства перед субтрактивным?

Аддитивные технологии предпочтительнее там, где требуется снизить массу изделий. Уменьшение массы — неизменная ключевая потребность аэрокосмической индустрии, вызываемая как затратами на топливо, так и объемом выброса двуокси углерода. Та же проблема актуальна для автомобильной отрасли, в том числе для коммерческого транспорта.

Наряду со снижением расхода топлива и экологичностью аддитивное производство имеет целый ряд других преимуществ. Так, оно значительно сокращает количество стадий изготовления, расходует меньше

материала. Все это происходит как благодаря дизайну, который требует меньшего расхода материала, так и процессу производства. По мере совершенствования технологий возможности аддитивного производства растут. В свою очередь, мы непрерывно корректируем и дорабатываем ассортимент продукции, чтобы дать возможность нашим клиентам создавать продукцию с более высокой добавленной стоимостью.

Вчера, сегодня и завтра аддитивных технологий в России?

Аддитивные технологии пришли и в Россию. Из дизайнерского хобби они перерастают в индустрию. Например, аддитивные технологии весьма привлекательны для производства лопаток турбин самолета, поскольку позволяют снизить массу и увеличить теплопроводность. Аддитивные технологии позволяют получить изделие, которое невозможно получить никаким другим способом, что открывает новые возможности в проектировании. Однако говорить о быстром распространении данной технологии преждевременно, так как сам метод производства изделия гораздо дороже и требования, предъявляемые, например, в авиационной промышленности достаточно консервативны. Укоренение технологии требует масштабных исследований и испытаний. С точки зрения инструментальной компании, обрабатываемость изделия, полученного с помощью аддитивных технологий, хуже, и еще предстоит провести много работы и найти подходящие для этого решения. Так что традиционные металлорежущие станки еще нам послужат. ■

Инновационные решения студии «Game&Reality Studio» в кино и Cosplay

Евгений Минкевич, руководитель группы Game&Reality Studio

Ни для кого не секрет, что с помощью 3D-принтера и навыков моделирования в наше время можно создать любую вещь.

Современные мировые компании изготавливают полноценные функциональные детали из пластика, полимеров и других материалов для использования в промышленности и строительстве.

Студия «Game&Reality Studio» акцентировала свое внимание на продукции для Cosplay-фестивалей. Безусловно, мы делаем и технические детали для заводов, и прототипы корпусов, и масштабные проекты для реализации сувенирной продукции в сфере игр, ресторанов и брендовых изделий по индивидуальным заказам.

Наша студия занимается макетированием и моделированием сложных архитектурных форм, функциональных и дизайнерских вещей.

Направление Cosplay, на наш взгляд, самое интересное. Эта современная субкультура дает возможность создавать уникальные вещи, которые только можно вообразить. К примеру, режиссер задумал выпустить сериал или фильм, ему нужны костюмы, реквизит и множество других эксклюзивных, необычных элементов для съемок фильма. Создавать реквизит вручную очень дорого в силу того, что мастер затрачивает много времени и сил на создание даже маленького объекта, не говоря уже о том, сколько он затратит времени на костюм или оружие для фантастического мира этой картины в целом. Мы помогаем значительно упростить процесс и сократить трудозатраты, при этом качество не только не пострадает, а будет значительно лучше (рис. 1). В европейских кинокомпаниях существуют огромные

склады, на которых хранятся тысячи уникальных предметов, созданных сотнями мастеров, которые долгие годы создавали эти реквизиты. В современном мире зарубежные компании все чаще обращаются к технологии 3D-печати с целью снижения трудозатрат и повышения качества продукции.

Значительную роль в создании костюмов играет 3D-сканирование. 3D-сканер помогает снять полноценные размеры с модели или человека. Точность при сканировании составляет 0,2 мм. Конечным результатом этого процесса является 3D-модель, которую можно отправлять в печать. Модель 3D-сканирования имеет преимущество перед моделированием вручную в сверхточности. Широкое применение такие модели имеют не только в театрах и кино, но и в индустрии моды. Сканированная модель имеет точные мерки, по которым можно шить костюмы, не снимая дополнительных размеров. 3D-сканером можно работать и с неодушевленными предметами, например, для создания миниатюрной модели личного катера или тюнинга своей машины, которые впоследствии можно напечатать на 3D-принтере различными материалами, включая цветной гипсополимер (рис. 2).

Рис. 1. Модели: Van Helsing, Elias Ainsworth, Aquaman.
Материалы: пластик, 3D-печать FDM (шлем, оружие доспех), металл, литье с мастер-модели, 3D-печать DLP (пряжки, пуговицы)



Рис. 2



Рис. 3. Модель: *Daenerys Targaryen chains + Brooch*.
Материал: латунь, гальваника

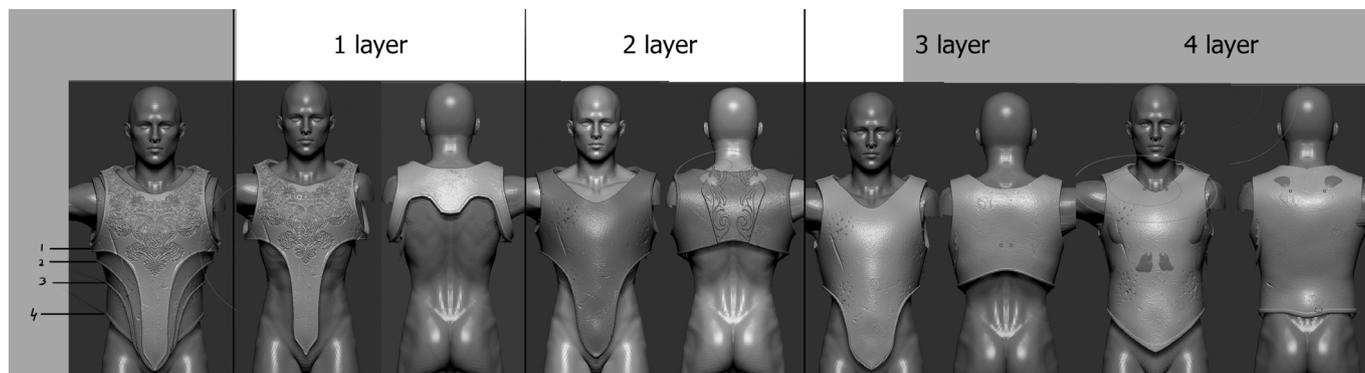


Наша студия «Game&Reality Studio» оптимизировала процесс создания таких предметов с помощью аддитивных технологий и технологий, сопряженных с аддитивными. К примеру, задачи по созданию не пластиковых, а металлических изделий. Таким образом, с помощью 3D-принтера можно не ограничиваться изготовлением пластиковых изделий, но и продолжить процесс с использованием дополнительных материалов и технологий и прийти к изделиям из различных металлов от олова до золота (рис. 3).

Осуществляется такой процесс в несколько стадий:

- моделирование предмета в определенной 3D-программе;
- печать на 3D-принтере;

Рис. 4



— снятие формы с готовой модели;

— восковка;

— отливка финального изделия из выбранного материала.

Некоторые стадии создания модели могут быть заменены для упрощения процесса и сокращения скорости изготовления. В этом нам снова поможет 3D-принтер. Например, можно заменить этап восковки модели на печать ее технологией DLP или аналогичными. Это существенно сократит трудозатраты на проект и конечную стоимость. Этап выполнения восковки занимает от 7 до 15 календарных дней для отливки только одной детали. Наши испытания показали, что вместо восковки можно использовать детали, напечатанные из смол определенных производителей.

С помощью 3D-принтера и правильно созданной 3D-модели можно сделать мастер-деталь всего за несколько часов, и, возможно, даже не одну — в зависимости от размера, скорости и количества

деталей, расположенных на столе принтера.

Эластичные материалы помогают в создании доспехов и подкладок. К сожалению, далеко не все дизайнеры, которые моделируют супергероев или концепцию костюма, задумываются о том, как косплеер будет ходить, бегать и прыгать в этом костюме, не говоря уже о драках и боях на мечах. Один из таких сложных концептов костюма мы разрабатывали для нашего клиента (рис. 4).

Очевидно, что человек в таком костюме двигаться просто не сможет. Решением было разобрать модель на слои и некоторые из элементов выполнить из эластичных материалов типа FLEX.

В заключение хочется отметить, что аддитивные технологии имеют большой потенциал, их смело можно назвать технологиями будущего. 3D-печать, в свою очередь, с каждым днем все больше и продуктивнее внедряется в нашу современную жизнь, упрощает работу и сокращает затраты. ■





ПОЛЕМА запускает первое в России производство сферичных порошков для 3D-печати и покрытий в промышленных масштабах

при поддержке



Завод порошковой металлургии АО «ПОЛЕМА» (г. Тула, входит в «Промышленно-металлургический холдинг») ввел в эксплуатацию новейшее оборудование для производства металлических порошков для наплавки, напыления и аддитивных технологий.

Оборудование приобретено в рамках проекта, реализуемого при поддержке Фонда развития промышленности. Инвестиции в проект составили более 450 млн рублей. В состав парка оборудования входят колонна распыления с вакуумной камерой, классификаторы, установка сфероидизации. Завод значительно расширил свои возможности по производству новых марок порошковых композиций, соответствующих мировым стандартам качества:

сферичная форма частиц, узкий гранулометрический состав, высокая чистота материала.

Колонна распыления с вакуумной камерой позволяет выпускать порошки сферичной формы с повышенной насыпной плотностью и высокими показателями текучести. Кроме того, процесс плавки в вакуумной камере снижает содержание газовых примесей в порошках.

Ситовая и воздушная классификации позволяют увеличить производительность по рассеву целевых фракций в 5 раз относительно ранее применяемого оборудования и выделять узкие фракции материала с шагом до 1 мкм.

Промышленная установка сфероидизации является уникальным для России оборудованием. Процесс сфероидизации в индукцион-

но связанной плазме обеспечивает значительное снижение примесей кислорода, а также удаление пыли и сателлитов из порошка. Первые промышленные партии порошков молибдена и вольфрама с показателем сферичности более 96% и повышенной насыпной плотностью могут применяться как для нанесения покрытий, так и для 3D-печати. Ранее сферичные 3D-порошки тугоплавких металлов производили только 1–2 компании в мире, а аналогичных установок в мире всего лишь семь.

Благодаря высокой сферичности металлического порошка обеспечивается стабильность параметров: постоянство по текучести делает возможной равномерную подачу порошка при нанесении покрытий, что позволит избежать или сократить необходимость



шире, чем рынок порошков для 3D-печати. Только порошков на Ni-основе требуется более 280 тонн, причем почти 40% от этого объема приходится на импортные поставки.

Новое оборудование позволит ПОЛЕМЕ полностью вытеснить импорт из данной сферы и удовлетворить потребности российских производителей в качественных порошках для 3D-печати и покрытий.

*Процесс сфероидизации выглядит следующим образом: в горячей струе плазмы при t порядка 9000 К происходит оплавление поверхности частиц неправильной формы. В дальнейшем посредством сил поверхностного натяжения образуются частицы сферической формы, которые под действием силы тяжести и газового потока направляются в порошокосборники. ■

дополнительной механической обработки поверхности; при 3D печати SLM- и SLS-способами (послойная печать) сферичная форма частиц обеспечивает постоянство параметров получаемых в процессе изделий.

ПОЛЕМА стала первым предприятием в России, выпускающим порошки с высокой чистотой и сферичностью, в том числе порошки тугоплавких металлов. Предприятие способно выпускать порошки сферичной формы на Fe, Ni, Co, Mo, W-основах.

Порошки сферичной формы на молибденовой основе находят широкое применение в производстве защитных покрытий, особенно в узлах трения. Они увеличивают износостойкость нагруженных деталей. Вольфрамовые порошки сферичной формы применяются в медицине (например, в рентгеновской технике), горнодобывающей промышленности, в машиностроении. Сферичные порошки на кобальтовой основе широко используют в авиакосмической отрасли, для печати эндопротезов и зубных протезов, а также в качестве аналога карбида вольфрама как защитные покрытия.

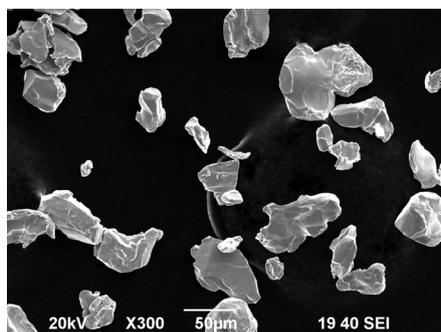
Сфера применения никелевых и железных основ — 3D-печать различных деталей для машино-

строения, медицины, защитных и износостойких покрытий инструментов.

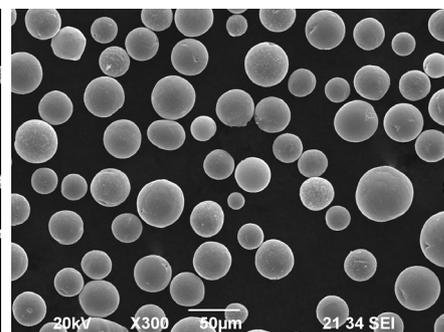
В ближайшие 5–10 лет ожидается значительный рост потребности в сферичных порошках для аддитивных технологий на отечественном рынке. Пока рынок покрытий в России в десятки раз

Результаты плазменной сфероидизации тугоплавких материалов опытной партии:

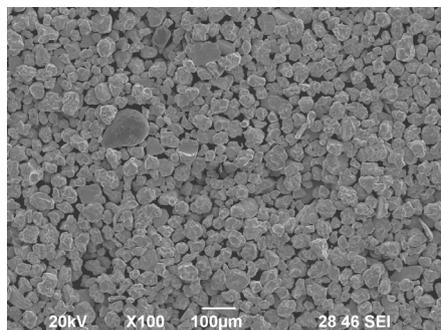
Молибден до сфероидизации



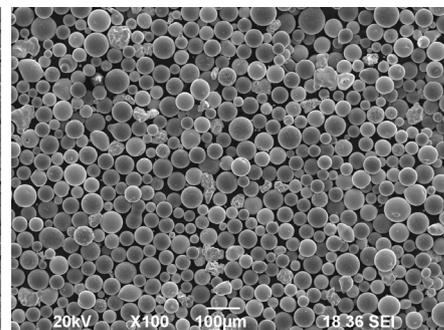
Молибден после сфероидизации



Вольфрам до сфероидизации



Вольфрам после сфероидизации



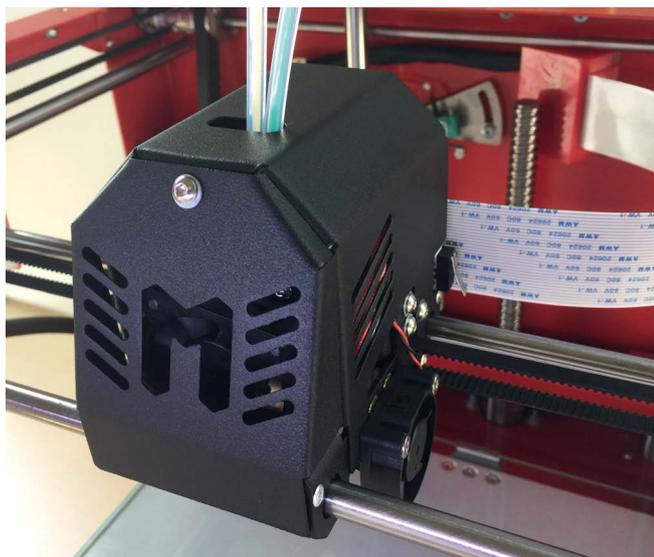
Обновление линейки FDM-принтеров Magnum Creative 2

Удобная и быстрая печать двумя
экструдерами теперь доступна каждому!

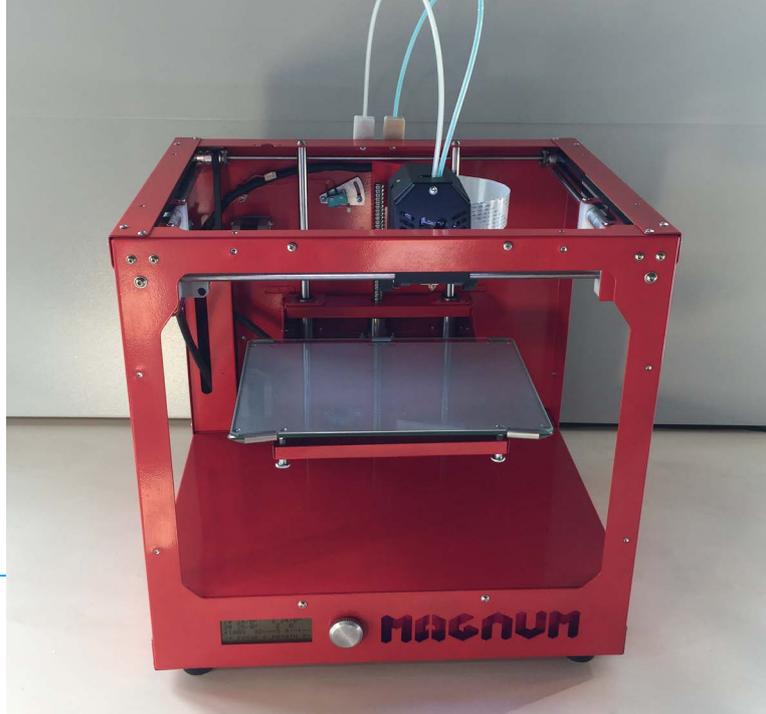
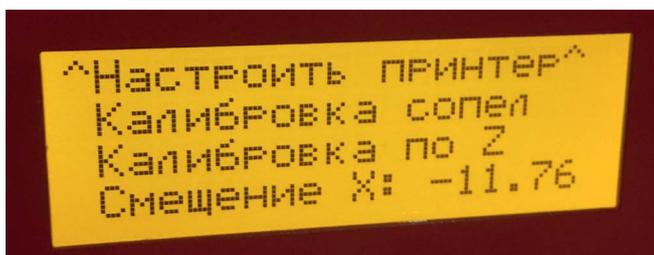
В серии 3D-принтеров Magnum Creative 2 появился новый принтер – Creative 2 SW. Эта модель приходит на смену Creative 2 PRO, значительно улучшая и упрощая процесс печати двумя соплами.

Неактивное сопло теперь 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 также уменьшено и занимает не более 0,5 секунды.

Запатентованная технология переключения активного сопла с гарантированно высокой точностью



Удобная и быстрая калибровка экструдера экономит время



Обновление затронуло не только головку принтера, но и другие компоненты принтера

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

Новая модель унаследовала легендарную надежность и простоту работы с принтерами Magnum. Обновленная программа управления и внутреннее программное обеспечение принтера улучшает скорость и качество печати по сравнению с моделью PRO.

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

Характеристики Magnum Creative 2 SW

- Размер области построения **245 мм×170 мм×170 мм**
- Минимальная высота слоя **0,05 мм**
- Точность позиционирования по осям **0,04 мм**
- Технология печати **FDM**
- Тип пластика для печати **1,75мм ABS, PLA, PVA, HIPS, Нейлон-6 и другие**

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



Веб-сайт: www.magnum3d.ru / Instagram: #magnum3d
8 (800) 555-98-38, +7 (495) 925-88-38
E-mail: order@magnum3d.ru

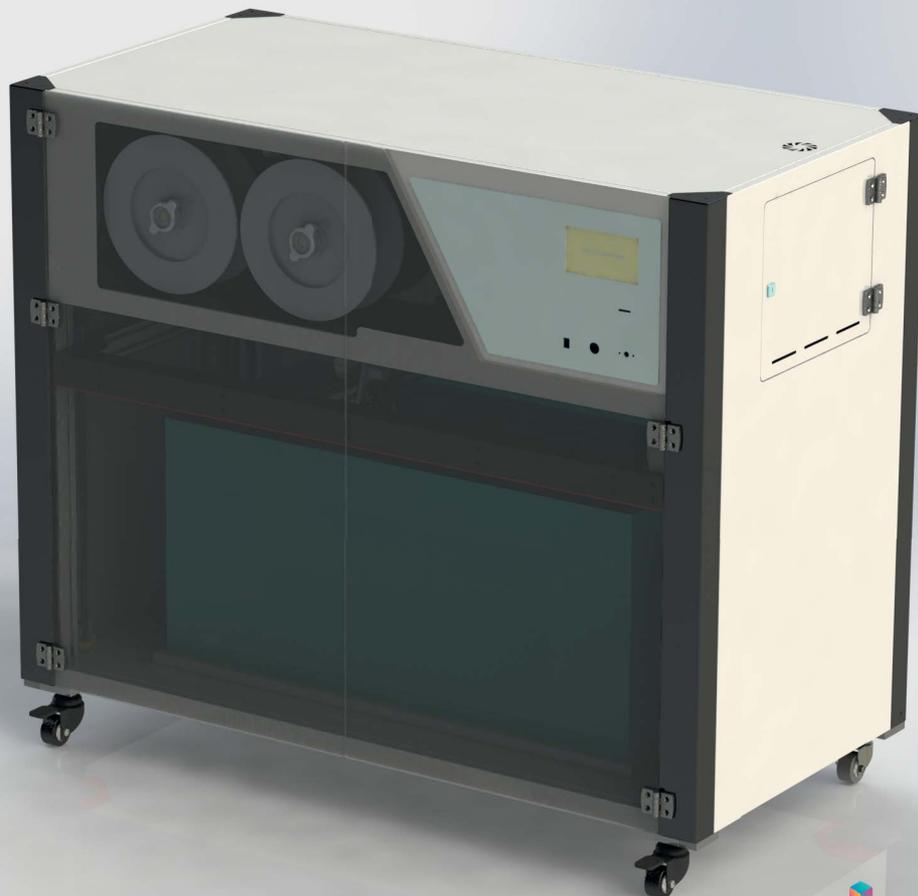
The logo for Magnum 3D, featuring the word "MAGNUM" in a bold, blue, 3D blocky font.

Сделано в России

КРУПНОГАБАРИТНАЯ ПЕЧАТЬ — ЭТО ПРОСТО!

3D-принтеры Magnum 3D серии RX-1 для бизнеса,
творчества и производства

- 2 экструдера с запирающим неактивным соплом.
Удобная и простая печать с растворимой поддержкой
 - Автоматическая калибровка стола и монитор прутка.
Легкий запуск в работу и отсутствие необходимости постоянного контроля
 - Интерфейс Ethernet.
Управление и печать по локальной сети со своего рабочего места
- **Размеры печати 1100×1100 мм, высота 850 мм**
 - **Экструдеры с рабочей температурой до 310°C**



ООО «Компания Ирвин»

115477, г. Москва, ул. Деловая, д. 18, стр.1,
8 (800) 555-98-38, +7 (495) 925-88-38,

E-mail: order@magnum3d.ru, www.Magnum3D.ru

Газовые решения «Эр Ликид» для аддитивных технологий

Мария Степанова, maria.stepanova@airliquide.com

XXI век стал поистине веком ускоренного развития исследований, технологий и промышленности, когда время, затраченное, на разработку изделия, его опытное производство и внедрение, становится дорогим и очень значимым ресурсом для обеспечения конкурентоспособности производителя. Использование аддитивных технологий существенно ускоряет этот процесс и облегчает разработку и внедрение востребованных изделий. «Эр Ликид» предлагает современные и удобные газовые решения для компаний, работающих с аддитивными технологиями типа SLS, SLM, DLMD.

Решения «Эр Ликид»

«Эр Ликид» предлагает газы высокого качества как для атомизации при производстве порошков, так и для создания инерт-

ной атмосферы — аргон с чистотой до 99,999% и азот (99,999%).

Новые баллоны «Эр Ликид»

Новые баллоны «Эр Ликид» эргономичны и просты в эксплуатации, обеспечивают неизменное качество газа, а повышенный объем баллона — его увеличенное количество. Преимущества новых баллонов:

1 — увеличенный объем баллона (**50 л**) по сравнению с баллоном отечественного производства (**40 л**);

2 — повышенное давление газа в баллоне: до **200 кгс/см²** вместо **150 кгс/см²** баллонов отечественного производства;

3 — сниженный вес баллона благодаря применению высокопрочной стали;

4 — вентили **SMARTOP™** со встроенным клапаном обратного давления;

5 — прочные колпаки для защиты вентиля с удобной ручкой для ручного перемещения баллона в рабочей зоне.

Несмотря на то, что баллон имеет больший объем, это почти не отразилось на его габаритах благодаря использованию специальной стали. В сборе он выше на высоту защитного колпака, а по весу легче стандартного отечественного баллона на 10 кг.

Сочетание большего объема и повышенного давления позволило уместить в баллоне в 1,7 раза большее количество газа. Это сокращает необходимый парк баллонов, экономит складские площади и транспортные расходы. Баллоны сертифицированы для российского рынка и соответствуют требованиям ГОСТ 949.

	Количество принтеров	Преимущества	Азот	Аргон	Гелий
Моноблоки 	1–2	большой запас газа: 16 баллонов, 50 л давление 200 или 300 бар	▼	▼	▼
Модульная емкость 	1–5	простота установки и использования, мобильность	▼	▼	
Криогенная емкость 	> 5	длительная автономная работа	▼	▼	





Интеллектуальные вентили SMARTOP™

Вентиль **SMARTOP™** — это запатентованная разработка «Эр Ликид», основная его задача — не допустить попадания внутрь атмосферного воздуха при работе с баллоном, обеспечить максимальное удобство и безопасность работы

Преимущества **SMARTOP™**:

1 — вместо привычного винтового механизма с маховиком запорный вентиль снабжен рычагом, который открывает и закрывает его движением вверх/вниз;

2 — защитный металлический колпак. Он эргономичен и позволяет удобно и безопасно перекатывать баллон в рабочей зоне, защищает вентиль от случайных повреждений;

3 — встроенный индикатор давления позволяет получать информацию о количестве газа в баллоне в любой момент времени, что облегчает приемку баллонов и позволяет оператору оценивать запас остатка газа;

4 — автоматический клапан остаточного давления **RPV** не допускает загрязнения баллона даже при случайном открывании вентилей;

5 — для обеспечения безопасности при случайном открытии вентиль снабжен дополнительным ограничителем потока газа;

6 — для подключения газовых редукторов предусмотрена типовая резьба G $\frac{1}{4}$.

Моноблоки

Моноблоки «Эр Ликид» имеют **16** баллонов, каждый объемом **50** л. Баллоны соединены в единый сосуд и размещены внутри сварного каркаса с проушинами и основанием под вилочный погрузчик. Давление газа в моноблоке **200 кгс/см²** для кислорода и до **300 кгс/см²** для азота и аргона. Рабочий объем газа достигает **225 нм³** для азота, **245 нм³** для аргона и **169 нм³** для кислорода. Все моноблоки снабжены индикаторами давления газа и вентилями с клапанами **RPV**.

Услуги и дополнительное оборудование

Подразделения «Эр Ликид» проводят проектирование и монтаж трубопроводов, оборудования и систем газоснабжения:



- монтаж линий и подключение оборудования для промышленных и систем детектирования и контроля;

- проведение тестов и квалификаций (тесты на давление, утечку гелия, влажность и частицы);

- подготовку рабочей и исполнительной документации.

Для хранения заготовок, материалов и изделий, чувствительных к кислороду и влаге, мы предлагаем шкафы сухого хранения **ALIX Dry P** (соответствует стандарту **IPC/JEDEC J-STD-033**). Быстрая осушка позволяет достигнуть уровня относительной влажности **1% менее**, чем за **5 мин.**



Емкость шкафа **250 л**. Возможна модульная сборка из нескольких шкафов.

Доставка

Доставка баллонов и моноблоков осуществляется собственным транспортом «Эр Ликид», оснащенным навесным вилочным погрузчиком. Всю работу по погрузке и разгрузке выполняют водители «Эр Ликид». Для безопасной транспортировки баллонов используются паллеты на **15** баллонов, оснащенные стяжными ремнями. ■



ООО «AIR LIQUIDE»
Тел.: +7 (495) 641 28 98,
www.airliquide.ru

Комплексный подход к интеграции аддитивных технологий в производство



*Евгений Молчанов,
коммерческий директор
ООО «РЕНА СОЛЮШИНС»*

Переход от классического производства к качественно новым процессам с использованием аддитивных технологий может быть эффективно реализован только с помощью цифровизации, гарантированно обеспечивающей выбор наиболее эффективной концепции. Проникновение цифровых технологий в промышленность трансформирует параметры каждого производства, что открывает новые горизонты развития для бизнеса в первую очередь. Наиболее короткий и менее затратный путь заключается в проведении технологического аудита производства на предмет внедрения аддитивных технологий, после чего можно получить первичное представление, в каком направлении формировать стратегию развития. Уже сейчас сформировались экспертные компетенции, достаточные для выполнения качественной оценки экономических преимуществ такой модернизации. В условиях многообразия практической реализации внедрения аддитивных технологий только такой подход может обеспечить минимальные риски.

Одной из наиболее значимых тенденций, формирующих облик индустрии, стало изменение спроса на промышленную продукцию. Если раньше большинство потребителей удовлетворялось стандартной продукцией из модельного ряда, то теперь нужен продукт, способный решить конкретную задачу потребителя. Конкуренция стимулирует большинство производителей изготавливать все больше вариантов продукции, требующих многочисленных изменений. То есть технологическая гибкость упрощает продажи. Остается только выстроить производственную систему, способную реализовать эти преимущества.

Другим не менее важным фактором, меняющим организацию производства, является глобальная структура потребления. Производители вынуждены быть встроены в международные производственные цепочки ввиду того, что локальные поставщики часто не способны обеспечить соответствующий технологический уровень

и требуемые конкурентные преимущества создаваемому продукту. Производителям приходится не только поддерживать качество продукции на собственных предприятиях, но и контролировать обширный ряд партнеров-поставщиков.

Коммуникации между производствами, находящимися в разных странах, должны обеспечить возможность гарантированного изготовления и эффективного мониторинга заказа. А это практически невозможно обеспечить без стыковки различных ИТ-систем, что может стать практически непреодолимой задачей.

Поэтому современная производственная система должна обеспечить объединение проектирования, технологии и производства: изготовление деталей, конструирование оснастки, мониторинг технологических процессов, включая моделирование и оптимизацию продукта.

И ее реализация невозможна без внедрения ИТ-системы, обеспечивающей следующие параметры:

1. Структурирование и мониторинг затрат с учетом возможных вариантов изменения продукта. Система должна обеспечить учет затрат на всех технологических переделах, включая вариативные операции на различных этапах производства.

2. Автоматизированный двухсторонний обмен данными об изменениях между разработчиками и производством, способный обеспечить разработчиков информацией о результатах изменений на всех стадиях производственного цикла.

3. Оптимизация ресурсов. Эффективная ИТ-система позволяет легко определить, какой из заводов либо поставщиков лучше подходит для размещения конкретного заказа, исходя из показателей его экономичности и квалификации персонала. Эти данные находятся в системе и выдаются в качестве рекомендаций при выборе предприятий, которые будут включены в определенную производственную цепочку.

Если говорить о России, то можно выделить две очень важные особенности. Первое — это довольно незначительная доля России в мировом производстве, и второе — это то, что традиционно российские предприятия главным образом выпускают мелкосерийную продукцию с большой добавленной стоимостью: авиация, космос, транспортное и атомное машиностроение. За исключением автомобильной промышленности, представленной международными производителями. Учитывая эти два факта, можно утверждать, что как раз в таких условиях имеется колоссальный потенциал развития аддитивных технологий с использованием передовых ИТ-систем. ■



ПОПРОБУЙ НОВОЕ КАЧЕСТВО FDM ФИЛАМЕНТА - ЗА НАШ СЧЁТ

КУПИ НА САЙТЕ ESUN-3D.RU 3 КГ ПОПУЛЯРНОГО
ПЛАСТИКА НА ВЫБОР ПО НАШЕЙ ЛУЧШЕЙ ЦЕНЕ
ПОЛУЧИ 1 КАТУШКУ ИННОВАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
БЕСПЛАТНО

ПОПУЛЯРНЫЙ ПЛАСТИК eSun ABS, ABS+, PLA, PLA+



Доступные цвета



3
+
1

ИННОВАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ **БЕСПЛАТНО**



eSmooth



eBamboo



eABS MAX

Технологии гибридного формообразования

Андрей Сергеевич Кузнецов, кандидат технических наук

Аддитивные технологии позволяют создавать изделия с расширенными функциональными и эксплуатационными характеристиками, с заданной, в т.ч. геометрически сложной, бионической и топологически оптимизированной конфигурацией, получать объекты с минимизированной массой и объединять сборочные единицы в одну деталь.

В то же время практически все виды 3D-печати предусматривают этапы постобработки, заключающейся в удалении поддержек и механообработке ответственных поверхностей изделий (рис. 1). Указанные операции выполняются, как правило, вручную и характеризуются высокой трудоемкостью, в особенности при построении металлических объектов. Данные аспекты не находят широкого освещения в публикациях, однако для специалистов-практиков они являются весьма актуальными.

Одним из наиболее эффек-

тивных методов решения данной задачи является объединение в одной рабочей области аддитивного получения заготовки и механической обработки ее поверхностей — не обязательно всех, а в основном сопрягаемых с другими деталями или выполняющими определенные функции (например, лопасти гребного винта). В англоязычной технической литературе совмещение 3D-печати и традиционной механообработки обозначается терминами *hybrid manufacturing* (гибридное производство) или *hybrid technologies* (гибридные технологии). По нашему мнению, словосочетание «гибридное формообразование» более точно характеризует описываемые процессы, поэтому им и будем пользоваться далее по тексту.

Данные технологии позволяют как полностью создавать новые детали, так и выполнять ремонт и восстановление изношенных, что особенно актуально для тру-

доемких в изготовлении изделий. Также на поверхностях тела относительно простой конфигурации могут быть сформированы элементы специальной геометрии, в т.ч. получаемые из других материалов.

Технологическое оборудование для построения объектов методами гибридного формообразования может создаваться на базе серийных металлорежущих станков с интеграцией в них аддитивных модулей либо оснащением 3D-принтеров механообработывающими исполнительными механизмами. Также возможна компоновка роботизированных технологических комплексов различной конфигурации. В состав установок гибридного формообразования могут входить системы контроля конфигурации формируемых слоев и геометрических характеристик изготавливаемых изделий, мониторинга и адаптивного управления технологическими процессами.

Далее представлено описание различных вариантов оборудования и их технологических возможностей.

Аддитивные модули, встраиваемые в металлорежущее оборудование и промышленные роботы

Добавление функций 3D-печати металлорежущим станкам и обрабатывающим центрам представляет собой одно из наиболее простых и эффективных технических решений в рассматриваемой области.

Рис. 1. Изделия, изготовленные компанией Sintavia на SLM-установке, после удаления неиспользованного порошка представляют собой полуфабрикат: необходимо отделить их от платформы, удалить поддержки и обработать сопрягаемые и рабочие поверхности



Рис. 2. Головки лазерного наплавления AMBIT, встраиваемые в серийно выпускаемые металлорежущие станки и промышленные роботы



В частности, компания Hybrid Manufacturing Technologies выпускает специализированные головки для лазерного наплавления порошковых металлических материалов (Directed Energy Deposition – DED) серии AMBIT (рис. 2), устанавливаемые в инструментальный шпиндель станка или в схват промышленного робота. Головки отличаются размером и формой пятна лазера и фокусного расстояния, а также интенсивностью подачи порошков. Аддитивное построение реализуется в соответствии с управляющей программой от СЧПУ станка.

Выпускаемый Hybrid Manufacturing Technologies комплект AMBIT Series 7 состоит из головок лазерного наплавления, прошивания отверстий, чистовой обработки поверхностей и контроля их качества, а также оценки состояния внутренней структуры наплавленного материала. Кроме этого, выполняется непрерывный мониторинг оптических и температурных показателей.

Еще один производитель аддитивных модулей — компания 3D-Hybrid Solutions выпускает три вида головок для 3D-печати методами DED, наплавления проволоки сваркой (Wire Arc Additive Manufacturing – WAAM) и высокоскоростного холодного напыления порошкового материала Cold Spraying (рис. 3).

Рис. 3. Аддитивные головки производства компании 3D-Hybrid Solutions



DED-головки оснащаются лазером мощностью от 0,5 до 25 кВт и имеют возможность нанесения материала под углом 90° к поверхности. Размер пятна лазера варьируется в пределах $0,1 \pm 10$ мм и имеет круглую или прямоугольную форму. Подача металлического порошка в зону построения реализуется питателями (максимально — 4 шт.) емкостью от 1 до 4 л. При помощи пирометров осуществляется мониторинг температуры ванны расплава.

Аддитивные модули WAAM позволяют наплавливать нержавеющие стали, суперсплавы на основе никеля, алюминиевые сплавы и другие материалы с производительностью от $570 \text{ см}^3/\text{ч}$. Имеется также возможность одновременной подачи проволоки и металлических порошков для получения изделий с расширенными физико-механическими характеристиками.

Головки холодного напыления обеспечивают нанесение сплавов на основе никеля, титана, меди, алюминия, ниобия, тантала, а также металломатричных композитов струей со скоростью потока частиц от 500 до 1000 м/с и производительностью $2,25 \text{ кг}/\text{ч}$.

Применение модулей, предназначенных для построения изделий методами DED и Cold Spraying, позволяет создавать объекты, элементы которых состоят из различных материалов,

в т.ч. с реализацией градиентных переходов между ними.

Оборудование гибридного формообразования на основе DED-технологии

Целый ряд зарубежных станкостроительных фирм выпускает оборудование, оснащаемое дополнительно головками лазерного наплавления. Данный подход отличается относительно несложными компоновочными решениями, простотой программирования обработки, малым энергопотреблением и температурными деформациями, а также более высокой точностью по сравнению с наплавлением проволоки.

При создании установок гибридного формообразования данного типа разработчикам требуется решить комплекс технических задач, включающий в себя интеграцию аддитивного модуля в структуру станка и отладку его функционирования, моделирование и оптимизацию параметров аддитивных процессов для различных материалов, анализ распределения температурных полей при построении изделия, определение свойств наплавленных материалов и оценку их соответствия заданным значениям, разработку методов мониторинга, совмещение 3D-печати и механообработки в одной управляющей программе и др.

Одним из наиболее известных примеров такого рода является пятикоординатный обрабатывающий центр модели Lasertec 65 3D hybrid компании DMG MORI (рис. 4) с интегрированной головкой лазерного наплавления фирмы Sauer, устанавливаемой в инструментальный шпиндель. Компанией также выпускается токарный обрабатывающий центр Lasertec 4300 3D hybrid. Процессы 3D-печати и лезвийной обработки могут чередоваться по мере построения изделия, в т. ч. возможно получение сложных поднутрений и внутренних каналов и полостей. Создание 3D-моделей, разработка управляющих программ и их верификация осуществляется в специальных программных CAD/CAM-модулях пакета Siemens NX.

По данным DMG MORI, плотность структуры материала достигает 99,8%. Детали изготавливаются из нержавеющей сталей, никелевых сплавов, включая инконель 625 и 718, сплавов на основе карбида вольфрама и никеля, бронзовых и латунных сплавов, стеллитов, инструментальных сталей и других материалов.

На основе мониторинга параметров аддитивных процессов реализуется адаптивное управление технологическими режимами, позволяющее оптимизировать процесс построения и обеспечить требуемое качество выпускаемой продукции.

Технология гибридного формообразования DMG MORI предназначена для производства изделий различного типа и уровня сложности, применяемых в авиационной и ракетно-космической промышленности, машиностроении, энергетике, нефтегазовой промышленности, при изготовлении пресс-форм и другой технологической оснастки, а также для ремонта и восстановления изношенных деталей, нанесения упрочняющих, износостойких,



Рис. 4. Обрабатывающие центры DMG MORI Lasertec 65 3D hybrid и Lasertec 4300 3D hybrid



Рис. 5. Примеры деталей, изготовленных методом гибридного формообразования на оборудовании DMG MORI



Рис. 6. Токарно-фрезерный и фрезерный обрабатывающие центры компании Yamazaki Mazak Integrex i-400AM и VC-500 AM, оснащенные аддитивными модулями



термоизоляционных и других покрытий (рис. 5).

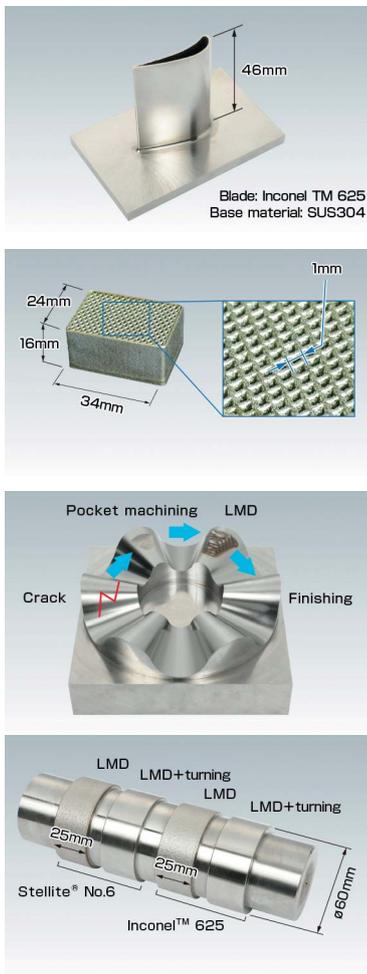
Аналогичные разработки ведутся компаниями Yamazaki Mazak и Okuma. Первая выпускает установки гибридного формообразования Integrex i-400AM и VC-500 AM на базе токарно-фрезерного и фрезерного пятикоординатных обрабатывающих центров соответственно (рис. 6), оснащаемые головками лазерного наплавления Hybrid Manufacturing Technologies, позволяющими также выполнять лазерную гравировку поверхностей.

Станкостроительная компания Okuma производит фрезерные и токарно-фрезерные обрабатывающие центры семейства

LASER EX (рис. 7), оснащаемые головками лазерного наплавления мощностью 0,6 кВт (в стандартном исполнении) либо 1, 2 и 3 кВт (по заказу). Изделия формируются из сталей, никелевых сплавов, стеллитов и других материалов, в т. ч. с градиентными переходами между ними (рис. 8). Возможно также выполнение операций лазерной закалки с последующим шлифованием и нанесением покрытий различных типов.

Испанская компания IBARMIA совместно с Университетом Страны Басков (University of Basque Country) и фирмой Tecnalia Research & Innovation разработала установку гибридного формообразования ZVH 45/L1600.

Рис. 8. Образцы, полученные методом гибридного формообразования на оборудовании компании Okuma



Аддитивный процесс осуществляется коаксиальной головкой лазерного наплавления Precites YC52 с лазером мощностью 3 кВт. В процессе 3D-печати применяются инструментальные стали, керамика, сплавы на основе никеля

Рис. 7. Обрабатывающие центры MU-6300V LASER EX и MULTUS U3000 LASER EX компании Okuma с возможностью выполнения аддитивных операций



и ряд других материалов (рис. 9). Поверхности получаемой заготовки обрабатываются лезвийным инструментом. В состав установки входят системы рециркуляции порошковых материалов, мониторинга процесса формообразования и трехмерного лазерного сканирования.

Компания WFL, выпускающая токарно-фрезерные обрабатывающие центры для обработки крупногабаритных деталей, также использует в качестве аддитивного модуля лазерную наплавляющую головку Precites YC52, за счет встраивания которой в станок модели M80 MillTurn (рис. 10) были существенно расширены его технологические возможности. Помимо создания сложнопрофильных изделий методом гибридного формообразования и добавления отдельных элементов на поверхности уже готовых деталей оборудование позволяет выполнять

лазерную сварку и закалку и ряд других операций.

Компания Optomes, специализирующаяся на производстве аддитивного оборудования типа DED (фирменное название технологии – Laser Engineered Net Shape (LENS)), пошла по пути встраивания механообрабатывающего модуля в 3D-принтер. В настоящее время выпускается два

Рис. 9. Опытный образец изделия, изготовленного на установке гибридного формообразования ZVH 45/L1600



Рис. 10. Рабочая зона и изделие, изготовленное на токарно-фрезерном обрабатывающем центре WFL M80 MillTurn, оснащем лазерной наплавляющей головкой Precites YC52

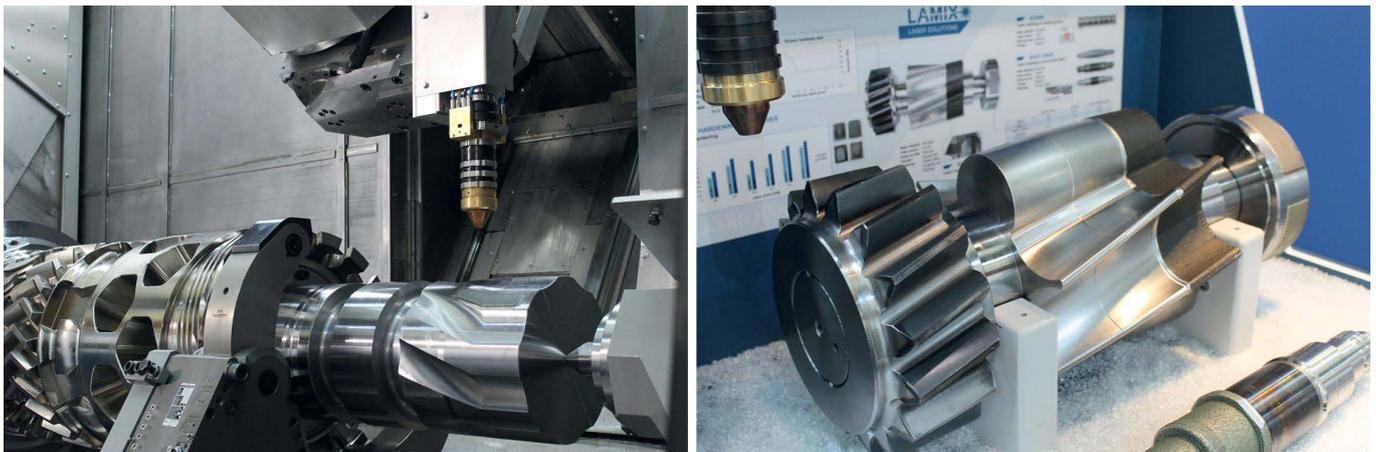


Рис. 11. Установки гибридного формообразования LENS 500 HY OA и LENS 860 HY OA производства компании Optomec



типа установок гибридного формообразования (рис. 11): LENS 500 HY OA/CA и LENS 860 HY OA/CA. Индексом OA (Open Atmosphere) обозначается оборудование, предназначенное для изготовления изделий из нержавеющей и инструментальных сталей, никелевых, кобальтовых и вольфрамовых сплавов и других материалов. Установки с закрытой рабочей зоной (CA – Closed Atmosphere), оснащены системой подачи очищенного защитного газа, содержащего кислород и водяной пар в количестве не более 40 ppm (миллионных долей), и позволяют работать с алюминиевыми, титановыми сплавами и другими химически активными материалами.

Габариты рабочей области LENS 500 HY OA и LENS 860 HY OA составляют 350×350×500 мм и 598×600×610 мм соответственно, максимальная нагрузка на стол – 35 и 200 кг, мощность лазера: 0,5÷2 и 0,5÷3 кВт, количество осей – от 3 до 5, производительность наплавления – от 0,1 до 0,4 кг/ч.

Помимо собственно оборудования Optomec поставляет аддитивный технологический модуль LENS Print Engine, интегрируемый в металлорежущие станки с ЧПУ и промышленные роботы. Он состоит из наплавляющей головки со сменными соплами, волоконного лазера мощностью

от 0,5 до 2 кВт и питателей порошковых материалов. Также прилагается пакет для разработки управляющих программ PartPrep. Опционально предлагается система мониторинга процесса 3D-печати SmartAM.

Производитель шлифовального оборудования компания ELB-Schliff выпускает семейство установок гибридного формообразования millGrind (рис. 12), оснащаемых головками лазерного наплавления AMBIT производства Hybrid Manufacturing Technologies и предназначенных для создания деталей преимущественно из труднообрабатываемых материалов типа суперсплавов на никелевой основе с обеспечением субмикронной точности, а также для ремонта изношенных изделий. Механообработка реализуется методом шлифования, возможно также выполнение операций

сверления, фрезерования, лазерной закалки, лазерной маркировки и измерений непосредственно в рабочей зоне. Максимальная длина обработки составляет 1000, 1500 или 2000 мм. Для реализации 5-осевой обработки оборудование может оснащаться трехординатным поворотным столом. Производительность наплавления металла – 0,6÷0,9 кг/ч. Установки серии millGrind применяются преимущественно в изготовлении турбинных лопаток для авиационных и ракетных двигателей, а также в производстве пресс-форм.

Оборудование гибридного формообразования на основе SLM-технологии

Существует несколько вариантов компоновок, в которых изделия формируются методом послойного сплавления порошко-

Рис. 12. Установка гибридного формообразования millGrind производства компании ELB-Schliff



Рис. 13. Установки гибридного формообразования Matsuura LUMEX Avance-25 и LUMEX Avance-60



Рис. 14. Примеры изделий, изготовленных на оборудовании гибридного формообразования компании Matsuura



вого материала в замкнутом объеме (Selective Laser Melting – SLM) с последующей механообработкой поверхностей через определенное количество слоев.

Наиболее известным производителем такого рода оборудования является компания Matsuura, выпускающая установки моделей LUMEX Avance-25 и LUMEX Avance-60 (рис. 13). Процесс формообразования заключается в последовательном аддитивном построении 5–10 слоев материала и высокоточной обработке сформированного фрагмента лезвийным инструментом, устанавливаемым в шпиндель с максимальной частотой вращения 45000 об/мин. Наибольшие размеры изготавливаемых изделий составляют 256×256×185 мм или 256×256×300 мм для LUMEX Avance-25 и 600×600×500 мм для LUMEX Avance-60, максимальная масса – 90 или 150 кг и 1300 кг соответственно. Мощность волоконного иттербиевого лазера – 0,5 или 1 кВт, производительность 3D-печати – 35 см³/ч. Изделия изготавливаются из мартенситостареющих и нержавеющей сталей, инконеля, кобальтохромовых, титановых и алюминиевых сплавов.

Процессы подачи металлического порошка, сбора неиспользованного материала и его рециркуляции полностью автоматизированы. Разработка управляющих программ выполняется в специализированном программном пакете LUMEX CAM.

Технология позволяет создавать объекты сложной геометрии, в т.ч. с криволинейными внутренними полостями и каналами, с сетчатой структурой, а также вертикальные профили малого сечения, являющиеся элементами пресс-форм (рис. 14).

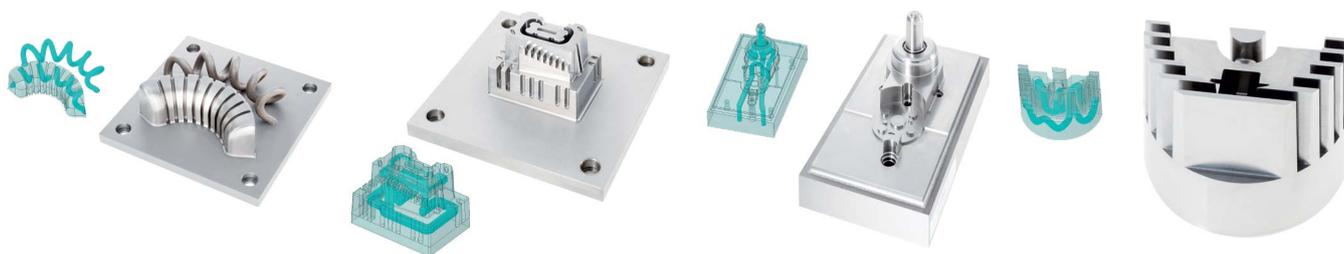
Компания Sodick выпускает установки OPM250L и OPM350L

(рис. 15), работающие по принципу, аналогичному станкам LUMEX Avance. Максимальные размеры изготавливаемого изделия составляют 250×250×250 и 350×350×350 мм соответственно, масса – 100 и 300 кг. Волоконный иттербиевый лазер имеет мощность 0,5 кВт (1 кВт для модели OPM350L как опция), движение по осям X, Y и Z реализуется линейными приводами с обратной связью на основе оптических линеек. Модель OPM350L оснащается системой рециркуляции порошкового материала. Мониторинг процесса построения осуществляется видеокамерой, настолька режущего инструмента

Рис. 15. Установки гибридного формообразования OPM350L и OPM250L производства компании Sodick



Рис. 16. Примеры элементов пресс-форм, изготовленных на оборудовании гибридного формообразования компании Sodick



выполняется в автоматическом режиме системой Blum. Управляющие программы разрабатываются в фирменном САМ-пакете OS-FLASH.

Установки серии ОРМ предназначены преимущественно для производства пресс-форм с внутренними каналами сложной пространственной конфигурации, обеспечивающими более эффективное охлаждение отливок и существенное повышение производительности литья под давлением.

Компания OR Laser разрабатывает установку ORLAS CREATOR (рис. 17), также совмещающую SLM-технологии и механообработку. Габариты рабочей зоны составляют $\varnothing 110 \times 100$ мм, мощность лазера — 250 Вт, скорость сканирования — 3,5 м/с, толщина слоя — 20 ± 50 мкм. На основе облачных приложений возможно дистанционное управление и мониторинг состояния систем ORLAS CREATOR.

Разработчиками создана оригинальная система выравнивания порошкового материала, осуществляемая по окружности против часовой стрелки. Сканирование начинается непосредственно после нанесения очередного слоя,

Рис. 17. Установка OR Laser компании ORLAS CREATOR



а выравниватель параллельно продолжает круговое движение, останавливаясь в исходном положении до подачи следующей порции материала. Данная схема позволяет экономить несколько секунд на каждом слое, что обеспечивает сокращение общей длительности процесса до $20 \div 30\%$.

ORLAS CREATOR предназначен для изготовления медицинских и ювелирных изделий, элементов пресс-форм, проведения лабораторных исследований и т. д.

Другие варианты систем гибридного формообразования

В рамках программы Европейского Союза Horizon 2000 группой научно-исследовательских и коммерческих разработчиков, включающей в себя Европейскую федерацию сварки, Университет Крэнфилда, Объединение им. Гельмгольца, компании BAE Systems, Global Robots, Loxin2002, Autodesk и ряд других организаций, реализуется трехлетний проект LASIMM (Large Additive Subtractive Integrated Modular Machine), направленный на создание нового типа модульного оборудования гибридного формообразования крупногабаритных (длиной до 10 м) изделий.

Аддитивный процесс реализуется методом WAAM при помощи промышленных роботов, механическая обработка поверхностей изделий выполняется лезвийным инструментом, устанавливаемым в шпиндель, закрепленный в механизме с параллельной кинематикой на основе триподной компоновки (рис. 18). С целью повышения плотности материала технологическим процессом предусматривается дополнительная раскатка наплавленных слоев роликом. В состав функций технологической системы входят измерения и контроль свойств изготавливаемых изделий.

Рис. 18. Концепция проекта LASIMM, объединяющего аддитивный модуль, обрабатывающий центр и промышленные роботы



Компоновка производственной ячейки строится по модульному принципу, обеспечивающему изменение ее конфигурации и масштабирование в соответствии с поставленными задачами. Планируется изготовление изделий из сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

Согласно техническому заданию, должно быть обеспечено снижение себестоимости и увеличение производительности обработки на 20% по сравнению с технологией, включающей в себя отдельный WAAM-процесс и последующую механообработку на станочном оборудовании. Производственные затраты по сравнению с изготовлением из цельной заготовки на металлорежущих станках должны быть меньше на 50%.

Производитель пятикоординатных обрабатывающих центров компания Hermle разработала технологию Metal Powder Application (MPA), основанную на аддитивном построении изделий высокоскоростным напылением металлического порошкового материала в струе перегретого пара, проходящей через сопло Лаваля со сверхзвуковой скоростью.

В процессе формирования слоев происходит кинетическое компактирование частиц порош-

Рис. 19. Примеры изделий, изготовленных с использованием технологии МРА



ка, при ударе которых о подложку или предыдущие слои возникают значительные пластические деформации растяжения, превышающие 10 ГПа при температуре около 1000°С и формируется диффузионная связь между частицами и нанесенным ранее материалом.

Аддитивный модуль МРА встраивается в обрабатывающий центр С-40. Габариты рабочей зоны составляют 600×600×300 мм. Формирование изделий произ-

ходит с производительностью свыше 200 см³/ч. Расходными материалами являются жаропрочные и нержавеющие стали, инвар, чистое железо, чистая медь, бронза и ряд других материалов. Особенности метода МРА являются низкие температуры процесса и минимальные напряжения и деформации получаемых изделий.

Возможно получение внутренних полостей и каналов за счет применения специального водорастворимого материала. Технология состоит из следующих этапов: вначале методом фрезерования формируется предварительный контур заготовки, полости и каналы охлаждения, заполняемые затем аддитивным способом водорастворимым составом; после этого осуществляется напыление металла до получения окончательной конфигурации изделия, промывка водой с формированием внутренних поверхностей и выполняются операции термообработки (при необходимости) и финишной механической обработки наружных поверхностей.

Разработанная технология идеально подходит для изготовления пресс-форм, обеспечивающих повышение эффективности охлаждения отливок и сокращение длительности цикла на 40÷50%. Также может производиться ремонт изношенных пресс-форм или изменение их конфигурации с предварительным удалением части материала, внедрение в массив

деталей датчиков, нагревательных элементов или различных типов материалов (например, получение медных вставок в стальной основе).

Компания Fabrisonic выпускает оборудование гибридного формообразования, в основе которого лежит послойное нанесение, раскатка и ультразвуковая сварка металлической ленты с предыдущими слоями при помощи специально разработанной головки (рис. 20). Лишний материал удаляется механической обработкой. Головка устанавливается в металлорежущий станок или в схват промышленного робота.

Технология позволяет создавать объекты достаточно сложной конфигурации, в т.ч. с внутренними каналами и полостями. Относительно невысокая температура протекания процесса обуславливает возможность внедрения в формируемые изделия различных электронных и электрических компонентов, оптического волокна и других элементов. Детали могут быть получены из химически активных металлов и из комбинаций различных материалов, включая такие несо-

Рис. 21. Образцы изделий, полученных на оборудовании компании Fabrisonic

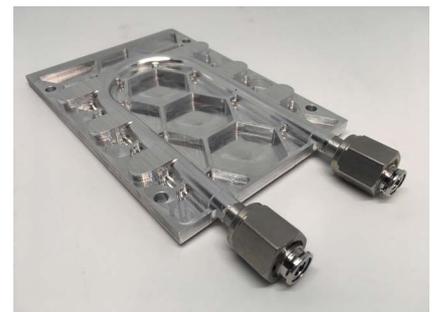
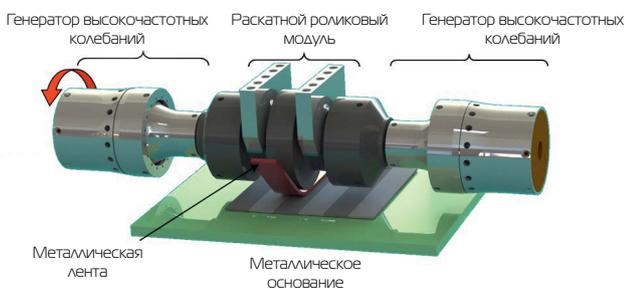


Рис. 20. Схема, иллюстрирующая технологию аддитивного процесса, разработанного компанией Fabrisonic



вместимые между собой, как медь и алюминий, возможно создание металломатричных композитов. При этом отсутствуют температурные деформации и остаточные напряжения и, в отличие от других аддитивных методов, не требуется выполнения операций термической обработки или горячего изостатического пресования. Производительность построения изделий составляет 250÷500 см³/ч. Технологию отличает высокий коэффициент использования материала, отсутствие вредных выбросов и необходимости применения инертных газов в рабочей зоне.

Оборудование Fabrisonic поставляется преимущественно предприятиям энергетической, авиационной и ракетно-космической отраслей промышленности. В настоящее время в линейку входят две установки: SonicLayer 4000 и SonicLayer 7000 с габаритами рабочего стола 610×915 мм и 1800×1800 мм соответственно.

Компания Diabase Engineering разработала установку гибридного формообразования, объединяющую в одной рабочей зоне 3D-печать изделий методом FDM и их механическую обработку (рис. 22).

В стандартном исполнении оборудование имеет три линейные оси, которые могут быть опционально дополнены одной или двумя круговыми — установкой поворотных модулей на стол станка. В пятипозиционной револьверной головке устанавливаются экструдеры, при помощи которых возможно организовать 3D-печать пятью различными материалами, либо часть гнезд занимают блоки с приводным режущим инструментом — для обеспечения поочередного перехода от аддитивного процесса к механической обработке.

Габариты рабочей зоны установки составляют 400×180×180

мм. Максимальная температура нагрева экструдеров, оснащенных функцией самоочистки, — 300°С. За счет датчиков касания реализована автоматизированная калибровка. Контроль геометрии изготавливаемых изделий осуществляется системой объемного сканирования.

К основным преимуществам технологий гибридного формообразования следует отнести:

- возможность получения сложнопрофильных изделий, изготовление которых традиционными методами экономически нецелесообразно, в т.ч. с интегрированными электрическими и электронными компонентами;
- повышение размерной точности изделий, изготавливаемых аддитивными методами, за счет механизации и автоматизации операций постобработки;
- возможность ремонта и восстановления изношенных и сломанных изделий;
- снижение трудоемкости постобработки;
- снижение себестоимости и повышение производительности производственных процессов;
- высокая гибкость производства;
- существенное сокращение заготовительного производства (литейные, кузнечно-штамповоч-

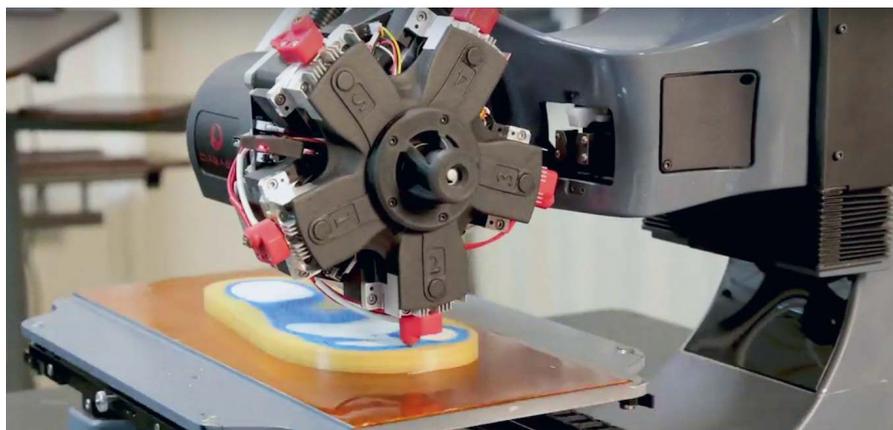
ные, сварочные переделы) или полный отказ от него;

— кратное сокращение объемов складских запасов.

Число технических решений в области гибридного формообразования растет год от года. Данному направлению уделяется самое пристальное внимание со стороны ведущих зарубежных станкостроительных фирм, производителей аддитивного оборудования и научно-исследовательских организаций. Уже сейчас ряд компаний предлагает аддитивные технологические комплекты, встраиваемые в серийно выпускаемое станочное оборудование. В перспективе можно ожидать, что такого рода модули станут стандартными опциями.

В целом можно констатировать, что в большинстве случаев аддитивные технологии на данном этапе развития не позволяют получать готовые изделия, а представляют собой процессы создания точных заготовок, нуждающихся в дальнейшей обработке. В этой связи говорить о полной замене традиционных технологий аддитивными не приходится. Гораздо более эффективным является их совмещение, в результате чего возможно создание изделий с конфигурацией и характеристиками, не реализуемыми ранее. ■

Рис. 22. Установка гибридного формообразования, разработанная компанией Diabase Engineering





МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА

МИР
ЛАЗЕРОВ
И ОПТИКИ

4–7 марта 2019

При поддержке Министерства
промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ



Реклама 12+



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

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



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

 ЭКСПОЦЕНТР

Лазерная стереолитография: состояние и перспективы

С. В. Камаев, М. А. Марков, А. Н. Никитин, М. М. Новиков
Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал федерального государственного учреждения
«Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук»

Введение

Развитие лазерной техники, компьютерных систем трехмерного моделирования, разработка специальных материалов и оборудования сделали возможным изготовление уникальной трехмерной компьютерной модели с любой геометрической формой методом добавления материала, без привычных этапов производства: заготовка, точение, сверление и т. п. механических (ручных либо машинных) операций. Развитие таких технологий в настоящее время позволяет реализовать процесс создания объекта из разных материалов (жидкого полимера, порошка металлов, пластика, бумаги) при помощи разных технологических процессов (отверждение светом фотополимера, тепловое склеивание полимерных нитей, лазерное спекание металлических порошков), обеспечивая требуемые параметры: необходимые размеры (от микрон до метров) и их точность, сложность геометрии, качество поверхности, скорость изготовления и функциональность. Конструктор, архитектор, дизайнер и производство получили возможность создания с помощью этих технологий непосредственно из цифровых трехмерных моделей физических деталей в уменьшенную или натуральную величину всего через несколько часов после передачи данных.

Сейчас эти технологии шагнули далеко вперед, найдя множество применений на производстве, приближаясь помимо изготовления прототипов и копий к созданию полноценных функциональных моделей. Поэтому в настоящий момент они получили общее название «аддитивное производство» (АП).

Процессы аддитивного производства состоят из нескольких основных шагов: обработка цифровой модели, разбиение на слои, генерация опорных элементов, послойное физическое воспроизведение этих сечений и комбинирование слоев. Слои поперечных сечений могут создаваться и комбинироваться одним из следующих методов:

- фотополимеризация лазером или другими источниками света;

- спекание твердых частиц лазерным или электронным лучом;
- связывание жидких или твердых частиц путем склеивания;
- резка и склейка листового материала;
- плавление и отверждение термопластов.

Впервые такая возможность была осуществлена на основе технологии лазерной стереолитографии: формирование объекта происходило путем его послойного наращивания из отверждаемого под действием лазерного излучения жидкого фотополимера.

В настоящее время разработаны несколько технологий АП на процессе фотополимеризации:

1. Лазерная стереолитография – Laser Stereolithography Apparatus (SLA), использующая технологию прямого лазерного рисования.
2. Отверждение фоточувствительных мономеров с помощью маски Solid Ground Curing (SGC) или цифровых световых проекторов Digital Light Processing (DLP).
3. Различные модификации трехмерных принтеров (3-D Ink-Jet Printing), использующих технологии струйной печати Multi Jet Modeling (MJM) или PolyJet.
4. Лазерная наностереолитография, основанная на двухфотонном поглощении фемтосекундных лазерных импульсов.

Лазерная стереолитография

Лазерная стереолитография – исторически первая технология, с которой началось развитие методов аддитивного производства [1, 4]. Модель изготавливается из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК), отверждаемой лазерным излучением. Схема установки лазерной стереолитографии приведена на рис. 1.

Излучение лазера ультрафиолетового диапазона воспроизводит на поверхности жидкой фотополимеризующейся композиции внешний контур и внутреннюю штриховку соответствующих поперечных сече-

Рис. 1. Схема установки лазерной стереолитографии

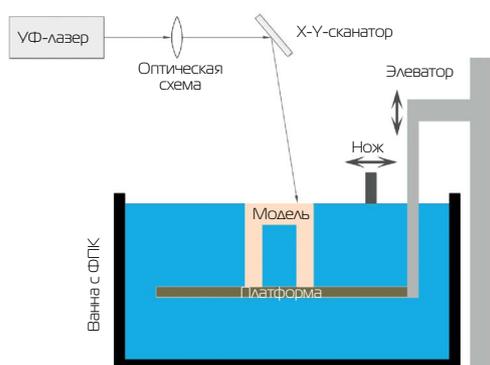


Рис. 2. Конструкция DLP-принтера

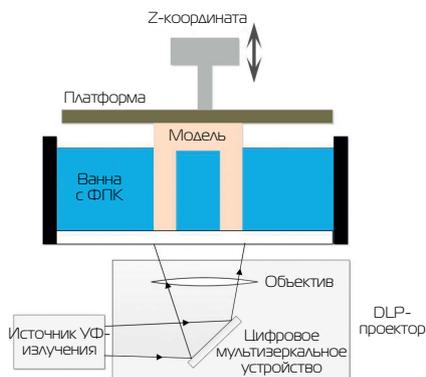
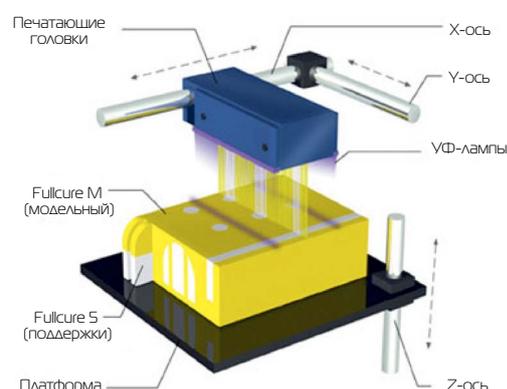


Рис. 3. Схема фотополимерного принтера на основе струйной печати



ний модели. Коэффициент поглощения излучения достаточно велик, так что оно практически полностью поглощается в тонком (0,1–0,2 мм) слое ФПК. В облученной области образуется пленка твердого полимера. Управляется лазерный луч двухкоординатным сканатором. Данная технология использует метод прямого лазерного рисования. Переход от одного слоя к другому осуществляется путем погружения платформы, на которой выращивается деталь, в емкость с жидкой ФПК на глубину, равную толщине следующего слоя. Выравнивающее устройство обеспечивает равномерную толщину слоя по всей площади платформы. При полимеризации последующего слоя он приклеивается к предыдущему, что обеспечивает жесткость всего изделия. По завершении процесса модель отмывают от остатков исходного вещества, удаляют технологические подпорки. Затем изделие подвергается дополнительной полимеризации УФ-излучением в специальной камере. Исходными материалами для технологии лазерной стереолитографии являются жидкие ФПК на акрилатной или эпоксидной основе.

Масочные фотополимерные технологии

Близкий родственник лазерной стереолитографии масочный метод использует засветку слоя целиком с помощью формирования специальных шаблонов или применения цифрового зеркального проектора. Использование физических фотошаблонов (подобный подход применялся на установках типа SGC) делает процесс дорогостоящим, трудоемким и медленным. Поэтому метод DLP стал более популярным благодаря развитию технологии производства недорогих цифровых проекторов с высоким разрешением (рис. 2).

Ключевым элементом проекторов, созданных по технологии DLP, является матрица микроскопических зеркал из алюминиевого сплава, обладающего очень высоким коэффициентом отражения. Под действием электрического поля подложка с зеркалом принимает одно из двух положений, отличающихся

точно на 20° благодаря ограничителям, расположенным на основании матрицы. Два этих положения соответствуют отражению поступающего светового потока соответственно в объектив для формирования изображения или в светопоглотитель, обеспечивающий минимальное отражение света. Формирование слоев производится с помощью ультрафиолетовой лампы и цифрового проектора, высвечивающего соответствующее геометрическое сечение модели на поверхности фотополимера целиком, что и отличает этот метод от SLA, где слой прорисовывается последовательно с помощью сканирующей системы и лазерного излучения. Одновременная засветка целого слоя с помощью проекторов позволяет значительно ускорить процесс печати по сравнению с SLA-принтерами. На сегодня стоимость DLP-принтеров является самой низкой среди аддитивных установок, использующих процесс фотополимеризации.

Фотополимерные технологии струйной печати

Еще в одном виде аддитивных технологий с использованием отверждения фотополимеров применяется технология струйной печати.

Построение моделей происходит путем напыления фотополимера с помощью линейных массивов, состоящих из множества сопел (рис. 3).

Нанесенный слой немедленно засвечивается ультрафиолетовыми лампами. Как правило, два процесса происходят почти одновременно. К тому моменту, когда массив достигает конца рабочей камеры, ранее нанесенный материал достаточно отвержден для печати нового слоя. Такой подход позволяет добиться весьма высокой скорости печати, но отличается высокой сложностью конструкции, что сказывается на стоимости подобных установок. Технологии Multi Jet Modeling и PolyJet практически не отличимы друг от друга. Разница в названиях происходит из соответствующих патентов: технология MJM принадлежит компании 3D Systems, а PolyJet — конкурирующей компании Stratasys.

Одним из плюсов технологий MJM и PolyJet является возможность создания композитных конструкций из фотополимерных смол с различными физическими характеристиками. Таким образом, возможно создание моделей с использованием, например, гибких и твердых материалов одновременно в одной модели, что открывает новые возможности для аддитивных технологий.

Лазерная наностереолитография

Последние достижения в области формирования микрообъектов достигнуты в результате использования многофотонной полимеризации многоатомных молекул в интенсивных лазерных полях фемтосекундных лазеров. В работе [3] экспериментальное значение размера вокселя получено равным 20 нм.

Рассмотрим основные соотношения, позволяющие оценить влияние особенностей лазерного излучения на достижение высокой разрешающей способности лазерной наностереолитографии.

Предполагается, что точность позиционирования лазерного излучения у системы доставки и фокусировки (системой линз) этого излучения достаточно высока, и распределение интенсивности $I(x, y, z)$ лазерного излучения описывается следующей функцией Гаусса (для моды TEM00q) с учетом поглощения в среде

$$I(x, y, z) = \frac{2P}{\pi\omega^2} \exp\left(-\frac{2(x^2 + y^2)}{\omega^2}\right) \exp(-(b_z - z)\theta), \quad (1)$$

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi\omega_0^2}\right)^2}, \quad (2)$$

$$\omega_0 = 0.366 \frac{\lambda}{NA}, \quad (3)$$

где P – мощность излучения, θ – коэффициент поглощения, ω – ширина интенсивности излучения, λ – длина волны, ω_0 – радиус перетяжки каустики, NA – числовая апертура системы линз. Здесь источник излучения перемещается в направлении x со скоростью v . Излучение, падающее в направлении, противоположном координате z , фокусируется системой линз так, что только в фокусе (где выбрано начало координат), который находится внутри ФПК, происходит ее отверждение. Этот фокус находится на расстоянии d_z от поверхности ФПК.

Рассмотрим далее случай двухфотонной полимеризации ФПК в предположении, что поглощаемая часть мощности излучения (ΔP) намного

меньше P : $\Delta P \ll P$. Для этого грубого подхода получено следующее выражение для концентрации радикалов $R_0(y, z)$, созданных излучением в точках (y, z) :

$$[R_0(y, z)] = \beta_4 \frac{vE_i^2}{\tau_i v \omega^3} \exp\left(-\frac{4y^2}{\omega^2}\right) \exp(2(z - d_z)\beta), \quad (4)$$

где v – частота следования лазерных импульсов, E_i – энергия импульса, τ_i – длительность импульса, β_4 – константа пропорциональности (в качестве источника излучения рассматривается импульсный лазер на титан-сапфире).

Кривая, отделяющая отверженную область ФПК от жидкости, описывается выражением

$$y^2 = \frac{\omega^2}{4} \left(\ln\left(\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^3 \frac{[R_{\max}]}{[R_c]}\right) + 2\beta z \right), \quad (5)$$

$$\text{Где } [R_{\max}] = [R_0(0, 0)] = \beta_4 \frac{vE_i^2}{\tau_i v \omega_0^3} \exp(-2d_z\beta),$$

и $[R_c]$ – минимальная концентрация радикалов, необходимая для отверждения ФПК. Согласно (5), следующие выражения получаются для глубины c_d и ширины l_w отвержденной лазерным лучом области ФПК:

$$l_w = \omega_0 \sqrt{\ln\left(\frac{[R_{\max}]}{[R_c]}\right)}. \quad (6)$$

$$c_d = \frac{2\pi\omega_0^2}{\lambda} \left(\left(\frac{[R_{\max}]}{[R_c]}\right)^{2/3} - 1 \right)^{1/2}. \quad (7)$$

В качестве источника излучения для двухфотонной полимеризации часто выбирается лазер на титан-сапфире. На рис. 5 приведены результаты модельного расчета для полимеризации, инициируемой с применением этого лазера (длина волны $\lambda = 780$ нм, частота

Рис. 4. Схема формирования трехмерного объекта внутри ФПК

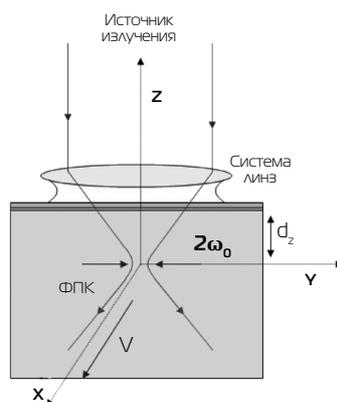
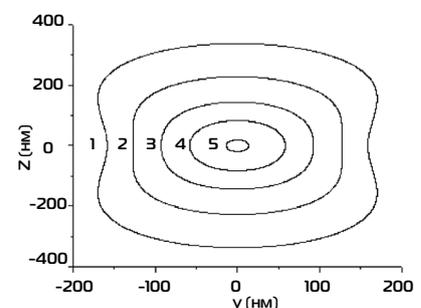


Рис. 5. Граница, отделяющая отверженную область ФПК от жидкой фазы, при разных значениях энергии излучения в импульсе при двухфотонной полимеризации. Рассчитаны для $[R_c] = 5 \cdot 10^{-3}$ моль \cdot л $^{-1}$, $v = 10$ см \cdot с $^{-1}$, $NA = 1.4$, $\lambda = 780$ нм, $\beta_4 = 1,5 \cdot 10^{-22}$ м \cdot с \cdot моль \cdot Дж $^{-2}$, $\nu = 80$ МГц, $\tau_i = 100$ фс, $E_i = 60$ (1), 70 (2), 90 (3), 130 (4) и 200 нДж (5)



излучения $\nu = 80$ МГц и длительность импульса излучения $\tau_i = 100$ фс) для разных энергий импульса. При расчете кривых, показанных на этом рисунке, предполагалось, что система линз, имеющих числовую апертуру $NA = 1,4$, фокусирует излучение внутри ФПК в точку, находящуюся на расстоянии $d_z = 0,5$ мм от поверхности ФПК (рис 4.), а источник излучения движется в направлении x со скоростью $v = 1$ мм \cdot с $^{-1}$.

Таким образом, получено обоснование высоких значений пространственной разрешающей способности, достигнутых в настоящее время в экспериментальных работах. Исследования также показали важность реакции циклизации в ФПК, используемых в лазерной наностереолитографии. Эта реакция приводит к самоупаковке растущей цепи, которая с относительно малой длины становится наночастицей — вокселем.

Установки лазерной стереолитографии

В настоящее время технология лазерной стереолитографии позволяет решать как задачи оперативного изготовления пластиковых копий трехмерных компьютерных моделей с габаритным объемом до 1 м³ с точностью не хуже 0,1 мм, так и микрообъектов и микроструктур с разрешением порядка 0,1 мкм.

Коммерческое распространение SLA-систем началось в 1988 г. установкой SLA-190 компании 3DSystems (США) [1]. В России работы по лазерной стереолитографии были начаты в 1994 году [3]. В результате в ИПЛИТ РАН была разработана отечественная версия технологии лазерной стереолитографии и созданы установки лазерной стереолитографии ЛС-120, ЛС-250 и ЛС-350 (рис. 6) для оперативного изготовления трехмерных объектов (изделий) практически любой степени сложности из отверждаемых под действием лазерного излучения полимерных (в том числе композитных) материалов [4].

Кроме того, в ИПЛИТ РАН за 20 лет успешной работы в области лазерной стереолитографии разработаны и освоены разнообразные применения пластиковых моделей.

Изготовление формообразующей оснастки для литья металлов по выжигаемым моделям

Оперативное изготовление формообразующей оснастки для разных видов литья является одним из наиболее широко используемых приложений лазерной стереолитографии. Для производства форм для литья методом газификации пластиковых моделей фирмой 3D Systems было специально разработано программное обеспечение с целью построения моделей с тонкими стенками и системой ребер жесткости по исходным компьютерным образам. Способ изготовления методом лазерной стереолитографии моделей для литья получил название QuickCast [1]. ИПЛИТ РАН совместно с МГТУ им. Баумана была выполнена работа по исследованию возможностей применения пластиковых моделей, созданных методом лазерной стереолитографии, для изготовления металлических отливок различными способами точного литья. Разработанная технология литья по выжигаемым моделям, изготовленным методом лазерной стереолитографии, обеспечивает получение отливок деталей, содержащих элементы, размеры которых меньше 1 мм. В 2005 году эта технология была успешно освоена в НПО «Сатурн» для изготовления облопаченных дисков по тонкооболочным пластиковым моделям из ФПК ИПЛИТ-3.

Прямое использование пластиковых моделей в качестве формообразующей оснастки

Привлекательность прямого использования деталей, изготовленных методом лазерной стереолитографии, в качестве элементов штампов, прессформ и других функциональных узлов стимулирует непрерывный поиск новых фотополимеризующихся композиций для получения деталей с повышенной прочностью, износо- и термостойкостью, стойкостью к воздействиям внешней среды. ИПЛИТ РАН совместно с Ярцевским заводом двигателей и фирмой «Полис Систем» были выполнены работы по созданию оснастки для производства крышек автомобильного стартера. Изготовленные методом лазерной стереолитографии пластиковые детали

использовались непосредственно в земляных литейных формах. По отзывам специалистов завода, пластиковые модели выдержали 1000 циклов формовки при температуре 100°С без видимых признаков износа. Применение лазерной стереолитографии позволило существенно сократить срок изготовления формообразующей оснастки и снизить их себестоимость в два раза.

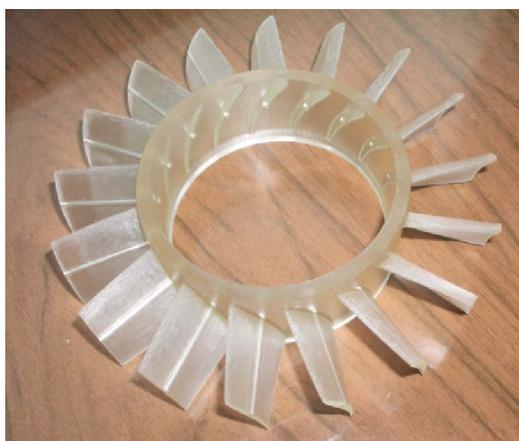
Рис. 6. Установки лазерной стереолитографии ИПЛИТ РАН: ЛС-350, ЛС-250 и ЛС-120



Применение моделей, изготовленных с помощью лазерной стереолитографии, для аэродинамических исследований

За несколько лет плодотворного сотрудничества ИПЛИТ РАН с ФГУП «ЦАГИ» им. профессора Н. Е. Жуковского был разработан целый ряд перспективных применений лазерной стереолитографии для аэродинамических исследований [4]. В ряде случаев возможно прямое использование стереолитографических моделей для аэродинамических испытаний. Технология лазерной стереолитографии позволяет оперативно изготавливать пластиковую модель лопаточного колеса с высокой точностью соответствия компьютерной геометрической форме (рис. 7).

Рис. 7. Модель лопаточного колеса, изготовленная методом лазерной стереолитографии.



Эта модель может непосредственно использоваться в стендовых испытаниях и выдерживать скорость вращения до нескольких тысяч оборотов в минуту.

Кроме этого, SLA-модели используются при изучении поведения изделий в аэродинамических трубах; для визуализации газо- и гидродинамических потоков в макетах трубопроводов, систем охлаждения и т. п.

Применение моделей, изготовленных с помощью лазерной стереолитографии, для медицины

В ИПЛИТ РАН лазерная стереолитография для медицины была впервые применена в 1994 г. в рамках проведения судебно-медицинской экспертизы по идентификации найденных под Екатеринбургом останков царской семьи, которая проводилась Центром судебно-медицинской экспертизы Минздрава РФ. Впервые в России по данным компьютерного томографа методом лазерной стереолитографии была изготовлена пластиковая копия человеческого черепа с точностью, пригодной для проведения судебно-медицинской экспертизы [5].

Современная компьютерная томография позволяет быстро создавать высокоточные трехмерные компьютерные образы различных структур и органов человека, а стереолитография дает возможность изготовить

вещественные копии этих виртуальных моделей — пластиковые биомодели. Изготовление медицинских имплантатов с помощью аддитивных технологий является ярким примером единичного производства, так как каждый имплантат делается для конкретного пациента. Только в отделении черепно-мозговой травмы НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко с 2000 по 2018 гг. у несколько сотен пациентов с дефектами костей черепа проведены реконструктивные вмешательства с использованием компьютерного моделирования и лазерной стереолитографии.

В настоящее время в ИПЛИТ РАН ведется разработка специальных биорезорбируемых фотополимерных композиций, которые позволят напрямую изготавливать индивидуальные имплантаты и матрицы на основе данных томографии для решения широкого спектра задач реконструктивной хирургии и регенеративной медицины.

Выводы

Анализ современного состояния аддитивных технологий, основанных на процессе фотополимеризации, показывает, что они не только успешно развиваются, осваивая новые ценовые сегменты, но и разрабатываются новые перспективные материалы и оригинальные применения. Последняя международная выставка современных технологий продемонстрировала значительный рост предложения недорогих персональных 3D-принтеров на основе фотополимеризации. Также важно отметить, что достижения в области формирования микрообъектов возможны пока только с помощью наностереолитографии. ■

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26).

Литература

1. Rapid prototyping & manufacturing: fundamentals of stereolithography. Ed. P. F. Jacobs. Dearborn MI: Society of Manufacturing Engineers. 1992, 434 p.
2. А. В. Евсеев, М. А. Марков. Фотоиницированная излучением ХеСl-лазера полимеризация акриловых олигомеров. Квантовая электроника. 1994. Т. 21. № 5. С. 491–494.
3. Tan D., Li Y., Qi F., Yang H., Gong Q., Dong X., Duan X. // Applied Physics Letter. 2007. V. 90 (7). P. 071106
4. Евсеев А. В., Камаев С. В., Коцюба Е. В., Марков М. А., Никитин А. Н., Новиков М. М., Панченко В. Я. // Лазерные технологии быстрого прототипирования и прямой фабрикации трехмерных объектов. Из книги: Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных и прикладных разработок. Под ред. Панченко В. Я. М.: «ФИЗМАТЛИТ», 2009. С. 333–397.
5. Абрамов С. С., Болдырев Н. И., Евсеев А. В., Коцюба Е. В., Новиков М. М., Панченко В. Я., Семешин Н. М., Якунин В. П. // Судебно-медицинская экспертиза. 1998. № 41 (3). С. 13.

РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

www.ritm-magazine.ru
ritm@gardes mash.com



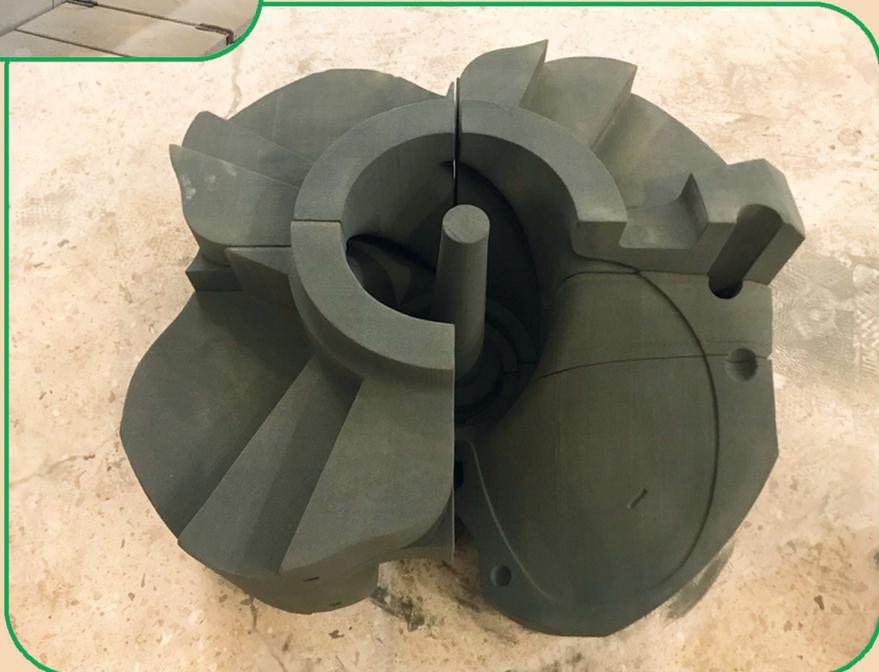
ritmmagazine



rhythm_of_machinery



**ПРОИЗВОДСТВО
3D-ПРИНТЕРОВ
ДЛЯ ПЕЧАТИ
ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ
И ПЕЧАТЬ
ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ**



ООО «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Константинова,
д. 1, пом. № 14.
<https://www.add-technology.com>