

ДАЙДЖЕСТ

Производственные инновации для профи

LEAP71 – первый пошёл!

Линейка АМТ: надёжность и повторяемость

Российские разработки в АТ –
а стоит ли почитать на лаврах

ТСТ – точка современных технологий

Освещаем главные новости и тренды в сфере промышленных
аддитивных технологий, 3D-сканирования, метрологии,
автоматизации и цифровизации современных производств.

Содержание

LEAP71 – первый пошёл	6
Линейка АМТ: надёжность и повторяемость	9
Российские разработки АТ: а стоит ли почивать на лаврах? ...	15
ТСТ – точка современных технологий.....	19
Рождённые в атмосфере инноваций	30
Binder Jetting придали ускорение	33
За запасом прочности – к аддитивщикам.....	35
Смарт-часы Apple: при чём здесь Китай?	38
Неявное моделирование для аддитивного производства ...	40

Дайджест

Номер 5, июнь 2024 г.

Версия от 7 июля 2024 8:50 PM.

Страниц: 45.

Размещается на медиа-ресурсе INDUSTRY3D на некоммерческой основе.

Издатель: медиа-ресурс INDUSTRY3D, web: <https://industry3d.ru>.

По вопросам сотрудничества и рекламы пишите на info@industry3d.ru.

Редакция:

главный редактор: Дмитрий Трубашевский,

моб.: +7 (916) 950-21-89, e-mail: chief_editor@industry3d.ru;

шеф-редактор: Светлана Бакарджиева,

моб.: +7 (910) 938-25-50, e-mail: busido.63@mail.ru.

Дизайн и верстка: Дмитрий Фадеев.



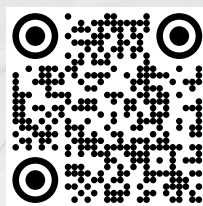


— единственный российский новостной медиа-ресурс о промышленном аддитивном производстве с **собственным экспертным мнением.**

Партнерские предложения:

Подготовка статей, обзоров, интервью, освещение важных событий.

Гибкие тарифные планы по сотрудничеству в любом формате.



Пишите на info@industry3d.ru.

<https://industry3d.ru>



Слово главного редактора



Если раньше скептиков аддитивных технологий вы, условно говоря, с трудом смогли бы разместить в кузове карьерного самосвала, а глубоко уверовавшие в возможность построить с 3D-печатью счастливое будущее легко уместились бы в кабине лифта, то сегодня ситуация заметно изменилась. Причём на государственном уровне. Правительственные чиновники уже убедились, что отечественные аддитивщики в труднейшей для этой сферы ситуации не сдались, выстояли и продолжают развиваться, несмотря на то, что они относительно молоды, в чём-то даже наивны, не имели достаточной финансовой «подушки безопасности» в последние непростые годы, но вместе с тем решительны, дерзки и амбициозны.

Очевидно, что сами по себе аддитивные технологии подобны спичкам или зажигалке, которые чудом могли оказаться на необитаемом острове у выживших после кораблекрушения. И если на острове нет деревьев и хвороста, то грош цена источникам огня. Однако если есть то, что может гореть, — то они могут стать одним из факторов выживания.

Хватит уже оглядываться на Запад в поисках источников вдохновения. Российские реалии, в которых мы все находимся, меняют жизнь продвигающих аддитивную повестку компаний, и мы с каждым днём становимся независимее и сильнее. И теперь уже — с опорой на новые меры господдержки.

Совет Федерации одобрил закон об инжиниринге и промдизайне. Теперь такие компании смогут рассчитывать на господдержку, а производители получают качественные услуги по проектированию заводов, разработке дизайна и созданию прототипов.

Готовится к открытию новая программа субсидирования части затрат заказчиков на покупку российского инженерного и промышленного софта, а также поддержки заказчиков программно-аппаратных комплексов для ускорения программ цифровизации. Экосистеме российского софта для аддитивки уже есть что предложить.

Да, многие промышленные предприятия пока осторожничают с внедрением цифровых технологий, сетуя на

недостаток финансов и отсутствие квалифицированных кадров. И это в определённом смысле объективные причины. Но также работает и человеческий стоп-фактор: топ-менеджеры многих компаний согласны на риски только при условии получения быстрого результата в виде крутого роста прибыли, работать на перспективу в течение условных пяти лет они не готовы. Да и далеко не все в регионах вообще знают о существовании на рынке нужных им цифровых решений. Здесь чувствуется в том числе недоработка интеграторов технологий 3D-печати.

Производство станков в России растёт, причём по некоторым позициям в несколько раз. Этот маркер является лакмусовой бумажкой коренных изменений в экономике страны. Мы надеемся, что такой рост произойдёт и с 3D-принтерами.

В металлообработке заметен курс на импортозамещение: по оценкам экспертов, почти 60% предприятий имеют «высокий» и «средний» уровень готовности к внедрению

новых технологий. Здесь очевидна роль инжиниринговых центров с цифровым обратным инжинирингом — невероятно большой рынок!

Часто при традиционном производстве стоимость комплектующих в России по сравнению с Китаем значительно выше, что говорит о нецелесообразности локализации компонентной базы. Ощутимую роль в затратах играет стоимость заготовок и накладные расходы. Может быть, производителям стоит обратить свой взор на аддитивные технологии с их врождённым умением выращивать заготовки, максимально близкие по размерам конечным деталям?

Наш выборочный, но вдумчивый взгляд на российские и мировые новинки и успехи только убеждает нас в правильности выбранного пути к технологическому суверенитету России, которого невозможно достичь без преодоления преград и радости решения сложных задач. Мы выстоим и обязательно справимся!

*Ваш Трубашевский Дмитрий,
главный редактор INDUSTRY3D*

**Подписывайтесь на наши группы
и каналы в соцсетях:**

Телеграм: t.me/infoindustry3d

Вконтакте: vk.com/media_industry3d

Дзен: dzen.ru/industry3d

LEAP71 – первый пошёл



clck.ru/3BfcZa

Инженеры из компании LEAP71 успешно протестировали ракетный двигатель, созданный с помощью ИИ!

Особенностью разработки двигателя керолокс (kerolox) является то, что он спроектирован с помощью большой вычислительной инженерной модели Noyron RP на основе ИИ без вмешательства человека. Практически впервые в мире при разработке двигателя такой сложности не использовалось традиционное программное обеспечение САПР.

В двигателе использовалась смесь керосина (топлива) и криогенного жидкого кислорода (окислителя). Двигатель охлаждался регенеративно через охлаждающие каналы, расположенные под углом вокруг камеры сгорания. Смешивание топлива и окислителя осуществлялось с помощью инжекторной головки с коаксиальными завихрителями.

Интересно, что весь проект начиная от выбора топлива до 3D-печати, был осуществлён за менее чем две недели. Создание же новой модели двигателя в Noyron RP с возможностями ИИ занимает всего несколько минут!

В результате испытаний двигатель мощностью 20 000 лошадиных сил и скоростью истечения газов 1530 м/с показал себя безупречного уже с первого запуска, демонстрируя его длительную работу. Время горения было ограничено только количеством доступного топлива и длилось 12 секунд.

В реализации данного сложнейшего проекта отдельно хотелось бы отметить коллаборацию нескольких компаний и института:

1. AMCM GmbH, используя собственное оборудование, помогли напечатать медный двигатель по технологии L-PBF.
2. Эксперимент производился в сотрудничестве с британской командой Race to Space из Университета Шеффилда. Ракетчики из Шеффилда предоставили множество практических отзывов и сыграли важную роль в превращении напечатанного на 3D-принтере медной заготовки в по-настоящему работающий двигатель.
3. Команда Airborne Engineering Ltd блестяще провела тестовую кампанию.

Совсем скоро команда, работающая над этим проектом, поделится с общественностью более подробными результатами своего большого труда. Множество данных, которые были получены в результате тестирования, будут переданы в Noyron RP и позволят разработчикам обучать и корректировать модель. Модель двигателя также была размещена в PicoGK – нативном геометрическом ядре компании с открытым исходным кодом.

Всё чаще сегодня в аддитивном, и в целом в инновационно мыслящем сообществе инженеров мы наблюдаем, как рутинные и даже ограниченно творческие задачи передаются и успешно решаются с помощью генеративного ИИ. Есть убеждение, что человек в ближайшем будущем будет решать стратегические задачи, а инженеры – создавать



Рис. Двигатель керолокс на испытательном стенде

новые продукты, не размениваясь по пустякам. Передовые алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта, параллельно обрабатывая огромные наборы данных и выполняя сложные вычисления со скоростью, с которой не может сравниться ни один человек, должны взять на себя задачи повторения или адаптации моделей под ТЗ и условия эксплуатации ранее спроектированного изделия. Например, зачем каждый раз перепроектировать под каждую новую задачу кронштейн, если можно единожды создать параметрическую модель с чётко прописанными связями между его элементами и уже ИИ доверить интеллектуальную и эффективную оптимизацию дизайна?

Данная работа важна как для LEAP71, большой команды соратников, так и в целом для всего производственного рынка. Революционное ПО вычислительной инженерии от LEAP71 способно генерировать сложные и функциональные проекты, и не только связанные с теорией ракет и тепловых моделей, но и различных производственных ноу-хау.

О компаниях:

LEAP71

LEAP71 предоставляет инженеринговые услуги в авангарде новой области вычислительной инженерии. В компании используют программные алгоритмы для разработки следующего поколения сложных физических продуктов. Полученные объекты могут быть построены с использованием самых передовых производственных технологий, таких как аддитивное производство.

Airborne Engineering Ltd

Airborne Engineering Ltd (AEL) была основана в 2001 году для проектирования, испытаний и производства бортового приборостроения. Ими предоставляются услуги по испытаниям ракетных двигателей, использующих различные виды твёрдого, жидкого и газообразного топлива. Они разрабатывают специальные испытательные стенды и системы управления, тестируют форсунки и сопла, оценивают эффективность новых видов топлива и материалов. Компания является одним из ключевых



Рис. Двигатель керолокс, спроектированный с помощью модели Noygon RP на основе ИИ

исследовательских центров Великобритании в области двигательных исследований и одним из ключевых поставщиков в британской цепочке поставок космических двигателей.

AMCM

Компания предоставляет решения по оптимизации стандартных L-PBF систем, доводя технологию до предела её возможностей. Например, AMCM могут заменить стандартный волоконный лазер в ИК спектре на зелёный или синий, или произвести модернизацию рабочей камеры, увеличивая её размеры.

Университет Шеффилда

Шеффилдский университет — государственный исследовательский университет в Шеффилде, Южный Йоркшир,

Англия. Шеффилд состоит из 50 академических факультетов, которые разделены на пять факультетов и международный факультет. Известный своими ведущими в мире инженерными исследованиями, университет сотрудничает с Гарвардом и Массачусетским технологическим институтом и сотрудничает с более чем 125 компаниями, включая BAE Systems, Siemens, Boeing, Rolls-Royce и Airbus. Шеффилд входит в десятку лучших университетов Великобритании по финансированию исследовательских грантов и стал номером один в Великобритании по доходам и инвестициям в инженерные исследования согласно новым данным, опубликованным Агентством статистики высшего образования.

Дмитрий Трубашевский


clck.ru/3Bg6PS

Линейка АМТ: надёжность и повторяемость

На недавно прошедших одна за другой крупнейших промышленных выставках «Металлообработка» и «Росмолд» компания «НПО «3Д-Интеграция» представила в работе свою новинку – малогабаритный однолазерный 3D-принтер АМТ-16. Это первая машина из разрабатываемой компанией линейки промышленных однолазерных и многолазерных аддитивных комплексов для послойного лазерного синтеза металлических порошковых материалов. В рамках Постановления Правительства РФ № 1649 ООО «НПО «3Д-Интеграция» получила от Минпромторга РФ субсидию на её разработку.

Редакция портала Industry3D следит за ходом реализации этого амбициозного проекта, нацеленного на создание серийно выпускаемого оборудования для аддитивного производства в нескольких модификациях, способного обеспечить высокую повторяемость технологического процесса синтеза. За подробностями мы обратились к руководителю продуктового направления L-PBF компании «НПО «3Д-Интеграция» Павлу Ладнову.

– На какой стадии сейчас находится проект? Что уже сделано?

– Активной разработкой линейки нашего оборудования – АМТ-16, АМТ-32 и АМТ-64 мы занимаемся с февраля 2023 года. В конце прошлого года мы выпустили в коммерческий доступ нашу первую установку для селективного лазерного сплавления модели АМТ-16.

И сегодня у нас уже есть как минимум два предзаказа на эту машину. Контракты подписаны с высокотехнологичными предприятиями, выпускающими наукоёмкую продукцию. Надо отметить, что мы ориентируемся именно на таких промышленных заказчиков, и потому уже в первом малогабаритном аддитивном комплексе заложены решения, необходимые для промышленной эксплуатации. Наше оборудование сейчас активно тестируется в ходе работ на сборочной площадке предприятия – мы печатаем довольно большое число образцов для различных видов испытаний с целью подтверждения гарантированных свойств синтезированного материала. К концу этого года, после завершения основной стадии НИОКР мы планируем выпустить среднегабаритный двухлазерный аддитивный комплекс АМТ-32 с габаритами рабочей области не менее 320 x 320 x 400 мм. Предполагается, что в коммерческом доступе это оборудование будет доступно в первом квартале 2025 года.

– То есть, в установленные Минпромторгом РФ сроки укладываетесь?

– Конечно! Министерство тщательно следит и за соблюдением сроков, и за тем,



Рис. Павел Ладнов у своей разработки – AMT-32

чтобы линейка нашего оборудования с полным правом могла считаться российским продуктом.

– А как обеспечивается это право?

– Компания «НПО «3Д-Интеграция» под брендом AM.TECH является обладателем полного комплекта конструкторской, технологической документации на аддитивные комплексы AMT и документации на используемое в них программное обеспечение. Каждые полгода мы обязаны представлять в Минпромторг документы строгой отчетности по реализуемому проекту, в том числе технологическую документацию. Кроме того, наше производство посещает выездная комиссия министерства, чтобы на месте удостовериться, что работы ведутся именно на нашей площадке, ведь мы здесь сами осуществляем сборку, настройку, наладку машин, а также, что мы используем комплектующие от российских поставщиков.

– Пожалуйста, назовите хотя бы нескольких из них.

– Например, автоматическая система управления у нас сделана на базе решений компании ОВЕН – известного отечественного разработчика АСУТП (Автоматизированная система управления технологическим процессом

– прим. ред.), у этого же партнера взяли определённые датчики, например, датчики давления. Всё «железо» также производится в России, заказы на него мы разместили на ряде предприятий Москвы, центральных регионов страны и Урала. У российских же поставщиков берём и тестируем модели различных защитных стёкол для камеры, оптические защитные стёкла для лазерной резки, которые подходят и для технологии L-PBF, и еще целый ряд определенных деталей.

– А как контролируете качество поставляемых компонентов?

– Сейчас на предприятии формируется отдел технического контроля, а пока что входной контроль деталей для комплексов AMT осуществляет технологический отдел, он же работает с поставщиками комплектующих, утрясает возникающие вопросы по их качеству.

Теперь что касается программного обеспечения. Как я уже упоминал, у нас используются контроллеры на базе ОВЕН. Специалисты нашей компании, многие годы занимавшиеся системами контроля и КИПиА, (Контрольно-измерительные приборы и автоматика – прим. ред.), провели серьёзную работу по программированию и прошивке наших систем. Кроме того, сотрудники, в числе которых, кстати, есть кандидаты физико-математических наук, пишут программное обеспечение для постпроцессинга, ведь задача по написанию ПО для подготовки файла работы – это больше оптимизационная, математическая задача, которую у нас в компании решают собственными силами. Совсем недавно мы получили в Роспатенте свидетельство об ЭВМ-программе. Наше решение называется программный комплекс «PrintMate».

К концу 2024 года планируем получить свидетельство от Минцифры РФ, подтверждающее «российскость» программного обеспечения для серии АМТ. В конце июля ждите анонс первого релиза нашего ПО.

– Уточним: это ОВЕНовская платформа, но кастомизированная под конкретные задачи L-PBF?

– С точки зрения аппаратного обеспечения для непосредственного управления станком – да, однако интерфейс взаимодействия оператора с оборудованием (человек-машина) всё же является нашей собственной разработкой. Здесь, например, реализован ряд решений для вывода отчёта о проведённом технологическом процессе без возможности редактирования, что особенно важно при отслеживании качества продукции в серийном промышленном производстве.

Если говорить о постпроцессоре для формирования файла работы – это полностью наша разработка, в которую внедрены определённые решения, максимально ориентированные на особенности технологического процесса L-PBF.

– Но вот лазерная оптическая система у вас, должно быть, импортная?

– С лазерной оптикой в компании ведётся серьёзная работа. Мы привлекаем профильных специалистов из отрасли оптических расчётов для её проектирования. Да, на российском рынке имеются проблемы, связанные с оптомеханикой. Точную оптомеханику, компоненты необходимого качества, связанные с прецизионным перемещением, к сожалению, в России пока не делают. При этом у производителей из дружественных стран, поставляющих

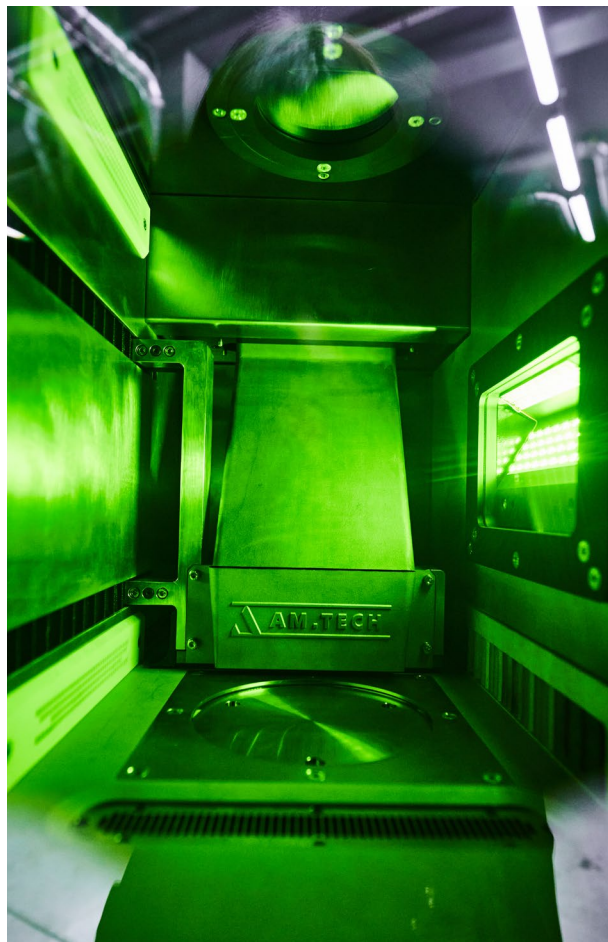


Рис. Рабочая камера АМТ-16

нам некоторые компоненты, есть другая проблема. Они могут изготовить согласно техническому заданию и чертежам всё что угодно, но вот понятийное мышление у них не очень хорошо развито. Поэтому мы, как правило, берём комплектующие – моторы, кронштейны, механику у сторонних производителей, и уже для их «железа» сами полностью пишем софт, методику калибровки лазерной системы. В нашем штате есть высококлассный специалист, руководитель нашего отдела по разработке ПО, который занимается синхронизацией систем лазер-сканатор-машина. И в этом тоже наше преимущество: если у клиента есть какой-либо особый запрос, или же возникает некая проблема, связанная с лазерной оптической системой, мы способны собственными силами быстро решить задачу в этой области.



Рис. AMT-16

– Известно, что вся линейка машин АМТ построена на принципе унификации. Пожалуйста, расскажите об этом подробнее.

– Унификация относится, прежде всего, к главной системе – лазерно-оптической. У нас все оптические расстояния, источники лазерного излучения и оптика – одинаковые, как на комплексах АМТ-16, АМТ-32, так и на будущей крупногабаритной установке АМТ-64. Что это даёт? Например, опытное конструкторское бюро, либо промышленное предприятие, которое впервые начало осваивать L-PBF, может отрабатывать свои идеи и технологические режимы синтеза на нашей доступной малогабаритной машине, оперируя лишь небольшим оборотом порошкового материала (8 литров для получения изделий на всю высоту рабочей области). А затем, при возникновении необходимости масштабирования производства, они уже могут приобрести АМТ-32 или АМТ-64 и сразу же начинать работу, ведь с их «младшим братом» они хорошо знакомы, навыки и режимы наработаны, и при этом для технолога в несколько раз сокращается количество итераций по подбору параметров.

– Итак, линейка принтеров АМТ – это оригинальная разработка компании «НПО «ЗД-Интеграция». И всё же ваши конструкторы и технологи наверняка отталкивались от каких-то топовых конкретных образцов, от мировых лидеров, хотя бы концептуально. Каких именно, если не секрет?

– Прежде всего мы опирались на богатейший профессиональный опыт наших сотрудников, в частности, тех, кто связан с программным обеспечением. Благодаря им мы реализовали в проекте очень много интересных функций, именно в нашем слайсере и системе управления оборудованием. Не меньший вклад внесли наши технологи, – а у нас в команде – именно практикующие технологи, с огромным опытом работы с европейским оборудованием топ-класса, в основном от двух ведущих европейских производителей: EOS и SLM Solutions. Именно на такие образцы они и ориентировались, досконально разбираясь в особенностях и преимуществах этого оборудования, зная в деталях, как оно устроено и работает.

Вот таким подходом к проектированию всей продуктовой линейки с опорой на собственные знания и навыки работы на установках от ведущих мировых производителей мы отличаемся от многих производителей в России. Сошлюсь, для примера, даже на собственный опыт: я более пяти лет проработал в сервисной службе и службе технического контроля немецкой компании SLM Solutions. У нас есть технологи с 7–10-летним опытом работы на установках EOS. Есть в нашей команде и специалисты, которые обучались во Франции, защитили там дипломы, поработали в этой стране на лучшем европейском оборудовании.

Поэтому мы хорошо понимаем, чего хотим от оборудования, когда проектируем его.

– Это ваше преимущество – на уровне идей и концепции. Но ведь разработать нечто новаторское и даже создать прототип – это ещё полдела, поскольку на стадии воплощения идеи всё будет упираться в качество изготовления самих критических компонентов...

– За разработку новаторских решений и создание прототипа у нас отвечает конструкторский отдел – это ядро нашего подразделения по разработке. Инженеры-конструкторы создают тот основной «скелет», на который нанизываются остальные решения. Без надёжного «скелета» невозможно говорить о надёжности всей системы. Качество начинается прежде всего с качества проектирования на стадии чертежей и моделей. Внимательный подход к деталям на данном этапе существенно сокращает количество брака при изготовлении и сборке компонентов наших установок.

В этом плане отмечу, что сейчас технологи, которые занимаются именно «железом», и специалисты конструкторского отдела пришли с предприятий ОПК и атомной отрасли. Они знают, как построен процесс входного технического контроля деталей, чему мы уделяем большое внимание. Кроме того, имея опыт работы, в том числе в качестве сервисных инженеров европейских машин, мы знали, какие приборы необходимо применять для, например, калибровки, контроля, сборки той же лазерно-оптической системы. Такие приборы у нас также имеются.

Согласно всем российским нормативным документам методики испытаний



Рис. Диффузор, напечатанный на AMT-16

установок мы выполняем периодические и приемо-сдаточные испытания. Сейчас заканчиваем разработку технических условий на оборудование и программ методики испытаний. Тем самым мы действуем в понятийных рамках наших крупных промышленных предприятий. Если на любом этапе производственного процесса что-то пойдёт не так, то по документации, или фиксации каких-то отклонений, мы можем отследить, где была допущена ошибка, и на что она может повлиять. И этот момент также отличает нас от ряда производителей: ведь до сих пор многие отечественные компании либо не уделяют должного внимания конструкторской документации, либо недооценивают важность тестирования установок перед отгрузкой заказчику.

Также хочу обратить внимание, что многие наши конкуренты из числа отечественных компаний преподносят как преимущество то, что для каждого заказчика они отрабатывают на каждой машине режимы по-новому, даже при использовании одного и того же материала. Мы же взяли себе за правило: наши одинаковые аддитивные комплексы с набором одних и тех же параметров и функций должны печатать одинаково, в какой бы регион страны и мира мы их ни отгрузили.

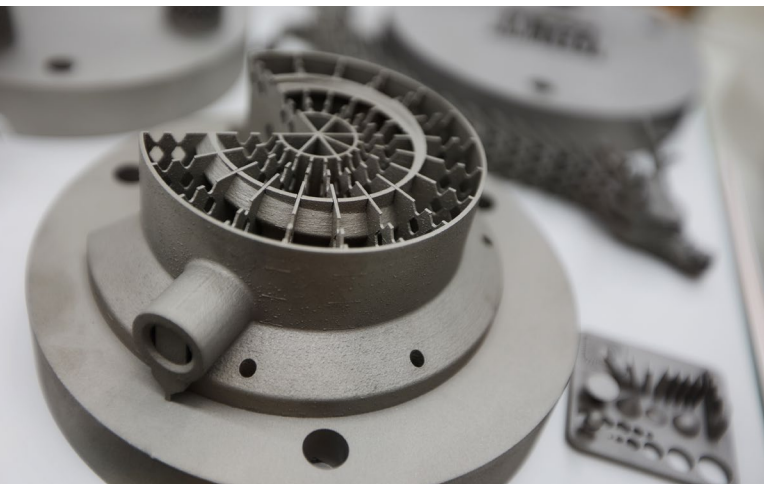


Рис. Демонстрация сложной 3D-печати

– Но, может быть, не так уж и неправы те, кто кастомизирует свои продукты под конкретного потребителя? Ведь у каждого из них – разные условия в производственных помещениях, да и внешние факторы вроде железнодорожной магистрали или аэропорта поблизости могут влиять на работу оборудования...

– Как правило, если мы говорим про промышленный сегмент, то у нас формируется документация, в которой, помимо прочего, содержатся определённые требования к состоянию производственного помещения – его температурному и влажностному режиму, защите от вибраций, к окружающей среде и т.д. Их соблюдение позволяет обеспечить безупречную работу оборудования и получать на выходе продукцию с требуемыми качественными характеристиками. То есть, у нас реализованы в этом плане те же подходы, что и у топовых производителей во всём мире. При заказе нашего оборудования мы предоставляем заказчику подробную инструкцию по монтажу и подключению, где прописаны такие требования. Есть определённый файл режимов, и если вы, к примеру, выпустили 100 единиц принтеров одной модели, то на всей этой сотне машин этот

файл должен выдавать примерно одинаковый результат при соблюдении условий эксплуатации и требований технологического процесса.

Кстати, для крупных отечественных промышленных компаний, которые уже прошли стадию изучения и тестирования АТ и теперь готовы их внедрять в свои стандартные производственные цепочки, важно, чтобы при покупке ими нескольких десятков установок одной модели на них была обеспечена безусловная повторяемость. И вот именно таких возможностей, к сожалению, в России пока никто не подтвердил. Мы же позиционируем себя как компанию, которая может войти именно в этот сегмент рынка благодаря производимому оборудованию стабильного качества.

– Среди опытных станкостроителей ещё до появления утверждённых критериев, по которым оборудование относят к произведённому в России, негласно считалось: чьего производства шпиндель и направляющие установлены в станке, та страна, по-хорошему, и должна считаться производителем станка. А у аддитивщиков есть подобные неофициальные маркеры для определения страны происхождения принтеров?

– У нас это можно сказать про лазеры и сканаторы. В установках АМТ они – российские. Мы используем лазеры, собранные во Фрязино, их поставляет НТО «ИРЭ-Полюс». Так что даже сервис источников лазерного излучения у нас находится под боком. Что касается оптики, то, как я уже говорил, механику используем иностранную, но она не является самым критичным компонентом в принтере. Главное – это то, что у нас свои чертежи на линзы и своё программное обеспечение для калибровки и синхронизации.

– А как насчёт других комплектующих? Каково у вас соотношение отечественных и зарубежных деталей?

– Тоже стараемся по возможности брать их у отечественных поставщиков. Но здесь надо понимать, что ряд комплектующих, связанных с датчиками, контролирующими различные параметры, ряд компонентов по электрике и автоматике до сих пор в России не производится. До недавних пор считалось, что их производство нецелесообразно из-за малых объёмов рынка. Теперь, конечно, остро встал вопрос об импортозамещении. А пока мы закупает необходимые компоненты в дружественных для нас странах. Мы ведь не являемся производителем полного цикла, да и не ставим себе задачи стать таковым – пока нецелесообразно закупать парк дорогостоящего оборудования для производства относительно небольшого модельного ряда и количества выпускаемого аддитивного оборудования. Как показывает мировая практика, в современном мире предприятия полного цикла редко бывают высокоприбыльными.

Что касается соотношения отечественных и иностранных компонентов в наших установках, то сегодня можно говорить примерно о соотношении 50/50. Мы, конечно, планируем увеличить долю отечественных деталей и сейчас усердно работаем над этим.

Кстати, недавно на youtube канале AM.TECH вышло видео, где мы рассказываем и отчасти показываем особенности сборки и разработки нашего оборудования, и, хотя это видео носит откровенно рекламный, маркетинговый характер, в первом приближении

оно даёт понять нашу философию и объём работы, которую мы делаем в рамках данного проекта. Хочу дополнительно отметить немаловажную деталь – в любом сложном проекте самым важным, по моему мнению, является команда, те люди, которые создают и реализуют свои идеи и смотрят в одном направлении. Сейчас в компании «НПО «ЗД-Интеграция» создана поистине уникальная для России команда высококлассных специалистов, которым по силам решение самых трудных и серьёзных задач в отрасли аддитивного машиностроения.

От редакции: В первой части публикуемого интервью мы практически не коснулись используемых в проекте АМТ ноу-хау, конкурентных преимуществ этой серии и путей их достижения. Обо всём этом подробно расскажем во второй части нашей публикации.

Светлана Бакарджиева

+7 (495) 108 60 68
office@am.tech

AM.TECH
Additive Manufacturing Technologies

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ
ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА

am.tech

AMT-16

МОЩНЫЙ ЛАЗЕР В КОМПАКТНОМ КОРПУСЕ
для гибких подходов к производству



clck.ru/3BgAKR

Российские разработки АТ: а стоит ли почивать на лаврах?

Масштабное маркетинговое исследование рынка технологий аддитивного производства (АП), выполненное при поддержке команды Клуба аддитивных технологий (КАТ), воодушевило уже многих российских разработчиков и заставило инвесторов и машиностроительные предприятия с более предметным интересом обратить взоры на ускоряющееся развитие альтернативного производственного инструмента.

Мы же не думаем, что все настолько увлечены и уверовали в индустрию аддитивных технологий (АТ), что принимают её как должное и как бесспорно рентабельный инструмент создания конкурентноспособной продукции? До сих пор многие предприятия не слышали о АТ, или обожглись при первом касании, даже не поднявшись на высоту для крейсерского режима полёта.

События последних лет очень сильно ударили по отечественной аддитивке: все интеграторы и интернет-магазины вынуждены были пересмотреть ассортимент предлагаемых товаров и услуг, переориентируясь на китайских и российских производителей. Те продавцы,

которые и до известных событий плотно работали с поставщиками из Поднебесной, ничего не потеряли, и для них ничего радикально не изменилось, разве что два основных момента:

1) Ввиду ухода с отечественного рынка таких игроков, как EOS, 3D Systems, Concept Laser, SLM Solutions и других, все в срочном порядке стали изучать ассортимент и технические характеристики продукции китайских BLT, Farsoon, Eplus, HBD, TPM3D, новичков Riton и многих других. Те компании, которые имели китайские бренды в своих продуктовых линейках, ощутили повышенное внимание и, как следствие, получили больше реализованных проектов,

2) С другой стороны, всё большее проникновение китайских компаний на рынок РФ создало быстрорастущую конкуренцию, заставляющую российских интеграторов/поставщиков мериться силой (порой, ощутимо демпингуя) друг с другом в конкурсных процедурах (тендерах).

Как следствие, те, кто раньше концентрировались на премиальных брендах родом из США и ЕС, вовлекая свою паству в веру в превосходство Запада над Азией в технологичности оборудования, в новых условиях были вынуждены начать всё сначала. И вот последние начали заново изобретать методику продаж и продвигать теперь уже китайские продукты (ранее они, сравнивая качество оборудования, любили проводить параллели с попыткой сравнить Mercedes и «Жигули»), подмешивая к ним российские марки.



Рис. Настольный L-PBF принтер Riton MLAB

Российские разработчики 3D-принтеров сегодня очаровывают как интернет-магазины, интеграторов, так и предприятия. Почему это происходит – нетрудно догадаться:

- ▶ Локализация производства, доходящая до 80 и более процентов.
- ▶ Близость разработки и инженерных центров, как следствие, быстрая сервисная поддержка.
- ▶ Удовлетворяющая запросы предприятий конфиденциальность и НИОКР с помощью российских инженеров (по понятным причинам Китай здесь проигрывает всухую).
- ▶ Гибкость в плане адаптации своих решений под требования производств заказчика.
- ▶ Полная ответственность за отработку технологии на российском оборудовании на российских материалах, одобренных заказчиком.
- ▶ Коллаборативная активность между отечественными разработчиками оборудования и программного обеспечения, производителями материалов, отраслевыми институтами и органами государственной власти.

Казалось бы – вот она, формула счастья, наконец найдена! Если бы не... могущество Китая, своей экспансией разрушающего экономики менее развитых в технологическом аспекте стран. Не будем лукавить и посмотрим правде в глаза: Китай при сложившейся на сегодня политической обстановке невозможно обогнать. Для аддитивщиков достаточно посетить выставку TCT Asia 2024, прошедшую уже в четвёртый раз в начале мая в Шанхае. Она дышит в спину лидирующей отраслевой выставке Formnext, ежегодно проходящей во Франкфурте-на-Майне (мы вернёмся к обсуждению общей атмосферы и новинок на TCT Asia 2024 в следующей статье). Шанхай сегодня демонстрирует «фейерверк» технологий АП, «переваривание» идей (технологий, схем) западных брендов и реализацию про-

изводственных инструментов в разы дешевле. Стоит только появиться в мире новому прогрессивному бренду и показать своё оборудование на одной из выставок, как в Китае за короткий промежуток времени станут появляться вполне себе сносные клоны.

Этап копирования популярных АТ в Китае перешёл из количественного в качественный:

- Появляются 64-х лазерные L-PBF-системы;
- Хотите настольный L-PBF 3D-принтер – пожалуйста;
- А, может быть, вам нужен неплохой 3D-сканер по цене двух средних зарплат в России – держите!

Теперь уже сложно поспорить с тем, что Китай и в АТ становится мощнее с каждым месяцем. И если сегодня мы, как говорили в начале статьи, видим должное внимание к российским разработчикам и гордимся этим, то что может произойти завтра, когда несравненно

бóльшая маржинальность при работе с Китаем разорвёт связи отечественных проектов с интеграторами и интернет-магазинами? А бизнес, как известно, идёт туда, где можно заработать больше. Смогут ли наши разработчики снизить цены, увеличить дилерскую скидку и так же, как Китай, быстро реагировать на потребности рынка, копируя лучшие мировые разработки? Попробуйте сами для себя ответить на этот вопрос.

И как же быть, спросите вы? Ответ здесь может состоять в государственном регулировании и кратном усилении протекционистской политики в отношении отечественных производителей. То есть, в тех мерах, которыми оперирует любое государство, заботящееся о собственном технологическом суверенитете.

Отечественные разработчики, будьте бдительны, будьте успешны!

Дмитрий Трубашевский



ТСТ – точка современных технологий



clck.ru/3BhLyr

С 7 по 9 мая 2024 года в китайском Шанхае в Национальном выставочном центре (National Exhibition and Convention Center) прошла десятая – юбилейная выставка ТСТ Asia 2024. Поговаривают, что она стала одной из ведущих выставок, посвященной аддитивной и околоаддитивной теме: проектированию, аддитивному производству (АП), инновациям, бизнесу, и в целом базе для экспертного, делового, и любительского общения.

Конечно, известность выставки во многом обусловлена влиянием именно ТСТ Group, принадлежащей компании Rapid News Publications Ltd, которая уже 30 лет по праву признается одним из ведущих сообществ в области АП. Бренд ТСТ котируется в Европе, Северной Америке и Азии, а его владельцы нацелены на развитие глубокого всестороннего понимания реального потенциала аддитивных технологий (АТ) для инженеров на всех этапах проектирования и производства. Приоткроем тайну этой аббревиатуры, означающей буквально «технологии сжатия времени» (Time-Compression Technologies).



Рис. Шанхайский национальный выставочный центр

В Шанхае в 2024 году ТСТ собрала на 40 тыс. кв.м. мотивирующих докладчиков, более 400 компаний-экспонентов и почти 24 000 посетителей (для примера, выставка «Металлообработка-2024» имела экспозицию на 50 тыс. кв.м.).

Мы постарались найти в Интернете что-то похожее на объективность и полноту картины, чтобы нашим взыскательным читателям было интересно окунуться в комфортную среду профи и получить достаточно чёткое представление о прошедшем мероприятии. Мы честно искали и... Нашли только велеречивые, в духе кавказских тостов, сравнения ТСТ Asia 2024 с Formnext (впрочем, не подкрепленные сколько-нибудь значимыми обзорами), субъективные зарисовки компаний-экспонентов или же явно заказные статьи.

Мы уже высказывали своё экспертное мнение в статье «Российские разработки в АТ – а стоит ли почивать на лаврах?» о том, что может сложиться с российским рынком АТ в условиях всё более нарастающего присутствия китайских компаний, если отечественные аддитивщики, окрылённые первыми заметными успехами, позволят себе хоть на миг



Рис. Диаграмма развития основных АТ в мире, млрд евро (AMPOWER 2024)

самодовольно расслабиться. Все ли понимают серьёзность текущего момента и ближайших перспектив: разработчики, инвесторы, чиновники? Во всяком случае, как можно точнее оценивать потенциал и видеть векторы развития наших основных партнеров, как, кстати, это делает Китай, крайне важно. Посещение такого рода выставок должно войти в базовые настройки наших аддитивщиков, а решения, принимаемые на базе анализа увиденного и услышанного, – максимально оперативными.

И, наконец, нелишним будет дополнить наш обзор некоторыми интересными данными из аналитического отчёта AMPOWER 2024. Согласно их представлению, производители основных АТ из Азиатско-Тихоокеанского региона заметно опережают своих конкурентов из США и ЕС, показав рост продаж оборудования примерно на 13,5%. США при этом выросли на 11%, а в ЕС наблюдается спад на 0,3%! Возможно, мы с вами становимся свидетелями падения исторической родины технологии L-PBF, как это ни печально осознавать. Но ЕС может спасти синергия с другими странами на основе передачи ими своего опыта и получении взамен растущих и очень ёмких рынков. Ну, а мы исследуем Китай, с его маниакальной работоспособностью, молниеносным копированием и даже улучшением лучших мировых разработок желанием и экспансией на рынках всего мира.

Итак, в нашем обзоре мы принципиально проигнорировали направления 3D-печати, придающие ей бескаркасность, воздушность, а также её применения в сферах моды и развлечений. У нас – только хардкор, сугубо промышленные применения, центры дорогостоящих и перспективных разработок, уникальные материалы и изделия!

Уже неоднократно отмечалось, что TCT Asia версии 2024 года была пронизана технологиями по металлу. Трудно с этим не согласиться, поэтому начнём именно с этого направления.

BLT

На выставке BLT представила сразу три модели: BLT-S400, BLT-S450 и BLT-S800, продемонстрировав крупноформатную 3D-печать деталей в режиме реального времени. Гигант BLT-S800, оснащенный 20 лазерами, строит детали примерно в 2,94 раза быстрее, чем его младший коллега по цеху с восемью лазерами.



Рис. BLT-S800

Вполне закономерно, что, идя навстречу пожеланиям заказчиков, BLT увеличивает не только габариты печати, производительность за счёт установки 4, 6 или 8 лазеров в базе, но и предлагает различные усовершенствования, которые делают работу проще, продуктивнее и менее человеко-зависимой. Например, уже не редкостью является двунаправленная система динамического распределения порошка; интеллектуальное определение контуров деталей, обеспечивающее автоматическую многоступенчатую регулировку скорости для оптимизации эффективности распределения порошка; увеличение толщины печати до 100-120-150 мкм с повышением эффективности построения без ущерба для качества; оснащение модулем видеомониторинга с машинным обучением в режиме реального времени для контроля качества; интегрированная и модульная система циркуляции порошка для адаптации к различному оборудованию или производственным линиям; печать с углами к платформе менее 30°.

Поясним это на примере изготовления топологически оптимизированного титанового кронштейна размером 230×235×238 мм, для печати которого ранее требовалось 36 часов при толщине слоя 60 мкм. BLT перешла на печать более толстым слоем в 100 мкм, завершив процесс всего за 19,5 часов.

Eplus3D

Пожалуй, если можно себе представить китайского монстра-Годзиллу среди L-PBF-принтеров, то на сегодняшний момент бесспорный претендент на этот статус – 64-лазерный металлический 3D-принтер Eplus3D EP-M2050 с габаритами печати 2050×2050×1100 мм (с настраиваемой осью Z до 2000 мм).



Рис. Титановый кронштейн с радикальным снижением времени построения с 36 до 19,5 часов (BLT)

Должно быть, в качестве широкого жеста в адрес менее состоятельных заказчиков Eplus3D предлагает данный принтер также в модификации с 36 или 49 лазерами. Подумайте несколько раз, стоит ли так «скромничать», приобретая венец инженерной мысли металлического синтеза на подложке не в полной комплектации: берите от этой платформы сразу всё по максимуму.

Следуя традициям увеличения производительности, теперь и Eplus3D предлагает расширенный диапазон толщин слоя 20–120 мкм, что делает такие решения идеальным выбором для тех отраслей, где качество, точность и производительность производства являются приоритетом.



Рис. Тридцать шесть «танцующих» лазеров EP-M2050 (Eplus3D)



Рис. Часть системы активного охлаждения диам. 1940×240 мм, напечатанная на EP-M2050. Обратите внимание на ячеистые структуры в теле детали (Eplus3D)

Этот вендор невероятно сильно активничает на аддитивной арене, вступая в схватку с другим столпом рынка АП – компанией Farsoon.

Farsoon

Сами Farsoon весьма почтительно относятся к Eplus3D, отмечая, что те не просто ввязались в гонку лазеров, а показали именно зрелость отрасли, целостный портфель дополнительных продуктов для 3D-печати. Их 12-лазерный 3D-принтер по металлу FS811M является мощным трудягой, флагманом среди линейки систем с 6, 8, 10 или 12 волоконными лазерами по 500 Вт. В компании отмечают, что в последний год они стали наблюдать быстро расширяющееся применение крупноразмерной 3D-печати металлом в аэрокосмической, нефтегазовой, энергетической и автомобильной отраслях. Клиенты отрасли предъявляют всё более высокие требования к эффективности производства, надёжности и

большому размеру печати. Сочетание 12 лазеров и высокоскоростной гальванометрической системы обеспечивает скорость печати до 300 см³/ч, а стратегия мультилазерного сканирования предназначена для высокоэффективного распределения и точности калибровки в перекрывающихся областях.

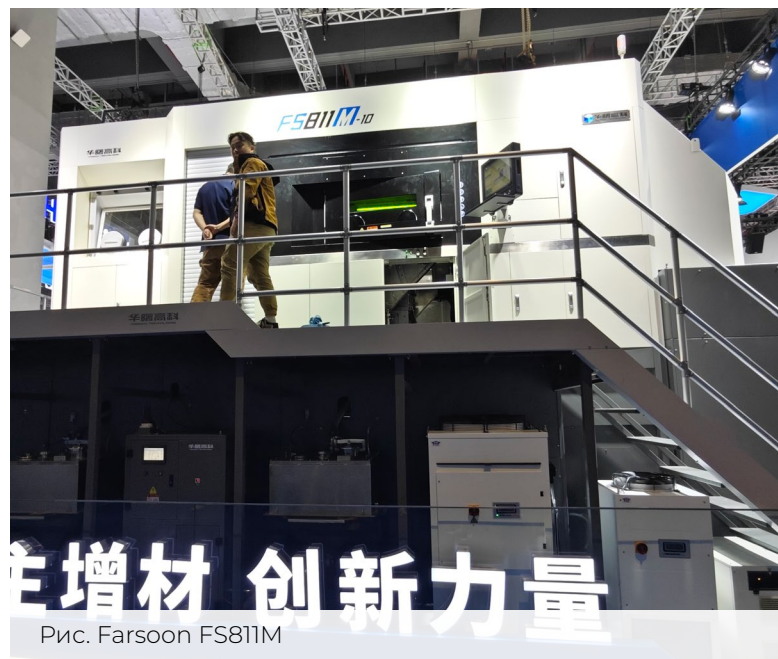


Рис. Farsoon FS811M

Для удобства эксплуатации используется встроенная конвейерная система, позволяющая загружать, перерабатывать и просеивать порошок.

Кроме того, Farsoon представила собственную систему управления производством (MES), предназначенную для оптимизации АП металлов и полимеров с помощью единой операционной системы собственной разработки. Она включает сбор, визуализацию и анализ данных для максимального использования ресурсов и повышения операционной эффективности.

Компания также выпустила ПО для проектирования форм для обуви, которое способно интеллектуально рассчитывать и настраивать расположение отверстий в формах для обуви, сокращая время производства, улучшая эстетику моделей.

Еще один тренд, в который «ввязалась» Farsoon, – это сокращение количества поддержек, как этого уже добились такие известные компании, как EOS, Velo3D, AddUp. Новый подход позволяет сократить количество поддержек до 99,8%, что способно повысить эффективность постобработки на 125%.

Kings 3D

Компания Kings 3D известна в России прежде всего своими принтерами по фотополимерам (SLA), но в последнее время она стала очень активна и в других направлениях АП, что и подтверждается приобретением ею профильных компаний или собственными разработками оборудования по технологиям FFF, FGF, SLS, L-PBF (в том числе мультиматериальной, благодаря разработкам Guangzhou Laseradd Additive Technology Co., LTD). Просматривается очень яростное желание компании присутствовать во всех популярных



Рис. Пример металлической продукции, напечатанный на 3D-принтерах Kings3D

сегментах, прямо-таки имперские амбиции догнать такого мультитехнологического лидера, как 3D Systems.

LiM Laser

Tianjin LiM Laser Technology Co., Ltd. (LiM Laser) показала на выставке LiM-X400M одно из лучших и экономически эффективных на сегодняшний день решений для производства пресс-форм, корпусов для носимой электроники, автомобилестроения, авиастроения, медицины и других требовательных к выпускаемой продукции отраслей промышленности. Мы уже писали о первой инсталляции младшей модели LiM-X260E в статье «LiM Laser: просто, как Plug and Play».

В системе используются три лазера мощностью 500 Вт, двунаправленная система укладки порошка и уникальное ПО собственной разработки, позволяющие в рамках одного проекта печатать детали с разной высотой слоя, а также различные датчики, извещающие пользователя о важных ситуациях в работе.

Также был представлен очередной Годзилла LiM-X1500HF с монструозными размерами камеры построения 1500×1500×1650 мм с 16-ю или 20-ю лазерами мощностью 1000 Вт и скоростью печати, достигающей 500 см³/ч!



Подготовьте только собственную электростанцию, ведь для питания такого гиганта потребуется до 160 кВт электроэнергии! Оборудование ориентировано на потребителей из авиастроения и ракетно-космического комплекса, которые, как одни из наиболее требовательных заказчиков, могут себе позволить и не такие энергозатраты, но будут крайне внимательны к обработке таких материалов, как различные суперсплавы, алюминиевые, титановые, медные, магниевые сплавы и другие.

Очень представительным у компании выглядит модельный ряд, например, по L-PBF-технологии предлагается 14 машин, четыре – по L-DED (P), четыре – по DED (W). Другими словами, LiM Laser сегодня способна обеспечить абсолютно любые потребности как в плане качества, так и производительности и себестоимости получаемой продукции благодаря беспрецедентно внушительному модельному ряду оборудования и технологий по обработке металлов и сплавов.



Рис. Огромный LiM-X1500HF от LiM Laser



Рис. Полимерная и металлическая печать для стоматологии на оборудовании компании Riton

Riton

Компания Guangzhou Riton Additive Technology Co., Ltd. имеет достаточно хорошую известность на территории Китая, но российский пользователь начал знакомство с ней только в последние 1 – 1,5 года. Riton была основана в 1997 году и специализируется на лазерных технологиях, 3D-печати и инновациях в цифровой стоматологии. Они первыми в Китае предложили L-PBF технологию по металлам в стоматологической промышленности.

Их «разрывающая» все стандарты разработка, которая была представлена на выставке, – настольный (600×600×800 мм) L-PBF-принтер MLAB, созданный специально для зуботехнических лабораторий. Область печати диам. 100×80 мм, лазер на 250 Вт, печать на титане, нержавеющей стали и кобальт-хроме – всё это будет вполне достаточно для мира стоматологии. Цена в Китае на оборудование нам известна, но пока не понятно, как будет строиться ценовая политика дилерами в России. Однако ясно одно, что это «шах и мат» многим разработчикам подобного оборудования, в том числе и в России, – приходит новый стандарт цен, компактности и простоты использования. Компания предлагает законченное решение, включающее проприетарное ПО, принтер, пылесос, печь, генератор азота, мини пилу.

Sailong

Компания Xi'an Sailong AM Technologies Co., Ltd представила новую серию оборудования для селективной электронно-лучевой плавки/синтеза на подложке SEBM. Являясь одним из немногих производителей подобных систем, компания успешно обращает внимание на себя, конкурируя с решениями известного поставщика Colibrium Additive. Минимальный диаметр луча составляет менее 100 мкм, срок службы нити накаливания — более 500 часов, а температура предварительного нагрева — до 1100° и выше.

Sailong также представила серию оборудования для плазменной плавки и центробежного распыления быстровращающейся литой заготовки (Plasma Rotating Electrode Process, PREP), которая применяются только в E-PBF/EBM, в остальных разновидностях PBF практически не представлена. Сферичность порошка превышает 95%, а общее содержание кислорода в процессе изготовления порошка составляет менее 100 ppm.

На своем стенде Sailong уделила максимум внимания медицинской ортопедии, использующей пористые сплавы тантала и циркония-ниобия.

Для автомобильной промышленности Sailong продемонстрировала множество

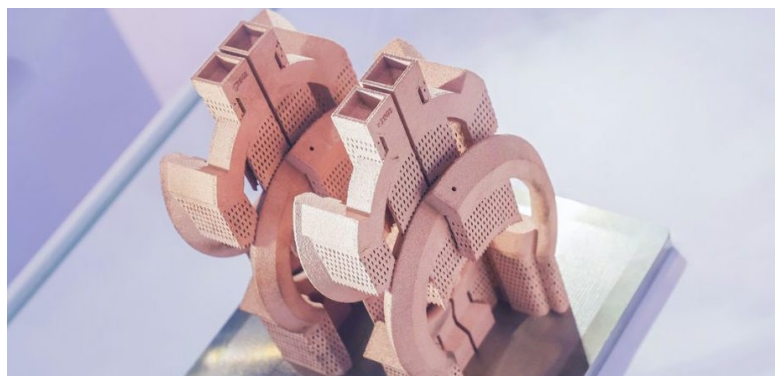


Рис. Медные индукционные катушки (Sailong)

сложных конструкций, а также медные индукционные катушки. По сравнению с традиционными процессами срок службы катушек увеличивается в 2 – 3 раза, потребление энергии снижается на 15 – 20%, а цикл изготовления отдельных деталей сокращается примерно на 85%.

В аэрокосмической области Sailong представляет титано-алюминиевые лопасти с минимальным количеством поддержек, демонстрируя уникальные преимущества и инновации в применении технологии для хрупких и склонных к растрескиванию материалов, таких как тонкостенные, титан-алюминиевые, тугоплавкие металлы и сплавы.

KOCEL

Компания KOCEL MACHINERY LIMITED (KOCEL) имеет сравнительно давнюю (с 1996 года) историю и видит себя значимым трансформатором и модернизатором традиционных обрабатывающих отраслей с помощью технологий 3D-печати, инновационных роботов, принципов интеллектуальной фабрики. В корпорацию входят более 50 компаний из списка Fortune Global 500 и ведущие компании отрасли, такие как GE из США, Siemens из Германии, Alstom из Франции, Mazak из Японии, Shanghai Electric, Dongfang Electric, HEC Group, CRRC из Китая.

А вот в 3D-печати KOCEL пробует себя с 2012 года, имея на «борту» уже более



Рис. Настольный принтер Riton MLAB – потенциальный хит для стоматологических применений



Рис. Демонстрация возможностей проектирования, 3D-печати и литья KOCEL

чем 300 человек и инвестируя более 1 миллиарда юаней. Локомотив их аддитивной деятельности – это струйная печать связующим ВJ со всеми периферийными работами: оборудование; проектирование процесса литья, включая модернизацию деталей методом топологической оптимизации, обратного инжиниринга; услуги по быстрому производству песчаных форм и различных типов литья материалов, а также последующей их механообработки; прочие исследования и разработки.



FHZL

Компания Guangdong Fenghua Zhuoli Technology Co., Ltd (FHZL) была основана в 1994 году и на сегодняшний момент является ведущим производителем 3D-принтеров по технологии ВJ в Китае. Бурное распространение песчанополимерной технологии в мире произошло во многом благодаря этой компании, динамично развивающейся, успевшей завоевать доверие пользователей со всего мира. У FHZL имеется всего три центра продаж и обслуживания по всему миру и один из них – в Москве (российско-китайское СП «FHZL RUS»). В Китае компания FHZL входит в национальный рейтинг высокотехнологичных предприятий и уже предлагает пользователям: ВJ-технологии для работы с песком и PMMA, автоматизированные и роботизированные решения.

Materialise

Materialise представила комплексное программное решение, включающее крупные новые обновления известного пакета Magics 3D Print (на выставке стала доступна 28-я версия), от проектирования до подготовки данных, а также платформу CO-AM.

Традиционно уже несколько лет Materialise, являясь одним из крупнейших контрактных производителей, демонстрирует напечатанные детали из различных материалов и технологий, созданных с помощью их программных решений.

Похоже, что Magics v28 достиг своего пика развития, что позволяет разработчикам хвастаться опцией тёмной темы;). В компании налажена сквозная коллаборация с другими пакетами проектирования сетчатых структур, и в целом с DfAM.

Всегда интересно посмотреть в ретроспективе, что говорили эксперты и что произошло в настоящий момент. Пять лет назад компания Materialise опросила китайские производственные компании, чтобы оценить их интерес и отношение к 3D-печати. Опрос показал, что Китай в основном сосредоточился на прототипировании при внедрении 3D-печати и по-прежнему сомневается в готовности АП для производства конечной продукции. Фактически,



Рис. Разнообразие форм и применений у технологии ВJ (FHZL)

китайские производители опасались, что глобальное внедрение 3D-печати может даже подорвать позиции Китая как «мировой фабрики» с традиционным производством.

Сегодня же мы с вами наблюдаем совершенно другую картину, в которой Китай включился в глобальный прогресс в АП, и здесь заняв лидирующие позиции: серийное производство компонентов мобильных телефонов (например, титановых петель для Honor), корпусов умных часов (например, для Apple) – и всё это исчисляется миллионами компонентов в год.

Компания Materialise недавно запустила программное обеспечение e-Stage for Metal+, предназначенное для автоматизации создания поддержек для 3D-печати металлом.

Запуск платформы CO-AM, предоставляющей пользователю единое решение для эффективного управления традиционными и аддитивными технологиями, мог быть вдохновлен успешным решением Divergent Technologies и их адаптивной производственной системой DAPS (Divergent Adaptive Production System). Спасибо семье Czingier, которые с помощью DAPS организовали производство завтрашнего дня собственного гиперкара и БПЛА для General Atomics Aeronautical Systems, Inc.

VoxelDance

VoxelDance – разработчик ПО из Шанхая, имеет уже 7 лет за плечами. За это время компания развилась от скромного проекта, копирующего Materialise, до вполне самостоятельного продукта, устанавливающего свои стандарты



Рис. Широкий ряд предложений VoxelDance для соответствия глобальным лидерам и трендам (слайд презентации компании на TCT Asia 2024)



Рис. Компании-потребители решений VoxelDance (слайд презентации компании на TCT Asia 2024)

и находящего своего заказчика. Сегодня российскому потребителю официальное ПО Materialise закрыто, поэтому он выбирает среди немногочисленных российским продуктом, таких, как Triangulatica и Глайсер, но и часто прибегает к очень доступному «комбайну» VoxelDance.

Компания изучает опыт лидеров отрасли и заявляет о присутствии не только в CAM, то и в CAD и CAE, превращаясь из расслоёвщика файлов в поставщика решений всё-в-одном.

Уже сегодня многие китайские и некоторые глобальные бренды предпочитают решения от VoxelDance.

Creality

Компания Shenzhen Creality 3DTechnology Co., Ltd., известная, как Creality, является ведущим мировым брендом потребительских 3D-принтеров. Как они сами о себе говорят: «С момента нашего основания в 2014 году мы взяли на себя роль «евангелиста 3D-печати», приверженного инновациям, применению и популяризации технологий 3D-печати во всем мире». Но они пошли гораздо дальше своего невероятно популярного бренда Ender, расширив портфель экосистемы до 3D-сканеров, лазерных гравиров, полимерной нити, аксессуаров, универсальной платформы для 3D-печати Creality Cloud. Их достижения настолько многочисленны, что перечислять их в рамках данной статьи мы не будем, да и условились мы о том, что говорить здесь будем о промышленных применениях.

Новинка, которая нас поразила – это доступный метрологический 3D-сканер CR-Scan Raptor. В сканере используется 7 синих параллельных лазерных линий, метрологическая точность может



Рис. Creality CR-Scan Raptor

составлять 0,02 мм, скорость сканирования – до 60 кадров в секунду, размер объектов – от 5 до 2000 мм, сканирование черных/металлических объектов без матирования, 24-битное полноцветное сканирование. Вес устройства составляет всего 372 г.

В сухом остатке мы видим, насколько быстро начинают появляться высокоранговые решения, но по очень доступной цене. Такие сканеры можно применять в быту и в промышленности, получая вполне удовлетворительные результаты. Примечательно то, что китайские компании активно вкладываются в экосистемы, подпитывая новые разработки деньгами, вырученными от продаж бестселлеров. В этом смысле ситуация в России чаще всего выглядит иначе, поскольку наш рынок сбыта не такой ёмкий, да и зрелость российских разработок еще далека до идеальной.

Strongest Laser

Компания Sichuan Strongest Laser Technology Co.,Ltd. представила последние достижения в области специальных волоконных лазеров для аддитивного производства, отличающиеся высокой стабильностью, отличным качеством луча. Аппаратные и программные интерфейсы лазеров этой серии обеспечивают высокую совместимость и могут использоваться для систем печати, в том числе с несколькими источниками.

Высокий КПД до 52% уже вступает с серьёзную конкуренцию с лазерами от IPG Photonics с их 45-50%. Срок службы лазеров Strongest Laser в 5 раз дольше, чем у сопоставимых лазеров, а годовое снижение мощности составляет 1%.

Вот и подошёл наш обзор к концу. Конечно, дотошный читатель может сказать, что мы упустили то-то и то-то. По правде говоря, из 400 экспонентов найдётся еще добрых несколько десятков, а может и сотня компаний, которые стоило бы упомянуть в нашем обзоре. Раз уж никто не сделал этого до нас, то мы хотя бы постарались помочь нашим читателям не пропустить хотя бы

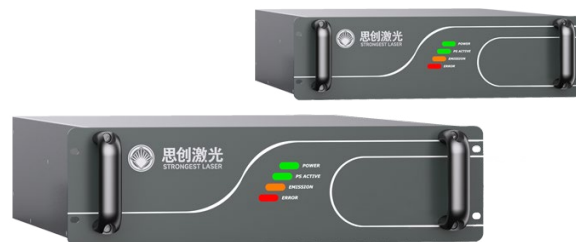


Рис. Решения Strongest Laser для систем аддитивного производства

некоторые самые значимые новинки. А тренды, на основе прочитанного, они смогут выявить сами.

Очередная выставка TCT Asia пройдёт в Шанхае 17–19 марта 2025 года. Вы уже начали планировать участие в ней?

Дмитрий Трубашевский



AXE B-11 | B-17

Оптимален для сканирования
больших объектов

AM.TECH
Additive Manufacturing Technologies

Рождённые в атмосфере инноваций


clk.ru/3BhMed

Как новые и старые культовые автомобильные бренды используют аддитивное производство в своих безупречных автомобилях.

Чтобы как следует насладиться темой спортивных, высокосложных и безупречных с точки зрения дизайна автомобилей, нам придётся обратиться к опыту двух компаний. Начнём с самой молодой, которая уже завоевала умы технологов, эстетов, и просто лихачей – Czinger Vehicles.

Czinger Vehicles и Morel придумали как «обосновать» достаточно высокую цену на гиперкар Czinger 21C, составляющую 2-2,8 млн долларов США (напомним, что 21C уже «напичкан» до предела напечатанными деталями).

Czinger, будучи производителем мощных автомобилей, «вдохнувших» в них

атмосферу инноваций с 3D-печатью, роботизацию сборки, ИИ, а также их передовую производственную систему DAPS, разрабатываемую Divergent Technologies, дочерней компанией Czinger, вступила в партнерство с компанией Morel. Имея почти 50-летний опыт разработки авангардных акустических систем, компания Morel привнесла свой опыт, мастерство и ноу-хау в этот революционный гиперкар.

По мнению экспертов, собранная вручную аудиосистема с восемью динамиками представляет собой вершину автомобильной аудиотехники. Использование титана, алюминия и композиционных материалов лишь ещё раз подчеркивает стремление компании соответствовать трендам и быть на переднем крае инноваций. Каждый динамик оснащен культовой алюминиевой решеткой, напечатанной на 3D-принтере SLM NXG XII 600 производственного центра Divergent Technologies.



Рис. Множество напечатанных деталей в Czinger 21C

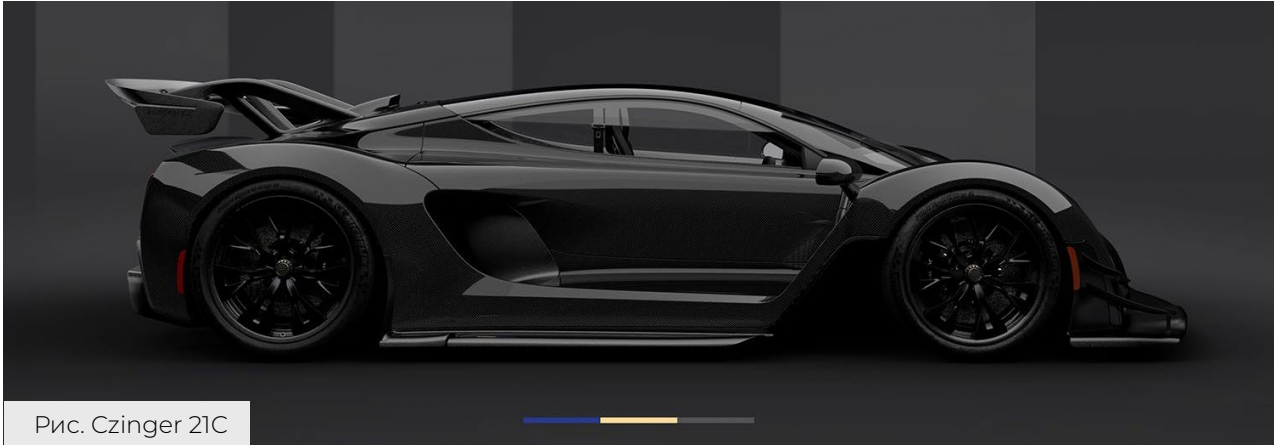


Рис. Cizinger 21C

Обе компании настолько вдохновлены совместным проектом, что с удовольствием комментируют партнёрство, как «зеркало страсти и духа» и высокий «уровень страсти к своему ремеслу». Похоже, что здесь мы действительно имеем дело с одухотворенными своими идеями разработчиками и производителями, которые подкрепляются реализацией с помощью вершины производственных технологий.

Второй проект, о котором мы хотим сегодня рассказать, касается анонса нового Bugatti Tourbillon. Автомобиль оснащается с двигателем V16 мощностью 1775 л.с., имеет три электродвигателя, несколько батарей, и невероятный дизайн, пропитанный любовью создателей до самых мелочей.

Итак, новый Bugatti Tourbillon, преемник резонансного Chiron, названный в честь турбийона – механизма, способного частично компенсировать притяжение Земли в часах. Такой механизм обычно нарочито демонстрируется в наручных часах, подчёркивая стиль и достаток их владельца. Видимо, по этому пути решили пойти и дизайнеры из Bugatti, одержимые «скелетонизированным» машиностроением.

Генеральный директор Мате Римак говорит, что компания Bugatti хоть и внедряет инновации, но остаётся преданной



Рис. Напечатанная алюминиевая решетка Morel в Cizinger 21C



Рис. Bugatti Tourbillon



Рис. Салон Bugatti Tourbillon



Рис. Приборная панель Bugatti Tourbillon, выполненная в стиле турбийона



Рис. Напечатанные титановые насадки на глушитель

традициям, наследию, мастерству, качеству и производительности. «Bugatti аристократична, и хочет оставаться в аналоговом мире», — говорит он.

Титановые насадки оригинальной формы на глушитель выхлопной системы напечатаны на 3D-принтере, а задние шины полностью открыты, что даёт визуальное восприятие супер-люксового хот-рода.

Рычаги подвески, соединенные с активными амортизаторами, также напечатаны на 3D-принтере компанией Divergent Technologies, их форма стала перекликаться с природной «бионикой», и вместе с этим они стали «жестче и красивее», чем произведённые традиционными методами.

Всем желающим приобрести этот автомобиль за более чем 4 миллиона фунтов стерлингов с максимальной скоростью 445 км/ч и разгоном в 2 с до 100 км/час придётся подождать до 2029 года, пока не будут проведены испытания в реальных условиях и налажено производство. Станьте тем самым счастливым одним из 250 запланированных купе.

Давайте с вами коротко проведём оценку двух представленных проектов. Обсуждать высокую стоимость таких уникальных автомобилей нет особого смысла. Очевидно, что аддитивным технологиям очень комфортно «обитать»



Рис. Напечатанный рычаг подвески Bugatti Tourbillon

в аквариуме уникальной единичной продукции, а вот когда речь заходит о серии – то здесь не всегда всё однозначно. Для выпуска высокосложной продукции, да еще и с объемами производства 80 (21C) – 250 (Tourbillon), «аддитивка» прекрасно «встраивается» как технологически (высокая гибкость), так и экономически (можно обойтись без оснастки). В этих проектах важно то, что известные «цзингеры» (Czinger), «маски» (Tesla), «куки» (Apple), «кэлхуны» (Boeing), и многие другие развивают компетенции в инновационных технологиях, порой, даже делая это чересчур нарочито. Они находят возможность вступать в партнёрства с теми, кто имеет большой опыт в этом, и там, где это позволяет экономика, где конструктора и технологи готовы изменить своему устоявшемуся нарративу работы только с технологиями многих десятилетий «выдержки». Дать точную рекомендацию компаниям использовать АТ для своей продукции нельзя: одни руководители спускают эту идею «на тормозах», другие же подхватят и начнут менять многие процессы у себя на заводах, но главное – мышление сотрудников. Подхватят ли этот тренд наши многочисленные отечественные предприятия? Они достойны этого!

[Смотреть видео о Bugatti Tourbillon.](#)

Дмитрий Трубашевский



clck.ru/3BhR8a

Binder Jetting придали ускорение

Исследователи из Университета Ондокуз Майис в Турции использовали адаптивную нарезку, чтобы увеличить скорость и повысить эффективность струйной печати связующим ВЈ.

В исследовании, опубликованном в журнале *Rapid Prototyping*, утверждается, что в ближайшее десятилетие безлучевая технология Binder Jetting будет развиваться быстрее, чем любая другая технология аддитивного производства.

При этом авторы исследования признают, что более широкое распространение этой технологии сдерживается из-за её более низкой скорости, чем у традиционных методов производства. Чтобы решить эту проблему, исследователи Хасан Баш, Фатих Япичи и Эрхан Эргюн использовали адаптивную нарезку и самостоятельно разработанный алгоритм с переменным количеством связующего (*variable binder amount algorithm, VBAA*).

Нарезка/расслоёвка — ключевой этап всех процессов аддитивного производства, преобразующий цифровую модель в последовательную управляющую программу/инструкции для 3D-принтера. Этот процесс обычно выполняется с одинаковой толщиной слоя. Адаптивная нарезка же позволяет создавать слои различной толщины



в зависимости от геометрии детали, повышая эффективность и оптимизируя качество поверхности.

Хотя этот метод уже давно используется в 3D-печати MEX/FFF, возможности его применения для ВЈ-технологии не были полностью изучены из-за его отсутствия в большинстве слайсеров для струйной печати. Опираясь на результаты своего предыдущего исследования адаптивной нарезки для струйного нанесения связующего, исследователи успешно произвели высококачественные детали с меньшим количеством слоев на 12,31%, чем при стандартной расслоёвке.

Для достижения оптимального результата исследователи использовали свой уникальный алгоритм VBAA, который позволил регулировать количество связующего на каждый слой. Слишком большое количество связующего, нанесенное тонким слоем, может увеличить шероховатость поверхности,

но в то же время, если связующего будет недостаточно, изготовленная деталь может легко сломаться.

Метод Тагучи, статистический процесс, применяемый для определения оптимальных характеристик конструкции, также использовался в VBAA для оптимизации толщины слоя и степени его насыщения связующим. Это обеспечило изготовление в итоге тестовых деталей с идеальными параметрами 3D-печати.

В ходе первоначального процесса проектирования было изготовлено 27 образцов с девятью различными наборами параметров. Затем измерили ширину этих необработанных образцов перед спеканием при температуре 1500°C в течение двух часов. После спекания последовали дополнительные испытания на шероховатость поверхности и плотность. Команда также исследовала эффективность доступных методов обработки изображений для измерения шероховатости поверхности.

По результатам этого первоначального тестирования определили оптимальные параметры 3D-печати, включающие толщину слоя в пределах 180–250 мкм и насыщенность 50%.

Затем для 3D-печати образца с таким диапазоном толщин слоев использовали адаптивную нарезку. Полученный образец сравнивали с двумя тестовыми образцами с «тонкими» (180 мкм) и «толстыми» (250 мкм) слоями.

В конечном итоге исследователи обнаружили, что значения шероховатости

поверхности адаптивного нарезанного образца были аналогичны значению «тонкого» слоя и превосходили значения модели «толстого» слоя.

При том, что адаптивная нарезанная деталь обладала таким же качеством поверхности, она была напечатана на 3D-принтере с меньшим количеством слоев на 12,31%, чем «тонкослойный» образец, что повысило эффективность и сократило время процесса 3D-печати.

Разработки в области Binder Jetting ведутся во многих странах. В этом плане исследование команды Университета Ондокуз Майис – одна из последних на данный момент попыток улучшить струйную 3D-печать со связующим.

Ранее команда Ок-Риджской национальной лаборатории (ORNL) разработала новый метод струйного нанесения связующего для изготовления облегченных металлокерамических деталей повышенной прочности. Этот процесс, лицензированный производителем 3D-принтеров ExOne, позволяет производить детали из карбида бора с пропиткой алюминием.

Отлично, что одна из лучших аддитивных технологий сегодня набирает обороты не только в плане топовой производительности, но также и благодаря различным программным улучшениям.

Источник: <https://3dprintingindustry.com/news/researchers-increase-binder-jetting-speeds-with-adaptive-slicing-230656/>.

Светлана Бакарджиева



AM.TECH
Additive Manufacturing Technologies

Сделано в России:
Технология Metal Binder Jetting (MBJ)
для серийного производства
металлических изделий

+7 (495) 108 60 68 | office@am.tech | am.tech

СТОИМОСТЬ ОДНОЙ ДЕТАЛИ - 250 РУБЛЕЙ



clck.ru/3BhR8a

За запасом прочности – к аддитивщикам

Есть у норвежской Norsk Titanium производственные мощности в Платтсбурге, штат Нью-Йорк. И этот американский производственный центр Norsk Titanium с некоторых пор известен тем, что здесь, используя запатентованный компанией процесс аддитивного производства с быстрым плазменным осаждением (наплавкой) металла RPD (Rapid Plasma Deposition), изготавливают детали из титана для коммерческих, аэрокосмических, промышленных и оборонных целей.

Огромный парк компании по меркам проволоочной наплавки составляет 22 современных устройства MERKE IV (4-го поколения с размером камеры построения 900 x 600 x 300 мм), производительность которых до 50–100 раз выше, чем систем на основе порошка. Ещё четыре установки собираются запустить в эксплуатацию до конца 2024 года, и тогда, как планируется, мощность 3D-печати на этом производстве составит 700 тонн/год. Запатентованная технология RPD компании – это, по сути, способ 3D-печати из сплава Ti64, обладающего свойствами, подобными получаемым при ковке.



Рис.

Важный и требовательный заказчик General Atomics не смог проигнорировать растущие преимущества АП и, согласно законам контрактного производства, обратился за серийным изготовлением в ЦАП Norsk Titanium. Теперь БПЛА Sky Guardian размером с небольшой самолёт получает часть комплекующих благодаря плазменной проволоочной наплавке. И если требования к пассажирским летательным аппаратам гораздо выше ввиду их предназначения, то для перевозки систем наблюдения и прочей полезной нагрузки они минимальны, что позволяет без долгих бюрократических процедур задействовать прогрессивные методы производства, осваивая гибкость современного проектирования без оглядки на ограниченность возможностей формовочного и металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ.

Компания General Atomics зашла в этой идее довольно далеко: она использует в своих самолётах множество деталей, напечатанных на 3D-принтере, например, соединитель крыла БПЛА. Раньше эта деталь делалась из алюминия, но теперь она печатается на 3D-принтерах

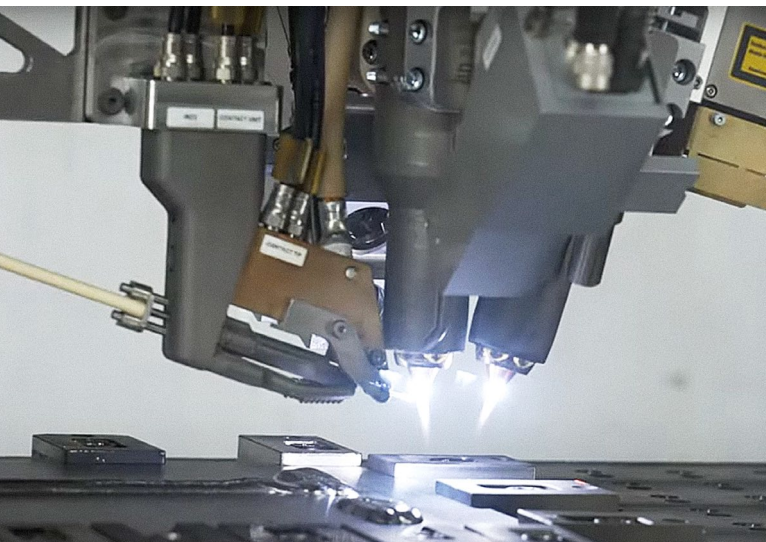


Рис. Техпроцесс плазменной проволочной наплавки RPD

из титановой проволоки. Сейчас в БПЛА SkyGuardian более 240 наименований деталей изготовлены посредством АП, при этом они пока составляют менее 1% от всей спецификации. Но даже с этой минимальной их долей компания смогла сэкономить сотни тысяч долларов на текущих затратах на эти самолеты. И если до недавнего времени большинство изготовленных с помощью 3D-печати производственных компонентов для SkyGuardian были не критичными – воздухозаборные коллекторы, крышки, кожухи и т.д., — то теперь речь идет о применении АП для дорогостоящих и критически важных компонентов. И на это решение не в последнюю очередь повлиял выбор материала.

Большинство конструктивных элементов самолета изготавливается из алюминия. Как известно, это лёгкий и относительно простой в обработке металл. Однако особенность АП состоит в том, что оно предлагает практичный способ изготовления многих деталей из титана, что на самом деле более выгодно для производства критически важных компонентов. General Atomics выделяет четыре класса качества компонентов: А, В, С и D. Класс А

предъявляет максимальные требования к качеству. Для соответствия А классу General Atomics используют титан из-за его высочайшего соотношения прочности к массе. Может показаться, что использование алюминия выгоднее по причине его высокой доступности и простоты механообработки. Однако недостатком являются его невысокие прочностные свойства, что накладывает свой отпечаток на вес компонентов. Если посмотреть на это на примере Sky Guardian, то там прежний соединитель крыла производился из алюминия и для достаточного запаса прочности имел гораздо более громоздкие размеры и вес, чем у изделия из высокопрочного титана. По этой причине и было принято волевое решение, подкреплённое экономикой, о замене критически важных компонентов титановыми.

Ни для кого не секрет, что титан является сложным в обработке металлом, на получение деталей из которого уходит много режущего инструмента. Инновационный принцип обработки титана с помощью АТ состоит в получении близких к конечной форме деталей компонентов (net-shape), что позволяет свести к минимуму изрядный объём механической обработки.



Рис. БПЛА SkyGuardian в цеху на сборке



БПЛА SkyGuardian в воздухе

Norsk Titanium разрабатывает оборудование и оснащает им свои производственные центры, опираясь на собственную технологию, обеспечивающую напечатанным деталям свойства кованных. Быстрая плазменная наплавка RPD – это процесс прямого подвода энергии и материала DED с использованием проволоки и дуги, в котором используются двойные плазменные горелки, тщательно контролируемый нагрев, а также быстрое охлаждение материала для получения деталей с однородной структурой. Технология компании даже позволяет обходиться без горячего изостатического прессования, часто требуемого после L-PBF технологии.

Также в компании активно замещают устаревшие литые заготовки больших размеров и дорогую в плане подготовки производства штамповку, особенно для производства компонентов для таких самолётов, как Airbus A350 и Boeing 787.

Процесс RPD является высокопроизводительным (5–10 кг/час), обеспечивающим высокую повторяемость деталей и

их свойств из Ti64. При умелом применении технологии производства и особенностей проектирования DfAM удастся снизить коэффициент buy-to-fly с 20/1 до 2/1. Очевидно, что превращение 90% сложно обрабатываемого титана в стружку является устаревшим и неэкономичным подходом, который нужно пересматривать при наличии более совершенной технологии RPD. Важной особенностью любой АТ является её врожденная способность обходиться без оснастки для изготовления любой партии уникальной продукции.

Отработанный процесс для одного из многочисленных заказчиков и ответственных компонентов – это цепляет и заставляет любую компанию продолжить успешное сотрудничество не только в плане контрактного производства, но и приобретения оборудования и самостоятельного изготовления. Шаги, которые делает General Atomics, – продуманные и точные, ровно такие, какими должны быть у тех компаний, кто осторожно подходит к вопросу внедрения инноваций.

Светлана Бакарджиева

Смарт-часы Apple: при чём здесь Китай?

clck.ru/3Bhno2

Apple Watch будут массово использовать металлические детали, напечатанные на 3D-принтере, от китайской компании Bright Laser Technologies.

Аналитик продуктов Apple Минг-Чи Куо (Ming-Chi Kuo) поведал миру о ситуации с внедрением Apple технологии аддитивного производства (АП). В недавнем посте в блоге, посвящённом обновлению форм-фактора Series 10 (увеличенный размер экрана до 49/45 мм, новые варианты цвета корпуса и более тонкий корпус), аналитик отметил, что начиная со второй половины 2024 года, Apple Watch будут включать в себя детали, напечатанные на 3D-принтере.

В 2023 году ходили слухи, что гигант электронной индустрии использует или планирует использовать технологию синтеза на подложке по металлам (L-PBF) для изготовления титановых деталей умных часов и алюминиевый корпус по технологии струйного

нанесения связующего по металлам MBJ. По словам Минг-Чи Куо, китайский лидер в области L-PBF – компания Bright Laser Technologies (BLT), участвовала среди прочих в «смотре» на лучшего, по жёстким критериям Apple, поставщика серийных компонентов их продукции. Как утверждалось, у 3D-печати есть те неоспоримые преимущества, которые и собирались использовать в Apple в производстве популярных часов.

Однако в этом году аналитик описывает компанию уже не как претендента на столь завидную роль, а уже как на состоявшегося производителя самих компонентов, обращая внимание на ключевое различие между BLT и её ближайшими конкурентами в технологии L-PBF – компаниями EPlus3D и Farsoon. Известно, что BLT — вертикально интегрированная компания, производящая собственные порошки и управляющая крупнейшим сервисным центром Китая. Как обсуждалось в статье «Состояние китайского аддитивного производства: краткий обзор ры-



Рис. Интеллектуальная фабрика BLT. Изображение предоставлено BLT.

ночных возможностей» от AM Research, «неназванный» поставщик услуг уже производит миллионы мелких металлических деталей для неназванной компании по производству смартфонов, что лишний раз может подчёркивать действительную работу BLT как серийного производителя компонентов Apple.

Можно уже с уверенностью констатировать, что, если Apple ранее и производила детали для своих смарт-часов одним из методов 3D-печати, прототипируя и экспериментируя на малых объёмах, то сегодня уже она явно нацелена на масштабное серийное производство. Это отражает ключевую точку входа для АП как ведущей технологии производства, — подчеркнул макроаналитик 3DPrint.com Мэтт Кременецкий.

Минг-Чи Куо также отметил, что, в отличие от технологии MBJ, L-PBF является зрелой и не требует множества экспериментов. По этой причине, когда результат нужен здесь и сейчас, уже становится понятно, что для Apple важен устойчивый и многократно опробованный техпроцесс, который они готовы доверить лучшему и опытному производителю, обеспечивающему ко всему прочему приемлемые для гиганта электроники цены. Как раз BLT и может являться такой компанией, имеющей возможность контроля полного цикла выпуска продукции. Корпуса часов не являются действительно очень сложным компонентом продукции Apple, поэтому сегодня можно представить, что Apple неспеша будет наблюдать за успехами 3D-печати по выбранной технологии, и если результат устроит всех, то дизайн будущей техники и электроники для массового производства может быть радикально пересмотрен под возможности АП.



Рис. Тестовые корпуса умных часов, напечатанные на MBJ-принтерах компании EasyMFG (Formnext + PM, Китай, 2023). Изображение предоставлено 3D Printing Industry

MBJ на текущий момент проиграла L-PBF? До сих пор нет дополнительных подтверждений об использовании MBJ. Сегодня немаловажно осознавать то, что производителей MBJ-систем гораздо меньше, чем L-PBF, что также может являться серьёзным ограничением в плане надёжности и гибкости в выборе партнёра. В прошлом году предполагалось, что претендентами могут стать компании HP, Foxconn/Triton (AMCELL Jet), EasyMFG.

В заключение можно добавить, что вне зависимости от ура-патриотизма и воинственной риторики с обеих сторон, обе страны крепко связаны экономически. И даже наличие собственных производителей 3D-принтеров по обоим обсуждаемым технологиям: 3D Systems, HP, Colibrium Additive, Desktop Metal, Markforged и ряда других, известная корпорация не готова жертвовать ни одним долларом ради собственной выгоды.

Авторская [адаптация](#).

Светлана Бакарджиева

clck.ru/3BhqMu

Неявное моделирование для аддитивного производства

Некоторое современное программное обеспечение начинает использовать новые алгоритмические принципы с целью более эффективного проектирования продукции аддитивного производства.

Что такое неявное моделирование?

Традиционное проектирование деталей с помощью твердотельного или поверхностного автоматизированного проектирования (САПР) имеет много преимуществ с точки зрения визуализации и традиционного субтрактивного производства. Однако это неидеальное решение для аддитивного производства, для которого необходима именно объёмная модель с информацией о поверхности и внутренней структуре объекта. И вот здесь как раз и возникает та самая проблема целесообразности печати деталей, спроектированных под станки с ЧПУ. Сталкивались с этим? Только в случае перепроектирования модели с добавлением ячеистых или тройных периодических минимальных поверхностей у модели есть шанс иметь удовлетворительную экономику при печати. Но будет ли готов к этому производитель, которому необходимо решить проблему здесь и сейчас? Прямое моделирование объекта, используя точки, треугольники или

параметрическую, часто твердотельную геометрию, называется явным методом, потому что в этом случае проектируемые объекты можно увидеть напрямую. Однако во многих отношениях явное моделирование поверхности не является естественным методом геометрического моделирования. Большинство объектов имеют объёмные характеристики со сложной внутренней структурой. Естественные объекты обычно имеют непрерывную форму с бесконечным количеством деталей, особенно для биологических объектов, таких как кости и кровеносная/лимфатическая система человека. Природные объекты часто формируются процедурным процессом, например, развитие человеческого тела из одной клетки.

Для описания таких объектов более естественным и эффективным методом может быть использование реальных функций вместо точек и треугольников. Неявная функция лучше отражает способ создания природных объектов и является более эффективным способом моделирования, чем явная геометрия.

Твердотельное моделирование предлагает лучшее решение, так как оно позволяет напрямую работать с областями, подлежащими печати для каждого слоя объекта. Оно может быть реализовано либо явно в виде набора вокселей и тетраэдров, либо в виде параметрических тел, либо неявно, в виде функции поля. Однако представление твёрдого

объекта в виде набора точек 3D-вокселей или набора тетраэдров может быть дорогостоящим с точки зрения требуемого места для хранения. Что ещё более важно, они не являются точным представлением. Независимо от количества используемых вокселей или тетраэдров, они обеспечивают лишь приблизительное решение.

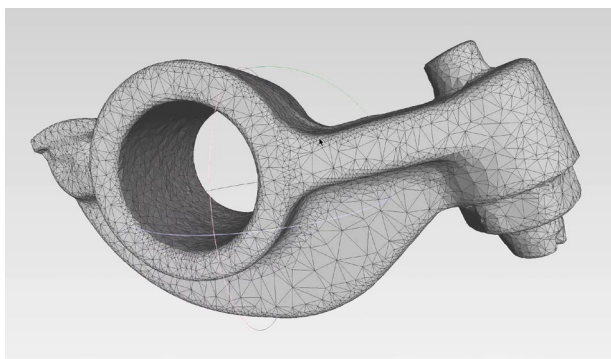


Рис. Пример явного моделирования с твердотельным представлением (B-rep) или триангуляцией. Источник: Metafold.

Неявное (Implicit) моделирование – это способ представления геометрической формы с помощью неявных функций, содержащих отношения между точками в пространстве с использованием условий или ограничений, и помогает создавать детали одновременно для аддитивного и традиционного производства, но раскрывает весь свой потенциал только при 3D-печати.

Данные о геометрии при таком моделировании хранятся в так называемом трёхмерном поле скалярных значений, где положительные значения находятся за пределами границы геометрии, а отрицательные значения находятся внутри границы геометрии.

Неявное геометрическое представление позволяет объединить геометрическую форму, цвет материала, внутреннюю структуру материала и другие требуемые атрибуты в одном описании в виде набора неявных функций. Кроме того, поскольку неявные объекты обычно

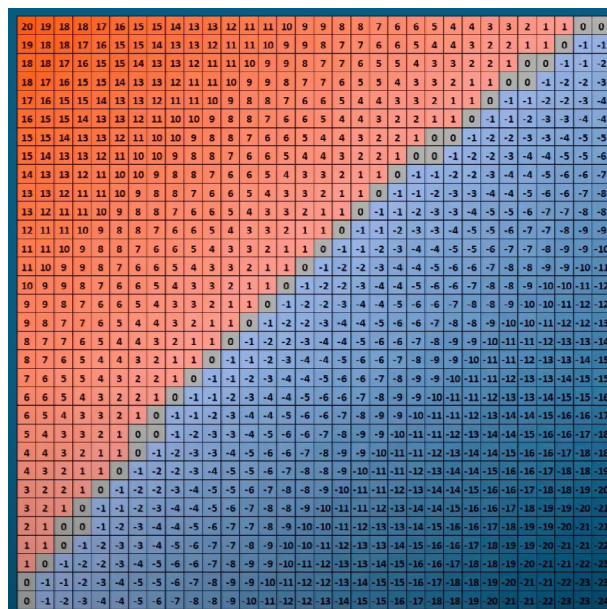


Рис. Поле скалярных значений

задаются процедурно, в их спецификациях используется очень мало данных, что делает их особенно полезными для проектирования и визуализации с помощью современных облачных мобильных устройств, которые обычно не имеют очень большого пространства для хранения данных. Наконец, неявное моделирование — это процедура проектирования, удобная для параллельных вычислений, поскольку проектирование сложного геометрического объекта может быть разделено на набор простых задач по проектированию формы благодаря наличию операций неявного смешивания с сохранением формы. Другими словами, для относительно простых деталей и традиционного производства явное моделирование будет являться приемлемым.

Однако для сложных деталей, которые может производить только аддитивное производство, программное обеспечение, основанное на явном моделировании, может «увязнуть» в обработке данных. Если требуется представить много поверхностей, это приводит к большим размерам файлов и сложности при внесении изменений, а также при сохранении файлов и совместном использовании.

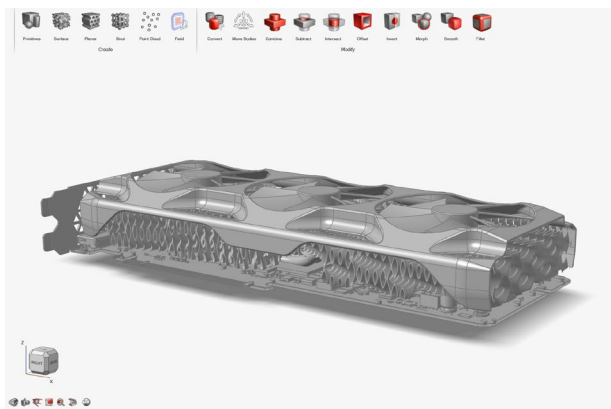


Рис. Пример неявного моделирования в Altair Inspire. Источник: Altair

В чем преимущества неявного моделирования?

По сравнению с методами явного моделирования неявное моделирование может привести к более быстрой обработке конструктивных изменений и уменьшению размеров файлов. Поскольку неявное моделирование основано на формулах, а не на дискретных данных, стратегия позволяет легко масштабировать проекты или вносить модификации, не замедляя работу программного обеспечения.



Рис. Возможности неявного моделирования nTop, с помощью которых масса корпуса форсунки Aerojet Rocketdyne была уменьшена в 2 раза. Источник: Velo3D

Неявное моделирование может позволить проектировщикам преодолеть предыдущие ограничения, налагаемые программным обеспечением САПР, обеспечивая более быструю обработку

сложных структур, таких как гироидные решётки, а также использование новых видов форм. Этот метод моделирования позволяет с большей лёгкостью использовать такие возможности, как метаматериалы и градиенты материалов на основе геометрии.

Каковы недостатки неявного моделирования?

При использовании для воссоздания объектов из физического мира неявное моделирование может быть менее точным, чем явное моделирование. Результат моделирования зависит от исходных данных и навыков разработчика.

Неявное моделирование, возможно, лучше подходит для разработки новых конструкций, где более важна поддержка сложности конструкции и гибкости при многочисленных итерациях.

Как неявное моделирование помогает аддитивному производству?

В то время как явное моделирование хорошо подходит для субтрактивного производства, неявное моделирование может быть более эффективным выбором для представления сложных структур заполнения и других функций, которые делает возможным аддитивное производство. Неявное моделирование особенно эффективно при проектировании деталей с большим количеством поверхностей, таких как теплообменники, фильтры и биореакторы.

Неявное моделирование позволяет избежать проблем с размером файла, как у явного моделирования, поскольку нет необходимости описывать каждую поверхность каждого элемента детали. В некоторых случаях переключение с явного на неявное моделирование может привести к экономии времени в несколько дней на изменение или сохранение файла проекта.

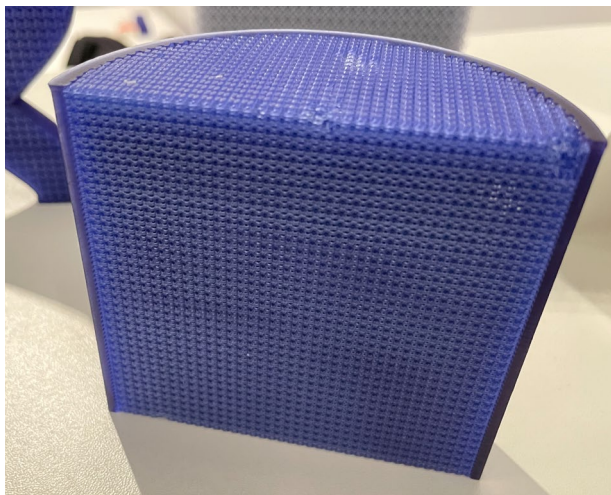


Рис. Большое количество ячеистых структур, реализованное с помощью ПО для неявного моделирования Metafold. Источник: Metafold



Рис. Теплообменник Siemens Energy, разработанный в nTop, с размером файла всего 1 Мб. Печать на EOS M290. Источник: EOS

Во многих случаях проекты, разработанные с помощью инструментов неявного моделирования, экспортируются в виде файлов STL/3MF для создания явных представлений для 3D-печати.

Какое программное обеспечение использует неявное моделирование?

Программы проектирования и программное обеспечение, включающие возможности неявного моделирования, включают в себя Altair Inspire, Autodesk Fusion 360, Metafold (платформа и API), nTop, Oqton 3DXpert, Rhino через различные плагины Grasshopper и Siemens NX.

Гибридное моделирование

Сегодня можно использовать «гибридное моделирование», которое описывает возможность комбинирования различных типов геометрических представлений. Гибридное моделирование позволяет использовать неявные представления для сложных решётчатых структур, конформных линий ISO-сетки, твердотельных моделей (BRep), воксельных элементов, поддерживающих структур.

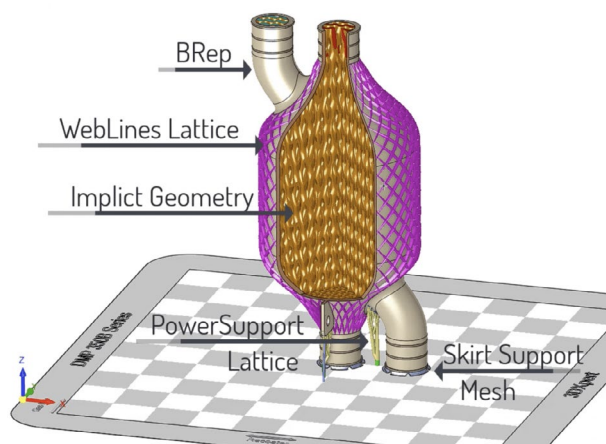


Рис. Инструмент для «гибридного моделирования». Источник: Oqton 3DXpert

Новичок в отрасли — неявное моделирование, быстро создаёт имидж «игрока, меняющего правила игры» в индустрии аддитивного производства. Вместо представления геометрии треугольниками или границами в неявном моделировании используются формулы, создающие иллюзию форм.

Тем не менее на последнем этапе, подразумевающем печать деталей, сегодня чаще требуется преобразования любой «продвинутой» геометрии в сетку явных форматов, возвращаясь опять от «компьютера к кульману», от компактных размеров файлов к гигантским, от лёгкости работы и визуализации проектов к «неповоротливым» файлам. Исключения здесь есть, но крайне немногочисленны.



Рис. Результат печати после проектирования в ПО для «гибридного моделирования».
Источник: Oqton 3DXpert

Наконец, наиболее распространённым представлением в программных системах CAD/CAM по-прежнему являются твердотельное моделирование, а использование неявного может негативно отразиться на чёткости граней и точности. Поэтому одним из очевидных решений будет работа в таком «гибридном» ПО, которое позволит одновременно манипулировать всеми типами данных в одном сеансе, забывая о различиях и тонкостях каждого типа, что является целостным и

гармоничным подходом к аддитивному производству.

В статье использовались материалы:

vk.com/@altair_rus-neyavnnoe-modelirovanie-cto-eto-i-kogda-primenyat
additivemanufacturing.media/articles/implicit-modeling-for-additive-manufacturing
oqton.com/posts/hybrid-modeling-enabling-a-holistic-approach-to-additive-manufacturing/

Дмитрий Трубашевский

Друзья!

МЫ ИЩЕМ ТАЛАНТЫ И ФОРМИРУЕМ КРУГ СОРАТНИКОВ!

Станьте блогером-профи на INDUSTRY3D,
делитесь открытиями и размышлениями,
расскажите миру о своих успехах в сфере
аддитивного производства, 3D-сканирования,
разработки оборудования, ПО, новых материалов.

Если
не знаете, — *обращайтесь к нам, мы всегда рады помочь.*
с чего начать

! Наиболее активные авторы получают от нас особое внимание
• и помощь в продвижении их проектов.

главный редактор: Дмитрий Трубашевский,
моб.: +7 (916) 950-21-89,
e-mail: chief_editor@industry3d.ru;