

ДАЙДЖЕСТ

Производственные инновации для профи

АТ в России: когда перерастем статус догоняющих?

Что нужно драйверу для драйва

Redfab: у российских аддитивщиков открылось второе дыхание

АП стимулирует аэрокосмический сектор

Содержание

| | |
|---|----|
| АТ в России: когда перерастем статус догоняющих? | 4 |
| Что нужно драйверу для драйва | 8 |
| Redfab: у российских аддитивщиков открылось второе дыхание | 12 |
| АП стимулирует аэрокосмический сектор | 19 |
| Лимузины из проволоки? | 24 |
| LEAR71 — во имя будущего | 26 |
| xMOLD — настоящий кремний! | 29 |
| На процессы полезно посмотреть «сверху» | 32 |
| Не робкий STEP, а решительная поступь | 34 |
| Шероховатость: уберите это! | 38 |

Дайджест

Номер 2, март 2024 г.

Размещается на медиа-ресурсе INDUSTRY3D на некоммерческой основе.

Издатель: медиа-ресурс Industry3D, e-mail: 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.



Слово главного редактора



Уважаемый друг!

Наша редакция без устали изучает основные новостные паблики как в России, так и за рубежом. Сегодня вдохновляющей информации стало столько, что впору вводить аддитивный фильтр. Как не потеряться в цунами кейсов, новых технологий, компаний, тенденций? Как выбрать для себя тот метод производства и проектирования продукции, который позволит качественно и количественно увеличить выручку и привлекательность проекта или существующего производства?

Эти и многие другие вопросы сегодня преследуют всех инновационно-строенных специалистов и руководителей предприятий, преподавателей, учёных, студентов и ещё совсем юных инженеров и предпринимателей. Медиа-ресурс INDUSTRY3D как раз и стремится ответить на большую часть из них, каскадно просеивая информацию через уважаемое экспертное сообщество. Ты тоже можешь стать

частью его, активно участвуя в жизни новостного портала для настоящих профессионалов своего дела.

На страницах нашего дайджеста мы публикуем наши самые познавательные материалы, охватывая аддитивное производство с самых неожиданных сторон. Основное внимание мы уделяем, разумеется, именно российскому рынку: часто мы берём интервью у лучших, перспективных компаний и стартапов, в которых они делятся своими подходами к принятию решений, опытом разработок и внедрения аддитивных и сопутствующих технологий.

Если вам есть что рассказать рынку через нас, — непременно обращайтесь! Мы очень внимательны к каждому, ведь за корпорациями, нестандартно мыслящими предприятиями, стартапами может скрываться очередная жемчужина. Раскрыть её потенциал и увлекательно рассказать миру как раз и является нашим призванием.

*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

АТ в России: когда перерастем статус догоняющих?



clck.ru/39vuGw

Аддитивное производство (АП), безусловно, сегодня одна из наиболее привлекательных сфер для развития бизнеса. Темпы развития рынка АП можно сравнить только с темпами роста рынков робототехники, электромобилей, солнечных батарей, ИИ. Во всем мире миллиарды долларов инвестируются в АП. В России же до сих пор аддитивные технологии (АТ) не могут перейти в статус АП. Существуют лишь отдельные островки, оазисы АТ в виде небольших аддитивных центров.



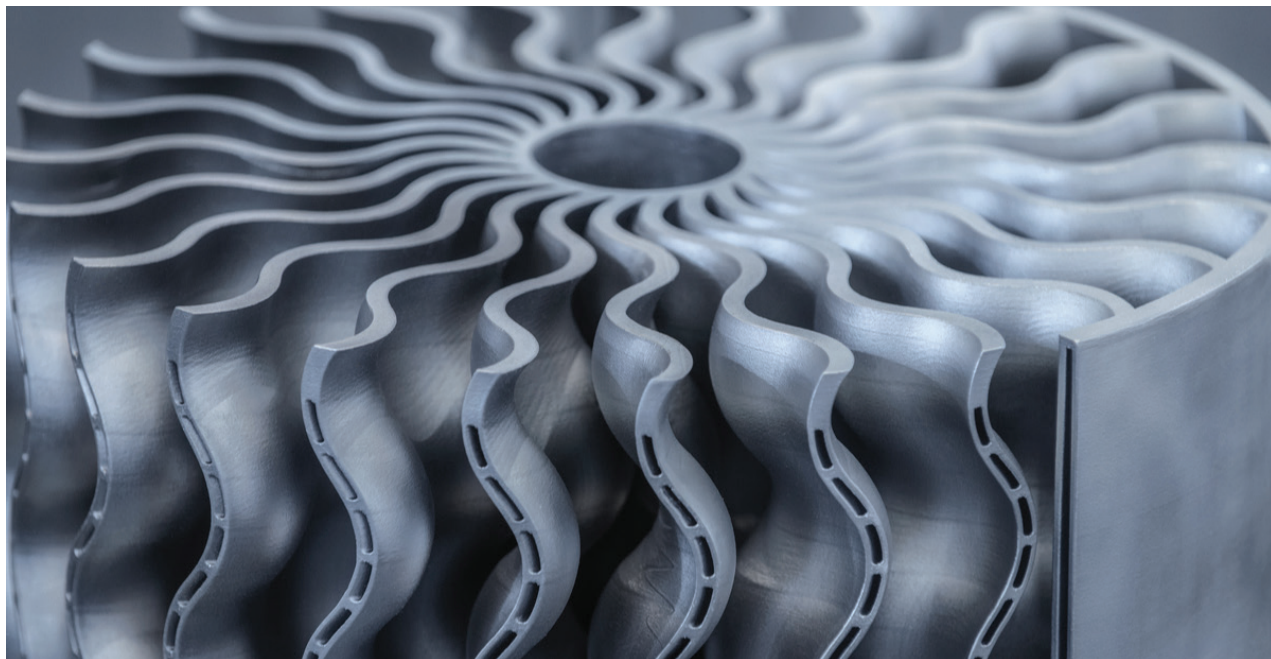
– Почему получается так, что во всем мире АП развивается гигантскими темпами, а в России до сих пор АТ существуют в основном как экспериментальные технологии и так вяло внедряются? – Этот вопрос мы задали Михаилу Родину, генеральному директору НПО «ЗД-Интеграция» – головной компании группы компаний i3D.

– Недооценка АТ и масштабов изменений, которые происходят во всём мире благодаря АП, – главная причина отставания темпов развития АП в России по сравнению со всем миром.

Во всём мире АП развивается уже как массовое производство, заменяющее традиционное в ряде отраслей. Это стало возможно в последние два-три

года прямо у нас на глазах, когда повсеместно стали строиться аддитивные заводы по производству деталей. Почему многие начали это делать? Прежде всего, потому что сами технологии развились до такой степени, что с помощью них стало возможно быстрее, дешевле и проще изготавливать продукцию различной номенклатуры с высокой степенью кастомизации. Приведу несколько примеров использования АТ для потокового производства в промышленности, которые видел своим глазами:

Это, во-первых, 3D-печать стержней и форм из песка и полимеров для литья металлов. Сейчас практически любая современная литейка использует эту технологию, потому что это удобно, экономически обосновано и быстро. Особенно эффективно она работает на сериях 10–200 шт. В последнее время начали строиться аддитивных заводы по производству больших серий стержней для автомобильной про-



мышленности. Работает уже несколько таких заводов в Китае и Германии. Можно сказать точно, что и в России эта технология уже завоевала своё место в промышленности для массового производства.

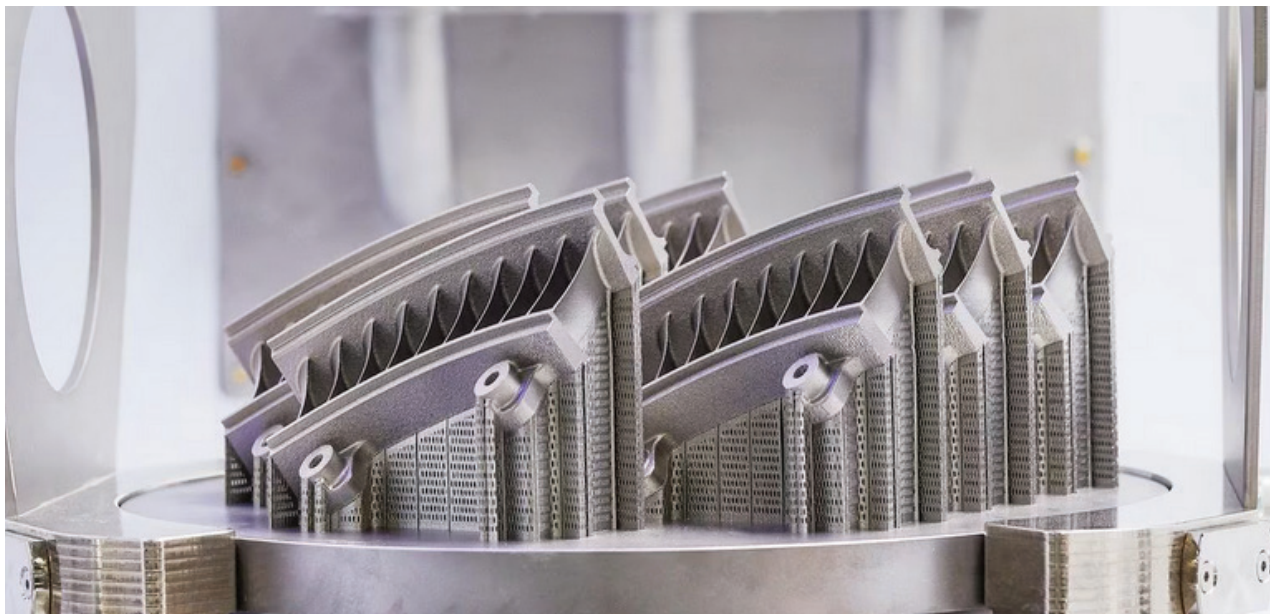
Во-вторых, это серийная 3D-печать металлических изделий по технологии LB-PBF/SLM, самой распространенной во всем мире технологии 3D-печати металлами, широко применяемой в том числе в авиакосмической отрасли. К настоящему моменту созданы 3D-принтеры с внушительной зоной построения 800-1500 мм и с большим количеством лазеров. Такие машины способны изготавливать крупногабаритные изделия из различных сложных сплавов, сложной формы, и рассчитанных для любого применения вида ячеистых структур. Стоимость печати стала доступнее во многом благодаря постоянно снижающейся цене металлических порошков (если речь заходит о металлическом производстве – прим. редакции), обширному ассортименту и доступной стоимости оборудования, а также масштабам таких производств. По всему миру уже успешно функционируют и прямо сейчас строятся огромные заводы, где используются одновременно 100–400

установок больших размеров. Там серийно изготавливаются компоненты для корпусов самолётов, ракет, спутников, детали двигателей и пр.

Ещё одна распространенная технология – 3D-печать керамикой. Она нашла широкое применение при серийном изготовлении стержней турбинных лопаток. Наши партнёры-производители такого оборудования из Китая на своём заводе, где стоят 50 принтеров, печатают серийно стержни для лопаток, а их клиенты-заводы, видя эффективность такого производства, закупают себе десятки таких машин.

Для изготовления фурнитуры и небольших сложных изделий для автопрома активно используется 3D-печать металлических изделий по технологии MJ. В Индии и США построены и продолжают строиться большие заводы по серийному производству подобных изделий. Технология позволяет изготавливать детали, не требующие сложной механической обработки, с удивительно низкой себестоимостью.

И, наконец, 3D-печать металлических медицинских изделий по электронно-лучевой технологии EB-PBF/EBM. Эта технология широко используется производителями медицинских им-



плантов, кейджей и вертлюжных чашек с интегрированной трабекулярной структурой из титана. Уникальная особенность технологии состоит в том, что можно сразу заполнить всю камеру принтера без использования сложных в удалении поддержек. На выходе это даёт низкую себестоимость и быструю скорость изготовления для высокотехнологических изделий из титана и сложных высокотемпературных материалов. По всему миру строятся заводы для массового производства медицинских изделий по этой технологии».

– Почему аддитивные заводы активно строятся везде в мире, но не в России?

– Это очень хороший вопрос, который имеет и общий, и специфический ответ для каждой из вышеперечисленных технологий. Постараюсь ответить прежде всего на общий вопрос. Мы видим, что в России есть очень большое количество предприятий, работающих в области переработки сырья: нефтегазовый сектор, горнодобывающий, химический, металлургический и пр. Применение аддитивных технологий в них пока очень ограничено, прежде всего из-за того, что эти производства изготавливают по большей части крупные узлы и детали. АТ там могут быть востребованы в основном в случае ремонта некоторых компонентов их

собственных станков: в данном случае речь идет о набирающем у нас обороты обратном инжиниринге в формате импортозамещения. Во всех случаях – это не массовое производство, и значит, не может быть драйвером значительного роста АТ.

Второй фактор – это преимущественно государственная структура экономики РФ в высокотехнологичных отраслях: двигателестроении, авиакосмической отрасли и ОПК, где использование АТ наиболее востребовано и эффективно. Традиционно в госкорпорациях многие вопросы решаются крайне долго, и никто не хочет брать на себя риски, даже при очевидных выгодах новых технологий. Существующие барьеры внедрения могут не сниматься годами. Низкая конкуренция внутри этих отраслей на российском же рынке – главная причина отсутствия активного внедрения АТ и затягивания перехода на массовое производство в этом сегменте. Правда, за последние годы здесь наметилась положительная динамика. Благодаря увеличившемуся Гособоронзаказу многие предприятия стали внедрять новые технологии значительно быстрее, чем раньше. Они тратят на это время и деньги, готовы к решительным и смелым решениям.

Мы очень надеемся, что именно сейчас многие из этих компаний увидят в АП драйвер своего роста.

Третий фактор – недостаточное внимание государства к развитию отрасли. В большинстве промышленных экономик мира развитие АТ выделено в отдельное приоритетное направление, под которое выделяются большие средства и создаются комфортные условия. Там видят перспективы развития отрасли АТ как эффективного инструмента создания конкурентной высокотехнологичной экономики страны. В России же до сих пор АТ где-то на задворках внимания у государства – существуют на правах раздела в области материалов и отданы ГК Росатом, как курирующей организации. Да, Ассоциация РАТ, работающая под руководством Росатома, делает очень много для развития этой сферы, особенно в последнее время. Но нужно делать еще больше, привлекая коммерческие компании и добиваясь большего финансирования развития АТ в Минпромторге, выделения этой сферы в отдельное направление.

– Что, на ваш взгляд, нужно делать, чтобы изменить ситуацию у нас в России с АТ?

– Повторюсь: начинать нужно с того, что выделить развитие АТ в отдельное направление и сделать его приоритетным, а также актуализировать

Стратегию развития АТ, которая с 2018 года сильно устарела, определить новые цели развития, выделить под это средства из бюджета. Очень важным считаю активное вовлечение в процессы развития АТ коммерческих компаний-производителей АТ, услуг и программных решений. А еще аддитивное сообщество очень ждет снятия существующих барьеров в сфере сертификации материалов и паспортизации самих изделий, а также написание межотраслевых ГОСТов, взаимных зачетов протоколов испытаний всех сертифицированных лабораторий. Требуется решения и кадровая проблема в нашей сфере – нужно готовить для неё больше специалистов как со средним специальным, так и с высшим инженерным образованием, повысить качество их подготовки, её практикоориентированность.

Особенно важно, чтобы все планы и все решения в нашей сфере разрабатывались с активным участием основных игроков отраслевого рынка, чтобы они активно поддерживали все изменения. На это нужно тратить время и силы. Мы также считаем целесообразным учреждение специальных фондов, способных финансировать различные направления АТ, создание технопарка АТ и/или Аддитивной Долины, где на одной площадке создавались бы новые технологии, материалы и производства.



Что нужно драйверу для драйва



clck.ru/39yLg4

Еще несколько лет назад многие владельцы и руководители успешных российских частных промышленных компаний на вопрос о желательных для них мерах государственной поддержки вполне искренно отвечали, мол, да не надо нам помогать, лучше всего, если просто мешать не будут! В такой парадигме развивалась в предыдущие более благополучные годы и отечественная аддитивка. Шаг за шагом расширяли спектр выводимых на рынок АТ, укреплялись в своих нишах, постепенно (может быть, слишком постепенно!) преодолевая скепсис и инерцию клиентов.

Отставание от мировых лидеров – первопроходцев в этой сфере воспринималось как естественное и казалось в перспективе вполне преодолимым. А известные проблемы новой отрасли, прежде всего в сфере стандартизации и сертификации, на тот момент еще не ощущались как критичные.

За последние два года ситуация значительно изменилась. Спрос на продукцию 3D-печати в B2B в условиях утраты отечественными производителями доступа к сервисному обслуживанию и технической документации на оборудование от ряда зарубежных

поставщиков резко возрос. Да и не одним цифровым обратным проектированием, зачастую спасающим производства от длительных простоев, а то и от закрытия, сегодня интересны АТ российской перерабатывающей промышленности. Всё более востребованы отечественные 3D-принтеры, 3D-сканеры и другое аддитивное оборудование. А у самих аддитивщиков проблем прибавилось, с недавнего времени – еще и из-за санкций.

А всё вместе это значит, что отечественная АТ-сфера и государство стали намного нужнее друг другу. В аддитивном сообществе теперь уже предметно говорят о том, какие меры государственной поддержки отрасли необходимы для того, чтобы она не просто выжила, но и выполняла роль драйвера роста экономики, как это происходит во всех ведущих странах мира. И при этом подчеркивают важность того, чтобы все планы и все решения в этой сфере разрабатывались с активным участием основных игроков отраслевого рынка, а также собственную готовность действительно поддерживать все новации.





Своим взглядом на эту проблему с нами поделился **директор по развитию и GR «НПО «3D-Интеграция» Василий Панкратьев.**

Государственная поддержка важна и сегодня как никогда актуальна для российских компаний, развивающих аддитивные технологии, разрабатывающих и выпускающих для этой сферы оборудование, материалы и софт. И прежде всего – для частных компаний, динамичных, мобильных, эффективных, нацеленных на результат во всех смыслах. Причем, государству здесь даже нет нужды изобретать собственную модель велосипеда, достаточно обратиться к опыту стран, чьи аддитивные компании задают тон на мировом рынке этой отрасли. Кстати, вот вам ключевое отличие в подходах к господдержке аддитивки в развитых странах: там АП – это полноценная отрасль, ее развитие – один из приоритетов промышленной политики, под нее выделяются огромные ресурсы, разрабатываются стратегии развития. Уверен, что и в России выделение развития АТ в отдельное приоритетное направление должно стать первым шагом к решению проблем этой отрасли и раскрытию ее потенциала драйвера роста экономики.

Аддитивки, причем, качественной и доступной как в смысле цены, так и в плане логистики, в стране должно быть много. И в этом смысле тоже есть чему поучиться у продвинутой заграницы, где уже успешно работает

множество аддитивных заводов. Там серийно выпускаются промышленные 3D-принтеры, а рядом, в соседнем цехе, стоят эти же принтеры, на которых выполняются заказы клиентов. И когда в такой центр приезжает потенциальный покупатель, он может на месте ознакомиться с работой выбранной им модели машины. Мы в «НПО «3D-Интеграция» вдохновились этой идеей и к настоящему моменту в компании уже создан инвестиционный проект, в рамках которого будет начато строительство первого в России большого завода по производству 3D-принтеров и изготовлению изделий аддитивным способом. Возможно, этому примеру потом захотят последовать и другие крупные игроки отечественного рынка АТ. И для стимулирования таких инициатив государственная поддержка на всех первых этапах – от выбора производственной площадки до запуска серийного производства – была бы очень актуальной. Еще один наш проект, который можно было бы с помощью государства масштабировать во всех регионах, – создание аддитивных центров. Такие центры могут делиться по сегментации, то есть быть заточенными на выполнение услуг для разных отраслей промышленности. Ведь в каждом из регионов страны – разные потребности пула местных градообразующих и просто крупных компаний. И местные аддитивные центры смогут обеспечивать им дополнительные возможности в части АТ-решений. Много общаясь сегодня с промышленниками из регионов, где мы планируем создать свои центры, убеждаюсь, что они будут очень востребованными. При этом общее пожелание их будущих клиентов: центры должны обеспечивать именно полную готовность деталей, включая постобработку. А значит, такие центры необходимо оснастить оборудованием, позволяющим выпускать детали в малых сериях, либо прототипы деталей

– но под ключ. И детали на выходе из 3D-принтеров должны здесь же проходить постобработку, доводиться на традиционном обрабатывающем оборудовании до полной готовности.

Ведя переговоры в регионах, где планируется создать эти центры, мы, в свою очередь, настаиваем, чтобы они не менее чем на 50% были оснащены российским оборудованием. Это тоже должно стать своего рода поддержкой отечественных производителей 3D-принтеров, сканеров, материалов и софта для АТ. Господдержка аддитивным центрам/пользователям АТ также может выражаться в субсидировании закупок российского аддитивного оборудования до 75%, нероссийского — 25% для любой компании: коммерческой и государственной. А еще – в налоговых преференциях и, например, в предоставлении на 2 – 3 года в безвозмездное пользование производственных площадок под выпуск серийного промышленного АТ-оборудования. А затем уже брать арендную плату с вставшей на ноги компании. Также видится целесообразным создание венчурного фонда развития АТ, который вкладывал бы средства в развитие аддитивных центров, центров импортозамещения, центров обратного проектирования, центров

коллективного пользования, использующих аддитивное оборудование за долю в бизнесе. Но при обязательном условии, парк оборудования этих центров и заводов должен быть не менее чем на 50% отечественным.

Еще одно назначение подобных центров – они могут стать площадкой для производственных практик и стажировок студентов местных технических вузов и колледжей, обучающихся специальностям инженеров-конструкторов, способных проектировать изделия под АТ, и операторов АТ-оборудования.

Хронически больная тема для нашей сферы – существующие барьеры в части сертификации материалов и паспортизации самих изделий АП. Для их снятия, как нам представляется, прежде всего нужно создать межотраслевые ГОСТы на материалы для АТ, чтобы конструкторы могли их закладывать в создание изделий. Целесообразно сформировать экспертные группы с обязательным привлечением межотраслевых институтов. Экспертам необходимо определить наиболее востребованные материалы, выработать систему и правила тестирования материалов, определить бюджет, получить финансирование данного проекта, провести тесты (за деньги), создать по итогу ГОСТы.

После чего под эти ГОСТы необходимо проводить конкурсы для компаний-производителей, которые могут принять участие в субсидированной государством программе паспортизации. Производители должны доказать по установленным программам испытаний наличие у них повторяемых серий и взять на себя обязательства (вплоть до финансовых) обеспечивать возможность поставок этих серий в течение минимум 5–10 лет. В такой программе могли бы участвовать любые новые компании, как



российские, так и выходящие на российский рынок зарубежные. Система должна оставаться открытой и работать длительное время.

Следующий шаг: эксперты отбирают 5–10 доказавших свою надежность и эффективность материалов, которые закрывали бы 80% потребностей рынка и должны быть субсидированы на паспортизацию для устройств, прошедших квалификацию по повторяемости. Расходы на паспортизацию – дело государственное. Таким образом увеличится возможность для отрасли получать доступ к лучшим по качеству решениям. Система субсидированной паспортизации должна работать долго и быть открытой. Причем, субсидия могла бы быть и частичной, даже 50/50 было бы достаточно, чтобы сдвинуть все с мертвой точки.

Чтобы удешевить процесс паспортизации, между отраслями целесообразно создать систему принятия протоколов испытаний. Паспортизованные материалы и устройства в одной отрасли могли бы проходить сертификацию в другой по ускоренной процедуре. Тогда субсидировать пришлось бы в разы меньше, а паспортов соответствия было бы в разы больше.

Нужно также создать открытый реестр паспортов, чтобы те, кому нужны для чего-то материалы, могли бы выбрать из этого открытого списка, а не просто размещать снова и снова запросы в отраслевых институтах на паспортизацию. Это позволило бы во многих случаях не тратить время и деньги на сертификацию новых материалов, а пользоваться уже тем, что есть, пусть иногда даже слегка меняя технические условия на требуемые материалы.

Хорошим решением стало бы создание независимого сертификационного центра специально для АТ, который бы полностью финансировался государством и сертификаты и паспорта

которого принимались бы во всех отраслях (авиация, космос, энергетика, судостроение и пр.).

Все знают, что после паспортизации материала для создания ответственных деталей требуется сертификация под конкретное изделие, особенно в случае его особой ответственности. Прежде всего правильнее было бы не все детали считать особо ответственными и разделить их на группы. Выделить те детали, которые не требуют дополнительной сертификации, а могут изготавливаться при наличии паспорта.

Сама сертификация «материал – устройство – деталь» в случае ответственных деталей должна обязательно субсидироваться. В итоге в течение одного, максимум двух лет мы могли бы получить большой список материалов и устройств, которые могли бы изготавливать сложные детали и целые узлы для многих отраслей промышленности.

Всё это могло бы значительно повысить инвестиционную привлекательность отрасли. Сильные российские производители, у которых покупают большое количество машин, могли бы самостоятельно развиваться и конкурировать с западными и китайскими производителями. Они могли бы выходить на международные рынки, имея производства в РФ, а не думать о переводе своих производств за границу. Можно было бы выиграть конкуренцию с Китаем и Арабскими Эмиратами и привлечь внутрь России производства из других стран. В итоге мы бы не только развили аддитивную отрасль и обеспечили реальное импортозамещение, но и внесли бы ощутимый вклад в обеспечение технологического суверенитета страны и повышение конкурентоспособности российской промышленности в целом.

Redfab: у российских аддитивщиков открылось второе дыхание



clck.ru/39yNT4

В аддитивной сфере, как и во всех высокотехнологичных отраслях, заимствование прорывных идей и подходов – вполне распространенный путь становления и развития собственного бизнеса. При этом одни просто стараются как можно точнее скопировать хит продаж от кого-то из лидеров отрасли, другие же, беря его за образец, развивают на этой базе что-то своё и в итоге выпускают оригинальный продукт, как говорят киношники, «по мотивам».



– В вашем сегменте аддитивного оборудования на момент вывода на российский рынок ваших комплексов на нём уже упрочили свои позиции бренды Bambu Lab, Creality, и даже 3DLife со своими высокоскоростными принтерами. Как вам удаётся конкурировать с ними?

– Мы не считаем их прямыми конкурентами нашего решения, и именно сегменты рынка у нас все-таки разные. На рынке дефицит технологов 3D-печати, что приводит к тому, что даже крупные предприятия и бизнесы строят свои центры аддитивного производства, полагаясь на бытовые 3D-принтеры. Для сравнения «в лоб»: наши решения изготавливают детали из 8 материалов одновременно, с точностью и на скоростях выше, чем в указанных выше принтерах, при этом с полной автоматизацией, извлечением готовых деталей, планированием, учетом, контролем рентабельности и интеграцией в различные 1С и CRM-системы, с гарантией на свою продукцию. Их единственное преимущество – цена, да и то преимущество это относительное: к концу первого года наше решение принесет клиенту больше прибыли при равном объеме выпуска

Путем «там» посмотрим, но сделаем по-своему» пошли в Санкт-Петербургской компании Redfab, разрабатывающей и производящей специальное промышленное оборудование для 3D-печати. В 2017 году один из ведущих игроков мирового рынка АП – компания Stratasys представила свой демонстратор Фабрики Будущего – Stratasys Continuous Build. Осознав, что решения автоматизации в 3D-печати – это не будущее, а уже реальность, Redfab за несколько лет создала и успешно продвигает на рынке собственный промышленный FDM-комплекс автономной поточной 3D-печати.

Наш собеседник – генеральный директор ООО «НПК АНТЕЙ» (бренд Redfab) Александр Михайленко.

продукции и прочих равных. Мы считали, что за счет минимизации всех видов простоев обеспечивается паритет 1 ПАК Redfab–9 Bambu Lab или их отечественных аналогов. Дело в кругло-точности печати и ее автономности.

— Ваш пул поставщиков комплектующих полностью российский?

— Есть отдельные импортные компоненты от компаний Hiwin, Technix, LDO. При этом всю металлообработку, проектирование и производство плат делаем самостоятельно на своём производстве, либо у подрядчиков в России. Наша продукция проходит процедуру подтверждения «отечественности» в ГИСП в соответствии с постановлением Правительства РФ от 17 июля 2015 г. N 719.

— Какие расходные материалы предпочитаете? И в чём их преимущества?

— Мы сделали ставку на разнообразие и печать сложными полимерами и композитами. Используем материалы компаний Filamentarno, Print Product, REC, BestFilament, Стримпласт и некоторых других. Материалы подбираются под конкретную задачу с учетом её специфики. Эти производители материалов для 3D-печати хорошо зарекомендовали себя в нашей работе.

— Расскажите подробнее о вашей MES-системе. Она стала логическим продолжением хардверной автоматизации?

— MES-система – ключевое звено всех наших продуктов.

Её основное назначение – обеспечить технологию «под ключ», т.е. решение 99% задач, возникающих в организации аддитивного производства.

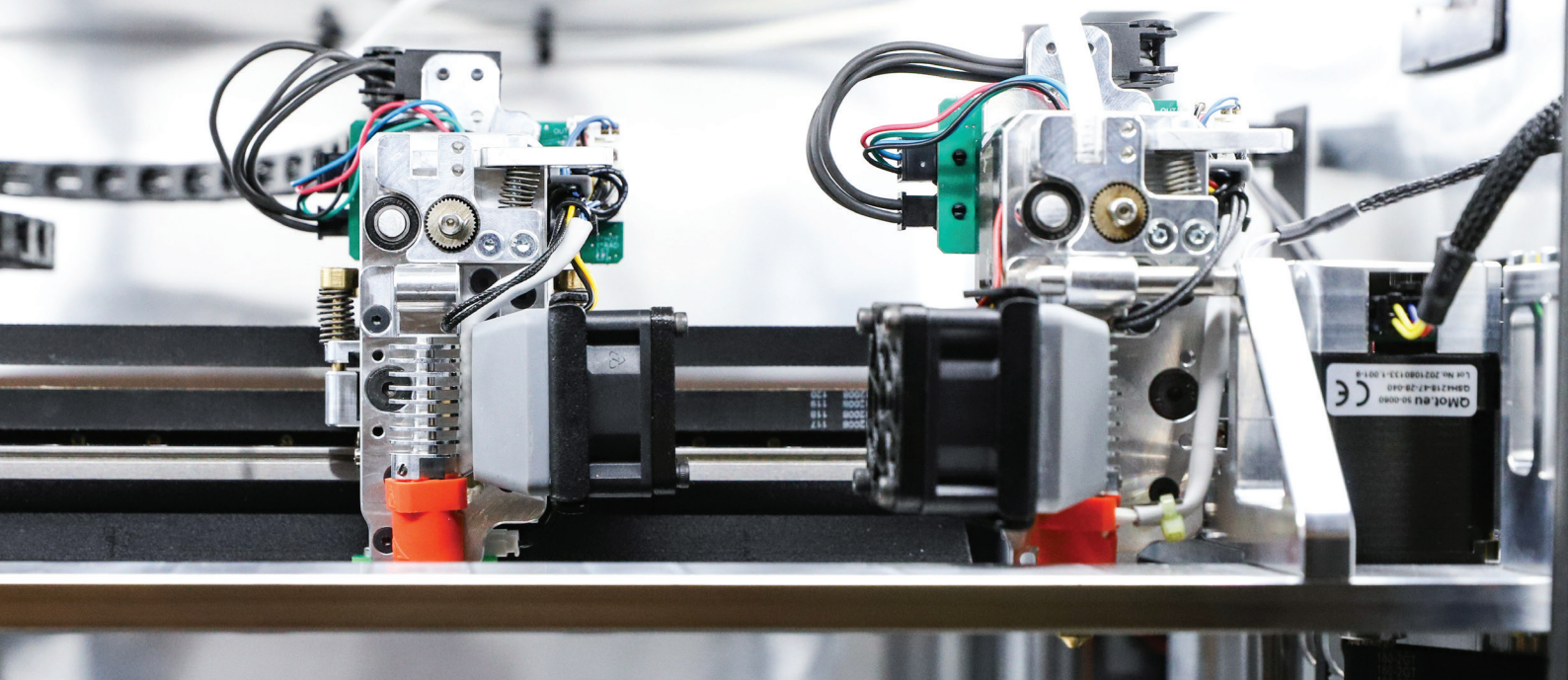
Будучи узкоспециализированной отраслевой системой, MES Redfab предназначена автоматизировать практически все процессы, характерные для аддитивного производства. Укажу здесь только несколько из них:

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

- Автоматический достоверный расчет сроков производства. За единицу времени здесь берётся фактическое время печати прототипа, а план производства конкретного проекта накладывается на реальную загрузку производства. Отклонение прогноза от факта зачастую не превышает часа на недельном промежутке.

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





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

- Интеграция с оборудованием заказчика. Нет никаких проблем подключить любой 3D-принтер, работающий на прошивке Klipper. Система полностью интегрирована с нашими автоматизированными комплексами поточной печати ПАК Redfab. Прорабатывается нативная интеграция с решениями Stereotech, 3DLAM, Volgobot. Принтеры Picaso Designer X уже работают с нашей системой.

- Цифровой след каждого проекта. Кто его автор, кто и за что в нём отвечает, история проекта, история печати, статистика, история брака, постобработки, ОТК – вся информация собирается полностью автоматически, без необходимости ручного ввода данных.

- Цифровой паспорт проекта (параметры проекта, параметры заданий, приоритизация, материалы, копии, конструкторская документация, исходная модель, протестированный G-code). Это дает возможность повторить пре-

дыдущие заказы, а также привязать производственный заказ к триггеру, например, если на складе взяли деталь – она тут же встает в очередь на производство.

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

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

- Автоматическая диаграмма Ганта производственного плана. На основе данных текущих и запланированных

проектов формируется диаграмма Ганта, визуализирующая производственный план в разрезе загрузки производства: филиалов, операционных групп, принтеров, отделов, сотрудников.

- Настройка ролей и прав учета-контроля доступа. Разные пользователи системы видят и могут взаимодействовать только с разрешенной им частью информации в зависимости от роли сотрудника в системе: SUDO, администратор, начальник производства, оператор, менеджер продаж, техник постобработки, контролёр ОТК, стажёр.

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

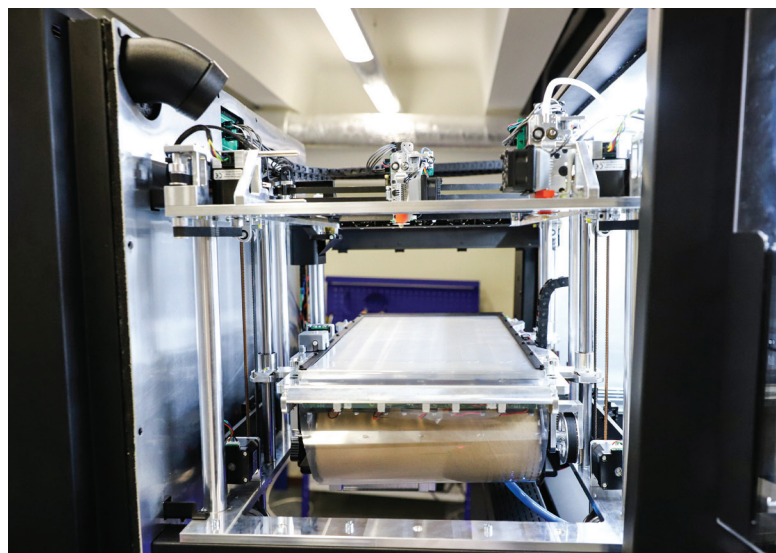
- Статистика и аналитика. Система генерирует большой объём данных, в том числе с логированием действий пользователей в системе, данные автоматизированного учета, производства, уведомления, инциденты, статистику печати, брака, расхода материалов. На основе этих данных клиентам доступны преднастроенные отчеты, позволяющие отображать статистику в разрезе периодов, принтеров, филиалов, сотрудников, подразделений, материалов, доходов-расходов. Аналитические отчеты призваны дать конкретные рекомендации по улучшению процессов и снижению накладных расходов предприятия.

— **Какой вам видится сложившаяся в последние два года ситуация на отечественном рынке АТ в целом? В чем увеличилось наше отставание от Запада, а где мы сохраняем прежнее соотношение или даже больше приблизились к лидерам?**

— Согласно отчётам ТН ВЭД, существенно провалился (до 70% в 2022 году) ввоз 3D-принтеров в Россию, как бытовых, так и промышленных. Спрос на 3D-принтеры и услуги 3D-печати при этом никуда не делся, а наоборот, существенно возрос. АТ сейчас массово применяются для изготовления элементов дронов, протезов, под задачи импортозамещения.

Я бы охарактеризовал текущую ситуацию на рынке как второе дыхание для отечественных производителей 3D-принтеров, материалов: конкуренция сократилась, спрос в разы превышает предложение. В таких условиях отечественным производителям разумно объединять свои усилия и делать ставку на попадание в реестр отечественной продукции МПТ, что должно защитить компании от постепенно возвращающихся на рынок азиатских и европейских производителей.

Отставание от Запада у нас преимущественно в электронике. Большая часть интересной электронной компонентной базы (ЭКБ) просто недоступна, китайская ЭКБ может преподнести сюрпризы. Отечественные производители ЭКБ всё еще продают продукцию через письма-запросы. Китайцы нас давно обогнали в части производственных технологий, а конкретно – в итеративности выпуска продукции.



Пока мы проходим квесты с запуском в серийное производство тех или иных устройств, китайцы за тот же период выпустят пару десятков устройств, которые так же быстро окупятся.

По моим наблюдениям, российские производители больше радеют за качество своей продукции, чем иностранные конкуренты, а известные проблемы тех или иных отечественных 3D-принтеров – в первую очередь проблемы культуры производства, а не технологий.

— Какие тренды на российском рынке вы видите? Какие из них считаете полезными, перспективными, а какие – ошибкой?



— Тренд №1 – масштабирование. Заказы выросли как в количестве, так и в объёме, нужно наращивать мощности.

Тренд №2 – автоматизация. Кадровый дефицит в отрасли никуда не делся, а количество вакансий для специалистов 3D-печати увеличивается. Единственный выход – повышать эффективность выработки на единицу персонала за счет автоматизированного ПО, например, нашей MES Redfab.

Тренд №3 – качество печати. Если раньше клиенты прямо сравнивали 3D-печать и литье на ТПА по качеству поверхности, то сейчас в большинстве заказов фокус сместился на прочность, точность и сроки изготовления деталей.

Тренд №4 – переход на всё отечественное в разных сферах. Иностранные поставщики выстрелили себе в колено. И двух лет хватило, чтобы найти внутренних поставщиков почти по всем ключевым номенклатурным позициям. Поставщики материалов приносят нам сертификаты, подтверждающие полностью отечественное происхождение сырья (гранулята) по материалам, которые раньше были исключительно импортными.

— Добавим от себя еще и тренд №5 – создание ферм 3D-печати. Какие ниши рынка, на ваш взгляд, они могут занять? И что, по вашему мнению, предпочтительнее для серийного производства: оснастить принтерами такого класса, как ваши, или же приобрести 1–2 десятка более простых принтеров, расположить их на стеллажах в виде фермы и иметь большую концентрацию скорости выхода готовой продукции с одного кв. метра? Как часто предприниматели покупают ваши принтеры, как аналог ферм?

— Фермы 3D-печати могут занять любую нишу практически без ограничений. Мы и сами, как контрактное

производство, получали заказы всех видов: от 1 единицы до десятков тысяч деталей, от товаров для офисов до компонентов для спутников и оборудования АЭС, от сувенирной мелочёвки до многометровых скульптур, от шестерёнки в блендер до уплотнителя на танк, от «сделать вчера» до тендерных поставок.

Большинству заказчиков на рынке не интересно приобретение 3D-принтеров, им важно получить деталь в срок. Поэтому в первую очередь такие заказчики обращаются в студии и фермы 3D-печати. А вот когда такие студии и подрядчики начинают подводить, или сроки исполнения заказов увеличиваются, то тогда клиенты задумываются об организации собственного аддитивного производства с целью минимизации рисков и прямых затрат.

Мое мнение в отношении наших ПАК поточной 3D-печати Redfab, конечно, не может быть до конца объективным, но я считаю, что если предприятие хочет решить свои задачи аддитивного производства «от и до», то наше решение – единственное и безальтернативное с точки зрения организации именно сквозного процесса «под ключ». Но дальше возникают технологические нюансы.

Например, заказчик может производить продукцию с требованиями, которые мы сами не можем выполнить технологически, но могут выполнить наши коллеги-производители 3D-принтеров или интеграторы. В таком случае мы привлекаем наших коллег/партнеров/конкурентов к кооперации, а они, в свою очередь, обращаются к нам для решения комплексных задач автоматизации.

Выбор 1-2 десятка обычных 3D-принтеров или 1-2 наших ПАК автоматизированной печати – вопрос тоже не тривиальный. Например, наши ПАК Redfab можно взять в лизинг, а ферму

из принтеров Bambu Lab или их аналогов – нет. В одних случаях выработка на кв. м важна, в других – не играет роли. Мы делали экономические расчеты и пришли к выводу, что к концу первого года существования крупного аддитивного производства (больше 20 3D-принтеров), расходы на ФОТ существенно превышают все остальные статьи расходов. В таком случае наличие автоматизации позволяет добиться сокращения до 80% расходов на ФОТ, что приводит к росту прибыли до 2 раз при аналогичной выручке.

Сейчас наши принтеры приобретаются в первую очередь под организацию производств «под ключ» в различных отраслях промышленности, но пока преимущественно – под специальные задачи, связанные с производством БВС (беспилотные воздушные суда – прим. редакции).

— Какие технологии и машины, на ваш взгляд, незаслуженно недооценены в России, или, возможно, недооценены «раскручены»?

— Разным технологиям – разное применение, поэтому я не считаю корректным сравнивать их «в лоб». Я бы сказал, что проблема в другом: мало оценена роль Минпромторга РФ в части поддержки аддитивной отрасли. Многие производители 3D-принтеров и материалов не делятся с представителями регулятора данными о своем развитии, что приводит к тому, что на нашем рынке в принципе единственная доступная аналитика – отчеты ТН ВЭД, по которым можно делать только самые общие выводы.

Мы столкнулись с тем, что, когда привлекаем инвестиции на собственное развитие, мы с трудом можем предоставить инвестору достоверную информацию по объему рынка 3D-печати в какой-либо из отраслей и вынуждены оперировать стратегией развития АТ до 2030 года и косвенными данными.

Считаю, что как самому регулятору в лице МПТ, так и производителям 3D-принтеров нужно чаще обмениваться друг с другом информацией о реальном положении дел в отрасли, для этого все инструменты есть – было бы желание.

— **Положение дел в отрасли во многом определяется профессионализмом кадров. Приходят ли к вам на стажировку и практику студенты? Как вы оцениваете сегодняшний уровень вузовской подготовки в сфере АТ? Чему учите студентов у себя? Вовлекаете ли в процессы разработки?**

— Да, приходят. Уровень подготовки очень разный, но в то же время одинаковый в том смысле, что абсолютное большинство требуется переучивать в части материаловедения и обучать трудовой дисциплине.

У нас в компании действуют «социальные лифты» – можно переходить из отдела в отдел с повышением заработной платы при наличии инициативы и квалификации. Многие сотрудники у нас выросли до ключевых

и руководящих позиций, постепенно меняя деятельность.

— **Разрабатывает ли сегодня Redfab новые технологии?**

— На новые технологии 3D-печати пока не замахиваемся, достойных представителей на нашем рынке есть множество. 3DLam в печати металлом, ONSINT в SLS, F2 в крупногабаритной печати, Stereotech в печати армированием, Hardlight – фотополимерами, ну и так далее. В стране больше 50 разработчиков 3D-принтеров, многие из них серийно выпускают свою продукцию и она вполне конкурентоспособна.

А вот новые технологии автоматизации – конечно, да, продолжаем развивать и разрабатывать.

— **Ваш основной рынок сбыта – внутренний. Планируете ли вместе с тем выйти на рынки дружественных стран?**

— Такие запросы есть, и мы их прорабатываем. Препятствий с нашей стороны или со стороны регуляторов не вижу.



AM.TECH
Additive Manufacturing Technologies

Сделано в России – Российское ПО!
AMT-16 - подключил и работай!

Аддитивный комплекс для 3D-печати металлических изделий сложной формы в короткие сроки

АП стимулирует аэрокосмический сектор



clck.ru/39ySg5

GE Aerospace — аэрокосмическое подразделение американской энергетической транснациональной компании General Electric (GE), объявило о планах инвестировать в этом году более 650 миллионов долларов в свои глобальные производственные предприятия и цепочку поставок.

Производитель двигателей из Огайо надеется, что эти инвестиции увеличат его производственные мощности, и это, в свою очередь, позволит ему удовлетворить растущий спрос со стороны коммерческих и оборонных заказчиков. В частности, инвестиционный план на 2024 год обеспечит компании возможность масштабировать производство двигателей LEAP с поддержкой 3D-печати. Эти двигатели, разработанные CFM International, совместным предприятием GE и французского аэрокосмического производителя Safran, используются на самолетах Airbus A320neo, Boeing 737 MAX и COMAC C919.

Инвестиционные средства также будут использованы для полномасштабного производства двигателей GE9X, состоящих из более чем 300 деталей, напечатанных на 3D-принтерах. Этот двигатель был разработан специально для самолетов Boeing 777X.

«Мы делаем значительные инвестиции в будущее полетов и в десятки сообществ и партнеров-поставщиков, помогающих нам его создавать», — за-

явил Х. Лоуренс Калп-младший, генеральный директор GE Aerospace. «Эти инвестиции являются частью следующей главы сценария развития GE Aerospace, посвященной поддержке новейшего оборудования и мерам по повышению безопасности, которые помогут нам удовлетворить растущие потребности наших клиентов».

Эта новость последовала за объявлением о том, что GE Aerospace в следующем месяце станет полностью независимой компанией. General Electric запланировала выделение своего подразделения по производству электроэнергии GE Vernova на 2 апреля 2024 года, в результате чего GE Aerospace будет единственным оставшимся предприятием компании.

После этого General Electric примет название GE Aerospace, завершив преобразование GE в три независимые организации. Её медицинское подразделение GE Healthcare стало независимой компанией в январе 2023 года.





GE Aerospace увеличивает производственные мощности

В соответствии со своим инвестиционным планом на 2024 год GE Aerospace вложит почти 450 миллионов долларов в 22 своих предприятия в 14 штатах США, а дополнительные 100 миллионов долларов пойдут в некоторые из ее международных объектов. Еще 100 миллионов долларов будут инвестированы в поставщиков в США, что поможет обеспечить безопасность внутренней цепочки поставок компании.

В рамках американских инвестиций 107 миллионов долларов предназначены для предприятий компании в Цинциннати на цели масштабирования производства двигателей для коммерческих и военных самолетов. В частности, средства пойдут на закупку новых 3D-принтеров, оснастки и другого оборудования, а также на модернизацию испытательных центров для двигателей.

Возможности 3D-печати GE Aerospace также будут расширены на ее предприятия в Оберне, штат Алабама, цена вопроса — 54 миллиона долларов. В компании надеются, что эта модернизация ее объектов ускорит производство компонентов двигателя.

В Северной Каролине 46 миллионов долларов будут потрачены на расширение производственных мощностей и повышение качества продукции.

5 миллионов долларов также будут вложены в завод GE Aerospace в Терре-Хот в Индиане. Здесь запланирована модернизация оборудования и самого здания с целью расширения производства авиационных двигателей для узкофюзеляжных и широкофюзеляжных самолетов.

GE Aerospace также намерена потратить 30 миллионов долларов на поддержку сборки и испытаний двигателей для военных вертолетов и истребителей в Линне, штат Массачусетс.

Это последовало за аналогичными инвестициями в прошлом году, когда GE Aerospace вложила 335 миллионов долларов в повышение качества сборки, увеличение мощности и усовершенствование инфраструктуры безопасности на своих предприятиях по всей территории США.

GE Aerospace наймет более 1000 новых сотрудников на своих заводах в США, что еще больше увеличит ее производственные мощности.

3D-печать в GE Aerospace

GE Aerospace – давний приверженец АП. По данным Европейского патентного ведомства (ЕПВ), в период с 2001 по 2020 год GE подала наибольшее среди всех компаний количество патентов, связанных с 3D-печатью.

Каждый из двигателей LEAP компании GE Aerospace оснащен 19 топливными форсунками, напечатанными на 3D-принтере, которые, как сообщается, повышают топливную эффективность на 15% по сравнению с двигателями CFM56.

Ключ к достижению этой эффективности – снижение веса. Знаменитые наконечники топливных форсунок GE, напечатанные на 3D-принтере, на 25% легче и в пять раз прочнее, чем их аналоги, изготовленные традиционным способом.

Форсунки LEAP также имеют сложную геометрию, которая предварительно смешивает реактивное топливо перед его подачей в камеру сгорания, что еще больше повышает эффективность двигателя. За период с 2016 года были изготовлены сотни тысяч сопел, что стало важной вехой в крупносерийной 3D-печати в аэрокосмической отрасли.

GE Aerospace разрабатывает и тестирует свои двигатели GE9X с 2013 года. Большая часть реактивного двигателя, обладающего тягой в 60,9 т, напечатана на 3D-принтере. Здесь активно используется аддитивное производство для изготовления деталей с геометрией, которую невозможно достичь, применяя традиционные методы производства.

В 2019 году было объявлено, что каждый двигатель GE9X включает в себя свыше 300 напечатанных на 3D-принтере деталей, которые в совокупности образуют семь составных компонентов. Они включают в себя топливную форсунку GE, напечатанную на 3D-принтере,

а также датчики температуры, смесители топлива, теплообменники, сепараторы и лопатки турбины низкого давления длиной в 30 см, которые помогают снизить вес двигателя.

По данным GE, 3D-печать позволила двигателю GE9X быть на 10% более экономичным, чем GE90.

АП для гиперзвука

GE Aerospace — не единственная компания, работающая над масштабированием производства компонентов для аэрокосмической отрасли с помощью аддитивных технологий.

Производитель промышленных 3D-принтеров по металлу AddUp и французская аэрокосмическая компания Dassault Aviation заключили партнерское соглашение с целью продвинуть 3D-печать металлом от «прототипирования» к «массовому производству» для авиастроения.

Пятилетний проект, о котором было объявлено в 2022 году, включает в себя разработку, квалификацию и внедрение процесса 3D-печати металлами из различных сплавов, оптимизированного для производства авиационных компонентов, сертифицированных по классам 2 и 3. Проект, получивший название AEROPRINT, направлен на достижение стабильности с точки зрения качества, воспроизводимости и конкурентоспособности при 3D-печати металлом.

Еще пример: подрядчик аэрокосмической и оборонной промышленности Lockheed Martin, производитель металлических 3D-принтеров Velo3D, и компания Vibrant, занимающаяся инспекцией аэрокосмических деталей, сотрудничали с Институтом LIFT Министерства обороны США (DoD). В результате партнеры оценили эффективность 3D-печати гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ПВРД). В отличие от своих



турбореактивных собратьев, прямоточные воздушно-реактивные двигатели имеют очень мало движущихся частей и могут достигать гиперзвуковых (более 5 Маха) скоростей полета. Конечная цель этого проекта заключалась в том, чтобы определить, какие материалы и производственные процессы обеспечивают наиболее эффективные пути достижения гиперзвукового полета.

Компоненты ПВРД, напечатанные на 3D-принтере с использованием технологии синтеза на подложке LB-PBF Velo3D, были подвергнуты акустическому резонансному тестированию от компании Vibrant с компенсацией процесса. Здесь оценивались ключевые физические свойства, в том числе напряженное состояние, целостность детали, геометрия и качество поверхности. На следующем этапе исследования будет рассмотрено усталостное поведение деталей, напечатанных на 3D-принтере, с учетом перехода к деталям «born-certified».

Китай «вгрызается» в авиастроение с технологиями 3D-печати

15 декабря 2023 года Министерство промышленности и информационных технологий Китая MIIT (англ. Ministry

of Industry and Information Technology) объявило о «Перечне типовых сценариев применения аддитивного производства в 2023 году», включающее в общей сложности 42 пункта. MIIT отвечает за регулирование и развитие почтовой службы, Интернета, беспроводной связи, радиовещания, связи, производства электронных и информационных товаров, индустрии программного обеспечения и продвижения национальной экономики знаний.

В эту категорию был номинирован ряд китайских компаний, в том числе и известные в РФ:

1. Проволочная WAAM наплавка из высокопрочных алюминиевых сплавов для авиастроения. Поставщик: Capital Aerospace Machinery Co., Ltd., Shenyang Sandi Automation Software Technology Co., Ltd. Пользователь: China Aerospace Science and Technology Corporation.

2. Производство сложных, легких, пористых, тонкостенных интегрированных конструкций для авиастроения. Поставщик: Beijing Spacecraft Manufacturing Co., Ltd (BSC), HANGZHOU EPLUS 3D TECH CO., LTD., Sichuan Zhongjing Aerospace Technology Co., Ltd. Пользователь: China Aerospace Science and Technology Corporation.

3. Комплексное производство ключевых измерительных компонентов для авиастроения. Поставщик: HANGZHOU EPLUS 3D TECH CO., LTD., AVIC MANUFACTURING TECHNOLOGY INSTITUTE, ZHONGKEXIANGLONG LIGHTWEIGHT CO.,LTD. Пользователь: China Aerospace Science and Technology Corporation.

4. Производство облегченных для авиастроения. Поставщик: Aerospace Additive Technology (Beijing) Co., Ltd. Пользователь: China Aerospace Science and Industry Corporation Limited (CASIC).

5. Массовое производство ключевых компонентов авиационных жидкостных двигателей. Поставщик: Xi'an Aerospace Engine Co., Ltd., Xi'an Bright Laser Technologies Co., Ltd. Пользователь: China Aerospace Science and Technology Corporation.

6. Бережливое производство ключевых компонентов авиационных двигателей. Поставщик: Luzhou Hanfei Aerospace Science and Technology Development Co., Ltd.(LHATC), Xi'an Bright Laser Technologies Co., Ltd. Пользователь: China Aerospace Science and Industry Corporation Limited (CASIC), MoreWave Technology Innovation Co.,Ltd.

7. Комплексное серийное производство компонентов авиационно-космического двигателестроительного комплекса. Поставщик: XI'AN AEROSPACE MECHATRONICS & INTELLIGENT MANUFACTURING CO., LTD., HANGZHOU EPLUS 3D TECH CO., LTD. Пользователь: Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Sichuan Aerospace Zhongtian Power Equipment Co., Ltd.

8. Оптимизация конструкции и производство порошковой композиции из жаропрочных сплавов для производства дисков авиационных турбин. Поставщик: Jiangsu Vilory Advanced Materials Technology Co., Ltd.,

HANGZHOU EPLUS 3D TECH CO., LTD.. Пользователь: Jiangsu Shenlan Space Co., LTD. (Deep Blue Aerospace).

Китай проявляет невероятную активность в использовании АТ для ряда стратегически важных отраслей промышленности. Авиастроение и развитие космической программы, для которых жизненно важно использование инноваций, стоят на первом месте в применении АП.

Как известно, сегодня в Китае действует ошутимое количество компаний, производящих аддитивное оборудование, а в гонке за количество устанавливаемых лазеров и за вместимость камер построения принтеров им уже нет равных на мировой арене. Многочисленные ЦАП со 100 и более LB-PBF установками сегодня производят уже серийно такие ответственные и сложные детали, как лопатки турбин, теплообменники и различные компоненты, которые трудно изготовить с помощью традиционных производственных процессов.

Стоит ли ответственным за ключевые решения из профильных государственных ведомств Российской Федерации наконец предметно заинтересоваться опытом использования АП для производства высокосложной продукции для нужд авиастроения, поощряя российских разработчиков и/или оперативно перенимая опыт Китая, — этот вопрос должен остаться риторическим.



Лимузины из проволоки?



clck.ru/39yUPE

В кампусе аддитивного производства в Обершлайсхайме BMW Group использует преимущества технологии WAAM от MX3D для производства металлических компонентов для автомобилей. При использовании проволоочной наплавки компоненты получаются легче и прочнее, чем аналогичные детали, отлитые под давлением, то есть, изготовленные традиционным способом. А сравнительно низкие энергозатраты и меньшее количество отходов материалов делает такое производство более экологичным.

В будущем BMW планирует использовать компоненты, изготовленные с использованием WAAM, в серийных автомобилях.

«Жирные» слои (валики) от наплавляемой проволоки позволяют быстрее производить крупные детали, чем при использовании порошка. Типичная для этой технологии толщина стенок оптимальна для компонентов кузова, привода и шасси. Вместе с тем этот процесс, также широко применяемый и в авиации, вполне годится и для изготовления компонентов и оснастки для автотранспорта.

Группа BMW, накопившая более чем 30-летний опыт работы в области 3D-печати, тестирует этот процесс в своем кампусе в Обершлайсхайме, где

она объединила под одной крышей АП, исследования и обучение в этой области. Сотрудники BMW Group с особой тщательностью осваивают все тонкости процесса WAAM с 2015 года. А с 2021 года в кампусе используется установка WAAM для производства тестовых компонентов.

Один из примеров применения WAAM – опора стойки подвески, которая в ходе разнообразного тестирования на испытательном стенде сравнивается с таким же компонентом уже серийного производства, полученного из алюминия литьём под давлением. «Уже на этой ранней стадии стало ясно, что технология WAAM обеспечивает снижение выбросов в производственном процессе. Меньший вес компонентов, выгодное соотношение использования материалов и возможность использования возобновляемых источников энергии означают, что компоненты можно производить более эффективно», — говорит Йенс Эртель, руководитель подразделения аддитивного производства BMW. На ближайшее время планируется следующий этап испытаний компонентов автомобиля.

Несмотря на достаточно грубую поверхность, получаемую при наплавке проволокой, инженерам BMW Group удалось продемонстрировать, что компоненты WAAM могут использоваться при высоких нагрузках, в том числе циклических, даже без последующей обработки поверхности. Оптимизированные параметры процесса имеют решающее значение для обеспечения долговечности непосредственно на производстве, поэтому сочетание процесса сварки и движения



роботизированного манипулятора по программе должно быть тщательно скоординировано.

BMW Group продолжает расширять применение генеративного проектирования в своих проектах. Эти алгоритмы разрабатываются в тесном сотрудничестве с междисциплинарными командами и в определенной степени вдохновлены эволюционными процессами в природе. Как и в случае с бионическими структурами, на первом этапе используется только тот материал, который действительно требуется для топологии компонента, а в ходе тонкой настройки на втором этапе компонент усиливается только там, где это необходимо. В конечном итоге это приводит к созданию более легких и прочных компонентов, а также к повышению эффективности и улучшению динамики автомобиля.

«Впечатляет то, как технология WAAM, развившись из исследовательской технологии, превратилась в гибкий инструмент не только для тестирования компонентов, но и для их серийного производства. Применение методов генеративного проектирования позволяет нам в полной мере использовать гибкость проектирования и, следова-

тельно, весь потенциал технологии. Всего несколько лет назад это было немыслимо», — сказал Кароль Вирсик, руководитель отдела исследований BMW Group.

По мнению BMW, различные технологии аддитивного производства не обязательно конкурируют друг с другом, а скорее должны рассматриваться как взаимодополняющие. Например, плавление лазерным лучом по-прежнему будет более выгодным, чем процесс WAAM, когда речь идет о производстве деталей с высоким разрешением. Однако при увеличении размеров компонентов и сокращении времени проекта WAAM заметно превосходит его.

BMW Group изначально планирует централизованное производство компонентов WAAM в Обершлайсхайме, но в будущем возможен запуск таких линий и в других местах, а также использование технологии поставщиками. Кроме того, компания изучает возможность производства отдельных компонентов непосредственно на сборочной линии с использованием этого процесса. Устойчивое развитие таких производств также можно повысить за счет увеличения использования переработанных металлов.

LEAP71 — во имя будущего



clck.ru/39ya5Z

Не раз еще читатели нашего меди-апортала увидят в наших материалах набирающий популярность термин стандарта проектирования будущего – вычислительная инженерия (англ. Computational Engineering) или алгоритмическая инженерия (англ. Algorithmic Engineering).

Откуда же такой пиетет нашей редакции и некоторых новостных агентств по всему миру в отношении деятельности восходящих звёзд на Олимпе славы аддитивных технологий — Жозефины Лисснер и Лина Кайзера?

Жозефина, будучи генеральным директором и основателем Hyperganic Group, стояла у истоков создания клиновоздушного двигателя (Aerospike), поразившего и общественность, и выдавших виды профессионалов. Двигатель, спроектированный её командой, был впечатан в жаропрочном сплаве инконель 718, а позднее — в медном CuCrZr на оборудовании компании EOS GmbH и навсегда покорила абсолютно всех. Вот что на волне успеха говорила Жозефина: «Наш клиновоздушный ракетный двигатель является первым наиболее сложным и самым большим, изготовленным с помощью 3D-принтера. Он полностью разработан с помощью нашего собственного программного обеспечения, использующего преимущества генеративного ИИ, с практически полным отсутствием необходимости ручного проектирования в САПР. Сегодня мы с гордостью

можем знаменовать начало смены парадигмы в современном проектировании продукции. На своем ноутбуке я могу сгенерировать новый вариант этого двигателя всего за 30 минут без озабоченности по поводу того, как я дальше буду подготавливать многогигабайтные файлы для печати». И это еще не всё. Расслоёвка двигателя с помощью постпроцессора CADS Additive Titan.Core занимала всего 8 минут!

И вот окрылённая успехом Жозефина вместе со своим коллегой Лином Кайзером покидает пост в Hyperganic Group и основывает в Дубае компанию LEAP71.

Своё визионерство в развитии новой концепции — вычислительной инженерии применительно к АП дружная парочка стала активно развивать в новой компании. Вычислительная инженерия является новой парадигмой проектирования, в которой объект





разбивается на фундаментальные логические блоки с настройкой зависимостей между ними. Итогом разработки будет служить параметрическое представление объекта (алгоритмическая модель) с технологическими данными для 3D-печати (поддержки, мультиматериальность, воспроизводимость элементов).

Очевидно, что деятельность LEAP71 не могла остаться незамеченной, и с ней подписали соглашения о сотрудничестве две серьезные компании: MIMO TECHNIK и ASTRO Test Lab, осуществляющие инновационную активность в авиации и космонавтике. Теперь эти компании будут разрабатывать оптимизированный рабочий процесс для комплексной разработки сложных и ответственных продуктов, в который войдут проектирование, производство и проверка качества.

MIMO TECHNIK является, пожалуй, ведущим поставщиком 3D-печати

металлом для аэрокосмической и оборонной промышленности США, сертифицированным поставщиком АП для BOEING Defense, Space & Security.

ASTRO Test Lab располагает самой передовой службой тестирования напечатанных деталей, критически важных для полетов.

Соучредитель и управляющий директор LEAP71 Жозефина Лисснер внесла некоторую ясность в детали партнерства: «Совершенно очевидно, что у наших компаний есть столь необходимые компетенции для создания нового рабочего процесса. Аэрокосмическая отрасль является ключевым направлением деятельности LEAP71. Наше ПО может создавать сложную трёхмерную геометрию, основанную на инженерном ноу-хау и физике. Работая с MIMO и ASTRO, мы можем перейти к рабочему процессу с замкнутым контуром обратной связи для производства и сертификации очень продвинутых систем».

Союз трёх компаний, очевидно, возьмёт несколько ключевых последствий для рынка:

1. Изделия для авиации и космоса будут разрабатываться и производиться гораздо быстрее.

2. Вычислительная инженерия может стать определенным стандартом в разработке продукции аэрокосмического назначения в США.

3. LEAP71 неизбежно выиграет от такого партнерства, став известной не только среди компаний авиационной направленности, но и многих других, для которых важно сокращение процесса проектирования высокосложной многономенклатурной продукции.

Подобные проекты и коллаборации без сомнения помогут рынку встре-

пенуться и сделать огромный рывок вперёд, переместившись сразу на следующий виток эволюции АП. Не этого ли ждут инвесторы и скучающие по инновациям производители? Быстрое проектирование с помощью параметрически управляемых узлов, полное соответствие процесса проектирования под возможности АП (расстановка поддержек, качественная проработка мелких или особенных конструктивных элементов, мультиматериальность), возможности передовой 3D-печати, а также контроль на всех этапах конструкторско-технологического процесса с помощью единой программной среды — не такого ли светлого производственного будущего все мы сегодня ждём?



xMOLD – настоящий кремь!



clck.ru/39ypdq

Как явствует из материалов недавнего тематического исследования, компания Alpine Advanced Materials (Alpine) в партнерстве с компанией Nexa3D разработала оснастку для 3D-печати высокоэксплуатационных композитов, формируемых методом литья под давлением.

Alpine специализируется на индивидуальном проектировании и производстве деталей для аэрокосмической техники, оборонной, и транспортной отраслей. В общем производственном цикле роль АП отводится фирменному процессу LSPc (Lubricant Sublayer Photocuring), продвинутому аналогу mSLA/LCD от компании Nexa3D. На 3D-принтерах печатается растворимая оснастка из особой фотополимерной смолы, пригодная для литья под давлением сложных композиционных материалов, а также металлов и сплавов.

Стоит ли говорить, что тема использования смол для инъекционной оснастки сегодня всё чаще поднимается производителями, по достоинству оценившими высокую точность фотополимерных технологий? Мы наблюдаем за развитием многих проектов, некоторые из которых вызывают всеобщую зависть миллионными сериями, и всё благодаря высокой скорости и точности проекционных фотополимерных технологий. Но, как оказалось, это не единственное, что подкупает заказчиков: появление новых тугоплавких

материалов, отличающихся долговечностью и обладающих специальными уникальными свойствами – вот что представляет неподдельный интерес. Например, такие компании, как BASF и Henkel принимают активное участие в разработке материалов для 3D-печати. Другими словами, АП сегодня — это целый комплекс связей производителей оборудования, инженеров, разрабатывающих изделия, материаловедов и производителей материала, «держателей» 3D-ферм, а также тестировщиков (возможно, из лояльных потребителей).

Рассматриваемый процесс предлагает воспользоваться новым подходом в прототипировании единичных деталей, но по более короткому и наименее затратному пути — использованию такой смолы, чтобы в напечатанную из неё форму можно было без опасения заливать металл (металлополимерные композиции и керамонаполненную смолу MIM/CIM с последующим удалением связующего и спеканием)! За экономикой далеко ходить не надо — смола дешевле металла в форме, не так ли?





На волне инновации и успеха компания Nexa3D начинает использовать свою линейку фотополимерных 3D-принтеров для инновационного процесса литья под давлением в произвольные формы FIM (англ. Freeform Injection Molding), впервые предложенного датской компанией Addifab (ныне вошла в состав Nexa3d).

Производственники хорошо знают, насколько это затратное дело – изготовление оснастки. В Alpine учли, что традиционный подход к литью под давлением требует крупных первоначальных вложений в многократную стальную оснастку, но это не всегда соответствует потребностям клиентов на этапах разработки и производства. Преимущества крупносерийного производства из современных материалов очевидны для заказчиков, но это также может оказаться сложной задачей для производителей, разрабатывающих новые конструкции.

Вывод напрашивается сам собой: а можно ли уйти от металла для единичного производства, чтобы иметь возможность оперативного тестирования и валидации прототипа, готовящегося к серийному производству? А можно ли взять на вооружение такой процесс, который позволит внести изменения, быстро и наименее затратно изготовить форму?

Для современных материалов для литья под давлением, таких как HX5 (ар-

мированный полимер), эксклюзивные права на который принадлежат Alpine, может быть еще сложнее разработать оптимизированные конструкции деталей и оснастку не прибегая к помощи стальных форм. FIM сегодня становится такой палочкой-выручалочкой, позволяющей обходиться без стали даже для сложных в литье материалов.

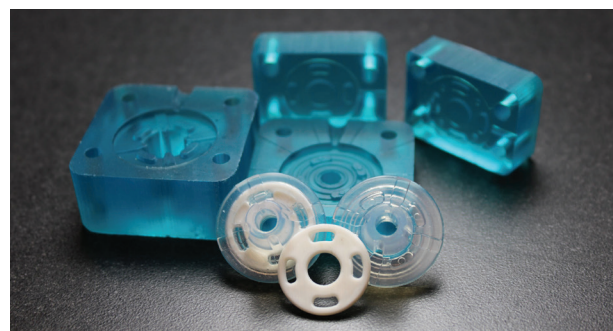
Итак, процесс FIM в данном случае рекомендует использовать материал xMold, который выдерживает формование из высокоэксплуатационных материалов.

Для особо интересующихся опишем его.

Печать. Для получения высокой точности оснастки используется LSPc-печать из растворимой смолы xMold. Этот материал «совместим» с сотнями пластмасс, пригодных для литья под давлением, включая некоторые виды армированных, а также MIM-металлов. Несмотря на то, что именно Nexa3D продвигает его на линейке своих принтеров, xMold можно использовать и на других с подобным принципом фотополимеризации.

Инжекция. Напечатанная форма помещается в ТПА, производится впрыск материала, например, композиционного, термопласта, силикона и даже MIM-металла. После этого придется подождать некоторое время для остывания формы.

Растворение. Заключительный шаг — растворить фотополимерную оснастку в щелочном растворе, на что потребуется 12–48 часов в зависимости от размера и сложности детали.





Короткий кейс

FIM процесс пришелся кстати одной американской компании, занятой производством БПЛА, для которой потребовалось в сжатые сроки изготовить детали для демонстрации работоспособности аппарата. Стандартная полимерная печать не удовлетворила заказчика по причине недостаточной прочности деталей. Поэтому они стали искать другие возможности с композиционными материалами. В результате сотрудничества компаний удалось изготовить 60 деталей за 10 дней. Демонстрация БПЛА прошла успешно.

Какие же выводы мы можем из всего этого сделать?

Во-первых, инженер может проектировать изделия без оглядки на возможности традиционных методов производства, когда для литья в ТПА требуется обращать внимание на углы разъема, стенки, отверстия. Другими словами, он не стеснен ограничениями, а может создавать изделия с более высокими эстетическими, эргономическими, и эксплуатационными характеристиками. Шах и мат вам, классические производства, на коротком пути!

Во-вторых, при любых штатных или нештатных ситуациях инженер без риска больших затрат может перепроектировать форму и в очень короткие сроки получить конечную деталь.

Следует обратить внимание, что сегодня смолы являются бескомпромиссным решением, способным удовлетворить заказчика как по качеству поверхности, так и по функциональным свойствам. Эй, полимерные формы из экструзионных технологий, теряете позиции?

В-третьих, получить деталь можно даже не прибегая к загрузке основного высокопроизводительного оборудования ТПА, ведь оно занято серийным производством. Для этой цели можно воспользоваться недорогими настольными ТПА с низкими инвестиционными затратами.

В-четвертых, логистика заметно сокращается, ведь вы по-прежнему можете печатать формы у себя и отливать в них ваши самые «трудные» материалы.

В-пятых, предыдущий кейс показал, что порой за инновациями стоят годы разработок, ноу-хау, которые могут «утечь» предприимчивым деятелям. Чтобы этого не допустить — имейте весь спектр оборудования и материалов, чтобы не волноваться за конфиденциальность вашего проекта.

Когда российские аддитивщики, предприятия, и производители материалов обратят внимание на данную высокотехнологичную коллаборацию? Хотелось бы поскорее увидеть труды наших!

На процессы полезно посмотреть «сверху»



clck.ru/39yvLh

«Проблема никогда не бывает в детях. Они рождаются учёными. Проблема всегда во взрослых. Они выбивают из детей любопытство».

© Нил Деграсс Тайсон

В ходе совместной работы с другими специалистами по аддитивным технологиям нам необходимо было достичь наилучшей поверхности на синтезируемом материале. Тогда по результатам работы была опубликована статья «Особенности формирования поверхности в методе селективного лазерного сплавления». В этой публикации мы подойдём к той же самой проблеме с точки зрения контурных карт.

Из-за того, что контурная карта (heatmap, ternary map) ассоциируются у нас с уроками географии в школе, многие забывают, что они как форма визуальной репрезентации являются серьёзным исследовательским инструментом. Как правило, при отработке (или разработке) режима синтеза поверхности область варьируемых параметров сужается до мощности лазерного луча, P (Вт) и скорости сканирования лазера (V , мм/с). Далее идёт несложный поиск оптимального результата по уровню шероховатости поверхности (RA, мкм). В нашем случае благодаря контурным картам мы смогли посмотреть «сверху» на происходящий процесс, предугадать искомое и заложить возможности для последующего развития.

Для простоты в качестве исследуемой области мы выбрали квадрат (рисунок 1),

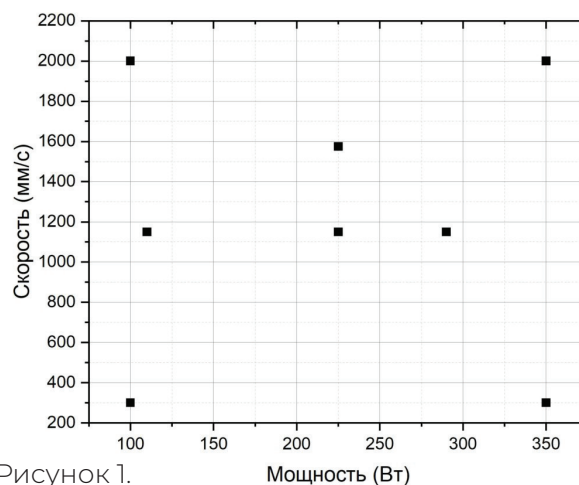


Рисунок 1.

сформированный следующими границами (координатами): $P = 100, 350$ Вт и $V = 300, 2000$ мм/с, также задав центр треугольника и ещё пару-тройку точек для уточнения[1].

И наши результаты оказались достаточно интересными (рисунок 2).

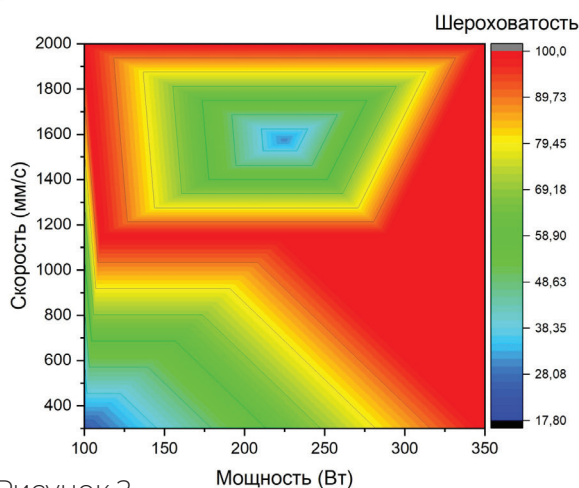


Рисунок 2.

Однако, так как мы смотрели на процесс «сверху», дальнейший процесс разработки не представлял сложности. В конечном итоге мы собрали область вида (рисунок 3) и следующие результаты (рисунки 4 и 5).

Что же нам дали эти «контурные карты»? На самом деле дальнейшее также зависит от вашего воображения: если вам необходима деталь с максимально

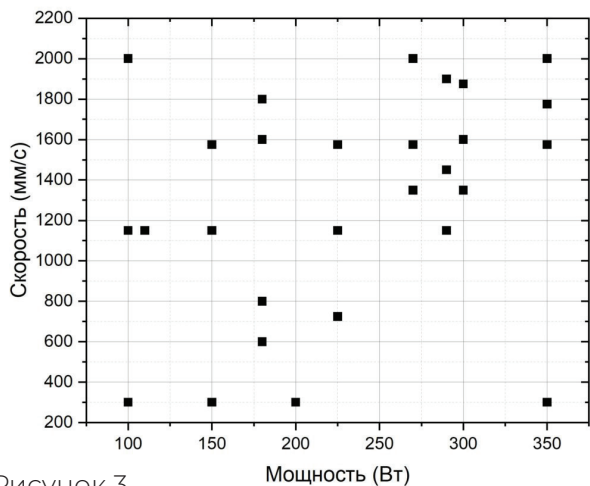


Рисунок 3.

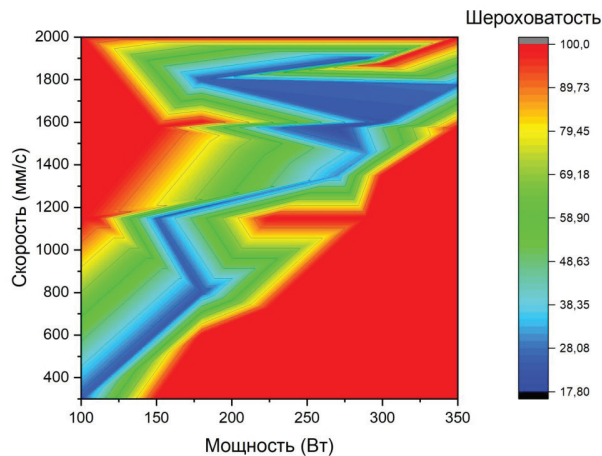


Рисунок 4.

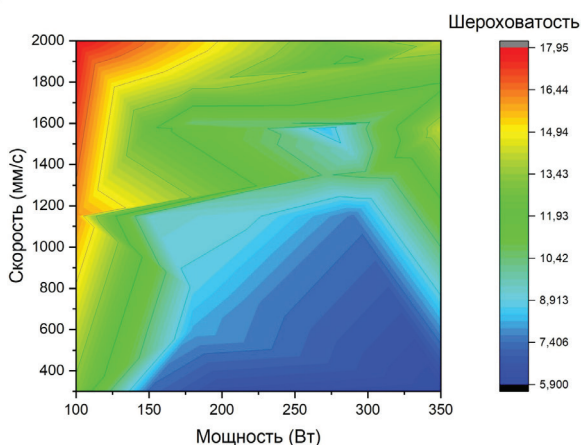


Рисунок 5.

высоким качеством поверхности, выбирайте наилучшие результаты с обеих карт. Требуется деталь, которая напечатается максимально быстро? Опять же, сравнивайте обе карты и выбирайте наилучшие показатели. Конструктив, требования к поверхности, объём и скорость производства, требования к самой детали и т.д., всегда дают нам, как производителю, возможность быть гибкими относительно наших внутренних затрат, конкуренции на рынке и качества поставляемых изделий.

Проведённая исследовательская работа в долгосрочной перспективе обеспечит специалистам по аддитивным технологиям гибкость в последующей работе с этим материалом и закладывает дальнейший фундамент для развития.

Все теоретические выкладки и гипотезы приведены в оригинальной статье [2].

Благодарность Д.И. Сухову и А.М. Роголёву за эту проделанную совместную работу.

[1] На самом деле всё тривиально, на платформу помещалось 8 образцов, затем на основе «эмпирического опыта» были выбраны потенциальные три точки, которые могут дать оптимальный результат

[2] Bakradze, M. M., A. M. Rogalev, Dmitry Sukhov and Garegin Grigorovich Aslanian. "Special Features of Formation of Surface by Selective Laser Melting." Metal Science and Heat Treatment 64 (2022): 108-116.

Асланян Гарегин Григорович, АО ЦАТ



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



Не робкий STEP, а решительная поступь



clck.ru/39yyvy

Патологическая тяга к автоматизации любого процесса оберегает меня от рутинных операций, которые может и должен делать «робот, а не человек», генеративный искусственный интеллект, сложные механизмы и, конечно же, высокопроизводительные системы 3D-печати. Каждый раз в любом стартапе я ищу именно эту красную нить потенциальной автоматизации, и если не нахожу её, то попросту теряю всякий интерес к проекту. Вернее, интерес-то может сохраняться, а вот пророчить новой технологии или устройству место в безлюдной Фабрике будущего я, возможно, уже не буду.

Чтобы не вести монолог только с самим собой, я попытаюсь предугадать читательский скепсис и, как могу, возразить предполагаемым оппонентам. Например, читатель может не согласиться с необходимостью разрабатывать системы с высоким уровнем автоматизации, сославшись на большой потребительский сектор, для которого достаточно возможностей настольных 3D-принтеров. Но любая технология привлекает к себе гораздо больше внимания в том случае, если имеет шансы стать серийной и высокопроизводительной. Тут и гораздо быстрее найдется инвестор, для которого важен именно масштаб

идеи: сегодня он вкладывается в единственный, но перспективный продукт, а завтра проект превращается в мощную технологию с большим модельным рядом, которую с удовольствием потребляют промышленники и замещают ею оборудование вчерашнего дня.

Компания, о которой сегодня я хочу рассказать, появилась в медийном пространстве еще в 2017 году благодаря крупному и авторитетному инвестору — Stratasys. Речь пойдет о Evolve Additive Solutions, ныне самостоятельной компании, разработавшей передовую технологию электрофотографического ламинирования STEP (Selective Thermoplastic Electrophotographic Process), в которой детали изготавливаются за счет термопереноса порошка полимера с горячего барабана на подложку. Предлагаю читателям самостоятельно удовлетворить своё любопытство по поводу очень интересного производственного процесса этой компании. Я лишь расскажу подробнее о некоторых важных аспектах этой технологии, и даже революционных изменениях, которые с её подачи неизбежно произойдут в ближайшее время в традиционной промышленности.

Сегодня я слышу от экспертов-практиков мнение о том, что некоторые западные компании, некогда блиставшие в роли ключевых игроков рынка АТ, ныне стремительно сдают свои позиции азиатским производителям, для которых копирование и дешёвая рабочая сила не являются проблемой. Как говорится, дружно навалились на не очень сложную проблему и быстро воспроизвели лучшие зарубежные продукты. Вот такая вот цифровая



трансформация «за ночь» благодаря обратному инжинирингу и многочисленному и доступному персоналу. Мы с вами ещё не раз увидим медленные взлёты западных компаний и их стремительные падения. Многие достаточно простые в воспроизводстве АТ сегодня заполняют мировые рынки, однако их производительность оставляет желать лучшего, ускоряясь только на «жалкие» проценты. А многие производственники остаются при своём, допуская в свои цеха только высокопроизводительные технологии.

И что же нужно сделать разработчику, чтобы обратить на себя внимание? Правильно, предложить технологию, которая будет базироваться на апробированном надёжном решении, но сложном в техническом плане, что и сделали в Evolve Additive Solutions, не изобретая велосипед, а просто позаимствовав идею и даже ответственные узлы у цифровой печатной машины Kodak NexPress™. Вот это поворот, скажете вы! И действительно — идея использовать то, что на протяжении долгих лет было успешным продуктом и использовалось для серийного

производства полиграфической продукции, просто поражает и вдохновляет одновременно! И вместе с этим пользователи снятых с производства Kodak NexPress летом 2023 года получили уведомление об увеличении эксплуатационных расходов более чем в два раза. Такое резкое увеличение цен может означать, что принтер «больше не жизнеспособен» и его необходимо заменить альтернативной технологией. В отчете Kodak по итогам 2022 года компания сообщила, что прекратила производство своих принтеров Nexfinity и Ascend, начиная с декабря 2022 года, ввиду незначительного количества проданных установок в Великобритании. Вот такая историческая справка и положение дел у промышленного гиганта говорят о том, что изжившая себя технология для 2D-печати замещается на более продуктивного коллегу, но даже в таком состоянии она стала вполне пригодна для масштабированного объёмного производства SVP™ (Scaled Volume Production) от Evolve Additive Solutions, способного в ближайшем будущем конкурировать



с литьём под давлением как по производительности, так и по ассортименту материалов.

Видео: <https://vimeo.com/808459558>

Сегодня компанией руководит генеральный директор Джо Эллисон. Успехи 3D Systems настолько его воодушевили, что он устроился туда инженером по исследованиям и разработкам и проработал там с 1988 по 1991 год. Вторая важная веха в его деятельности — основание крупнейшего в мире ЦАП Solid Concepts (Валенсия, Калифорния). Он руководил Solid Concepts более 23 лет, прежде чем продал её компании Stratasys в 2014 году. Взявшись за руль управления компанией Evolve Additive Solutions в 2022 году и добившись беспрецедентной производительности, точности и надежности, в 2023 году он основывает контрактное

производство деталей под названием STEP Parts Now. И действительно, оборудование способно напечатать слой термопластика высотой 13 мкм по размеру платформы 600x300 мм всего за 6 сек, что выше скорости прочих систем АП в среднем в 50 раз! Лишний раз мы становимся свидетелями того, как безлучевые АТ завоёвывают рынок за счёт своих высокопроизводительных решений, как например, в системе SVP за счёт цикла энергии тепла, давления и охлаждения деталей. А помимо этого она способна одновременно работать с пятью материалами в одном слое, то есть налицо завидная мульти-материальность, причём разрешение



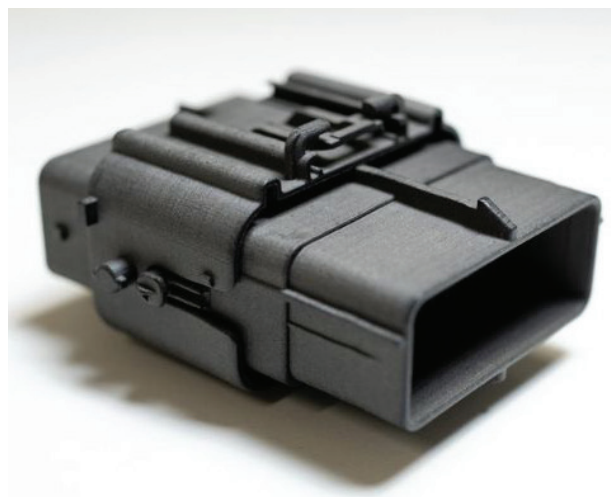
в техпроцессе составляет 600 точек на дюйм или 0,04 мм (два отдельных вокселя из двух разных материалов способны очень точно размещаться рядом друг с другом), что является очень высоким показателем даже для LCD/SLA систем. Пока специалисты освоили самые ходовые материалы: ABS и PA11, но можно работать с популярными инженерными (аморфными и полукристаллическими) термопластами и термопластичными эластомерами (ТПЭ). Стоимость и качество поверхностей производимых деталей сопоставимы с традиционным производством, а изотропные свойства — как у литья под давлением. Джо Эллисон считает, что «технология STEP — единственная жизнеспособная альтернатива литью под давлением на современном рынке. При использовании других аддитивных процессов приходится жертвовать либо разрешением и точностью, либо механическими свойствами, либо качеством и повторяемостью. STEP — бескомпромиссная технология, вбирающая в себя всё самое лучшее. В начале своей карьеры я помогал продвигать некоторые из первых АТ для обычного прототипирования. Но наибольшая ценность 3D-печати проявляется только тогда, когда вы можете печатать производственные детали в любой точке мира, когда захотите, — я называю это гибким производством. Сегодня мы в компании Evolve Additive Solutions абсолютно чётко видим будущее промышленности, в котором технология STEP станет ведущей в производстве пластмассовых деталей».

Сложно не согласиться с тем, что такая безлучевая технология действительно может стать отраслевым стандартом производства, когда аддитивщикам уже не потребуется доказывать через кейсы возможности предлагаемого процесса. Качество, производительность, экономика, гибкость, отсутствие оснастки — вот что должно



заинтересовать производителей. И когда наступит такое время, то, возможно, мы станем свидетелями появления массовых «золотых» продуктов, которые будут появляться благодаря «золотым» (не по деньгам, а по их ценности) технологиям не робкого десятка. Технология STEP, обязанная надёжному решению серийной цифровой 2D-печати, по всей видимости, может стать лидером, затмевающим своими возможностями многих сегодняшних производителей систем АП вместе взятых.

В статье были использованы материалы:
<https://www.3dnatives.com/en/evolve-additive-solutions-step-technology-agile-production-260220244/>
<https://evolveadditive.com>
<https://www.fabbaloo.com/news/evolve-additives-step-targets-production-level-3d-printing>



Шероховатость: уберите это!



clck.ru/39z4hr

Существует множество аспектов, способных влиять на работу металлической аддитивно произведённой детали. Один из наиболее известных — шероховатость поверхности, которая во многом и определяет механические свойства изделия.

Давайте исследуем этот вопрос вместе с Линдси Киблер, ведущим инженером по применению материалов в GE Additive.

Каковы типичные значения чистоты поверхности после печати в популярных АТ по металлам и сплавам?

Наиболее распространённым параметром шероховатости поверхности является R_a — среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля от средней линии в пределах базовой длины. Хотя для характеристики профиля поверхности доступно множество параметров шероховатости, именно R_a наиболее часто используется сегодня во многих отраслях промышленности.

Как правило, лазерная технология LB-PBF/SLM даёт чистоту поверхности R_a равную 5–20 мкм на вертикальной стенке в зависимости от материала и параметров процесса. Значения R_a у технологии EB-PBF с электронным лучом немного выше, и обычно составляют около 30–38 мкм. Технология же струйной печати связующим Metal BJ позволяет добиться среднего значения R_a на

вертикальной стенке примерно 15 мкм после конечного цикла постобработки — спекания.



Влияет ли качество поверхности на механические свойства изделий? Если да, то какие из них могут пострадать больше всего?

Качество поверхности детали влияет на некоторые её механические свойства, например, на усталостную долговечность. Большинство других свойств, например, прочность при растяжении, во многом зависят от внутренней структуры материала и в меньшей степени — от состояния поверхности. Усталостная долговечность сильно зависит от глубин на поверхности, поскольку они ведут себя как концентраторы напряжений, способных вызвать появление трещин сразу после печати или в процессе эксплуатации.

Тонкостенные элементы деталей также могут влиять на их механические свойства. Например, стенки с толщиной менее 1 мм и высокой шероховатостью могут иметь некоторые участки с одновременным появлением глубин профиля друг напротив друга, что может значительно уменьшить толщину стенки и ограничить срок службы компонента.



Есть ли в АП предпочтительный метод и оборудование для измерения шероховатости поверхности?

Сегодня для измерения шероховатости поверхности чаще всего используются контактная профилометрия и оптические методы. Контактная профилометрия обычно применяется для изделий с относительно низкими значениями шероховатости поверхности (более гладкая поверхность), но она же и менее точна для более высоких значений шероховатости. Такие профилометры измеряют шероховатость по заданной длине детали благодаря щупу с алмазным покрытием. Для поверхностей с высокой шероховатостью инструмент может оказаться не в состоянии достичь самых низких глубин и, таким образом, может давать неточные показания. Преимущества контактной профилометрии — низкая стоимость оборудования и совместимость с устаревшими процессами определения характеристик, используемыми для компонентов традиционного производства.

Оптические измерения шероховатости поверхности обычно проводятся с использованием хроматического света или лазерного микроскопа, который с высокой точностью отображает трёхмерную поверхность детали. Это оборудование, как правило, дороже, но измерения и результаты более универсальны. Такие измерения особенно полезны для определения более высоких значений шероховатости поверхности, поскольку можно получить больше данных на большей площади детали. Если контактные измерения показывают среднее арифметическое значение шероховатости по линии (R_a), то оптические измерения — по площади (S_a). Эти значения не всегда сопоставимы, поэтому необходимо проявлять внимательность при сравнении значений шероховатости поверхности, полученных с помощью разных методов измерений.

И контактные, и оптические методы измерения играют важную роль для оценки напечатанных деталей, но оба также требуют дополнительной разработки для стандартизации методов измерения во всей отрасли.

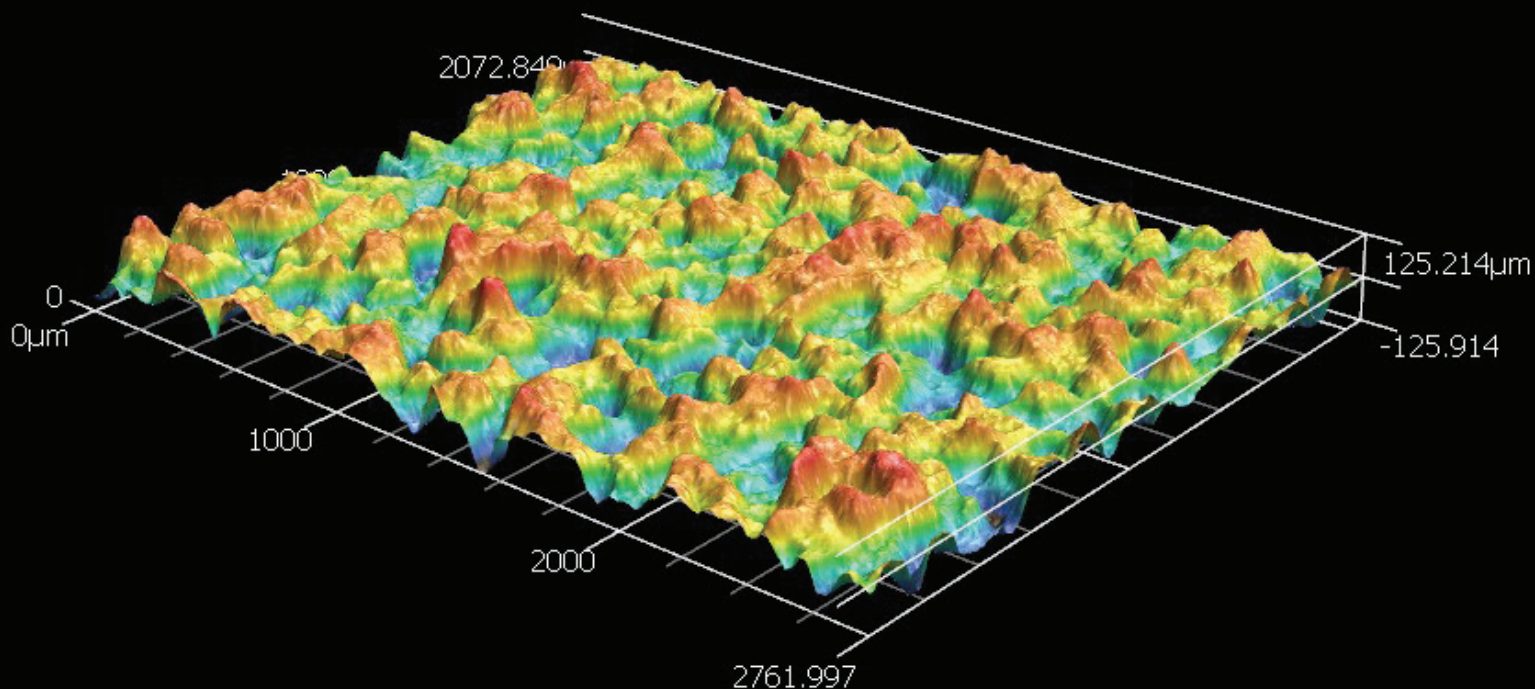
Какие параметры процесса могут влиять на качество поверхности при 3D-печати?

Лучевые технологии (LB-PBF/EB-PBF) имеют множество общих параметров, которые влияют на качество поверхности, включая расположение детали на платформе, как по отношению к лазеру (с учётом угла падения лазера), так и по отношению к направлению потока газа; угол поверхности по отношению к рабочей платформе; гранулометрический состав порошка; толщина слоя; параметры луча, такие как мощность, скорость и размер пятна. На качество поверхности деталей по MBJ-технологии влияют плотность слоя порошка, параметры цикла спекания, скорость осаждения связующего, разрешение печатающей головки и свойства самого связующего материала.

Хотя все эти параметры можно оптимизировать для качества поверхности, они часто требуют компромиссов. Например, в технологиях LB-PBF и EB-PBF уменьшение толщины слоя и более медленное сканирование лучом/лучами часто приводят к улучшению качества поверхности, но также увеличивает время производства. Аналогично и для струи связующего: увеличение скорости перемещения головки сокращает время печати, но также увеличивает шероховатость поверхности.

Как контролируются эти параметры процесса для оптимизации качества поверхности?

В GE Additive мы проводим обширные исследования по разработке параметров для оптимизации механических свойств и качества поверхностей деталей при



различных углах печати. В частности, в LB-PBF и EB-PBF разные параметры могут применяться к разной геометрии, так что набор параметров может отличаться для вертикальной и криволинейной поверхности.

Другой способ оптимизировать качество поверхности — изменить ориентацию и расположение детали, чтобы избежать более высокой шероховатости поверхности и концентраторов напряжений. Для технологий LB-PBF и EB-PBF детали можно ориентировать таким образом, чтобы все важные элементы печатались под оптимальными углами к рабочей платформе. Кроме того, для некоторых криволинейных поверхностей можно добавить больше поддержек.

Наконец, есть возможности оптимизировать геометрию самой детали. Некоторые компоненты конструкции можно оптимизировать путём проектирования DfAM, например, плоские выступы могут стать самонесущими с помощью фасок и плавных переходов на обращённых вниз поверхностях, вид отверстий также можно изменить, чтобы обходиться без поддержек, и многое другое.

Если деталь была обработана тради-

ционным способом, могут ли пользователи АТ рассмотреть возможность оставить поверхности в напечатанном виде (без механической обработки) в конечном продукте?

Существует мнение, что напечатанные детали всегда являются заготовками и их в обязательном порядке требуется подвергать постобработке. Одним из основных преимуществ АТ является свобода и гибкость в проектировании и отсутствие ограничений традиционных технологий, связанных с доступом режущего инструмента для обработки той или иной поверхности. Та геометрическая сложность деталей, которую возможно реализовать с помощью АП, попросту невозможна при опоре на классические производственные методы. В числе примеров этих особенностей — каналы конформного охлаждения, элементы с поднутрениями, а также ячеистые структуры.

Необходимость механической обработки того или иного компонента продиктована прежде всего требованиями к детали. Это могут быть места сопряжения с поверхностями других деталей, резьбовые отверстия, а также области с ограниченной усталостью, где обработанная поверхность может

увеличить срок службы компонентов. В остальных случаях малоответственные компоненты принято оставлять без лезвийной механообработки.

Какие ещё методы постобработки существуют для улучшения качества поверхности, помимо традиционной механической обработки?

Существует несколько методов улучшения качества поверхности, и при выборе правильного метода для конкретного применения необходимо учитывать несколько факторов. Некоторые методы, такие как обработка абразивным потоком высоковязкой рабочей среды, полезны для сглаживания поверхностей в отверстиях и каналах. Другие методы, в том числе галтовка и пескоструйная обработка, могут улучшить внешний вид детали и общую чистоту поверхности за счёт сглаживания выступов профиля. Однако эти методы не устраняют глубины, а, как упоминалось ранее, глубины приводят к снижению усталостной долговечности. Таким образом, если цель состоит в том, чтобы увеличить усталостную долговечность, необходимо рассмотреть альтернативный метод

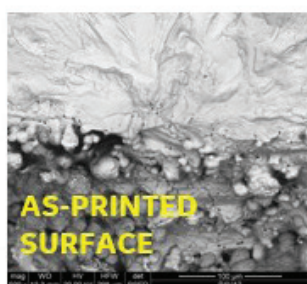
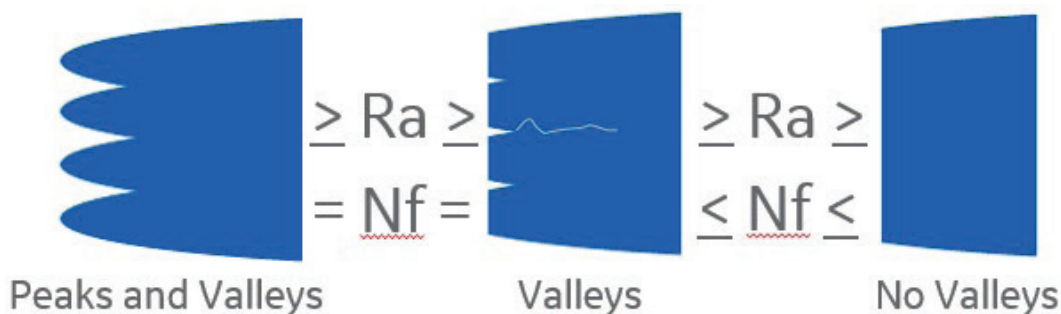
(например, химическое травление или традиционную механическую обработку) для сглаживания поверхности.

Технология ВЖ позволяет улучшить поверхность детали ручным шлифованием, пока та ещё находится в «зелёном» состоянии (податливом), то есть до спекания. Ручной метод можно заменить более автоматизированным — пескоструйной обработкой, но при условии, что неспеченная деталь не разрушится, или аналогичных процессов, если неспеченная деталь имеет достаточную прочность, чтобы выдержать эту дополнительную постобработку.

Выводы

Качество поверхности детали во многом зависит от используемого метода и параметров обработки, и многие из этих параметров можно регулировать для оптимизации качества поверхности. Некоторые из этих параметров требуют компромисса, будь то производительность или стоимость, и должны быть сбалансированы с требованиями к компонентам.

Источник: <https://www.ge.com/additive/blog/get-facts-surface-roughness>



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;