

at

АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



TETC

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОСКОСМОСА

стр. 4



На пути к серийному производству. Автоматизированное удаление поддержек после печати металлом

28



Проектирование и изготовление подшипника с помощью 3D-печати

32



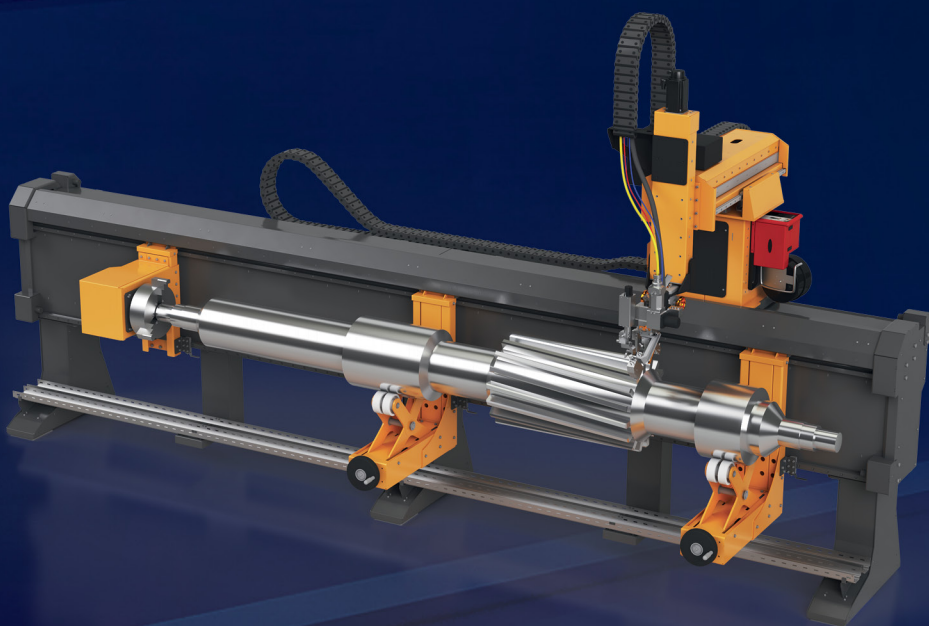
Пластик или металл для инструментов обработки изделий давлением?

35



ПОЛНОСТЬЮ УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ FL-CPM

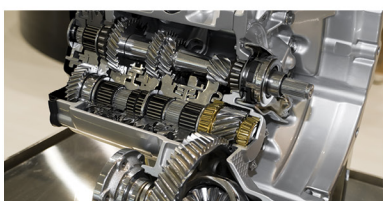
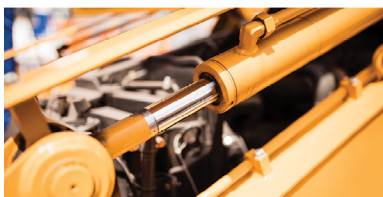
FL-CPM – это универсальная многоосевая система станочного типа для обработки деталей—тел вращения. **Модульная конструкция** координатной системы и **широкий выбор** съемных навесных элементов крепления заготовок дают возможность создать вашу **уникальную конфигурацию станка**.



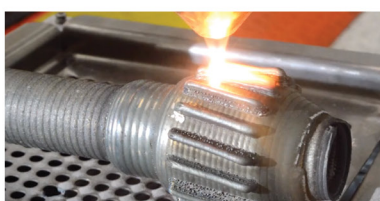
**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР IPG
ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ**

Примеры применений

Сварка деталей вращения,
профильных изделий, валов



Наплавка валов, наплавка
шестерен



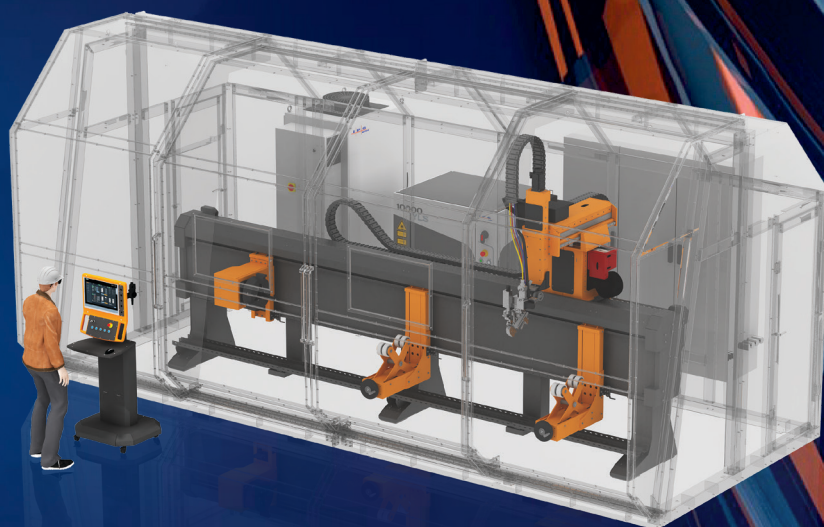
Термоупрочнение резьбы,
валов, зубчатых колес



ЛЮБАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПОД ЛАЗЕРНУЮ СВАРКУ, НАПЛАВКУ ИЛИ ТЕРМООБРАБОТКУ

Система **FL-CPM** обеспечит
вашему производству
**высоколиквидный автома-
тизированный процесс**
обработки различных
деталей.

Возможность смены
оптических голов позволяет
осуществлять **различные
техпроцессы на одной
установке.**



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ С УДОБНЫМ И ПОНЯТНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

СВАРКА. Экономия времени и электроэнергии: скорость лазерной сварки 1–10 м/мин, сварной шов не требует дополнительной обработки, зона термического влияния лазерной сварки не более 0,5 мм, возможность полной автоматизации. Эффективность и гибкость в использовании: наименьший размер сварного шва и зоны термического влияния, высокая повторяемость процесса, быстрая перенастройка при переходе на изготовление нового изделия.

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

ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ. Локальный нагрев поверхности – термообработка не всей детали, а ее локальных участков, подверженных износу. Быстрый термический цикл – высокая скорость нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностей – уменьшение размера зерна материала. Высокая твердость поверхности и однородность структуры. Твердость обрабатываемых изделий/участков повышается более чем в 2 раза (толщина слоя 0,5–1,8 мм). Деформация при лазерном термоупрочнении более чем на порядок меньше, чем при термоупрочнении традиционными способами.

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

+7 (496) 255-74-46; sales@ntoire-polus.ru

www.fl-cpm.ru

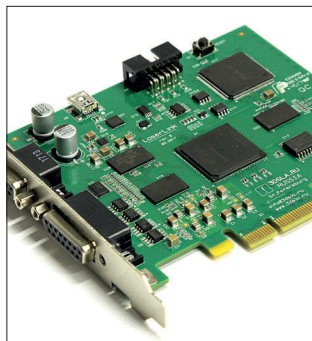




4



16



24

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор

М. Копытина

отдел редакции:

Т. Карпова, Э. Сацкая

С. Куликова

консультант:

Н.М. Максимов

nikamax@gmail.com

отдел рекламы

т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 101000, Москва

Милютинский пер., 18А,

оф. 3бс, помещение 1

т/ф (499) 55-9999-8

(многоканальный),

e-mail: info@additiv-tech.ru

www.additiv-tech.ru

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

Тираж 5000 экз.

Распространяется на выставках
и по подписке.

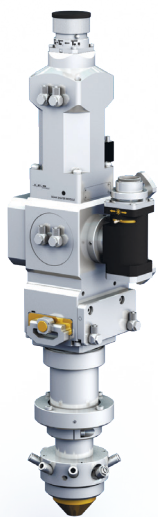
Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.

Все права защищены ®.

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

СОДЕРЖАНИЕ

- 4** Производство шар-баллонов для российской космической техники методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме
- 8** Вечная молодость «ПОЛЕМА»
- 10** «Я верю в российских разработчиков»
- 16** О развитии аддитивных технологий в России
- 21** Продукция надежна и предсказуема
- 22** Оборудование не должно простаивать
- 23** Доступны бизнесу любого масштаба
- 24** Своих разработчиков надо лелеять!
- 28** На пути к серийному производству. Автоматизированное удаление поддержек после печати металлом
- 32** Проектирование и изготовление подшипника с помощью 3D-печати
- 35** Пластик или металл для инструментов обработки изделий давлением?



Удобство лазерной наплавки

Оптические головки IPG Clad в герметичном корпусе с интегрированным коаксиальным соплом Fraunhofer разработаны компанией IPG Photonics для реализации различных режимов порошковой наплавки при помощи волоконных лазеров. Множество различных конфигураций с широким выбором фокусных расстояний и опций, а также полная совместимость с лазерами IPG позволяют максимально упростить подбор оптимального оборудования для конкретных производственных задач.

IPG Clad является идеальным решением для наплавки различных типов материалов,

используемых для аддитивных и восстановительных производств. Ширина полосы наплавки – 2–10 мм, скорость подачи порошка 10–150 г/мин, угол наклона – 30°.

Головы полностью совместимы с периферийными устройствами IPG, такими как коаксиальная видеокамера, формирователь равномерного по интенсивности сечения пучка BeamShaper или система контроля сварного шва в реальном времени LDD.

Более подробная информация представлена на сайте www.ipgphotonics.com.

Актуальные темы и высокие оценки

В Московском политехническом университете на кафедре «ОМД и АТ» в июне прошли защиты дипломов бакалавров по специальности «Аддитивные технологии». Темы представленных работ касались как создания оборудования и деталей оборудования, так и решения прикладных задач.

Вниманию комиссии были представлены проекты по разработке: 3D-принтера для печати восковок по технологии FWF, подогреваемой термокамеры 3D-принтера для FFF-печати высокотемпературными пластиками, микрошнекового экструдера для печати полимерными гранулами по технологии FFF. Была показана эффективность применения аддитивных технологий при изготовлении титановых имплантатов для протезирования кошачьих конечностей и разлагаемых имплантатов для поддержки грудной клетки, при производстве пористых изделий типа «фильтр», детских игрушек, восковых моделей для литья. Немаловажными составляющими работ были: маркетинговое исследование рынка с целью выявления существующих решений, оценка бизнес-модели, подбор оптимальных технологических режимов для создания изделий, демонстрация эффективности и окупаемости проекта, проектирование производства и анализ его рентабельности и др.

Что касается проектов на соискание степени магистра, то в них зачастую звучали слова «исследование» и «разработка алгоритма и методики». Они касались определения технологических особенностей процесса 3D-печати для изготовления изделий, а также обслуживания установок аддитивного производства, калибровки оптических систем при сканировании сложных изделий, изучения свойств материалов и др.

Актуальность выбранных тем и их детальная проработка были высоко оценены членами комиссии и приглашенными специалистами.



Бакалавриат по аддитивным технологиям в Московском Политехе рассчитан на 4 года обучения, магистратура – на 2 года. Впервые набор на программу «Компьютерное моделирование и прототипирование» был объявлен в 2014 году. Это была первая версия образовательной программы, связанной с аддитивными технологиями. В 2016 году образовательная программа бакалавриата получила сегодняшнее наименование «Аддитивные технологии». Первый выпуск программы бакалавриата состоялся в 2018 году, в 2021-м был выпущен уже четвертый набор. В августе 2021 года состоялся восьмой набор студентов на программу бакалавриата «Аддитивные технологии». Двадцать абитуриентов зачислены на первый курс! Среди абитуриентов 2021 года, зачисленных на первый курс программы, есть и выпускники колледжей по специальности «Техник-технолог по аддитивным технологиям». Отрадно осознавать, что начинает работать многоуровневая система подготовки молодых кадров для аддитивного производства.

Узнать подробнее о специализации кафедры можно по ссылке: <https://old.mospolytech.ru/index.php?id=869>

Производство шар-баллонов для российской космической техники методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме

Д.А. Баранов, Е.Б. Лукин, В.В. Жуков, АО «РКЦ «Прогресс»
М.С. Винокуров, Р.Г. Новгородов, И.В. Осипов, А.Г. Рау, Г.В. Семенов, ООО «НПК ТЭТА»

Развитие космического машиностроения является одной из основных движущих сил научно-технического прогресса, передающей различным отраслям мирового хозяйства множество новых материалов, научных разработок и технологий. Использование аддитивных технологий на сегодняшний день является ключевым направлением для ускорения внедрения принципиально новых и нестандартных, прорывных идей в космонавтике. Не менее важным на этом пути является реализация этих идей в промышленном производстве.

Электронно-лучевая наплавка проволоки в вакууме

Идеи электронно-лучевой наплавки проволоки возникли в начале 2000 годов в NASA Langley Research Center. Промышленную реализацию этих идей осуществила компания Sciaky (США). Эта компания и сегодня остается мировым лидером в производстве оборудования для такой технологии. Суть технологии заключается в следующем: электронный луч формирует на поверхности наплавляемого изделия жидкометаллическую ванну расплавленного металла (рис. 1). В эту ванну подается наплавляемый материал в виде порошка или проволоки. Использование проволоки позволяет значительно повысить производительность процесса и коэффициент использования материала. При перемещении луча по поверхности изделия перемещается ванна расплава. Подаваемый материал расплавляется и почти мгновенно кристаллизуется. Формируется наплавленный слой. С каждым новым проходом растет объем наплавленного материала. Объем и форма наплавленного материала зависят от формы ванны расплава, скорости ее перемещения, скорости подачи материала. Управлять формой и размерами ванны можно, изменяя фокусировку и развертку электронного луча.

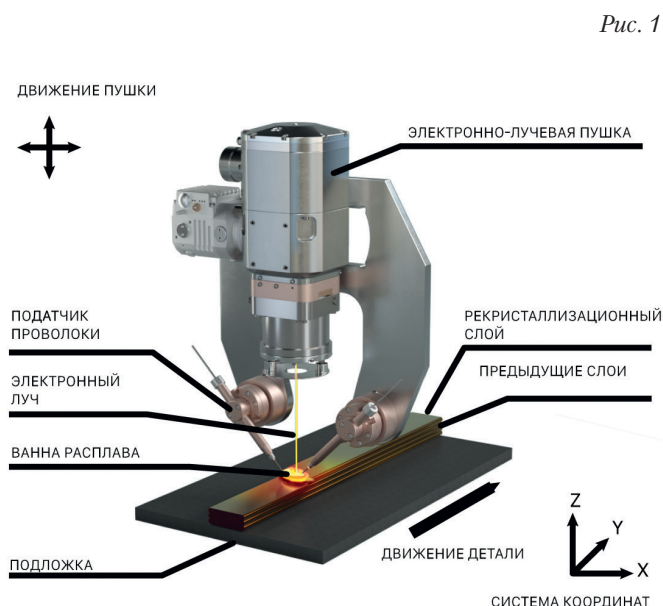


Рис. 1

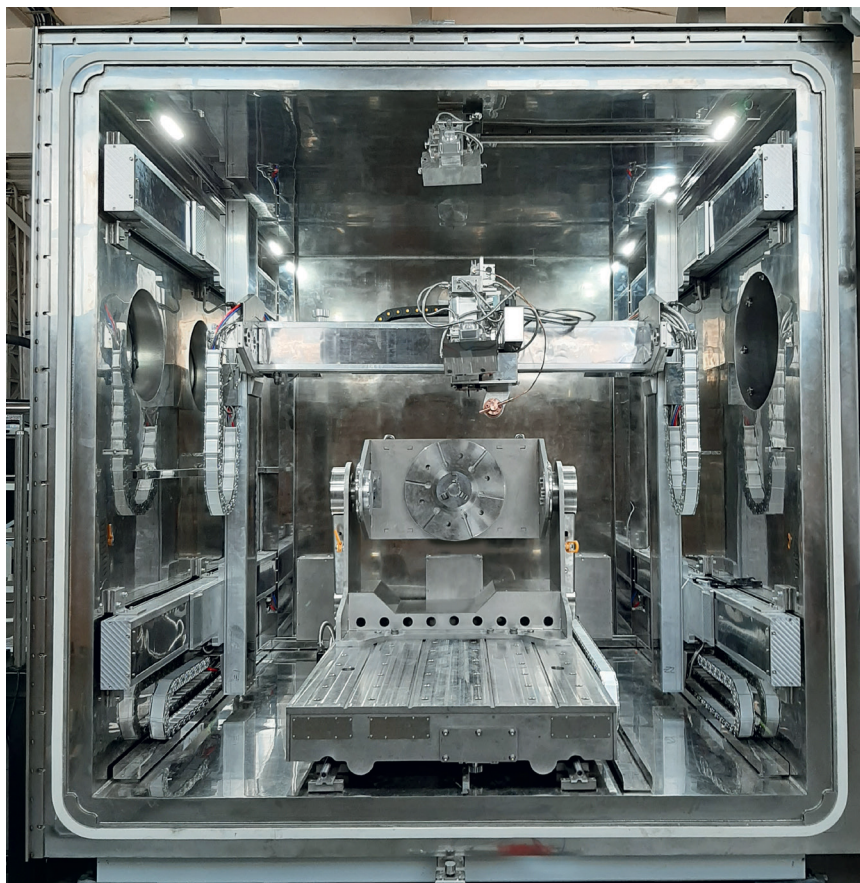
Следует отметить, что процесс наплавки происходит в вакууме. Это обеспечивает наиболее эффективную защиту наплавляемого металла.

Шар-баллон

На АО «РКЦ «Прогресс» производятся шар-баллоны объемом до 130 литров из титанового сплава ВТ6. В существующем производственном цикле применяются штампованные заготовки в форме полусферы с толщиной стенки 25 мм. Эти заготовки обрабатываются до необходимых размеров. После обработки полусферы свариваются. Коэффициент использования материала штампованных заготовок крайне низкий, а их механическая обработка оказывается длительным, трудозатратным процессом.

Поиски альтернативных решений привели к электронно-лучевой наплавке проволокой. Эта технология как нельзя лучше подходит для производства титановых шар-баллонов. Прежде всего это связано с тем, что металлургические процессы происходят в вакууме. Вакуум — лучшая защитная среда. При производстве изделий из титановых сплавов это становится решающим фактором. Наиболее эффективным источником нагрева в вакууме является электронный луч. Применение электронного луча при больших мощностях позволяет наиболее эффективно преобразовывать электрическую энергию в тепловую. Энергия, форма, пространственное положение луча легко и точно управляются. В совокупности с цифровыми методами управления электронно-лучевая наплавка позволит производить изделия не только сферической, цилиндрической, конической формы, но и сложной формы с заданной точностью и высокой повторяемостью.

Для изготовления шар-баллона выращиваются заготовки двух полусфер, затем они обрабатываются до необходимых размеров и свариваются между собой. Сварку можно осуществить тем же электронным лучом, в той же вакуумной камере, которые использовались для выращивания полусфер. При этом качество сварного соединения, выполненного электронным лучом, значительно выше по сравнению с дуговой сваркой.



логическим процессом. Вакуумная камера имеет внутренние размеры 2500×2500×2500 мм. Электронная пушка размещена на пятиосевом (три координаты X, Y, Z и два угла наклона) портале, изделие выращивается на манипуляторе, который обеспечивает вращение с изменяемым наклоном оси. Такое сочетание портала и манипулятора позволяет выращивать изделия практически любой формы. Подача проволоки осуществляется через стенку вакуумной камеры с внешним размещением бобин с проволокой. В установке предусмотрено два независимых податчика проволоки.

Рис. 3

Оборудование

Установка электронно-лучевой наплавки ТЭТА 30E1500-3D была разработана и изготовлена ООО «НПК ТЭТА». При ее создании был использован многолетний опыт производства установок электронно-лучевой сварки.

Основными конструктивными элементами установки являются: вакуумная камера с откачными средствами (рис. 2), система перемещения луча и изделия, система подачи проволоки и система управления техно-



Управление установкой и технологическим процессом выполняется программой TetaCEW, разработки «ТЭТА».

Основные возможности программного обеспечения:

- Загрузка 3D-модели в популярном формате STL.
- Визуализация, позиционирование, масштабирование и вращение модели при подготовке к печати.
- Гибкие настройки слайсера — алгоритма разбиения модели на слои, построения траектории движения и подачи материала. Скорости различных участков, толщины, плотность и алгоритм заполнения.
- Возможность использования внешних слайсеров различных производителей.
- Применение всех возможностей электронного луча: ток, фокусировка, развертка.
- Визуализация будущей печати: возможность посмотреть укладку материала на любом участке и, если нужно, изменить параметры слайсинга.
- Визуализация процесса печати с оценкой оставшегося времени.
- Прерывание, приостановка и возобновление длительного процесса печати.
- Изменение основных параметров в процессе печати.

Процесс выращивания начинается с подготовки 3D-модели изделия (формат STL). Файл с построенной моделью загружается в управляющую программу TetaCEW, где происходит ее слайсинг: разбиение на слои, создание алгоритма заполнения слоев проволочным материалом (задаются алгоритмы работы приводов портала, манипулятора и механизма подачи проволоки), а также встраиваются команды управления электронным пучком. Далее происходит процесс наплавки. На рис. 3 показан внешний вид окна управления установкой при вводе модели и слайсинге.

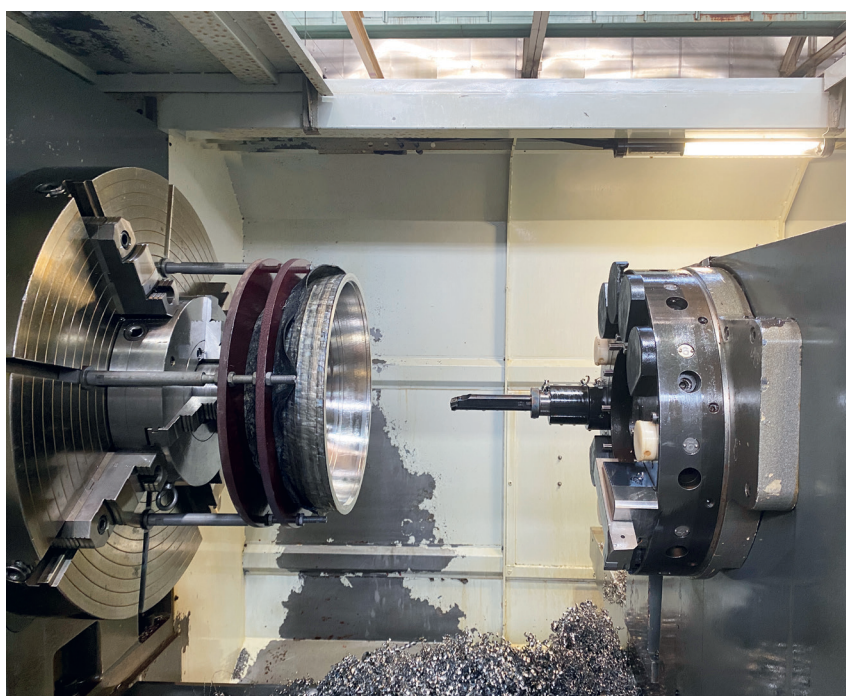
Обработка технологии

Для выращивания заготовок шар-баллона была использована проволока диаметром 2 мм из сплава ВТ6



(Grade 5). В процессе отработки режимов были опробованы разные варианты подачи проволоки в расплавленную ванну — в том же направлении, что и вращение заготовки, и навстречу вращению. Скорость подачи проволоки, мощность и фокусировка луча подбиралась опытным путем так, чтобы проволока была всегда погружена в ванну, плавилась равномерно, не отрывалась от ванны. Основными критериями при выборе режима были равномерность выращиваемого слоя и максимальная скорость роста. В итоге было выработано решение подавать проволоку одновременно с подающих устройств. Такой подход позволил практически в два раза увеличить скорость роста при сохранении необходи-

Рис. 5



мых требований к качеству выращивания. Опытным путем был подобран режим, при котором за один проход равномерно наплавляется слой необходимой толщины и ширины.

В процессе выращивания полусферы угол наклона оси вращения изделия изменялся таким образом, что расплавленная ванна всегда оставалась постоянной (рис. 4). Скорость вращения по мере роста радиуса выращиваемой полусферы изменялась так, чтобы линейная скорость перемещения ванны по поверхности изделия оставалась постоянной. Все эти процессы регулировались автоматически.

По отработанной технологии в автоматическом режиме были выращены две полусферы. Полусферы были сварены электронным лучом. Перед сваркой они прошли финишную механическую обработку (рис. 5). Изготовлен шар-баллон емкостью 58 литров (рис. 6).

Зачем все это нужно

Этой статьей мы хотим показать пример реализации известной технологии на отечественном предприятии с использованием отечественного оборудования. Слово «отечественный» является ключевым. Очень важно не допустить технологического отставания страны. Принципиально, чтобы новые технологии были реализованы в промышленном произ-

водстве, и хорошо, когда эта реализация осуществляется с помощью промышленного оборудования, произведенного в нашей стране.

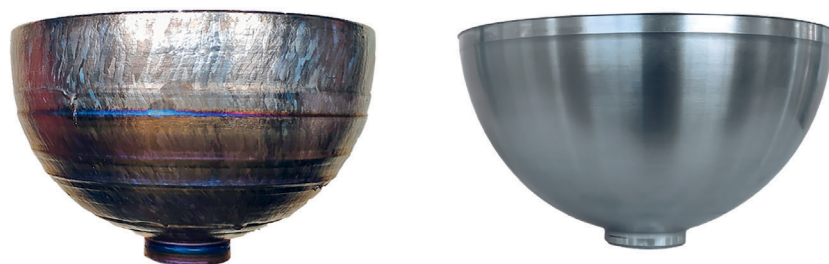
При переходе от субтрактивного производства к аддитивному планируется значительный экономический эффект. Его предварительный анализ показывает целесообразность применения таких технологий в серийном производстве.

Также необходимо учесть, что технологический процесс электронно-лучевого выращивания легко перестраивается. Достаточно выполнить компьютерное моделирование нового изделия и создать программу нового технологического процесса. Это позволяет гибко и оперативно решать производственные задачи. Отпадает необходимость в формировании склада заготовок различного размера. Достаточно иметь запас проволоки, из которой можно изготовить изделия любых размеров и форм. В условиях существующей системы планирования и осуществления закупок этот фактор имеет существенное значение.

В век быстрых изменений аддитивное производство позволяет быстро и относительно дешево решать вопросы, связанные с разработкой новых моделей и видов продукции, организацией гибких систем производства. Аддитивные технологии дают возможность оперативно реагировать на новые конструкторские решения, выполнять специфические задачи, организовывать производство эксклюзивных изделий со сложной геометрией малыми сериями.

Реализация всех вышеперечисленных возможностей должна в ближайшее время дать значительный импульс развитию ракетно-космической техники, повышению научно-технического и кадрового потенциала. ■

Рис. 6



Тулльский завод порошковой металлургии «ПОЛЕМА» за 60 лет своего существования освоил выпуск более 250 видов марок уникальных материалов. Сегодня специалисты предприятия продолжают расширять продуктовую линейку, производя сплавы и порошки, не уступающие импортным аналогам.

Ровесник первого полёта в космос

История «ПОЛЕМА» берёт своё начало в далёком 1961-м. Спустя месяц после первого полёта человека в космос цех № 8 Новотулльского металлургического завода произвёл опытную партию титанового порошка. Это стало поистине знаковым событием, давшим старт реализации одного из самых амбициозных проектов в отечественной металлургии, и привело к созданию инновационного производства, которому предстояло обеспечить нужды стремительно развивающейся авиакосмической отрасли.

«ПОЛЕМА» действительно был цехом, но не простым, а экспериментальным. Именно здесь стали применять новые технологии и внедрять разработки Центрального научно-исследовательского института черной металлургии им. И. П. Бардина. Атмосфера творчества и здоровой конкуренции помогли учёным, руководителям и коллективу создавать уникальные для своего времени материалы, давшие мощный импульс для развития всей порошковой металлургии.

Импорт, подвисься!

Сегодня «ПОЛЕМА» — ведущий мировой производитель изделий из высокочистого хрома, молибдена, вольфрама, металлических порошков и композиционных материалов. Освоив производство более 250 марок, предприятие не останавливается на достигнутом.

В 2018-м здесь запущен современный комплекс с уникальным оборудованием для производства металлических высоколегированных порошков для наплавки, напыления и аддитивных технологий. Это во многом стало возможным благодаря поддержке Фонда развития промышленности. В результате коллектив «ПОЛЕМА» расширил ассортимент порошков для 3D-печати и покрытий, улучшил их характеристики и наладил производство в промышленных масштабах, что позволило продукции тульского предприятия не просто конкурировать с зарубежными аналогами, но и превзойти их по качеству.

В пакете заказов «ПОЛЕМА» сегодня прочные позиции заняли такие популярные материалы, как 316L, PH-1, 17-4PH, Inconel 625, 718, 738, NH, MP-1. А с недавних пор ещё и жаропрочные сплавы для авиастроения ЭП648, ЭП718, ЭИ962 и др.

Год больших свершений

2021-й дал старт новым проектам и принёс заслуженный успех. Так, порошки для 3D-печати — сплавы марки X15H5D4B и KX28M6 стали первыми отечественными материалами для «выращивания» деталей судовых и авиадвигателей и вошли в ограничительные перечни. А это означает, что производители газотурбинных двигателей теперь могут отказаться от материалов зарубежного производства и поддержать государственную программу импортозамещения.

Летом этого года завод «ПОЛЕМА», оценив спрос, занялся производством высокоэнтропийных сплавов (ВЭС). Предприятие представило шесть новых марок ВЭС, подходящих для использования в производстве изделий методом 3D-печати: PR-KX23H26, PR-NH-24K24Ю, PR-NH23K23Ю, PR-NH18K18D20Ю, PR-NH21K21Г20, PR-NH20K20D21. Их преимущество — высокая коррозионная стойкость, способность сохранять прочность и гибкость при сверхнизких температурах, а также устойчивый фазовый состав при термомеханической обработке.

От первого лица



*Алексей Филиппов,
управляющий директор
АО «ПОЛЕМА»*

— У рынка аддитивных технологий в России большое будущее, — отмечает управляющий директор АО «ПОЛЕМА» Алексей Филиппов. — Во многом его медленное развитие было обусловлено зависимостью отечественных пользователей 3D-принтеров от зарубежных поставщиков материалов для печати. Поэтому мы и запустили производство материалов для импортозамещения иностранных аналогов. Новая продукция, освоенная нашим предприятием, востребована в авиа- и судостроении, медицине и ряде других важнейших отраслей. Мы вплотную работаем с институтами и центрами услуг 3D-печати для проведения качественного анализа наших материалов и их доработки в случае необходимости.

Сегодня «ПОЛЕМА» реализует свою продукцию в России и более чем в 20 странах мира. Предприятие имеет собственные представительства в Южной Корее, Тайване и Китае. ■



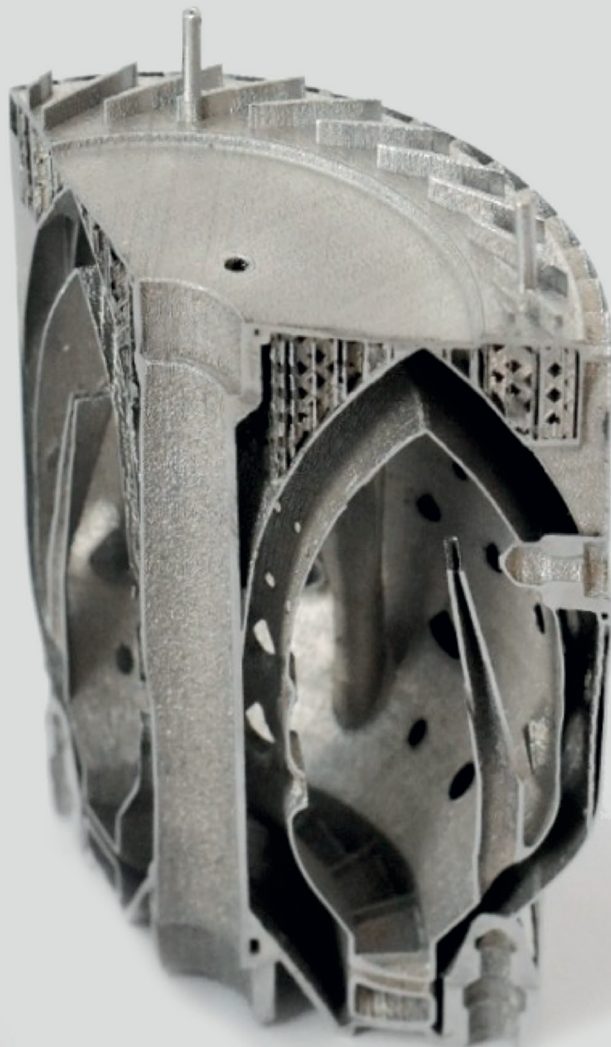
ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ
ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПОЛЕМА

Опыт производства
порошковых
материалов
более 60 лет

Широкий перечень
сплавов

Аттестованные
материалы



АО «ПОЛЕМА»

Тел.: +7 (4872) 25 06 68

Факс: +7 (4872) 25 06 78

300016, г. Тула, ул. Пржевальского, д. 3

www.polema.net

www.metholding.ru

marketing_polema@metholding.com



* Фото деталей предоставлено компанией 3DLAM

«Я верю в российских разработчиков»



Зинаида Сацкая

АТ», но лучше читать саму книгу. Добавлю только, что меня как человека с профильным образованием не может оставить равнодушной издательская культура книги со словарем сокращений и расшифровкой англоязычных терминов, с пунктуальным указанием правообладателей фотоматериалов.

Быть на гребне волны

Дмитрий Трубашевский хорошо известен как вдохновитель и модератор конференций и форумов по проблемам аддитивных технологий. На выставке «Металлообработка» он по своей основной должности директора по продажам компании «Современное оборудование» рассказывает о том, с чем компания прибыла на выставку:

«Мы не представляем ничего революционного, потому что ничего революционного по сути сейчас не просматривается, но налицо продолжающийся тренд технологических инноваций. Идет методичное развитие экономики, промышленности, всего, что с этим связано, и наши решения находятся на гребне волны этих инноваций. Мы всегда отслеживаем мировые тренды в нашем традиционном направлении — классической металлообработке, но наша компания славится также и аддитивными технологиями. И вот совокупность традиционных и аддитивных технологий — а немногие компании понимают, как это совместно работает, каковы преимущества возможной гибридной синергического эффекта разных методов производства, систем планирования производства — позволяет нам предлагать заказчикам эксклюзивные решения, включающие в себя также различное ПО, созданное в кооперации с российскими и с зарубежными разработчиками, обучающие программы».

Вышла ваша книга «Аддитивные зарисовки, или решения для тех, кто не хочет продолжать терять деньги». Много ли было еще публикаций до этой книги?

Честно говоря, это мой первый труд, как принято в таких случаях пафосно выражаться. До этого я пробовал себя только в статьях, которые, к моей радости, вызвали споры и обсуждения. Книгой я начал за-

Можно отдельно анализировать причины, по которым выставка «Металлообработка» нынешнего года вызвала посетительский ажиотаж несмотря на то, что число экспонентов из-за пандемических ограничений было меньше обычного. Но внимание журнала «Аддитивные технологии» по вполне понятным резонам в первую очередь привлекла конференция «Индустрия-3D», которая в режиме нон-стоп длилась четыре дня, каждый из которых был тематически обозначен: день пользователей АТ, день технологий, день инжиниринга, день науки.

Было несколько десятков интересных докладов, которые при желании можно найти в интернете на сайте конференции, но не менее интересными оказались события на полях конференции, а также на нашем собственном стенде. К нам зачастили посетители с вопросом: «Где найти «Аддитивные зарисовки?»» С нашей помощью посетители нашли книгу, а мы нашли автора этой книги — Дмитрия Трубашевского.

Книгу «Аддитивные зарисовки» специалисты уже назвали энциклопедией 3D-печати, тематически очень информативной и интересно структурированной. В ней рассмотрено, кажется, всё, что может быть связано с АТ: от используемых материалов до перспектив развития тех или иных технологий и окупаемости проектов. Хочется цитировать и цитировать автора, который в одной из глав дарит «Гениальные идеи для промышленных

ниматься последние полгода, опираясь на тот опыт, который накопился за 17 лет моего погружения в аддитивные технологии. Книга писалась легко и быстро, и очень хотелось успеть к такой важной выставке, как «Металлообработка».

Где вы черпали информацию для вашей книги? Вошли ли в книгу какие-то российские разработки?

Хороший вопрос. Основной источник вдохновения — это горящие глаза заказчика, который неустанно раскрывает для себя новые глубины вселенной аддитивных технологий. Иначе какой смысл делать и внедрять то, что не приносит значимого результата? Мы часто проверяем успешный зарубежный опыт на российских предприятиях. Что-то буксует, а что-то активно внедряется с сентенциями постигаемой мудрости: «Как мы работали раньше без всего этого?» Но и здесь приходится полагаться на свой и конкурентный опыт, кулуарные разговоры, посещение выставок и конференций, сеть интернет. Я всегда любил и ценил российских разработчиков, среди которых у меня много хороших друзей. И я свято верю, что благодаря российским и советским специалистам очень многое в мире стало таким, какое оно есть сейчас. Да, в книге я привожу кейсы наших отечественных компаний.

Обычно происходит именно так, как вы сейчас сказали, то есть идет оценка разработок в категориях приоритетов. А в категориях промышленного применения, коммерциализации где мы находимся? Соответствует ли российская продукция мировому уровню?

Этот вопрос довольно часто задают на различных конференциях. Недавно я модерировал одну конференцию и задал этот вопрос известному центру аддитивных технологий в России. У них много интересных идей и решений, но все оборудование — зарубежное. В ответ услышал: «Да, российские разработки интересны, но на данный момент мы не видим тех компаний, продукция которых может составить серьезную конкуренцию тому оборудованию, которое у нас есть. Но если появится достойное российское оборудование, мы будем всерьез его рассматривать». Я знаю, что они ведут переговоры с некоторыми молодыми российскими компаниями по технологиям, которые у них пока не представлены или представлены именитыми дорогостоящими брендами, и это вселяет определенный оптимизм. Я верю в российских разработчиков, общаюсь с ними и вижу, каких успехов они достигают за очень короткий промежуток времени. Меня всегда радовало, когда команда из 3–5 человек получает просто фантастические результаты, создает целое производство, например, лазерных принтеров, которое по качеству изготовления изделий не уступает зарубежным производителям.

Без обратной связи нет движения вперед

Что, по вашему мнению, стоит между идеей и промышленной реализацией?

Российским разработчикам промышленного оборудования недостает соответствующей технической документации и опыта, которого им никто предоставить не может. Учиться на ошибках имеет смысл в процессе работы только на тех машинах, которые эксплуатируются ежедневно. А чтобы получить объемную и репрезентативную обратную связь от заказчиков, необходимо, чтобы этих заказчиков было достаточное количество. Кому-то удается реализовать в течение года одну, две и даже три машины, и все же этого чрезвычайно мало для качественной обратной связи. Посмотрите, как это сработало в Китае. Начиналось с беззастенчивого копирования оборудования мировых производителей без каких-либо вложений в инновации. Но благодаря огромной емкости рынка, низкой цене и скромной маржинальности производители продавали свое оборудование сотнями и получали полноценную обратную связь, возможность работать над ошибками и в конечном счете заявить о себе на мировом рынке.

Коммерциализация разработок требует кроме прочего значительных финансов, а у банков нет дешевых длинных денег. Надеяться на появление бизнес-ангела?

Действительно, пока не появится инвестор, который поверит в эту технологию, который готов в нее финансово вложиться и понимать, что можно в течение нескольких лет отдачи не увидеть, дело не сдвинется. И надо принимать в расчет, что нет достаточного доверия российскому оборудованию. А доверия нет потому, что не отлажено серийное производство. А не отлажено оно потому, что нет доверия и нет возможности получать обратную связь от заказчиков. Этот замкнутый круг, по моему мнению, способен разорвать только инвестор, обладающий чутьем на перспективные разработки и способный поверить и рискнуть.

Каков срок окупаемости в сфере аддитивных технологий?

Если мы говорим о приобретении какого-то оборудования, то срок окупаемости может быть от нескольких месяцев до нескольких лет, а при неправильной бизнес-политике, условно говоря, до бесконечности. Окупаемость инвестиционных проектов чувствительна к влиянию внешних факторов. Возьмите нынешнюю пандемическую ситуацию. Кто из промышленников мог это предвидеть? Потребитель сокращает затраты, следовательно, производитель не может оборудование продать. Но и эта ситуация может быть легко развернута на 180 градусов: во многом именно аддитивным

технологиям приписывают возможность гибкого, легко перенастраиваемого, масштабируемого производства уникальной продукции повышенной сложности. По этой причине сделать выпуск своей продукции рентабельным вполне под силу инновационным технологиям, но с вдумчивым анализом возможностей и перспектив.

Перспективы в цифрах

Что можно считать критерием успешного развития производителя аддитивного оборудования?

Если компания, готовая серийно производить промышленное оборудование, выйдет на продажу более 10 единиц в год, то это и будет показателем устойчивого успешного развития. Знаю, что многие металлические аддитивщики готовы нарастить свои мощности и выпускать до десяти и более единиц в год. Конечно, сегодня более благостная картина наблюдается у производителей настольных принтеров. У них уже давно серийность соответствует серийности некоторых успешных зарубежных компаний.

Насколько можно понять, печать металлом вам наиболее интересна. Что представляет собой компонентная база оборудования для печати металлом? Что в ней российское?

Самое главное и дорогостоящее в лазерной машине по производству металлических компонентов из порошка — это лазер, и есть российские лазеры от «ИРЭ-Полюс» из Фрязино. Есть лазеры компании «РусАТ». Почти всю электронику тот же Денис Власов (Triangulatica и 3DSL.A.RU. — Ред.) старается делать практически самостоятельно. Для него это сложностей не представляет. Оптика тоже может быть российской. Я считаю, что довести количество российских компонентов до 80 или даже 95% не составляет особого труда. Электронно-лучевые установки тоже могут иметь большинство компонентов российского производства. Даже проволочная наплавка и та уже претендует на то, чтобы плотно закрепиться в умах интересантов как российская разработка.

Как вам видится доминирующий тренд в печати металлом?

Поскольку ни у кого не возникает сомнений, что лазерное сплавление — это производство изделий премиального качества, то спорить с этим явлением бесполезно и даже вредно. Большую часть задач с помощью этой технологии решить удастся. Но есть области, где размер, стоимость и производительность являются одновременно необходимыми и определяющими. И здесь я считаю, что технология WAAM —металлическая печать на основе осаждения проволоки электродуговой сваркой в среде газа — сильно дистанцируется от конкурентов и является серединой между традиционным и аддитивным производством. Думаю, что это будет

ведущим трендом для российской промышленности на ближайшие несколько лет. Большие перспективы я вижу и в пока «экзотических» технологиях холодного газодинамического напыления, а также сварки трением. У меня не вызывает никаких сомнений, что порошковые безлазерные технологии захватят рынок среднесерийного производства уже в самое ближайшее время.

Как вам кажется, когда можно будет печатать ответственные компоненты, скажем, авиационного двигателя?

Ни для кого не секрет, что аддитивка в авиастроении присутствует уже достаточно давно, хотя и не для самых ответственных компонентов. И в нашей стране, и за рубежом ведутся проработки, ресурсные испытания, и есть понимание, что сертификация и квалификация компонентов потребует годы усердной работы, особенно когда детали изготавливаются с нуля. Немногим проще решаются вопросы с технологиями, ответственными за ремонт. Когда закончатся работы, связанные с сертификацией компонентов, мы ощутим большой всплеск приобретения подобного рода оборудования, как произошло сейчас, например, с продажей автоматов продольного точения. Ранее в Европе продавали по 400–600 единиц в год, а в 2019–2021 годах их стало уже 1600–1800. То есть появилась какая-то ниша — и многие ломают над этим голову, — которая стала очень востребованной именно в это время, и произошел этот огромный интерес. Похожая ситуация вполне может произойти и с аддитивными технологиями.

Не бояться ломать стереотипы

Насколько остро стоят вопросы стандартизации и сертификации для аддитивных технологий?

Если предприятие хочет каким-то образом улучшить свое текущее положение, если все идеи и подходы теории ограничения систем Элияху Голдратта и бережливого производства перепробованы, но остались какие-то узкие производственные места, которые традиционными технологиями решить не получается, то, возможно, в этот момент времени собственник предприятия или руководитель скажет: «А почему бы нам к аддитивным технологиям не присмотреться?» Возможно, кто-то уходит разочарованный, а кто-то остается с ними в дружбе и приобретает необходимое количество технологий и 3D-принтеров. Почему это может происходить? Потому что первое, что можно сделать, — это использовать аддитивку в качестве вспомогательного оборудования для производства оснастки. Ведь зачастую оснастка не требует сертификации, чего нельзя сказать об ответственной конечной продукции. Оснастку можно печатать напрямую, а можно получать повторно используемые или жертвенные модели. Конечный продукт применения такой оснастки — пластиковые, металлические или керамические изделия. При таком подходе

предприятия могут чувствовать себя очень комфортно. Сложно работать с продукцией военно-промышленного комплекса, поскольку там существуют свои стандарты, которые на протяжении нескольких десятков лет предписывают изготавливать что-то именно так и никак иначе, опираясь на старые разработки. Но и там особенно рачительные руководители пытаются преодолеть ограничения, начиная с небольших изделий, которые не так сложно сертифицировать. Это большая серьезная работа, главное, как говорится, «процесс пошел». Мы видим, что на Западе аддитивные технологии — неременный атрибут любого производства. В России с оглядкой на опыт зарубежных коллег тоже пытаются реализовывать такие проекты. Аддитивные технологии не решают всех проблем предприятия, но их использование в составе традиционных металлообрабатывающих или литейных производств дает ощутимый экономический эффект. Главное правильно оценить рынок.

Самая впечатляющая для вас инновация на мировом рынке аддитивных технологий?

Одно из самых последних приятных потрясений для меня — это появившаяся недавно компания Forust, принадлежащая Desktop Metal. Forust вышла с технологией, позволяющей изготавливать изделия из древесных опилок со связующим природным полимером — лигнином. Многие читатели и эксперты знают, что первой технологией, так или иначе использующей продукт обработки древесины, а именно целлюлозный лист, была LOM — от английского Laminated Object Manufacturing. Сейчас у нее осталось мало поклонников. А вот естественное расширение материалов у безлазерной технологии VJ — Binder Jetting, — которое началось с песка, керамики и дошло до графита, металла и уже до опилок, меня очень радует. Изделия, которые демонстрирует Forust, визуально просто безупречны. Первое очевидное применение для тех, кто хочет использовать инновации для реализации своих творческих планов, — это печать предметов искусства или интерьера. Для меня же критерием качественных перспектив для любой аддитивной технологии является покорение ею требовательного автомобильного рынка. Как только технология попадает к автомобилестроителям, она попадает в мейнстрим. И Desktop Metal всегда метил в эту область, сотрудничая с крупными автомобилестроительными компаниями. Эта технология в промышленном сегменте готова составить конкуренцию трудоемкому фрезерному и ручному процессу работы с деревом для облагораживания эксклюзивных интерьеров автомобилей премиального класса. Производительность в тысячи кубических сантиметров в час, доступная на системах Shop System и RAM 336, не оставляет шансов давно эксплуатирующимся подходам. Другая технология, способная печатать из вездесущих почвы и травы, способна изменить мир до неузнаваемости благодаря

эволюционному развитию строительной технологии Contour Crafting.

Книга вышла, отзывы хвалебные. Что дальше?

Я совсем не считаю себя экспертом глубочайшего уровня. Появляются новые промышленные технологии, а разобраться в них и оценить пользу под силу любому человеку с инженерным образованием и критическим мышлением. Какой-то взгляд на эти вещи у меня есть, и я очертил круг интересных для меня технологий. Постоянное отслеживание успехов ведущих компаний или перспективных стартапов позволяет держать свой разум в тонусе и быть в фарватере развития аддитивки и инноваций в целом. Ведь аддитивные технологии сегодня начинают отождествляться с чем-то инновационным и обыденным одновременно. И здесь самое важное — найти разумный компромисс между использованием высокопроизводительного традиционного оборудования и инновационной составляющей аддитивного. Хотя многих представителей отрасли я не включил в свое первое издание по причине недостаточной их коммерческой привлекательности для прагматичного бизнеса, тем не менее я ощущаю в некоторых из них тот звенящий потенциал, который поможет им лихо рвануть в ближайшие годы. Осознавая вектор и тенденции развития аддитивных технологий, а также насущные потребности требовательных заказчиков, можно сделать для себя, быть может, судьбоносный выбор.

После выставки

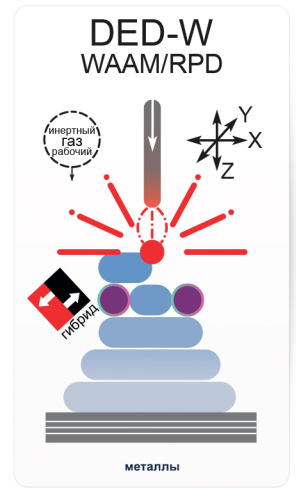
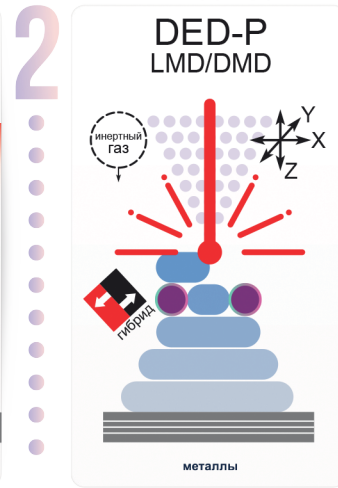
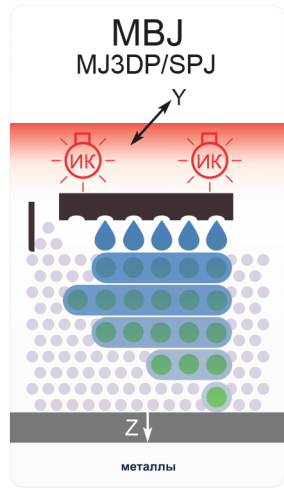
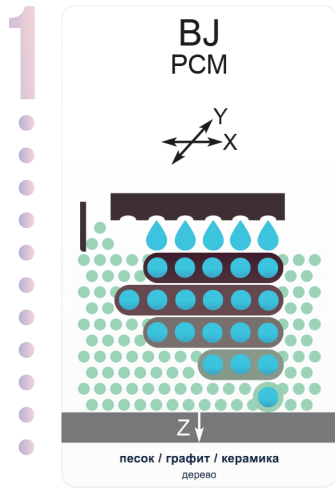
В процессе работы над этим материалом Дмитрий Трубашевский передал нам для опубликования свою эксклюзивную разработку — «Систему аддитивных технологий». По его словам, огромные массивы доступной для нас информации по аддитивным технологиям качественно не структурированы. Большая часть важных материалов находится на зарубежных ресурсах. Люди тратят слишком много времени на сбор информации и ее анализ и далеко не у каждого есть такие возможности и умения. «Я не считаю, что изобрел что-то сногшибательное, — говорит Трубашевский. — Просто собрал все в одном месте, авторски обработал и выдал понятный материал в виде текста и графики. «Система аддитивных технологий» может быть полезна не только профессионалам, руководителям предприятий, но и студентам вузов и колледжей. Я доверяю вашему уважаемому журналу право первой публикации этой системы».

Сергей Капица заметил как-то, что главный признак таланта — это когда человек знает, чего он хочет. Дмитрий Трубашевский хочет «всего ничего»: быть полезным. ■

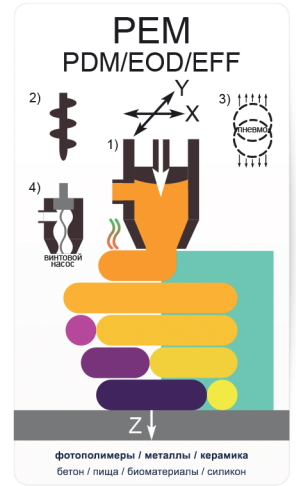
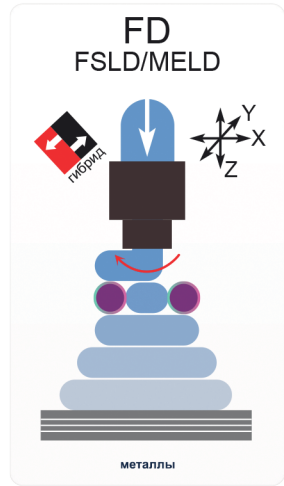
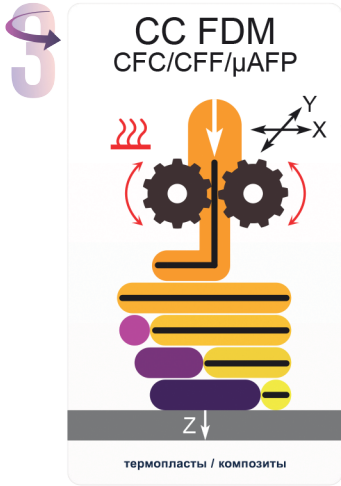
СИСТЕМА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ v1.0

СТРУЙНОЕ НАНЕСЕНИЕ СВЯЗУЮЩЕГО*

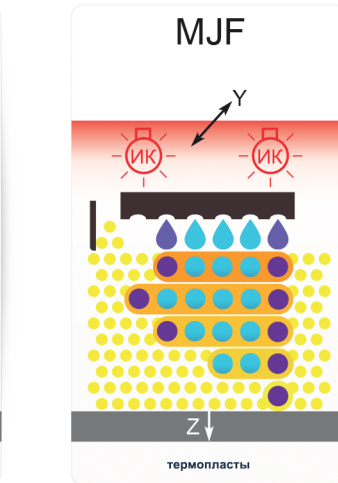
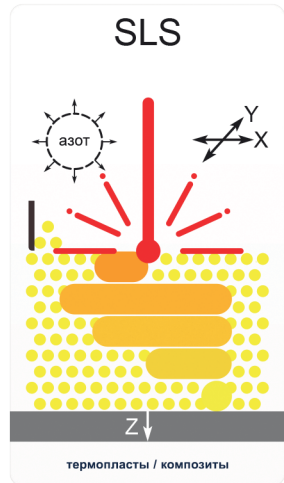
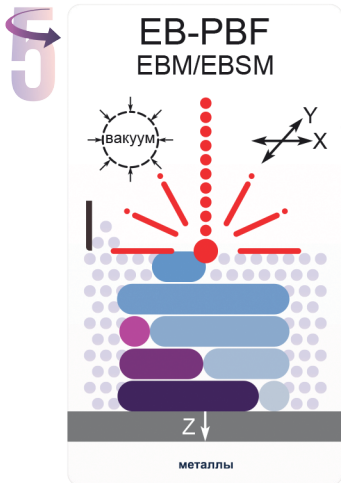
ПРЯМОЙ ПОДВОД ЭНЕРГИИ И МАТЕРИАЛА*



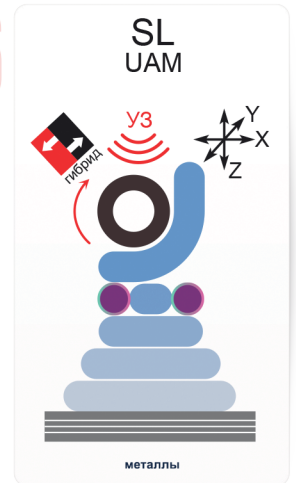
ЭКСТРУЗИЯ МАТЕРИАЛА*



СИНТЕЗ НА ПОДЛОЖКЕ*



ЛИСТОВАЯ ЛАМИНАЦИЯ*

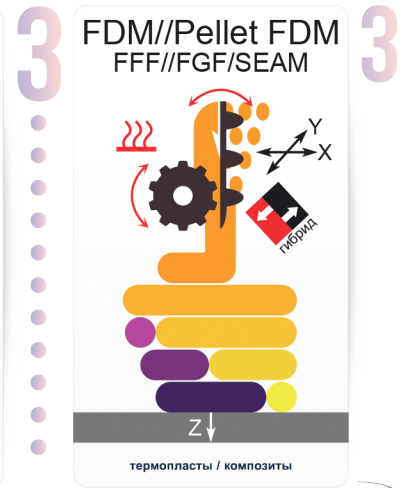
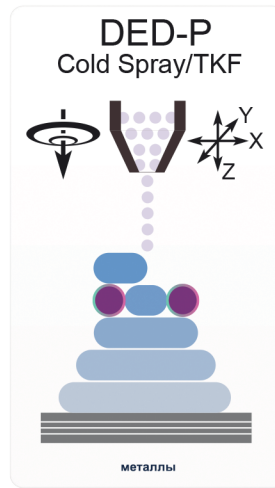
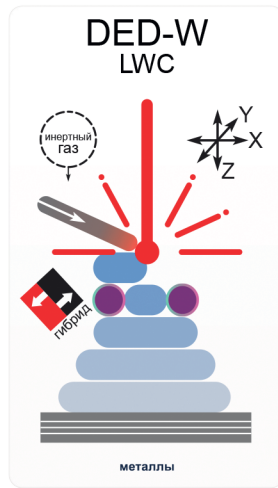
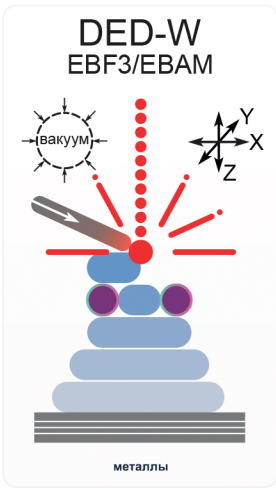


Условные обозначения:

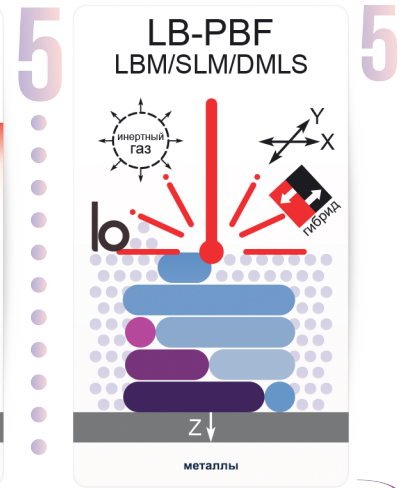
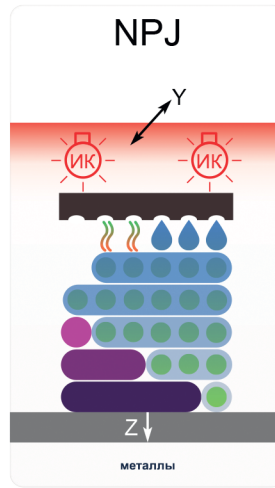
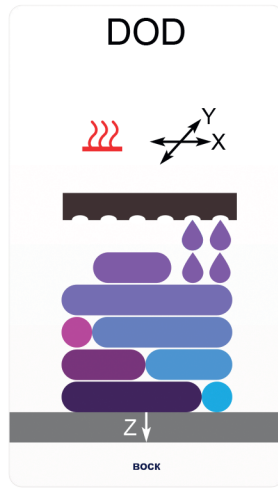
- | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|--|--|---|--------------------------------------|
| Инфракрасное излучение | Электроионное излучение | Шпек | Электрическая дуга | Комбинация: связующий материал/цветовой пигмент/модельный материал | Армированный композитом термопластик |
| Ультразвуковой источник | Лазерное излучение | Витовой насос | Рабочая среда и направление распротранения | Комбинация: поддерживающая структура/ модельный материал | Разравнивающий ролик (ракет)/ ролик |
| Высокотемпературный нагрев | Сверхзвуковой источник | Плавящийся электрод или подаваемая проволока | Координаты перемещения рабочего органа | Комбинация: поддерживающая структура монолит/ модельный материал | Резак |
| Ультрафиолетовое излучение | Прямой вал | Пневматический насос | Гибридные устройства | Порошковая композиция/гранулы (термопластик, композит, металл, песок) | Вращающийся стол (2 x, 3 x осевых) |
| Прямой ролик | Многослойная головка | Шлифовальный узел для отщипывания сварки трением | Клейкий состав | Микрокапельное распыление материала | Обратное исполнение рабочего органа |
| | | | | | Нагрев |



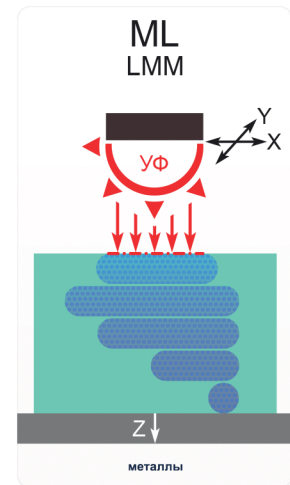
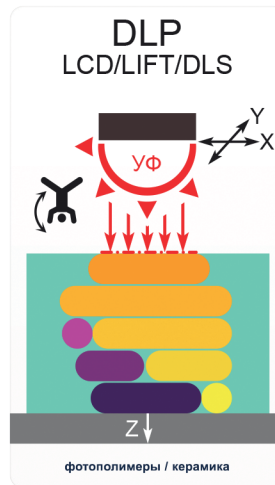
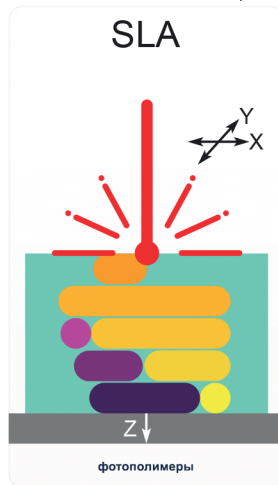
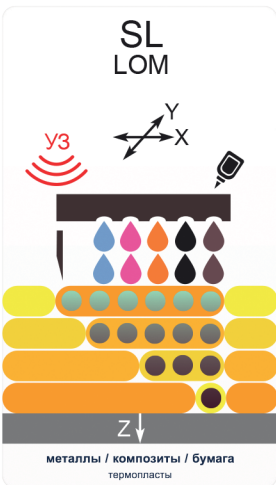
ЭКСТРУЗИЯ МАТЕРИАЛА*



СТРУЙНОЕ НАНЕСЕНИЕ МАТЕРИАЛА*



ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ В ВАННЕ*



*Типы процесса по ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Аддитивные технологические процессы.

Описание схем промышленных аддитивных технологий читайте в книге
Дмитрия Трубаевского
"Аддитивные зарисовки или
решения для тех, кто не хочет
продолжать терять деньги",
ISBN 978-5-600-02999-6.



Заказ книги в издательстве:
ООО "УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО",
394030, г. Воронеж, ул. Станкевича, 41,
тел.: +7 930 425-44-37,
e-mail: umnoepro@yandex.ru,
web: www.umpro.com.

Заказ книги и постера у автора:
тел.: +7 916 950-21-89,
e-mail: sales@ddmlab.ru,
web: www.ddmlab.ru.



DDM Lab

Информационные партнеры:



О развитии аддитивных технологий в России



Аддитивные технологии находят широкое применение в целом ряде отраслей, демонстрируя уникальные возможности. Однако внедрение их на российских предприятиях носит сдержанный характер. Пояснить сложившуюся ситуацию по просьбе редакции журнала «Аддитивные технологии» согласился эксперт в области аддитивных технологий Виктор Максимович Рекимчук.

Насколько сегодняшняя отечественная промышленность открыта идеям внедрения аддитивных технологий?

В последнее время наблюдается все возрастающий интерес к аддитивным технологиям со стороны промышленного сектора. Но это происходит только из-за успешного использования данных технологии зарубежными пользователями. Масштабного применения в нашей стране не происходит.

Любые начинания и открытия всегда нелегко входят в нашу обычную жизнь, так это происходит и с аддитивными технологиями. Существуют объективные политические и финансовые причины, по которым на сегодняшний день отечественная промышленность с большим трудом внедряет новые инновационные возможности. В чем же суть?

Условно можно разделить любое развитие новых технологий на несколько этапов:

- открытие новой технологии для новых возможностей,
- изучение этой технологии с целью ее использования,
- производство оборудования на базе приобретенных знаний с использованием технологии,
- внедрение этого оборудования в производство после прохождения сертификационных процедур,
- дальнейшее изучение возможностей данной технологии на базе созданного оборудования с целью достижения необходимого качества конечного продукта.

В нашей стране эти технологии уже прошли стадию изучения и находятся на этапе внедрения с последующей организацией локального производства. Отечественная промышленность уже получила компетенции, но, несмотря на это, в основной своей массе заняла выжидательную позицию. Позиция же пассивного наблюдателя ограничивает практическое применение данной инновационной технологии. Кроме того, как мы знаем из нашей истории, догонять всегда тяжелее, это также сдерживающий

фактор. Возможно, одной из немаловажных причин является то, что приобретенное ранее оборудование не окупило свои затраты или удовлетворяет текущие потребности, но технологии развиваются и предлагают более совершенные решения. Производственный сектор пробовал подстроить аддитивные технологии под существующую модель производства, но аддитивное производство имеет свои законы и правила, так же, как и традиционные производства. Аддитивная технология дает возможность на этапе проектирования производить симуляцию построения детали, что позволяет учесть все возможные ошибки и произвести анализ ее прочности, воздействие на нее внешних факторов (воздух, вода, вибрация и т.д.). Это помогает сэкономить массу времени и уменьшить трудозатраты на разработку изделия. Ни одна из существующих технологий не может предложить такие возможности, а также экономии средств при проектировании новых функциональных деталей. Однако также следует отметить, что сам производственный сектор не имеет времени на отработку и внедрение аддитивных технологий, поскольку должен выпускать продукцию согласно производственным планам. Разработками и внедрениями, как правило, занимаются отраслевые, промышленные КБ и лаборатории, но, к сожалению, даже корпорации с огромными бюджетами практически не выделяют средства на исследования с последующим применением, ожидая от производителей технологий готовых решений.

Мне очень часто задают один вопрос: «Насколько Россия отстает в развитии аддитивных технологий от западных передовых стран?» На основании своего семилетнего опыта работы в этом направлении и знакомства с международными и российскими компетенциями я могу сделать вывод, что мы не очень сильно отстаем от ведущих стран в развитии, но мы очень сильно отстаем в реальном применении и внедрении этих технологий в производство.

Одним из важных аргументов отказа от применения аддитивных технологий в промышленности ранее являлось качество производимой продукции, которое не всегда обеспечивалось из-за отсутствия дополнительного оборудования, требуемого для создания аддитивного производства. На данном этапе этот фактор не является аргументом, потому что аддитивное производство может производить продукцию с качеством, во многих случаях даже превышающим качество традиционного производства, за счет применения ряда инновационных решений проектирования, постобработки, использования качественных материалов. Все в конечном итоге зависит от предъявляемых требований к конечной продукции.

Лет пять назад все разговоры о продвижении аддитивных технологий заканчивались вопросом о стандартизации данных технологий. На данный момент такой проблемы нет, так как у нас появился технический комитет по стандартизации «Аддитивные технологии» и в стране есть национальные стандарты. Тогда почему внедрение в отечественную промышленность происходит медленно и осторожно?

По этому поводу выскажу свое экспертное мнение, которое, возможно, не совпадет с общепринятым мнением (это всего лишь взгляд через призму инновационных технологий). На сегодняшний

день наша промышленность все еще сохраняет наследие, которое осталось после распада СССР, со стандартами производства того времени. Конечно, есть и передовые предприятия, которые имеют современное оснащение и выпускают высокотехнологическую продукцию, но это больше исключение, чем правило. Перейти на новый уклад мешает определенный менталитет, сложившийся в течение долгого времени, когда государство финансировало и принимало решения по переоборудованию предприятий, тем самым беря на себя все риски внедрения. Но этот риск покрывался заказами, которыми государство поддерживало эти предприятия. В современных же реалиях наша промышленность находится в жесткой конкуренции как внутри страны, так и за рубежом, и для того чтобы оставаться конкурентными, требуется совсем другая культура производства, которая, в свою очередь, предполагает финансовые вложения.

Вот мы и подошли к главной проблеме, почему отечественная промышленность, несмотря на все плюсы, не совсем открыта идеям внедрения аддитивных технологий. И этой проблемой являются финансовые риски, связанные с вложениями в современное производство. Вот поэтому отечественная промышленность предпочитает не рисковать и оставаться неконкурентоспособной.

Одним из решений этой проблемы является снижение финансовой нагрузки за счет создания ответственного производства, оборудования и материалов с последующим их внедрением на предприятиях с целью создания аддитивного производства и т.д.

В каких промышленных отраслях следует ожидать наиболее высокого спроса на аддитивные технологии?

За короткий промежуток времени от разработки до применения аддитивные технологии нашли решения почти во всех отраслях промышленности. За счет гибкости, вариативности в использовании, широкого выбора материалов, новейших программных продуктов с возможностями на грани фантастики они позволяют обеспечить быстрый выход на рынок с новым продуктом.

Автомобильная промышленность с каждым годом расширяет список производимых деталей (рис. 1) и демонстрирует рост числа компаний, которые очень активно используют аддитивные технологии: от прямого выращивания металлических или пластиковых компонентов до печати песчаных форм с последующим литьем. В дальнейшем с применением робототехники номенклатура производимых деталей будет только расширяться, а логистические ус-

Рис. 1. Интерьер автомобиля Lamborghini Sian включает компоненты, выполненные 3D-печатью



луги могут выйти на качественно другой уровень. Но это в большей степени относится к зарубежным компаниям; к сожалению, в нашей стране внедрения практически не происходят по причине того, что весь технологический процесс в автомобильной промышленности сконцентрирован на сборке зарубежных автомобилей из комплектующих, которые тоже произведены зарубежными компаниями.

Для многих не является секретом, что активными пользователями аддитивных технологий являются авиационно-космические компании (рис. 2). Это связано с тем, что данные компании применяют очень сложные в плане постобработки материалы, такие как титановые сплавы, жаропрочные сплавы, кобальт-хром, суперсплавы и т. д. Для облегчения конструкций очень активно изготавливаются различные детали из инженерного пластика, детали из керамики, применяемые в криогенных условиях. Современные производства требуют технологии с возможностью быстрого изготовления деталей или оснастки со сложной геометрией построения, а это могут обеспечить только аддитивные технологии. Преимущества этих технологий успешно используют разработчики при конструировании новых газотурбинных установок и двигателей.

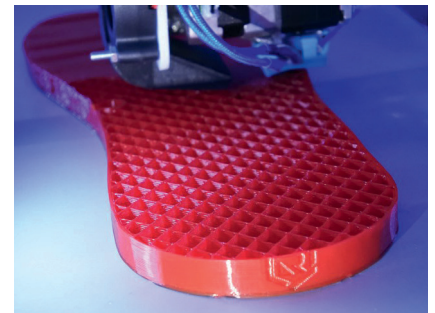
Рис. 2. Передняя стойка шасси самолета



Рис. 3. Напечатанный слуховой протез



Рис. 4. 3D-печать обуви



Широкое внедрение аддитивных технологий происходит в медицине с использованием инновационных материалов (рис. 3): от индивидуальных имплантатов до изготовления дорогостоящих инструментов и т. д. Надо отдать должное нашей медицинской промышленности, которая уже сейчас, преодолевая определенные трудности, довольно активно использует аддитивные технологии, тем самым улучшая медицинские услуги и сервис, спасая жизни людей.

Большая доля рынка аддитивных технологий в мире задействована в энергетическом секторе, где они применяются для производства и ремонта лопаток паровых турбин и ветряных установок, также как и

для скоростных локомотивов. Но в России это направление почти не востребовано по причине малого использования данных изделий либо из-за поставки готовых турбин с пожизненным циклом обслуживания (когда весь бизнес отдан западным компаниям).

С разработкой различных пластиковых материалов появилась возможность применения аддитивных технологий в изготовлении

Рис. 5. 3D-печать здания



Рис. 6. Литейные формы, напечатанные на 3D-принтере ExOne S-MAX. Фото: <http://kcdt.ru/>



товаров народного потребления: в обувной промышленности (рис. 4), индустрии моды, в подготовке различных макетов и т.д. Ювелирная промышленность используют восковые (выплавляемые) аддитивные технологии для создания ювелирных украшений, которые в России пользуются большим спросом. В последнее время аддитивные технологии стали использовать в строительной индустрии (рис. 5), облегчая физический труд при строительных работах, уменьшая ошибки человеческого фактора, предлагая возможности быстрого и качественного строительства.

Для металлургической промышленности аддитивные технологии предлагают 3D-печать различных песчаных форм, в том числе со сложными внутренними стержнями (рис. 6), с последующим литьем под давлением в эти формы, или использование пластика ПММА для создания литниковой формы с последующим отжигом и как результат получение форм для литья. Технологии SLA и SLS тоже предлагают уникальные материалы, которые выжигаются с малой зольностью, позволяя создавать точные литейные формы с наилучшей шероховатостью поверхности.

Видно, что аддитивные технологии применяются практически во всех отраслях промышленности. А еще есть более экзотические применения, такие как использование биологического материала для печати, использование принтеров для печати гастрономических блюд и т.д.

Использование аддитивных технологий требует наличия различных материалов соответствующего качества. Как обстоят дела с производством расходных материалов в России?

Это очень важный вопрос: без появления качественных российских материалов очень трудно представить дальнейший рост раз-

вития аддитивных технологий в нашей стране. Если в технологиях с использованием металлического порошка для SLM, DED, EBM этот вопрос как-то решается и можно с уверенностью сказать, что при появлении потребности в этих материалах рынок может быстро отреагировать производством требуемого количества металлического порошка, то производство других важных материалов для технологий SLA, SLS, Binder Jetting, керамики, проволочки для WAAM, WEBAM, смесей для строительных принтеров и т.д. практически не существует. Только за счет демократичности и доступности в использовании технология FDM на российском рынке представлена большим разнообразием различных отечественных инженерных и высокоэффективных пластиков.

Вывод из этого находится на поверхности: с ростом развития аддитивных технологий (а главные применения их в промышленности) как следствие должны появиться качественные отечественные материалы. Однако нужно подчеркнуть, что, несмотря на кажущуюся простоту, производство качественных материалов является сложным и инновационным. По своей сути материалы, которые предлагает сейчас зарубежный рынок, являются прорывными. Для их создания потребовалось много времени и большие усилия лучших ученых, компаний-производителей, поэтому российским производителям материалов очень сложно конкурировать на данный момент. Существующие цены на зарубежные материалы являются высокими для российского рынка, тем самым делая аддитивное производство дорогим в сравнении с традиционным производством.

Появление отечественных материалов должно дать толчок развитию аддитивных технологий, но, к сожалению, на данный момент этого в нашей стране не происходит по разным причинам, но, без сомне-

ния, произойдет в скором времени.

Стоит ли ожидать применения аддитивных технологий в России в массовом производстве?

Для внедрения аддитивных технологий в массовом производстве в России должно появиться отечественное производство оборудования, так как зарубежное оборудование является дорогим для наших предприятий и тем самым не позволяет закупать его массово.

Если рассматривать зарубежный опыт применения аддитивных технологий в массовом производстве, то исторически так сложилось, что созданием аддитивных технологий занимались коммерческие частные компании, что происходит и по сей день. Крупные же западные корпорации с огромным бюджетом пытались создавать свое оборудование, но после нескольких безуспешных лет предпочли выкупать готовое производство у этих частных компаний, потому что аддитивные технологии развиваются стремительно, а корпорации не готовы к такому ритму развития. В России это тоже происходит. Пока корпорации пытаются повторить, а не создать что-то новое, на мировом рынке появляется конкурентное инновационное оборудование и технологии, за которыми корпорации просто не успевают. Не успевая за инновациями, они просто тормозят развитие отечественных аддитивных технологий, так как производство не может получить качественное конкурентное оборудование, которое они не в силах создать.

В последнее время в стране появились частные компании, которые успешно производят отечественное оборудование для различных аддитивных технологий, материалы и программное обеспечение за счет своей гибкости и компетенций в этих инновационных технологиях. Это является отличным показателем интеллектуальности наших отечественных разработчиков адди-

тивных технологий, поэтому я уверен, что вскоре должны появиться инвесторы, готовые вкладываться в дальнейшее их развитие. Если этого не произойдет, то, возможно, произойдет слияние зарубежных и отечественных компаний—производителей оборудования и материалов с последующей локализацией производства.

На данный момент аддитивные технологии в нашей стране в основном используются для быстрого прототипирования, восстановления деталей с применением технологии реверс-инжиниринга для производства деталей малой серии, которые были спроектированы для традиционных технологий. Эта бизнес-модель подходит в основном для малого и среднего бизнеса. Применение же аддитивных технологий для массового производства влечет за собой изменение конструирования деталей и, как следствие, изменение их конфигураций, функциональности, увеличение их жизненного цикла, увеличение количества деталей в едином производственном цикле. Только после этого можно ожидать применения аддитивных технологий в массовом производстве.

Каким вы видите развитие отечественных аддитивных технологий в следующие пять – десять лет?

Дальнейшее развитие отечественных аддитивных технологий напрямую будет зависеть от благосостояния страны и поддержки государства. При анализе опыта зарубежных стран видны причины, по которым государство стало стимулировать и продвигать эти технологии. В первую очередь это было связано с борьбой за экологию: был принят ряд законов, облагающих налогами предприятия, использующие в своем производстве любую дымящую в атмосферу трубу, тем самым стимулируя развитие аддитивных технологий как эко-

логически чистых. Снижение налогов и повышение льгот позволило скомпенсировать переход на другой уровень производства. Дальше больше: с развитием аддитивных технологий произошло развитие различных продуктов программного обеспечения. Они позволили создать аддитивное производство, кардинально отличающееся от традиционного производства, с потрясающими возможностями в проектировании и создании новых деталей, с применением ранее недоступных материалов.

Во вторую очередь были приняты приоритетные законы стандартов безопасности на рабочем месте. Например, при получении травм или при наличии каких-либо других факторов, повлекших ухудшение здоровья на рабочем месте, работодатели обязаны предоставить пожизненную пенсию пострадавшему работнику и т.д. Все эти принятые меры подтолкнули разработчиков оборудования к созданию новых безопасных технологий, какими, безусловно, являются аддитивные технологии. С улучшением жизненного уровня в развитых странах новое поколение все больше стало выбирать рабочие места с экологически чистым и безопасным производством. В какой-то мере это постепенно происходит и в нашей стране. Все больше наблюдается отток рабочих кадров от предприятий с устаревшим оборудованием либо с вредными условиями на производстве. Сейчас, в век компьютеров и интернета, довольно трудно привлечь молодежь к станку или в литейный цех. Рабочая профессия из-за этого перестала быть привлекательной, профессия курьера, официанта, водителя такси стала более приоритетной. Только повышая культуру отечественного производства, можно привлечь молодые кадры и тем самым поднять престиж рабочей профессии. Высокоразвитые промышленные страны, которые активно внедряют аддитивные тех-

нологии, каждый год закладывают огромные бюджетные средства на их развитие и создание новых рабочих мест, тем самым привлекая и создавая новое рабочее сословие, с которым они переходят к новому укладу организации умного и экологически чистого производства. Дорога ли финансовая нагрузка этих государств? Ответ, конечно, да, но здоровье является приоритетным фактором для дальнейшего процветания нации, так же, как и интеллектуальное ее развитие.

Российское правительство сделало определенные шаги: выделило довольно большой бюджет на оснащение школ, колледжей, университетов, различных детских технопарков различными 3D-принтерами и сопутствующим оборудованием. Однако в этом году будет выпуск первых дипломированных инженеров и операторов для аддитивных технологий, и для родителей и выпускников стоит серьезный вопрос, куда трудоустроиться после получения диплома, так как рабочие места для них не созданы.

Поэтому государство является главным генератором применения аддитивных технологий в нашей стране в ближайшие 5–10 лет. Нужна четкая и понятная программа их развития в стране, стимулирование предприятий различными льготами и финансовой поддержкой при переходе на современное производство.

Хотелось бы завершить интервью на позитивной ноте. Аддитивные технологии, несмотря на мнения скептиков, состоялись от инноваций до реального применения в промышленности, поэтому, хотим мы или не хотим, объективные обстоятельства заставят нас перейти на эти технологии. Мы живем в стране больших возможностей, и в ней достаточно места для развития экосистемы для аддитивных технологий. ■

Использованы фото из открытых источников

Продукция надежна и предсказуема

Зинаида Сацкая



Денис Исламов, менеджер по продажам ООО «Синкам», поставляющего на российский рынок продукцию компании Hunan Farsoon High-tech Co., Ltd, рассказывает о том, как плодотворно сложились отношения с эксклюзивным партнером.

все продукты компании максимально клиентоориентированы и предоставляют полную свободу работы. Открытая архитектура аддитивных машин дает клиентам компании возможность работать с любыми материалами любых производителей на тех режимах, которые необходимы для решения самых сложных производственных задач. Комплекующие от ведущих мировых производителей, из которых собрана вся линейка машин Farsoon, дают надежность и предсказуемость работы, а глобальная техническая поддержка и сервис помогают клиентам достигать производственных целей без дополнительных затрат, с которыми часто бывают сопряжены простои, обслуживание и ремонт оборудования.

Как часто Farsoon обновляет продуктовые линейки?

Компания Farsoon выпускает обновления для своих продуктов ежегодно, а иногда и чаще. Обновления касаются не только самих аддитивных машин, но и программного обеспечения, периферийного оборудования, а также доступных для работы материалов.

Доступна ли российскому потребителю вся линейка продуктов Farsoon?

Безусловно, российскому потребителю доступна вся линейка продуктов и материалов. Поскольку Farsoon — это глобальная компания, то и все продукты разрабатываются для внедрения по всему миру.

Как быстро новинки от Farsoon появляются на российском рынке?

Благодаря отлаженной схеме сотрудничества с российским дистрибутором — компанией «Синкам» — все новинки от Farsoon появляются буквально в день релиза. Специалисты «Синкам» своевременно проходят обучение и подготовку на заводе-изготовителе, а наличие собственного демозала и техники у дистрибутора позволяет нам постоянно практиковаться и расширять свои компетенции.

Как бы вы сформулировали конкурентное преимущество продукции Farsoon?

Девиз компании Farsoon — «Open for Industry», то есть «Открыты для промышленности». Это значит, что

Какой сложности детали возможно серийно делать на оборудовании Farsoon? Можете ли вы привести примеры практического использования оборудования Farsoon на российских предприятиях?

Оборудование Farsoon изначально проектируется для решения конкретных задач в разных отраслях. Так, например, размер камеры построения 620×620×1100 мм у аддитивной машины FS621M позволяет выпускать большие изделия по оси Z, что востребовано в авиакосмической промышленности. Возможность выпуска сложных деталей обусловлена свойствами материалов и технологии. Отмечу особо, что не имеет смысла печатать те детали, которые легко и дешево можно изготовить на фрезерном или токарном станке. Для того чтобы изготовление аддитивным методом было обоснованно, конечно, лучше всего сразу проектировать деталь именно для такого способа изготовления. Для этого существует различное ПО и ведется подготовка инженеров.

На отечественных предприятиях оборудование Farsoon применяется для получения сложных изделий из пластика и металлов, там, где нужно быстрое изготовление.

Каков масштаб бизнеса, для которого более всего подходит это оборудование?

Решения Farsoon — промышленного уровня, и, конечно, они больше подходят заводам, но в линейке есть и легкие модели, подходящие для лабораторий в университетах, колледжах, клиниках или НИИ. ■

Оборудование не должно простаивать



Зинаида Сацкая

Виктор Наумов, руководитель проектов по аддитивным технологиям компании АО «Айкьюб технологии» рассказал о принципах работы компании iQB Technologies на российском рынке.

Ваша компания поставляет на российский рынок 3D-принтеры, 3D-сканеры, программное обеспечение и расходные материалы серьезных зарубежных компаний. По каким критериям вы выбираете партнеров?

В выборе партнеров и вендоров мы признаем один критерий — оборудование должно стабильно работать и выполнять задачи клиента. У нас есть два способа оценить реальные возможности оборудования. Первый — когда после предварительного обсуждения продуктов и условий мы едем на завод производителя, чтобы посмотреть производственные мощности, понять, как быстро они могут производить и отгружать товар, смотрим, как работает персонал. Проводим до полутора недель непосредственно с оборудованием и инженерами для уточнения множества вопросов и просим постоянно держать машину в работе. Таким образом мы проверяем стабильность работы оборудования. По второму варианту мы покупаем в свой демозал одну или несколько позиций, предлагаемых вендором и тестируем в реалиях задач российских клиентов. Критерии в порядке убывания значимости выглядят так: надежность и качество продукта — производители комплектующих — поддержка — имя бренда — страна производителя. Таким образом мы уже семь лет прекрасно взаимодействуем с SLM Solutions — одной из самых передовых в мире компаний, оборудование которой демонстрирует высокую стабильность в работе. Наш китайский партнер ProtoFab, у которого мы провели 3,5 недели на обучении, ежедневно нас радует. Он предоставляет машины с потрясающим уровнем сборки исключительно из европейских комплектующих. Образец есть у нас в демозале, где можно посмотреть работу промышленной SLA.

Новые вендоры, такие как итальянский Sharebot, оптимальный для образовательных учреждений и малого бизнеса, или испанский Discovery 3D Printer, решающий задачи промышленности, в том числе авиации, судостроения, автомобилестроения, станкостроения и транспортного машиностроения, радуют нас обратной

связью и поддержкой клиентов. Успешные кейсы европейских клиентов помогают российским клиентам с выбором оборудования под аналогичные задачи. Судя по отзывам наших клиентов, мы не ошиблись в выборе партнеров.

Какое из ваших направлений наиболее востребовано на российском рынке?

Исторически сложилось, что это 3D-сканирование и метрологический контроль. Просто невозможно было пройти мимо оборудования Creaform — мировой вершины метрологического бесконтактного контроля. Мы гордимся тем, что являемся платиновым партнером бельгийской компании Materialise. Это передовое ПО, которое сопровождает 3D-печать любой технологии на протяжении всего жизненного цикла.

Оказываете ли вы услуги по 3D-печати?

Как я уже сказал, мы покупаем оборудование для демонстрации потенциальным клиентам. Но оборудование не должно простаивать, поэтому каждый день мы занимаемся коммерческими заказами по производству прототипов и конечных изделий. Самая востребованная технология на текущий момент — это высокоточная фотополимерная SLA-печать. Камера построения принтера 600×600×400 мм позволяет делать крупные образцы или мастер-модели с гладкой поверхностью по более чем доступной цене. Автомобильные предприятия и конструкторские бюро очень часто обращаются к нам, так как альтернатив в РФ крайне мало. Также популярна печать ювелирным воском. Ежедневно мы отправляем клиентам по 30–80 различных позиций.

Какие российские отрасли наиболее активно приобретают продвигаемую вами продукцию?

На текущий момент в нас заинтересованы литейные производства, работающие как с пластиком, так и с металлом. Мы работаем также с автомобильной промышленностью, металлургией, авиацией. Каждая из этих отраслей ищет для себя разные преимущества в 3D-печати и сканировании. Для кого-то это подспорье в сервисе, кто-то хочет оптимизировать вес или сроки изготовления изделия, а кто-то реализует совершенно новую геометрию изделий, в чем классический субтрактивный метод явно проигрывает. В оборудовании для 3D-сканирования заинтересованы абсолютно все отрасли. ■

Доступны бизнесу любого масштаба



Вячеслав Котов

Зинаида Сацкая

Так получилось, что в собеседниках у меня оказались двое топ-менеджеров представительства ESI Group в Российской Федерации: Вячеслав Котов, исполнительный директор, и Андрей Подшивалов, коммерческий директор. Это позволило задать вопросы и о технических, и об экономических особенностях представляемой на российском рынке продукции.



Андрей Подшивалов

Расскажите, пожалуйста, о примерах практического использования решений ESI Additive manufacturing на российских предприятиях.

Первые проекты у нас начались совместно с МИСиС. Этот университет — наш давний стратегический и научный партнер в разных сферах. Он использует наше программное обеспечение для моделирования литья, сварки и стал первым заказчиком, освоившим ESI Additive manufacturing. Начинали еще с бета-версии и внесли свой вклад в развитие программного продукта, отчасти определив вектор его развития. В рамках работы с нашим программным продуктом МИСиС запустил проект по созданию цифрового двойника принтера, который позволит автоматически вносить корректировки в процесс выращивания, проводя математическое моделирование с целью компенсации поводов изделия, снижения внутренних напряжений, стабильности самого процесса выращивания.

В последние годы мы начали несколько проектов с предприятиями ОДК, «Роскосмос», «Вертолеты России», но, как вы понимаете, NDA с заказчиками не позволяют раскрывать детали проектов. Можно сказать одно: аддитивное производство — это один из главных трендов десятилетия, и уже многие заводы имеют дорожные карты перевода сотен изделий с традиционных технологий производства на аддитивные методы, и, конечно, все понимают, что без моделирования освоить столь новую область невозможно или как минимум сложно, дорого, трудозатратно. Хочу также отметить, что совместно с центром аддитивных технологий корпорации «Ростех» в сентябре 2020 года мы провели курсы обучения более чем 10 предприятий из разных отраслей и госкорпораций по моделированию. Как правило, для заводов мы предлагаем консалтинг, расчеты, поставку лицензионного ПО.

Можно ли выразить числом экономическую выгоду от использования решений ESI Additive manufacturing?

Для начала можно выразить в цифрах снижение затрат на производство деталей аддитивными метода-

ми. Например, кронштейн авиадвигателя после топологической оптимизации стал в 2–3 раза легче и при этом прочнее. Это сокращает расход материала, расход топлива, когда изделие будет стоять в реально работающем двигателе, а ведь такое изделие не одно. Но тут встает проблема, что изготовить изделие с первого раза по новой аддитивной технологии далеко не всегда получается. Тут приходит на помощь моделирование. По сути, мы можем взять среднее количество неудачных экспериментов по производству детали, умножить ее на количество деталей, а потом отдать себе отчет в том, что этих экспериментов могло бы и не быть, потому что они заменены точным моделированием. Вот и цифра экономии. По нашим оценкам, моделирование сокращает расходы минимум в два раза.

Доступны ли решения ESI Additive manufacturing для малого и среднего бизнеса или эти решения ориентированы только на промышленных гигантов?

Безусловно, мы работаем с крупными предприятиями, большими проектами и наиболее сложными задачами. В них решения для моделирования показывают свою экономическую эффективность более наглядно, нежели на небольших задачах малого бизнеса. Для малого и среднего бизнеса мы предлагаем услуги по расчетам — их может себе позволить каждый. Стоимость от 100 рублей.

Какие российские отрасли проявили наибольшую заинтересованность в решениях ESI Additive manufacturing?

В настоящее время основной интерес проявляют компании «Объединенной двигателестроительной корпорации», где активно внедряются аддитивные технологии, при этом сами изделия являются ответственными, изготавливаются из дорогих конструкционных материалов и требования к качеству и бездефектности очень высоки. Также существует интерес со стороны аэрокосмической отрасли, перед которой стоят похожие задачи по качеству получаемых деталей. ■

Своих разработчиков надо лелеять!

Зинаида Сацкая



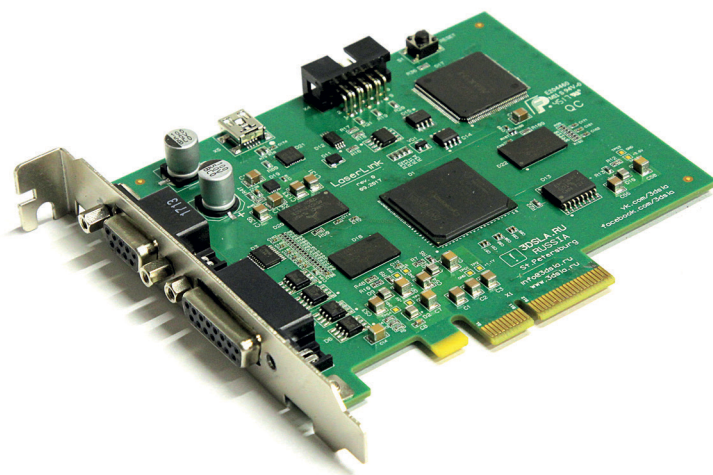
«Я не инноватор. Я делаю то, что уже давно придумано», — говорит о себе Денис Власов. Ему, конечно, виднее. Правда, и таблица умножения, и семь нот давно придуманы, и только их использование одного возносит на вершину мастерства, другого оставляет в прозябании. Но, так или иначе, Денис Власов, создатель универсального отечественного ПО «Triangulatica» и главный конструктор ООО «Эксклюзивные Решения», под брендом «3DSL.A.RU — Российские 3D принтеры» выпускающего 3D-принтеры и не только, — фигура весьма заметная на рынке аддитивных технологий.

На конференции «Индустрия 3D», которая стала важным событием деловой программы выставки «Металлообработка» Денис Власов выступил с интригующим заявлением, о сути которого мы и попросили его рассказать.

Нам есть что предложить мировому рынку

«Мы сейчас предложили мировому рынку свой контроллер, — рассказывает Власов. — Путь к этому товару мирового уровня был сложный. Сделали мы его еще в 2016 году, всем нашим показывали, что у нас свои платы, но тогда еще сами до конца не поняли, что у нас получилось. Сегодня мы понимаем, что наши металлические 3D-принтеры с полностью своими мозгами — единственные в России. Здесь всё наше: прошивки, софт, алгоритмы в софте, практически все исполнительные устройства, кроме лазеров и головок.

Главное заключено в том, что внутри систем нет «черных ящиков», того, о чем все молчат. Как это бывает обычно? Разработчик изучает, какие возможности ему дала фирма по управлению сканаторными головками, например. Почти всегда нужен jailbreak, но свобода от разработчика невозможна! И мы сделали то, что сделали, но не считали это в полной мере рыночным продуктом, а считали просто частью нашей системы. А понимание пришло вместе с удивлением, когда начали первую работу по интеграции нашей «Триангулятики» с импортными системами. Нас стали просить «прикрутить» «Триангулятику» к контроллерам немецкого производства, китайского и т.д. Чтобы получить новую функцию, нам не надо делать новую плату, даже провода на плате перепаивать не надо. Просто меняем прошивку, и появляется новая функция. Контроллер тем не менее все равно оставался нашим «внутренним», но диалог с людьми извне позволил нам понять простую вещь: наш контроллер крутой. Его надо немного «причесать», чтобы он был удобный, снабдить документацией, то есть сделать вещи, которые в его жизни не будут требовать нашего участия. Снабдили его портами, протоколами, которые понятны, которые стыкуются с любым промышленным оборудованием. Сделали более гибкое расширение управления лазерами, чтобы можно было к этому контроллеру подключать любые типы лазеров. Сделали возможность управления с этого контроллера не только нашими осевыми принтерами, но и манипуляторами и далее по списку. Сами паяем платы, сами

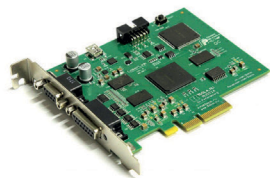


Triangulatica

Семейство контроллеров для выпуска систем аддитивного производства различного назначения

Промышленные FDM-принтеры и принтеры на медленных источниках (плазма, проволока и т.д.)

API TRIANGULATICA



Scan & Laser Board

Контроллер пары лазер-сканатор. В одну систему может быть установлено несколько шт. для параллельной работы с несколькими лазерами.

- FPGA Intel Cyclone V
- FPGA Intel Max II
- 3ГБ DDR3



Лазерные источники

Лазерные источники

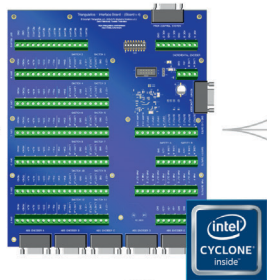
Обмен с IPG, MaxPhotonics, Synrad, лазерными полупроводниковыми модулями и т.д.



Сканирующая головка

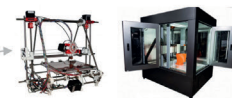
Обмен по XY2-100. В следующих релизах будет реализована поддержка: SL2-100, XY2-100E, XY2-200, RL3-100, XY3-100

Interface Board
Реализует работу с большинством периферийных устройств системы аддитивного производства



ПЛК

Возможно использовать программируемые логические контроллеры мировых производителей или промышленный ПК



3D-принтеры на базе манипуляторов



SLA, SLM, SLS-принтеры (на лазерах)



пишем прошивки. Уже открыли в Европе предзаказ. Мы будем представлять контроллер на Formnext в ноябре, а сейчас просто объявили спеццену, и для «ранних пташек» она будет примерно в три раза ниже, чем потом продажная цена.

Бизнесмен-индикатор

Разговор продолжился на общие для рынка аддитивных технологий темы.

По вашему мнению, наши отечественные технологии, оборудование, материалы на каком уровне относительно того, что есть на мировом рынке?

То, что наши знания не уступают мировым знаниям, у меня сомнений не вызывает. То, что лучше продает корпорация, у которой за столетия развита сеть, — это тоже факт. Поэтому на многих выступлениях — меня за это многие не любят — я говорю следующее: если вы российская государственная компания, вы обязаны покупать у российских производителей. Иначе отечественная индустрия не разовьется. Я не государственная компания, я маленький бизнесмен, но я все равно стараюсь брать у российских разработчиков. Пусть иногда дороже, пусть без документации, пусть с бои на первых порах, но если клиент не дает производителю фидбэк, то производитель останется никем и ничем. Так я лазерные модули покупаю. Да, я мог купить китайские лазерные модули для керамической технологии, но мы их взяли у парней из Питера, которые научились их делать. Это гениальные оптики. Эти модули встали нам в пять раз дешевле, чем китайские, но по характеристикам они были точно такие, как нам надо. И сейчас эти парни объявили о продаже целой линейки различных модулей и стали делать их на экспорт. Или возьмите московского производителя сканаторов

«Атеко-ТМ». Но государственные люди говорят, что не имеют возможности рисковать и скорее выберут немецкий. А я считаю, что сейчас «Атеко-ТМ» — «мерседес» в головках. Я протестировал головки немецких и китайских производителей и не смог счесть только головки «Атеко-ТМ». Их и стал ставить в свои машины, хотя на тот момент там было что доделать. Я считаю своей социальной ответственностью и требую от других работать на свою экономику. Поддерживайте своих разработчиков!»

Занятная получается картина. Поддерживать «своего» можно разными способами. Денис Власов покупает компонент у российского разработчика и как человек, заплативший за продукт из своего кармана, становится своего рода индикатором качества этого продукта. Сейчас, по словам Дениса Власова, интерес к «Атеко-ТМ» проявили большие корпорации. И резон для этого оказался до удивления простым: «А-а, Власов берет у российского? Стоит попробовать!»

Работать играючи

Что у вас за команда?

Моя работа для меня жизнь и хобби одновременно. Из этого вытекают мои отношения с моими ребятами. Я сам развлекаюсь этим всем, и они играют во всё это. У меня никто не боится принять неправильное решение. И я никогда не буду давать укорот каким-то их идеям, потому что каждый из них на порядки лучше меня в своем деле. Каждый специалист узкого профиля имеет свои особенности, и коммуникации могут идти прямо как в животном мире. Ведь если пытаться посадить за стол переговоров кошку и собаку, то собачье влияние хвостом кошка будет расценивать как проявление агрессии. Примерно то же самое происходит между программистом и электронщиком. Это люди разного

тематического толка, и выстроить между ними диалог можно только с помощью посредника.

И вы тот самый посредник?

Я стараюсь слушать одного и полностью согласен с его мнением. Я слушаю другого и снова полностью согласен с его мнением. И здесь мне приходится решать, где провести разграничительную линию, чтобы продукт получился правильно управляемый, клиенту было удобно и мы потом мы не имели бы обломов с его технологической настройкой. Главное, что все мои специалисты умеют концентрироваться на своей задаче. Я фантазер, я мечтаю о том, как будет выглядеть мой софт через десять лет, а рассказать свои фантазии ребятам я не могу, потому что они сразу воспринимают мои фантазии как задачу и призыв к действию.

И где выход из этого круга?

Приходится учитывать особенности характера коллег и бережно к ним относиться. Я свои фантазии выдаю им дозированно. Но когда мы проектируем «железо», мне все равно приходится проецировать всё на план развития софта.

Поражение бывает на пользу

Как глазами практика выглядит поддержка отрасли государством?

Меня пугает, что многие талантливые разработчики подсели на иглу государственных грантов. Это вроде бы прекрасное средство, особенно в условиях, когда деньги на развитие взять негде. Но это выстроенный не по твоим темпам режим. Ты должен отработать год на конкурс НТИ «Старт-1». В смете ты расписал, как ты будешь делать, как тратить и так далее, но у тебя нет правильной возможности форсировать сроки. Ты можешь всё сделать быстро и потом просто досиживать до окончания срока этапа. Многие — из того, что я вижу — планируют на несколько этапов. Вместо того чтобы сконцентрироваться, сделать продукт и продать, они планируют следующие стадии «Старта». Ну привлекают какие-то небольшие инвестиции, но, по сути, сами себя тормозят.

А вы сами пробовали войти в эту реку?

Пробовал. Но вот эти мои платы у меня на «Старт-1» «зарезали». Я уже был на очной сессии, и эксперты НТИ («Национальная технологическая инициатива» — Ред.) сказали, что продукт не имеет рыночных перспектив. Я спросил, как доказать обратное. Мне ответили: «Ну когда EOS придет за вашим продуктом, вы нам сообщите». EOS пока не пришел, но у меня на следующей неделе переговоры с европейским отделением крупнейшего станкостроительного концерна относительно того, чтобы интегрировать «Триангулятику» под их машину. И, честно говоря, я благодарен НТИ за то их решение,

потому что в тот момент выносить продукт на рынок было бы рано, концепцию стоило немного поправить. А сейчас я уверен, что концепция правильная. А вообще я прошелся по всем мерам поддержки. У ФРП есть великолепная вещь в рамках реализации национального проекта «Цифровая экономика». Там под 1% можно получить от 25 млн на закупку аддитивного оборудования, произведенного в России. Есть еще один великолепный инструмент господдержки — это компенсация суммы скидки за оборудование. То есть я выпускаю принтер, который стоит 12 млн рублей. Могу продать за 6 млн рублей и получу от государства компенсацию в размере моей 50-процентной скидки.

То есть государство стимулирует спрос, дотируя не вас, а покупателя.

Абсолютно так. И всё бы хорошо, если бы не одно из условий этой меры поддержки. Объем реализации через три года надо увеличить. То есть если бы я этим инструментом воспользовался и в 2017 году продал бы хотя бы одну машину, то что было бы с моим бизнесом, когда грянула пандемия? Никто не стал бы смотреть на эти обстоятельства, и мне пришлось бы вернуть всю сумму компенсации. То есть инструмент хороший, это реальный, продуманный путь к серийному продукту. Более того, условие, что объем надо увеличить, оно тоже продуманное, но воспользоваться этими мерами поддержки в условиях непредсказуемости развития внешней ситуации может оказаться просто опасно.

Любопытство — не порок, а мотор бизнеса

Ваш любимый материал?

Кобальт-хром-молибден. И сейчас на второе место выходит ВТ6 производства «Ак Барс». Совершенно уникальная история. Несколько лет назад Зеленодольский завод имени Горького, входящий в холдинг «Ак Барс», пригласил со всей страны специалистов, чтобы услышать, как они развивают аддитивку. В цеху, где будет аддитивка, лежало немножко порошка. Ну порошок и порошок — и все пошло дальше. А я любопытен, у меня всегда с собой лупа. Посмотрел порошок, вижу, что он не окисленный. Спросил сотрудника, что был рядом, сколько этот порошок здесь лежит. Оказалось, недели две. Интересно, если у них такой результат, то что они туда добавили? Добрался до главного металлурга. Мы подружились, и их порошки сейчас тестирую в основном я. И как-то я решил свести одного своего клиента, который занимается медициной, с их разработками. Мой резон был простой: продать клиенту машину и при этом посодействовать, чтобы у него была приемлемая цена на титан, а у завода — заказчик с хорошими объемами. То есть всем выгодно, и никто не тратит лишних денег. Шло непросто, но мы получили титан с такими характеристиками, которые по ASTM обгоняют немецкие порошки.

И полимеры мне интересны. У меня есть хороший полимер, но он очень специфичный, поэтому продать его я могу не более 20 кг за год, а чтобы его сделать, надо купить бочку 200 кг одного мономера, бочку другого мономера.

Сами создали полимер?

Да. Но там история-то смешная была. Я первый фотополимер сделал по инструкции в интернете. Нашел работу в Кембридже, где профессор объяснял: «Возьмите такого столько-то, этого столько-то засыпьте». Я все эти материалы нашел, заказал, получил, смешал, и оно поехало.

Бывает такое, что работали-работали — и получился замечательный продукт, который можно назвать инновацией?

Наверное, нет. Если «работаешь-работаешь» и что-то получилось, то думаешь, как это сделать рыночным продуктом. Я не новатор, не эксперт. Я основываюсь на том, что писали другие много лет назад. Сегодня на любой вопрос в интернете есть ответ, надо только правильно сформулировать вопрос.

«Только»! Вообще-то класс исследователя, как, впрочем, и журналиста, именно в вопросах. То есть вы хотите сказать, что просто умеете пользоваться тем, что у других валяется под ногами?

Да, почти всё, что мы делаем, — это примитивно. Сложно то, что внутри микросхемы, а воткнуть плату во что-то и к ней моторчики подключить — это уже делай кто хочешь. Но не делают, не хотят.

Почему?

Потому что заставить машину работать — это пройти одну пятую пути. Потому что машину потом надо делать безопасной, выносливой, обслуживаемой, потом надо продумать, как сервис осуществлять, сертифицировать — и готовить к продаже всё надо быстро. Потом нужно справиться с первой волной критики покупателя, который вдруг столкнулся с проблемой, потому что у первой машины они могут быть, с честью это вынести, всё обновить и так далее.

Почему вы это видите, а другие нет?

Потому что я немного с другой стороны вошел. Большинство технарей стараются стать коммерсантами, а я коммерсант, который становится технарем. Может быть, в этом принципиальное отличие.

Какое событие на рынке аддитивных технологий — российском или мировом — произвело на вас впечатление в последние месяцы?

Наверное, самое бесперспективное, но крутое — это полимеризация вращающегося объекта со стационарным DLP-источником.

Как может быть крутой бесперспективная идея? Или наоборот — бесперспективной крутая идея?

Эта технология способна создать объект непривычным способом, то есть засветкой для полимеризации по сложному алгоритму вращающегося объекта, но точно-сти там не получить, если вдруг кто-то начнет требовать более серьезные характеристики. Впрочем, возможно, это вопрос времени. На сколковском стенде выставки видел принтер для печати металлом с линейкой лазерных диодов. То есть очень интересно масштабируемая вещь. Свежо, круто, потенциально интересно.

Дорога в рай

С какой отраслью вам приятнее всего работать?

С какой хочется работать, но туда, как в рай, грехи — или деньги! — не пускают?

Мечта у меня очень простая, я ее не скрываю. В какой-то момент я хочу продать всё, что у меня нарабатывается здесь и сейчас, и полностью посвятить себя печати живых тканей. Это та отрасль, которая меня будоражит и манит. Там задача тоже исключительно коммерческая. Моя задача — научиться печатать органы, чтобы каждый человек, который в этом нуждается, стал моим потенциальным клиентом. Всё! Больше мной ничего не движет. Ради этого я хочу экспериментировать и работать.

И для себя, и для рынка

На полях выставки мне сказали, что родилась идея создать ассоциацию специалистов по аддитивным технологиям. При этом называли имя Дениса Власова. Идея родилась не на пустом месте. Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ), созданная в декабре прошлого года промышленными гигантами, не делала попыток вовлечь в свою орбиту представителей малого и среднего бизнеса, о чем они рассказали на страницах № 1/2021 журнала «Аддитивные технологии». Тем не менее Власов сразу уточнил, что о создании новой ассоциации речи нет. Есть намерение активизировать работу существующей с 2019 года ассоциации АРКАТА, и Власов намерен войти в нее, потому что услышал форматы и методы работы ассоциации, счел их понятными и правильными и, самое главное, видит, что он может сделать для работы этой организации. Если примут в АРАТ, то войдет и туда, если возникнет четкое понимание взаимной пользы. А польза от любой ассоциации, по мнению Власова, только одна — «увеличить цену отечественного рынка аддитивных технологий путем построения мостов и уменьшения числа барьеров между теми, кто заинтересован в аддитивных технологиях». ■

На пути к серийному производству. Автоматизированное удаление поддержек после печати металлом

Артем Сергеевич Кадников, Евгений Андреевич Кузьмин, TopStanok

3D-печать металлом открыла невероятные возможности для производства изделий сложной формы и повышения эффективности многих узлов и агрегатов. Такая свобода производства позволила также вернуть в жизнь идеи по производству доступных индивидуальных изделий. В первую очередь такими преимуществами воспользовались представители высокотехнологичных отраслей, где эффективность — один из главных параметров оценки: авиация и медицина. Напечатанные на 3D-принтере элементы двигателя позволили значительно повысить его эффек-

тивность и снизить расход топлива. Индивидуальные медицинские имплантаты обеспечили новый уровень комфорта для пациентов.

Весь шарм аддитивного производства пропадает, когда мы приступаем к постобработке этих изделий. После печати изделие проходит большое количество разных процедур и этапов, которые по длительности зачастую занимают больше времени, чем сам процесс печати. Часть этапов автоматизированы и имеют прогнозируемое время обработки, сюда можно отнести снятие остаточных напряжений, удаление остатков порошка и срезаание с платформы построения. Но такие, как снижение шероховатости и удаление поддержек, до сих пор производятся оператором вручную с помощью плоскогубцев и других вспомогательных инструментов, что больше похоже не на часть инновационного процесса производства, а на какой-то вид древнего искусства, где мастер старается использовать все свои навыки и доступные инструменты (большая часть из которых не подлежит передаче другому мастеру), для того чтобы получить приемлемое качество изделия (опять же, по его индивидуальному мнению).

Это обязывает инженера идти на компромисс между тем, что он действительно хочет спроектировать и тем, что оператор сможет потом обработать, снижая тем са-

мым возможные преимущества от использования аддитивных технологий и замедляя интеграцию деталей, полученных методом АТ, в реальные изделия.

Все эти особенности формируют целый ряд несовместимых с серийным производством ограничений:

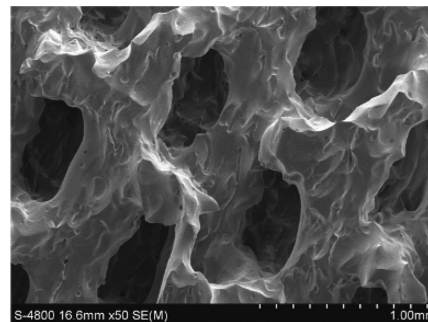
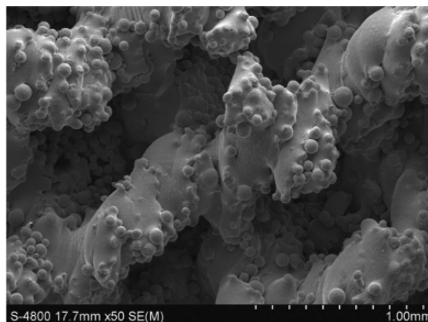
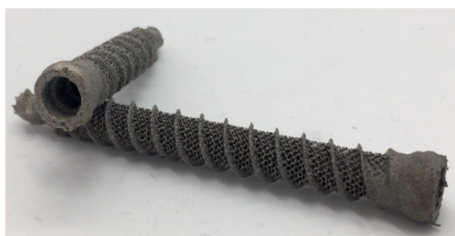
- 1) низкая производительность: время обработки одного изделия может достигать нескольких часов;
- 2) низкая повторяемость: оператор не может сделать два одинаковых изделия;
- 3) низкая прогнозируемость: при производстве нового изделия сложно спрогнозировать время его обработки;
- 4) низкая сложность изделий: используя традиционные методы, оператор физически не может обработать закрытые полости и длинные каналы.

Последние годы большинство компаний в России находилось в активной стадии проведения НИОКРов и НИРов и сейчас подходит к производству серийных изделий. Закономерно встает вопрос автоматизации всех этапов постобработки, в том числе удаления поддержек и улучшения качества поверхности.

Хотелось бы рассказать про доступные методы автоматизации данного процесса. А именно — про уникальную технологию Hirtisation, которая впервые была представлена в 2017 году на



Обработка поверхности с применением технологии Hirtisation
до применения после применения



выставке Formnext. Технология имеет в основе принцип динамической электрохимии и позволяет полностью автоматически удалять поддержки, а также обрабатывать внутренние каналы и полости. В линейке оборудования 4 версии, которые отличаются между собой размером рабочей зоны и количеством камер для обработки. Самая распространенная установка H6000 имеет размер рабочей зоны 500×500×350 мм и позволяет параллельно обрабатывать две партии изделий из разных металлов. В среднем такая установка способна обрабатывать изделия с 3–4 принтеров.

От оператора требуется только закрепить изделия на держатель и выбрать одну из программ, далее все проходит полностью автоматически.

Что особенно важно, технология хиртизации обеспечивает сохранение допусков и изначальной геометрии изделия, включая острые кромки и углы, что недоступно традиционным технологиям постобработки, включая галтовку и другие методы электрополирования, которые, наоборот, в первую очередь скругляют углы и кромки.

Обработка производится в несколько этапов и снижает шероховатость изделия с изначальных 10 до

2–0,5 Ra в зависимости от материала и качества печати.

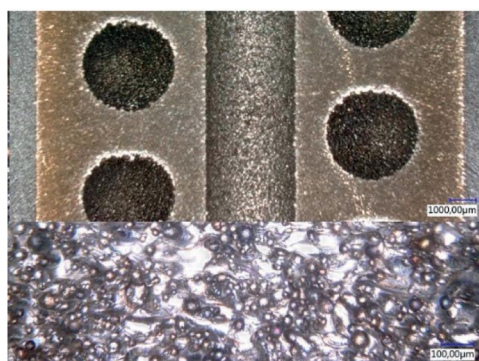
Первым этапом является равномерный съем по всей площади изделия, включая внутренние каналы и полости, это позволяет удалить поддержки и остатки порошка даже в тех местах, которые не видны глазу. После этого этапа изделие уже может быть отправлено на доводку ответственных поверхностей с помощью ЧПУ-обработки.

Далее манипулятор в соответствии с заданной программой перемещает изделия в камеру с рабочей жидкостью для следующего этапа, где происходит финишная обработка и снижение шероховатости

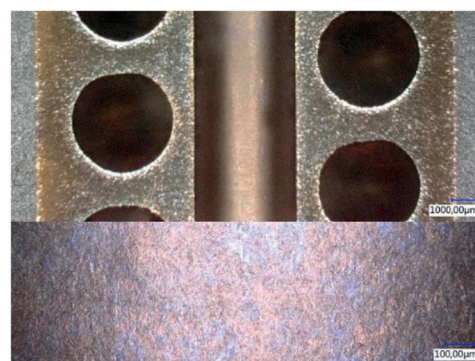
Обработка поверхности с применением технологии Hirtisation



Before Hirtisation®



After Hirtisation®



до финальных значений. После обработки изделие попадает в последнюю камеру, где промывается и высушивается, после чего выходит уже готовым к эксплуатации.

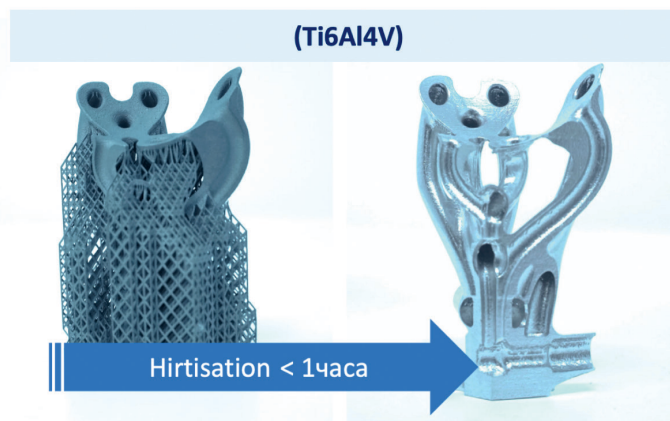
Все манипуляции с рабочей жидкостью также производятся в автоматическом режиме, система измеряет параметры электролита и добавляет свежий электролит или полностью меняет его в случае необходимости. Так как обработка производится в закрытом контуре без контакта оператора с рабочими жидкостями, установка соответствует самым строгим нормам безопасности и не требует специальных мер при работе.

Отдельно стоит обратить внимание на удаление остатков порошка, это очень важно для всех применений, так как неудаленный порошок может выступать как абразив и изнашивать узлы изделия, особенно в телах вращения. Также стоит отметить медицинские изделия, которые имплантируются человеку, остатки порошка просто недопустимы в таких применениях. Стандартные методы не позволяют до конца удалить не припекшийся порошок, в то время как технология Hirtisation позволяет в автоматическом режиме удалить полностью остатки.

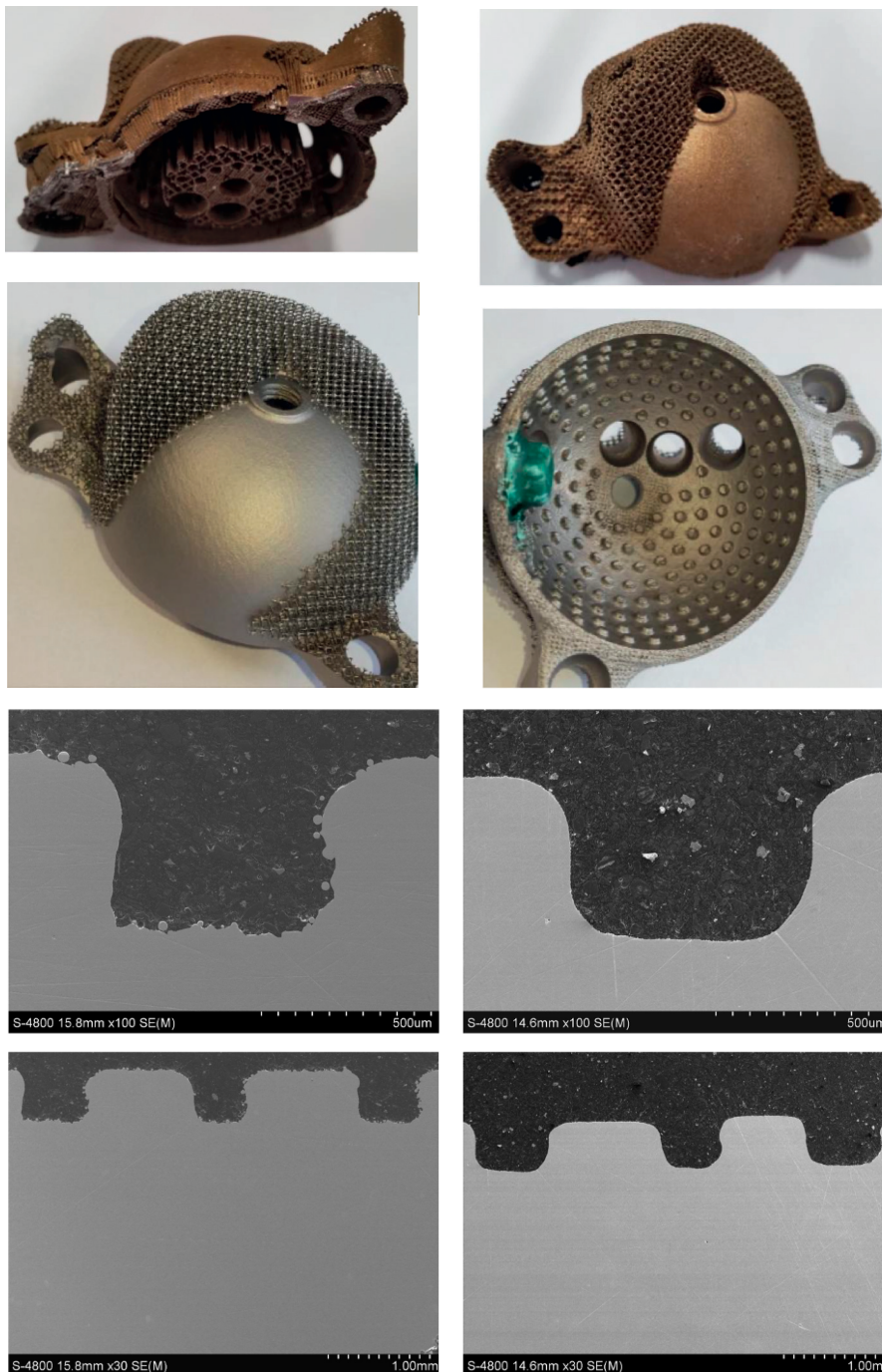
Тут и начинается настоящая магия 3D-печати: проектировщики и инженеры уже не думают о том, как оператор будет удалять поддержки из полостей и каналов, а проектируют те изделия, которые они действительно хотят получить, а именно — цельные изделия со сложной внутренней геометрией, убирая процесс сборки из технологической цепочки. Раскрывается полный потенциал аддитивных технологий.

Автоматизированные методы постобработки позволяют перейти к массовому производству изделий, стандартизировать временные и денежные затраты на проведение этапов удаления поддержек и улуч-

шения шероховатости, повысить сложность выпускаемой продукции и уменьшить время обработки, обеспечить повторяемость процесса, автоматизацию постобработки. ■



Примеры обработки поверхности с применением технологии Hirtisation



ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОСТОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ 3D-ПЕЧАТИ



HIRTISATION®

- Снижение шероховатости при сохранении острых углов и кромок
- Единственная немеханическая технология по удалению поддержек и улучшению качества поверхности
- Единственная технология, позволяющая обрабатывать внутренние полости и каналы
- Полностью автоматизированный и масштабируемый процесс
- Удаление поддержек и обработка поверхности без отделения от платформы построения



Более подробная информация доступна в статье.

Обработка тестовых изделий
по промокоду «3D» БЕСПЛАТНО!

stanok@topstanok.ru 8 (800) 500-33-91

topstanok.ru

Проектирование и изготовление подшипника с помощью 3D-печати

Денис Кондратьев, руководитель направления «Аддитивное производство», «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»



Немецкий производитель Franke GmbH разрабатывает и производит подшипники качения с проволоочной обоймой, являющиеся более легкой альтернативной подшипникам качения традиционной конструкции (рис. 1). История этого изделия началась в 1936 году, когда инженер Эрих Франке, раз-

рабатывая оптическое устройство, искал решение по экономии места и изобрел специальный подшипник качения. Особенностью подшипников данного типа стала его нестандартная конструкция: вместо обычных и наружных колец были использованы 4 направляющие круглого сечения (рис. 2). Они легли в основу производимой Franke GmbH продукции и сегодня используются во многих отраслях промышленности таких, как авиакосмос и медицинское оборудование, а также для автоматизации различных процессов. Несмотря на то, что подшипники подобной конструкции досконально исследованы, специалисты Franke GmbH решили применить инновационные подходы и методы при их проектировании – в частности, топологическую оптимизацию. Это позволило уменьшить вес конструкции.

Стоит отметить, что Franke GmbH уже несколько лет исполь-

зует алюминиевые корпуса, напечатанные на 3D-принтере. Применяемые методы аддитивного производства позволяют сэкономить материал без потери характеристик прочности изделия.

Подшипники с проволоочной обоймой используются при установке спутниковых антенн и нужны для организации телефонной связи и интернета в самолетах (рис. 1). Антенны такого типа часто располагаются в хвостовой части фюзеляжа и должны быть включены во время полета, оставаясь на одной линии со спутниками, чтобы обеспечить беспрепятственную передачу данных. При этом сам поворотный механизм должен быть как можно легче.

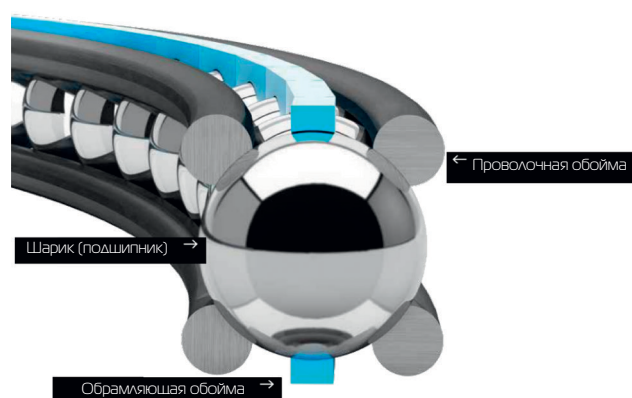
3D-печать и моделирование

Чтобы понять, какой экономический эффект можно получить с помощью таких современных

Рис. 1. Использование подшипников с проволоочной обоймой для организации телефонной связи и интернета в самолетах



Рис. 2. Изображение подшипника из официального каталога продукции Franke



технологий, как топологическая оптимизация и аддитивное производство, Franke GmbH привлекла двух партнеров — компанию Rosswag Engineering, занимающуюся интеграцией методов аддитивного производства и 3D-печатью, а также компанию CADFEM GmbH, специализирующуюся на численном моделировании.

Исходный подшипник, представленный Franke GmbH, имел диаметр 25 см и содержал внешние и внутренние кольца. Они состояли из двух частей, которые были изготовлены из алюминия, максимально оптимизированы по весу и подготовлены для обработки на станках с ЧПУ.

Специалисты CADFEM GmbH импортировали геометрию, предоставленную Franke GmbH, в единую интегрированную систему для работы с расчетным проектом Ansys Workbench, чтобы использовать ее для предварительного моделирования. Оно позволяет определить, как работает исходный подшипник при эксплуатации в различных режимах. Полученные данные

обеспечили критерии (рис. 3), на которые специалисты равнялись позднее при сравнении исходной конструкции с оптимизированной. После определения всех нагрузок и участков без изменения была начата топологическая оптимизация. Решение Ansys Mechanical позволило определить незначительные напряжения на всей площади обоймы, а инструмент топологической оптимизации предложил полностью удалить в этой области материал (рис. 4, 5).

После этого пустое пространство было решено заполнить решетчатой структурой. Такие структуры приносят дополнительные преимущества при очень малом весе и сохранении жесткости модели (рис. 6). Решетка имела минимальные размеры, которые обеспечивали возможность ее производства с помощью 3D-печати.

Снижение веса на 16%

Изначально корпус подшипника был изготовлен традиционным способом и в достаточной степени

оптимизирован. Топологическая оптимизация позволила снизить его вес с помощью аддитивного производства еще на 16%.

Но на этом само моделирование не заканчивается. Вторая важная область применения численного моделирования — это сам процесс печати (рис. 7, 8). При печати металлом используется значительное количество энергии для полного расплавления частиц металлического порошка. При этом достаточно высока и скорость охлаждения. Эти температурные градиенты создают сильные напряжения в самой заготовке. Для обеспечения теплопроводности в процессе производства и поглощения возникающих силы и напряжения требуются поддержки. Их создание, в свою очередь, увеличивает время печати и делает последующую механическую обработку необходимым этапом.

«Мы работали в этой модели с параметрами, которые точно соответствуют выбранному материалу. У нас уже были проведены калибровочные тесты в проектах, кото-

Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние обоймы

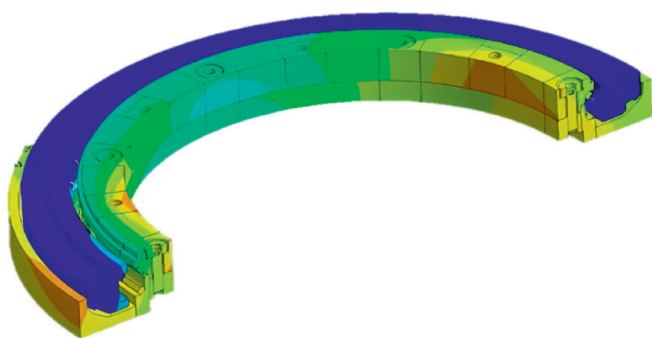


Рис. 4. Красные области показывают, какой материал оставить, синие – какой убрать

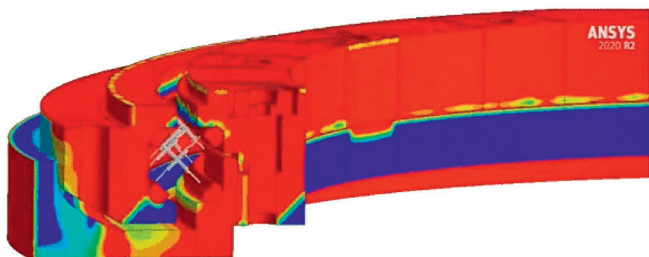


Рис. 5. Этап топологической оптимизации. Серым отображается остающийся материал

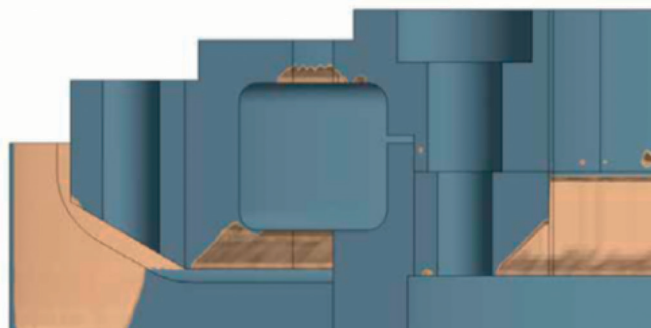
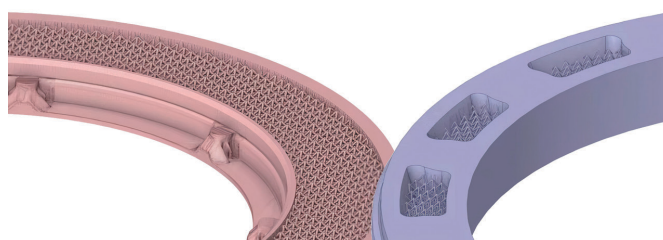


Рис. 6. Заполнение «пустого» пространства решетчатой структурой



рые мы раньше выполняли вместе с Rosswag Engineering. Благодаря этим данным по свойствам материала мы смогли оптимизировать форму и тип поддержек, при этом учитывая и такие параметры печати, как скорость движения, мощность лазера и ориентацию компонента в пространстве», — комментируют специалисты CADFEM GmbH.

«Для моделирования печати специалисты тесно сотрудничали с компанией Rosswag Engineering, — говорит Франц Олерт (Franz Öhlert), конструктор из Franke GmbH. — Каждый из нас поделился своим опытом. Мы добавили дополнительные точки для пост-обработки. В изделие специально добавляют материал в точках, где необходима постобработка, например, в месте для установки подшипника. Мы также определили расположение поддержек. Затем вся модель снова вернулась в CADFEM для моделирования процесса печати».

На заключительном этапе в Ansys Additive Prep, специальном решении для подготовки модели к печати, инженеры создали компоновочные файлы для принтера SLM Solutions, на котором были изготовлены все детали (рис. 9). Готовый печатный корпус подшипника доставили во Franke GmbH для дополнительной обработки, сборки и комплектации проволочными кольцами, телами качения и сепаратором.

Рис. 9. 3D-принтеры компании Rosswag. Изображение взято с сайта Rosswag



Рис. 7. Полученные результаты моделирования процесса 3D-печати корпуса

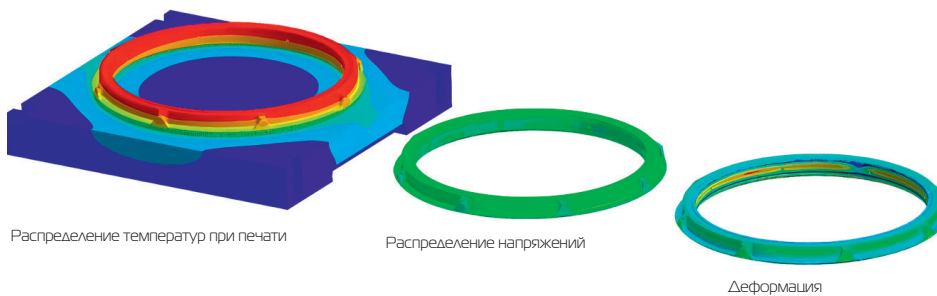
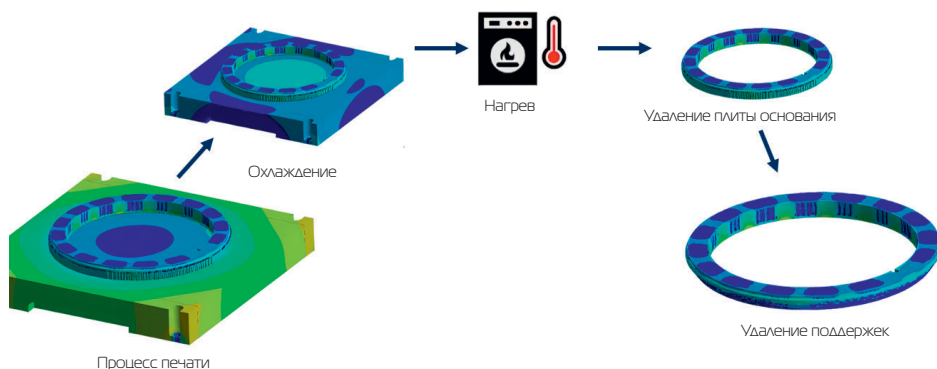


Рис. 8. Моделирование процесса печати. Основные этапы



Сотрудничество между настоящими специалистами (рис. 10)

Специалисты Franke GmbH говорят: «Это был пилотный проект. Мы хотели узнать, какой экономии можно добиться за счет топологической оптимизации и 3D-печати. Но это было очень интересное сотрудничество. Мы показали, что можем управлять процессом

печати с помощью программного обеспечения Ansys Additive. Моделирование и оптимизация настолько реалистичны, что сам процесс проходит без проблем. А снижение веса на 16% уже оптимизированного компонента также подтверждает, что топологическая оптимизация и 3D-печать занимают достойное место в производственном цикле». ■

Рис. 10. Изготовленный корпус. Фото: Franke GmbH



Пластик или металл для инструментов обработки изделий давлением?

П.А. Петров, Б.Ю. Сапрыкин, М.А. Петров, Д.А. Гневашев

Московский политехнический университет, кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии»,
petrov_p@mail.ru

Аддитивные технологии начали свое вхождение в разные производства начиная с середины 80-х годов XX века. Развитие аддитивного производства связано в том числе с поиском новых сфер применения изделий, которых на сегодняшний день насчитывается семь [1], включая:

- струйное нанесение связующего (binder jetting);
- прямой подвод энергии и материала (directed energy deposition);
- экструзия материала (material extrusion — FDM, FFF и др.);
- струйное нанесение материала (material jetting — MJM, PolyJet и др.);
- синтез на подложке (powder bed fusion — SLS, SLM и др.);
- листовая ламинация (sheet lamination — LOM и др.);
- фотополимеризация в ванне (vat photopolymerization).

В аддитивном производстве сформировались два широко востребованных направления изготовления изделий [2, 3]:

- быстрое прототипирование (rapid prototyping), связанное с изготовлением прототипов изделий и функциональных изделий как штучно, так и малыми сериями;
- быстрое инструментальное производство (rapid tooling), связанное с изготовлением изделий — инструмента, применяемого в последующем для изготовления

штучных изделий, малых серий и серийного выпуска изделий.

Для изготовления прототипа (изделия) средствами быстрого прототипирования (rapid prototyping) не требуется дорогостоящая оснастка, как для литья, или построение программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) в системах САМ, как происходит при обработке резанием [4]. Rapid prototyping направлено на снижение времени для производства прототипов, в том числе функциональных, сопоставимых по своим свойствам с готовым изделием. Быстрое инструментальное производство (rapid tooling) направлено на производство инструментов, инструментальных вставок, эталонов (калибров), штампов и пресс-форм [3].

Изготовление инструмента (оснастки) — один из самых дорогостоящих этапов подготовки производственного процесса. Поэтому неслучайно быстрое производство инструмента появилось в самом начале развития аддитивного производства. В этом случае оказывается возможным показать инновационность подхода к изготовлению функциональных изделий — инструмента. Далее начался поиск операций традиционных технологий, в которых возможно применение такого инструмента. Одной из рассматриваемых традиционных технологий является

обработка давлением. Эта традиционная технология производства имеет ряд особенностей:

- является постоянно совершенствуемой технологией производства;
- адаптируется под новые материалы, как металлические, так и неметаллические и композиционные;
- адаптируется к производству штучных изделий, малых серий и серийных изделий.

В различных литературных источниках [5–7] приводятся несколько различные классификации для направления rapid tooling. В rapid tooling различают прямой (direct) и непрямой (indirect) метод изготовления инструмента либо его компонентов. Прямые методы предполагают, что какая-либо одна технология применяется для изготовления инструмента, непрямые методы связаны с применением нескольких технологий. При этом обязательным этапом является изготовление мастер-модели, которая в последующем применяется для изготовления инструмента либо его компонентов.

Второй подход к классификации процессов, применяемых для изготовления инструмента, основан на классификации инструмента в зависимости от используемых материалов: мягкие и твердые материалы. В зависимости от этого различают мягкий инструмент

(soft tooling) и твердый (жесткий) инструмент (hard tooling) [8–10]. Мягким считается инструмент, если он может быть использован для изготовления только штучных изделий либо малых серий объемом не более 1000 копий изделий до момента, пока не начнут появляться признаки износа. Твердый (жесткий) инструмент позволяет изготовить более тысячи копий изделия [8–10].

Как отмечается в литературе [11], особенности процесса быстрого изготовления инструмента:

- время изготовления инструмента много меньше, чем при изготовлении традиционного инструмента (как правило, в 5 раз);
- стоимость изготовления инструмента намного меньше (примерно 5% от стоимости изготовления традиционного инструмента);
- срок службы инструмента значительно меньше, чем традиционного инструмента;
- поля допусков на размеры инструмента, изготавливаемого по технологии rapid tooling, шире в сравнении с полями допусков на размеры традиционного инструмента; качество поверхности инструмента характеризуется шероховатостью большего размера.

Таким образом, сформировавшееся в аддитивном производстве направление rapid tooling позволяет изготовить инструмент как в сборе, так и отдельные его компоненты для последующего изготовления изделий, свойства которых сопоставимы либо воспроизводят свойства аналогичных изделий, изготовленных по традиционным технологиям. При этом серийность изделий может быть различной: от единичного экземпляра до партии в несколько тысяч штук.

Отметим еще одну интересную особенность применения быстрого инструментального производства (rapid tooling), унаследовавшего от аддитивного производства его особенность — гибкость и адаптивность. Область применения

быстрого инструментального производства не ограничивается какой-либо одной узкоспециализированной традиционной технологией обработки материалов. Быстрое инструментальное производство находит применение в традиционных технологиях при производстве изделий из различных материалов, в том числе:

1. Пластиков: методом литья под давлением, компрессионного (прямого) прессования, литьевого (трансферного) прессования, послойной выкладки стеклонаполненного (армированного) пластика, вакуумного литья и вакуумного (термо) формования, экструзионно-выдувного формования и др. [12].
2. Металлов: методом литья в песчаную форму, методом литья под давлением в пресс-форму, методом обработки давлением листовых материалов, методом горячей объемной штамповки, методом холодной объемной штамповки и др. [13].
3. Керамики: методом шликерного (скользящего) формования, методом изостатического формования (прессования), методом компактирования на прессах и др. [14].

С учетом многообразия процессов традиционного производства, в которых находят свое применение инструмент и инструментальная оснастка, изготовленные с применением аддитивных технологий, в данной статье основное внимание уделяется обзору и анализу

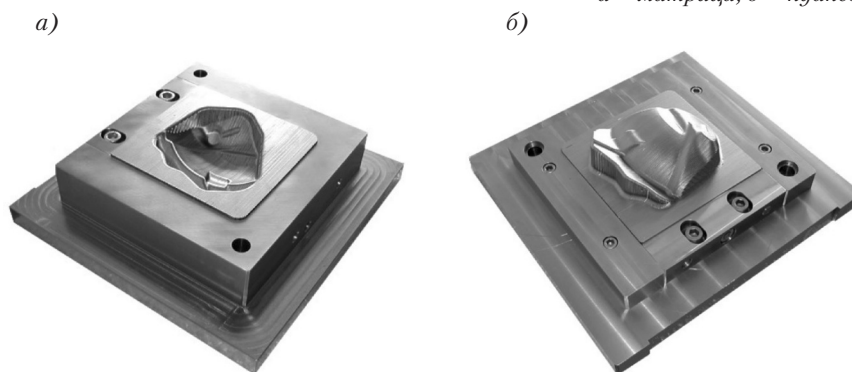
возможных вариантов применения такого инструмента для реализации технологических процессов (отдельных операций) обработки давлением металлических и неметаллических материалов.

Первые из известных исследования и разработки в области применения быстрого инструментального производства в обработке листовых металлов давлением относятся к 1979–1980 годам и связаны с профессором Накагава [15]. Профессор Такио Накагава из Токийского университета предложил использовать технологию послойного соединения тонких листовых материалов для изготовления штампов для листовой штамповки и пресс-форм [15–19]. По своей сути данный способ изготовления штампового инструмента и пресс-форм стал прототипом для известной аддитивной технологии LOM (Laminated object manufacturing, изготовление методом ламинирования), появившейся в аддитивном производстве в 90-х годах XX века.

Некоторые известные примеры инструментов, изготовленных по технологии послойного соединения листовых материалов, представлены на рис. 1 и 2.

Результаты исследований профессора Накагава привели к применению быстрого инструментального производства из листового металла в области изготовления деталей конструкции автомобильных кузовов [16]. Данный способ нашел одно из своих применений в компа-

Рис. 1. Формообразующий инструмент, изготовленный методом послойного соединения тонких листовых материалов с применением адгезивов [19]: а – матрица; б – пуансон



нии «Тойота» в рамках реализации проекта разработки автоматизированного процесса производства штампового (формообразующего) инструмента [17]. Основная проблема, решаемая при внедрении способа, — сокращение времени и расходов на производство формообразующего инструмента.

В период с 1990 года по настоящее время аддитивные технологии для быстрого инструментального производства находят все большее применение в обработке давлением, в том числе в процессах прессования, листовой штамповки, объемной штамповки, специальных процессах обработки давлением.

В 2003 году коллектив авторов, представляющих Университет прикладных наук в Санкт-Галлене (Швейцария) и Университет Палермо (Италия) [20], представил результаты исследования процесса глубокой вытяжки с применением инструмента (рис. 3), изготовленного по технологии SLS на оборудовании компании DTM — DTM Sinterstation 2500 с применением материала LaserForm ST-100 [20, 21].

Характеристики процесса изготовления инструмента для глубокой вытяжки представлены в таблице 1.

Материал, из которого изготавливался инструмент, LaserForm ST-100, представлял собой смесь порошка нержавеющей стали 420 (Cr-Ni-Fe; средний размер частиц 17 мкм) с органическим связующим (около 4%). Изготовление инструмента проводилось по технологии, реализованной на DTM Sinterstation 2500, в два этапа: 1) селективное лазерное спекание смеси двух компонентов при толщине слоя 0,08 мм до получения «зеленой» детали; температура основания детали — 93°С; 2) заполнение (инфильтрация) пор «зеленой» детали в печи расплавленным бронзовым сплавом (80% меди, 20% олова) до получения сплошной детали с плотностью около 99,9%

Рис. 2. Штамповый (формообразующий) инструмент, изготовленный по технологии послойного соединения тонких листовых материалов: а — пуансон для глубокой вытяжки (слои горизонтально ориентированы); б — матрица для надрезки [16]

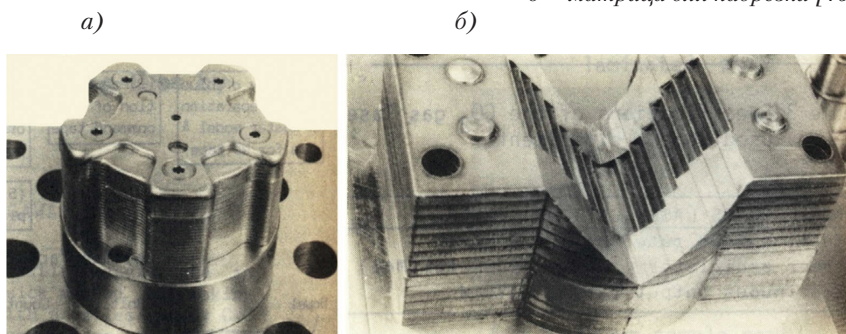
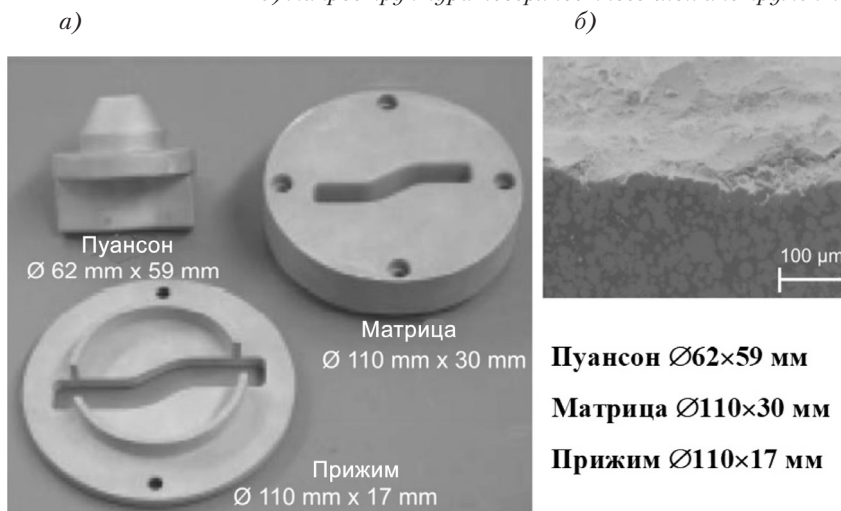


Рис. 3. Инструмент для глубокой вытяжки листового материала [20]: а) матрица (die), пуансон (punch), прижим (holder); б) микроструктура поверхностного слоя инструмента



(рис. 3б). Максимальная температура обработки 1070°С, время выдержки в печи — 3 часа. В результате изготовленный инструмент имел шероховатость поверхности порядка $R_a = 5,8 \mu\text{m}$. Проведено сравнение работы инструмента, изготовленного по технологии SLS, с работой инструмента, изготовленного по традиционной технологии из холоднодеформированной ин-

струментальной стали марки D2 (российский аналог — инструментальная сталь X12МФ). Признаки первичного износа обнаружены между 100 и 200 отштампованной деталями. Представленные в статье [20] результаты показали принципиальную возможность применения аддитивной технологии для изготовления формообразующего инструмента для глубокой вы-

Таблица 1. Характеристики изготовления инструмента на установке DTM Sinter-station 2500 [20]

Параметры настройки 3D-печати по технологии SLS	Толщина слоя, мм	0,08
	Температура основания детали, °С	93
	Скорость печати, мм/мин	177
Параметры процесса изготовления по технологии SLS	Мощность лазера, Вт	35
	Выходная мощность, Вт	5
	Шаг сканирования, мм	0,08

тяжки и соответствовали уровню развития аддитивных технологий 2003 года.

В 2012 году коллектив авторов из Университета прикладных наук Верхней Австрии (FH Oberösterreich, Wels) провел свое исследование процесса глубокой вытяжки и использовал для этого формообразующий инструмент, изготовленный по технологии селективного лазерного сплавления (SLM) [22]. В формообразующий инструмент интегрирована система смазки, представляющая собой систему каналов внутри матрицы, выходящих на формообразующую поверхность. Диаметр каждого канала — 0,6 мм.

Эксперименты проводились на изготовленном по технологии SLM инструменте с заготовками листовой стали марки 1.4301 (российский аналог — сталь 08X18H10) толщиной 0,8 мм. В результате экспериментов выявлено, что технологическая смазка выходит через каналы на формообразующую поверхность и равномерно распределяется в области прижима и вытяжной матрицы. На поверхности деталей, полученных глубокой вытяжкой, не обнаружены отпечатки от каналов системы смазки.

В 2002 году исследовательский коллектив, представляющий две образовательные организации Сингапура — Наньянский технологический университет и Политехнический колледж, провели еще одно исследование в области применения формообразующего инструмента (рис. 4), изготовленного с применением технологии SLS, для выполнения формообразующей операции — чеканки [23].

Формообразующий инструмент изготовлен на установке DTM Sinterstation 2500 из двухкомпонентного порошкового материала: нержавеющей стали и связующий полимерный материал. Так же, как и в работе [20], полученную в результате SLS-процесса «зеленую» деталь подвергали двухэтап-

ной постобработке для получения сплошного изделия с плотностью около 99,9%. Режим двухэтапной постобработки: 1) выжигание из «зеленой» детали связующего полимерного материала при температуре 1120°C, скорости 120°C/ч и времени выдержки в печи 3 часа; 2) заполнение (инфильтрация) пор «зеленой» детали в печи расплавленным бронзовым сплавом (80% меди, 20% олова) до получения сплошной детали с плотностью около 99,9% (см. рис. 3б). Максимальная температура обработки 1050°C при скорости 120°C/ч и времени выдержки в печи 3 часа. В результате изготовленный инструмент имел шероховатость поверхности порядка $R_a = 7,84 \mu\text{m}$.

Формообразующая поверхность каждого инструмента (см. рис. 4а и 4б; здесь в обоих случаях формообразующие поверхности имеют белый цвет) не подвергалась какой-либо механической обработке после изготовления по технологии SLS. Механически обрабатывались только сопрягаемые поверхности каждого из инструментов (рис. 4а и 4б).

Эксперименты проведены [23] с применением листовых заготовок из алюминиевого сплава толщиной 1,5 мм и 2,0 мм. В обоих случаях получены качественные изделия без разрывов на поверхности. После 15 изготовленных изделий на поверхности формообразующего инструмента не было обнаружено следов износа. Примененный подход к изготовлению инструмента для чеканки [23] позволил: снизить стоимость изготовления инструмента на 70% в сравнении с стоимостью инструмента, полученного традиционным методом; сократить срок изготовления инструмента с 2,5 недель до примерно 1 недели.

В 2010 году германские исследователи из Фраунгоферского института станкостроения и обработки давлением выполнили исследование возможности применения технологии SLM для изготовления формообразующего инструмента (вставок в штамповый блок) для горячей объемной штамповки щек коленчатого вала (рис. 5) [24].

Размеры формообразующего инструмента: диаметр 170 мм и высота 54 мм (верхняя вставка)/

Рис. 4. Инструмент для чеканки [23]: а) до поверхностной обработки сопрягаемых поверхностей; б) после поверхностной обработки сопрягаемых поверхностей; в) отчеканенное изображение на алюминиевом листе толщиной 2 мм



Рис. 5. Коленчатый вал [24]: а) изделие, полученное по технологии штамповки с применением традиционного инструмента; б) геометрия сегментов коленчатого вала

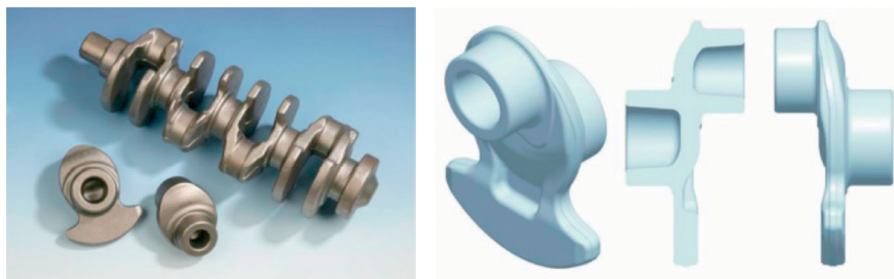
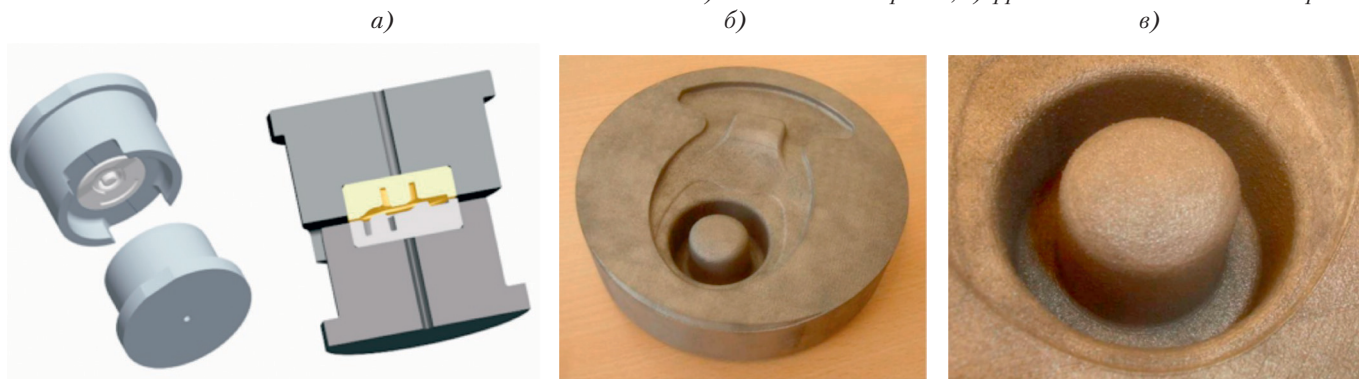


Рис. 6. Формообразующий инструмент [24]: а) схема установки вставок в блок; б) вставка до полировки; в) фрагмент вставки после полировки



47 мм (нижняя вставка). Материал вставок: инструментальная мартенситно-старееющая сталь 1.2709 (российский аналог – сталь ОЗН18К9М5Т) [24]. После изготовления вставки (рис. 6) подвергались только механической полировке, результат которой представлен на рис. 6в.

Штамповка опытных изделий с применением формообразующего инструмента выполнена и получено качественное изделие (рис. 7); материал сегмента коленчатого вала – легированная сталь 42CrMo4 (российский аналог – сталь 38ХМ или 40ХФА).

В качестве выводов авторами работы [24] отмечается, что для сокращения времени изготовления и расходов на изготовление по технологии SLM формообразующего инструмента: 1) целесообразно на этапе разработки его конструкции применить топологическую оптимизацию; 2) возможно перейти от сплошной конструкции инструмента к гибридной, в которой только

часть вставки изготавливается с применением аддитивной технологии.

Позже, в 2012–2013 годах, группа исследователей из Университета им. Лейбница (Ганновер, Германия) и Университета прикладных наук Верхней Австрии (FH Oberösterreich, Wels) показали в своих исследованиях возможность применения на практике горячей объемной штамповки гибридного

формообразующего инструмента [25], в конструкции которого только часть выполнена по технологии SLM (рис. 8).

На рис. 8а гибридный инструмент представлен справа; верхняя часть изготовлена из стали 1.2709 (российский аналог – сталь ОЗН18К9М5Т) по технологии SLM, а нижняя часть – по традиционной технологии из более дешевой инструментальной ста-

Рис. 7. Отштампованное изделие с применением инструмента, изготовленного по технологии SLM [24]: а) изделие, полученное по технологии штамповки с применением традиционного инструмента; б) геометрия сегментов коленчатого вала



Рис. 8. Формообразующий инструмент [25]: а) сплошной и гибридный инструменты, изготовленные с применением технологии SLM; б) геометрия центральной части инструмента по технологии SLM; в) геометрия центральной части традиционного инструмента

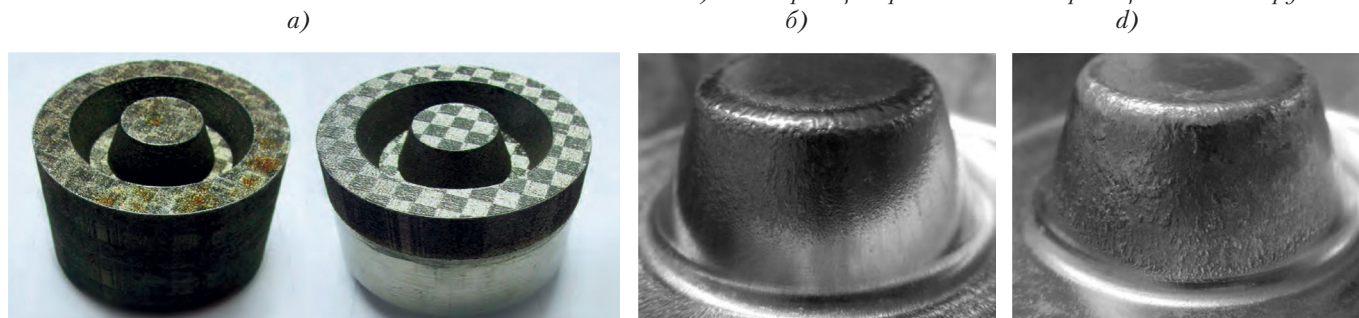
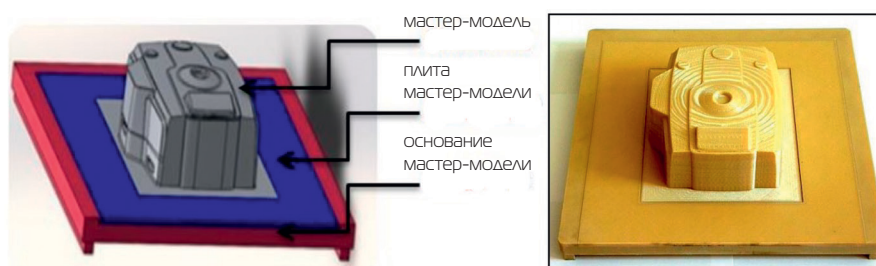


Рис. 9. Гибридный пуансон с вставками и каналами охлаждения для листовой штамповки [26]



Рис. 10. Общий вид мастер-модели: а) 3D-модель; б) изготовленная модель по технологии FDM [27]



ли 1.2344 (российский аналог — сталь 4X5МФ1С). Механические свойства материала верхней части гибридного инструмента [25]: предел текучести — 1800 МПа; твердость — 54 HRC. Слева на рис. 8а представлен инструмент из стали 1.2709, полностью изготовленный по технологии SLM. Инструмент, изготовленный традиционным методом из стали 1.2344, на рис. 8 не показан.

В работе [25] были решены следующие три задачи: 1) исследование работоспособности инструмента, полностью изготовленного по технологии SLM; 2) предложен вариант конструкции, позволяющий сократить расходы на производство формообразующего инструмента по технологии SLM и не проиграть в его прочности; 3) внедрена в конструкцию инструмента, изготовленного по технологии SLM, система конформных каналов охлаждения, позволяющих отводить избыток тепла от формообразующей поверхности инструмента.

На рис. 8б и 8в представлено сравнение центральной части сплошного инструмента, изготовленного по технологии SLM, с центральной частью инструмента, изготовленного традиционным методом. Напечатанный инструмент испытал более 500 циклов штамповки осесимметричного изделия из углеродистой стали С45 (российский аналог — сталь 45) при температуре 1150°С. При этом на его поверхности не обнаружены следы существенного износа, трещин или деформации; инструмент, изготовленный традиционным методом, показал меньшую стойкость — на его поверхности отмечены следы абразивного износа.

В том же 2013 году другой германский исследователь Б. Мюллер [26] предложил гибридную конструкцию пуансона для листовой штамповки. Особенность конструкции инструмента: наличие вставок с системой каналов для охлаждения. Причем вставки изготовлены по технологии SLM (рис. 9).

Выполненные в работе [26] исследования показали, что система каналов охлаждения в конструкции гибридного инструмента обеспечивает его охлаждение в 6 раз быстрее, чем система каналов, полученных путем сверления во вставках, изготовленных традиционным методом. Применение гибридного инструмента позволило сократить время выдержки на 50%, т.е. с 10 секунд до 5 секунд, что уменьшило общий цикл производства на 20%. При внедрении инструмента в серийное производство разработка, предложенная в работе [26], обеспечит экономию энергии около 248 МВт/ч в год.

В 2016 году коллектив исследователей из Словакии и Польши [27] предложил интересное решение для термоформовки с применением мастер-модели, изготовленной из инженерного пластика ULTEM 9085 (рис. 10). Мастер-модель изготавливалась по технологии FDM на установке Fortus 400mc; изделия термоформовались из пленки пластика PET толщиной 0,3 мм (рис. 11). 3D-печать выполнена с толщиной слоя 0,254 мм.

На мастер-модели было изготовлено 500 копий изделия [27]; габаритные размеры мастер-модели 308×308×30 мм. Особенность конструкции мастер-модели: толщина стенки 5 мм. Термоформовка выполнялась при температуре 180°С. В работе [27] отмечается, что изготовление мастер-модели по предложенной технологии позволяет сократить расходы на изготовление инструмента в сравнении с традиционным подходом (алюминиевая мастер-модель). Выявленный недостаток: требуется дополнительная постобработка поверхности 3D напечатанной мастер-модели из пластика в случае, если требуется высокое качество поверхности.

В 2019 году группа российских исследователей [28] провела исследование, направленное на изучение поведения тонких листов алюминиевого сплава ANSI 3003 толщи-

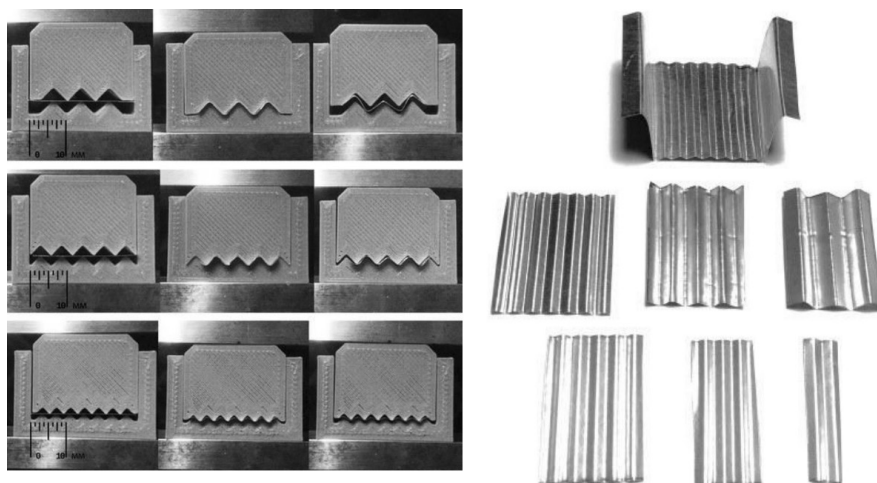
ной 0,1 мм при их гибке. Для гибки использован инструмент, изготовленный по технологии FFF из термoplastика PET-G (рис. 11).

Отметим некоторые выводы работы [28], имеющие значение для изготовления изделий гибкой с применением пластикового инструмента: 1) пластиковый инструмент позволяет реализовать гибку тонких алюминиевых листов в случае, если интенсивность напряжений в нем не превышает предел упругости пластика, т.е. он должен работать в области упругих деформаций; 2) если пластиковый инструмент сохраняет свою сплошность, то при выполнении операции обработки давлением — гибки не требуется применение технологической смазки, т.к. пластик обладает антифрикционными свойствами; 3) исследованная технология листовой штамповки с применением пластикового инструмента может быть применена для изготовления штучных изделий и малых серий с минимальными затратами на подготовку производства.

В 2019 году шведские ученые в партнерстве с разработчиками программного обеспечения LS-DYNA и встроенного в него модуля LS-TaSC топологической оптимизации выполнили исследования [29]. В работе рассмотрен инструмент для выполнения формообразующей операции (U-гибка) и разделительной операции (обрезка/вырубка/отрезка). Рассмотрены два варианта исполнения инструмента (рис. 12) для каждой из операций: традиционная конструкция и конструкция, полученная на основе топологической оптимизации. Вне зависимости от варианта исполнения инструмент изготавливался из стали 1.2709 по аддитивной технологии лазерный синтез на подложке (LPBF).

Разработанный инструмент применен для обработки листового проката из стали марки DP600 (российский аналог — сталь НСТ600Х) толщиной 1,0 и 2,0 мм.

Рис. 11. Исследование процесса гибки тонких листов: а) 3D-напечатанный инструмент; б) образцы после гибки [28]

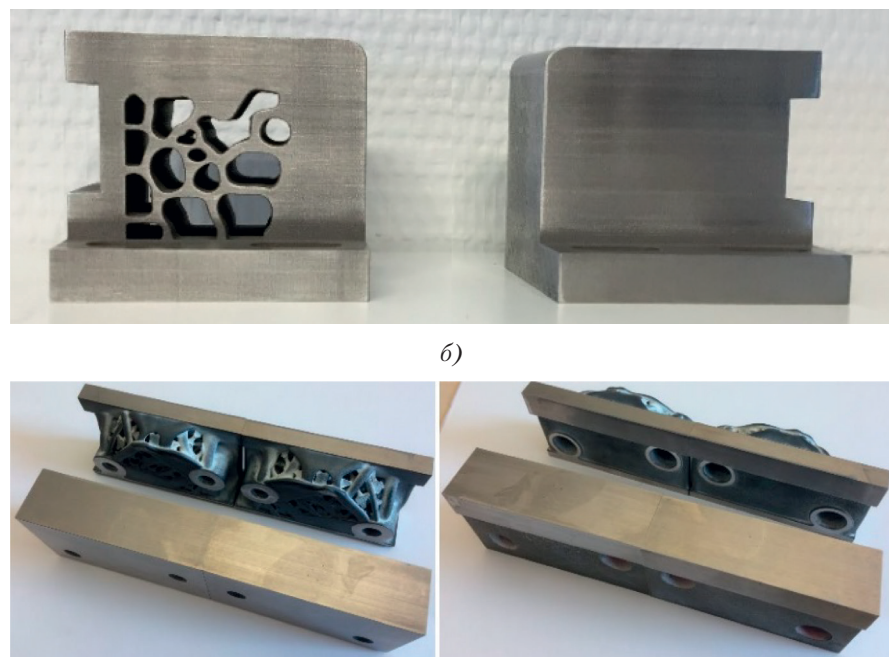


Эксперименты показали [29], что инструмент для разделительных операций выдержал без разрушения 100000 ходов; формообразующий инструмент — 50000 ходов. Было отмечено, что высота заусенца при выполнении разделительной операции была менее 0,2 мм, что составляет менее 10% толщины обрабатываемого листового материала.

Твердость инструмента для разделительных операций составляла 54–56 HRC. Шероховатость поверхности $Ra = 0,2 \mu\text{m}$. Вес инструмента, топологически оптимизированного (рис. 12б), на 47% меньше, чем вес инструмента традиционной конструкции.

После 100000 ходов максимальный износ рабочего инструмента,

Рис. 12. Конструкция инструмента, изготовленного по технологии LPBF [29]: а) формообразующий инструмент (справа — традиционной конструкции; слева — топологически оптимизированной конструкции при объемном факторе 0,45); б) инструмент для разделительных операций (справа — традиционной конструкции; слева — топологически оптимизированной конструкции при объемном факторе 0,45)



определяемый по изменению радиуса профиля, составил: 0,1 мм (инструмент традиционный) и 0,196 мм (инструмент после топологической оптимизации). Вес топологически оптимизированного инструмента (см. рис. 126) на 29,6% меньше, чем вес инструмента традиционной конструкции. Таким образом, топологическая оптимизация, примененная в работе [29] для изменения конструкции инструмента, позволяет сократить время производства инструмента, его стоимость и в тоже время обеспечить его надежную работу при обработке стали марки DP600 толщиной 1,0 и 2,0 мм.

В 2020 году германские ученые [30] исследовали возможность применения инструмента, изготовленного из пластика ПЛА по технологии FFF, для проведения испытаний листового материала на формуемость (cupping test). Рассмотрены несколько вариантов заполнения при 3D-печати инструмента из пластика ПЛА. Как отмечается в данной работе, инструмент из ПЛА-пластика обладает достаточной прочностью для проведения испытаний листового металла; позволяет получить результаты, сопоставимые с испытаниями, проведенными с применением металлического инструмента.

В 2021 году германские ученые из Бременского университета [31] исследовали процесс электрогидравлической (импульсной) формовки с применением инструмента, изготовленного по технологии FDM из термопластика ПЛА. Решаемая в работе [31] задача связана с повышением эффективности процесса импульсной формовки при изготовлении штучных изделий либо малых серий за счет существенного снижения стоимости изготовления формообразующего инструмента.

Для решения поставленной задачи ученые [31] рассмотрели три варианта исполнения инструмента (рис. 13). Деформируемый материал — технически чистый алюминий толщиной 0,5 мм, 1,0 мм, 1,5 мм. Инструмент по варианту 1 изготавливался из пластика ПЛА по технологии FDM. Инструмент по варианту 2 — из пластика ПЛА и далее с применением электрогидравлической формовки армировался тонким листом алюминиевого сплава толщиной 0,5 мм. Инструмент по варианту 3 — из стали 1.0570 (российский аналог — сталь 17Г1С либо 17ГС) методом электроэрозии на основе электрода из меди марки 2.0065 (российский аналог — медь М1Е); в свою очередь, электрод был изготовлен методом электро-

гидравлической формовки, в процессе которой тонкий лист меди 2.0065 толщиной 0,5 мм соединялся с мастер-моделью из пластика ПЛА.

В результате исследований в работе [31] получены результаты:

1) применение 3D-печати при изготовлении формообразующего инструмента снижает его стоимость в каждом из трех вариантов;

2) формообразующая поверхность инструмента по варианту 2 имеет более высокую чистоту поверхности;

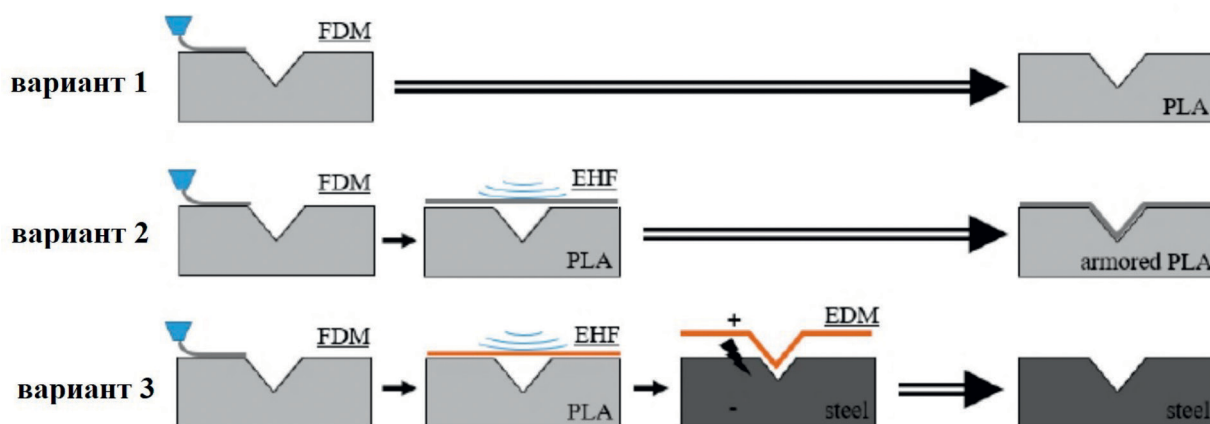
3) вариант 1 является предпочтительным к применению при небольших деформирующих нагрузках и отсутствии требования к качеству поверхности изделия; в противном случае предпочтительным является вариант 2;

4) вариант 3 является альтернативным вариантом традиционному стальному инструменту по качеству поверхности и стойкости, а также позволяет снизить стоимость изготовления инструмента.

Выводы и прогноз

Завершая обзор вариантов применения аддитивных технологий для изготовления инструмента для реализации процессов обработки давлением, отметим следующее:

Рис. 13. Варианты исполнения инструмента из ПЛА-пластика для импульсной формовки [31]: вариант 1 — 3D-напечатанный инструмент из ПЛА; вариант 2 — 3D-напечатанный инструмент, армированный алюминиевым листом толщиной 0,5 мм; вариант 3 — стальной инструмент, изготовленный методом электроэрозионной обработки с применением мастер-модели из ПЛА-пластика
EHF — электрогидравлическая формовка; EDM — электроэрозионная обработка



— быстрое инструментальное производство, основанное на применении аддитивных технологий, позволяет сократить срок изготовления инструмента и его стоимость, а также более гибко подходить к выбору программы выпуска изделий — от единичного производства до малых серий, что разрушает бытующий стереотип «обработка давлением — только серийное производство»;

— быстрое инструментальное производство, основываясь на различных физических, химических эффектах, позволяет изготавливать работоспособный инструмент для обработки давлением как из металлических, так и неметаллических материалов;

— адаптация концепции быстрого инструментального производства к обработке давлением приводит к необходимости внесения изменения в образовательные программы подготовки молодых кадров в бакалавриате и магистратуре в области аддитивных технологий и обработки давлением. Так, в Московском политехническом университете в 2018 году открыта образовательная программа магистратуры «Аддитивное производство» [32], одним из направлений которой является быстрое инструментальное производство.

Литература

1. ГОСТ Р 57589–2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения.
2. Современные методы изготовления уникальной производственной оснастки. Журнал «Умное производство» (32), декабрь 2015.
3. A. Gebhardt, J.-S. Hötter. Rapid Tooling. In: Additive Manufacturing 3D Printing for Prototyping and Manufacturing. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016 — pp. 353–394 <https://doi.org/10.3139/9781569905838>.
4. Яблочников Е. И., Грибовский А. А., Пирогов А. В. Эффективность применения аддитивных технологий для изготовления литевых форм и при подготовке производства изделий из термопластичных полимерных материалов // Металлообработка. 2013. № 5–6 (77–78). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-additivnyh-tehnologiy-dlya-izgotovleniya-litievyyh-form-i-pri-podgotovke-proizvodstva-izdeliy-iz> (дата обращения: 02.08.2021).
5. Andreas Gebhardt, Jan-Steffen Hötter, 5 — Rapid Tooling, Editor(s): Andreas Gebhardt, Jan-Steffen Hötter, Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing, Hanser, 2016, Pages 353–394, ISBN 9781569905821, <https://doi.org/10.3139/9781569905838.005>.
6. R. Hölker-Jäger, A. E. Tekkaya, 17 — Additive manufacture of tools and dies for metal forming,

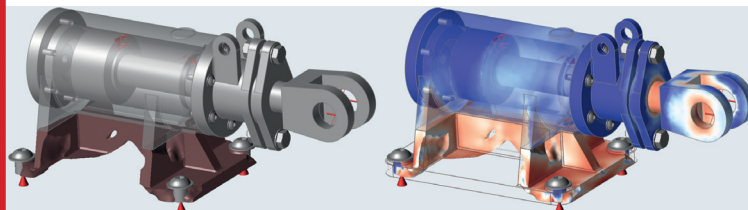


МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяется современное программное обеспечение, такое как «Т-Флекс», Inventor, QForm, AutoForm, Pam-Stamp, Altair HyperWorks, solidThinking Inspire, MatLab, Abaqus, Comsol и другое.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

- листовая и объёмная штамповка, выполняющаяся в холодном, полугорячем (тёплом) или горячем состоянии материала, процессы метизного производства;
- прокатка и профилирование;
- специальные процессы штамповки (с кручением, упругой средой, в условиях сверхпластичности, изотермическая, электромагнитная);
- механизация и автоматизация участковковки, штамповки и прокатки, специализированные мехатронные системы;
- аддитивные технологии и топологическая оптимизация для разработки гибридных изделий и штамповой оснастки;
- исследование свойств материалов для аддитивных технологий;



- повышение стойкости штамповой оснастки;
- машинное зрение и оптическое сканирование;
- кузнечно-штамповочное оборудование (молоты, прессы, сервопрессы);
- реологическое описание течения материалов и разработка математических моделей для сталей, цветных сплавов и композиционных материалов;
- трибологические особенности протекания процессов, выбор смазочных материалов и контактных пар трения.

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

- «Машины и технологии обработки материалов давлением» (очное, бакалавриат, 15.03.01 Машиностроение);
- «Машины и технологии обработки металлов в метизных производствах» (очно-заочное, бакалавриат, 15.03.01 Машиностроение);
- «Аддитивные технологии» (очное, бакалавриат, 27.03.05 Инноватика);
- «Технологический инжиниринг в производстве художественных изделий» (очно-заочное, бакалавриат, 29.03.04 Технология художественной обработки материалов);
- «Технологический инжиниринг в обработке материалов давлением» (очное, магистратура, 15.04.01 Машиностроение);
- «Аддитивное производство» (очное, магистратура, 15.04.01 Машиностроение).



Контактная информация:
115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 16
Тел.: +7/495/ 223-05-23, доб. 2344,
e-mail: omd.at@mospolytech.ru
Сайт: <https://old.mospolytech.ru/index.php?id=883>

- Editor(s): Milan Brandt, In Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Laser Additive Manufacturing, Woodhead Publishing, 2017, Pages 439–464, ISBN 9780081004333, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100433-3.00017-8>.
7. Rahmati, Sadegh. (2014). Direct Rapid Tooling. *Comprehensive Materials Processing*. 10. 303–344. [10.1016/B978-0-08-096532-1.01013-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.01013-X).
 8. P. D. Hilton, P. F. Jacobs, *Rapid Tooling: Technologies and Industrial Applications*, first ed., Marcel Dekker, Inc., 2010.
 9. A. Equbal, A. Kumar Sood, M. Shamim. *J. Manuf. Ind. Eng.* 14 (3–4) (2015) 1–9.
 10. P. Vasconcelos, F. Lino, R. Neto, M. Vasconcelos, Design and rapid prototyping evolution. RPD 2002 – Advanced Solutions and Development conference, 2002.
 11. E. Tackett, *Rapid Tooling*. Saddleback College Advanced Technology Center.
 12. A. Armillotta, R. Baraggi, and S. Fasoli, «SLM tooling for die casting with conformal cooling channels», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 71, pp. 573–583, 2014.
 13. J. Kruth and M. Badrossamay, «Part and material properties in selective laser melting of metals», in *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI)*, 2010, pp. 3–14.
 14. K. W. Dalgarno and T. D. Stewart, «Manufacture of Production Injection Mould Tooling Incorporating Conformal Cooling Channels via Indirect Selective Laser Sintering», in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Manufacture*, 2001, vol. 215, no. 10, pp. 1323–1332.
 15. T. Nakagawa, K. Suzuki. A low cost blanking tool with bainite steel sheet laminated. // *Proceedings of 21 International MTDR Conference*, 1980.
 16. M. Kunieda, T. Nakagawa. Manufacturing of laminated deep drawing dies by laser beam cutting. // *Advanced Technology of Plasticity* 1, 1984, pp. 520–525.
 17. T. Himmer, T. Nakagawa, N. Mohri: «Rapid Die Manufacturing System», *Proceedings of the 7th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, 1998.
 18. T. Nakagawa. Rapid Prototyping Techniques in Japan. // *Proceedings of the 4th European Conference on Rapid Prototyping*, Paris, France, October 4–5, 1995.
 19. T. Himmer, A. Techel, S. Nowotny, E. Beyer. Recent developments in metal laminated tooling by multiple laser processing. // *Rapid Prototyping Journal*, 2003, Vol. 9 Issue: 1, pp. 24–29.
 20. G. N. Levy, R. Schindel, P. Schleiss, F. Micari, L. Fratini, On the use of SLS tools in sheet metal stamping, *CIRP Annals of Manufacturing Technology* 52 (1) (2003), 249–252.
 21. Elizabeth Goode. Selective laser sintering: system and materials. *Advanced materials and processes*, January 2003, pp. 66–67. // <https://www.asminternational.org/documents/10192/1880245/amp16101p066.pdf/0c1cacbe-2eea-4a9d-b00b-0af74aca9283> (дата обращения: 06.08.2021).
 22. A. Huskic, J. Giedenbacher, U. Pschebezin, N. Wild, Rapid Tooling fuer Umformwerkzeuge, *RTEjournal – Forum fuer Rapid Technologie* 2012 (9) (2012).
 23. Cheah, C., Chua, C., Lee, C. et al. Rapid Sheet Metal Manufacturing. Part 2: Direct Rapid Tooling. *Int J Adv Manuf Technol* 19, 510–515 (2002). <https://doi.org/10.1007/s001700200054> 19 (7) (2002).
 24. B. Mueller, R. Neugebauer, Direkte generative Fertigung von Schmiedegesenken eroeffnet neue Moeglichkeiten, *RTEjournal – Forum fuer Rapid Technologie* 7 (2010).
 25. A. Huskic, B.-A. Behrens, J. Giedenbacher, A. Huskic, Standzeituntersuchungen generativ hergestellter Schmiedewerkzeuge, *Schmiede Journal* (September 2013) 66–70.
 26. B. Mueller, Konturnahe Temperierung Beim Presshaerten, *Fraunhofer Institut fuer Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU)*, 2013 http://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Messen/220_2013_HZ_Konturnahe_Temperierung_Presshaerten.pdf.
 27. Gajdoš I.; Maňková I.; Jachowicz T. and Tor-Swiatek A.: Application of Rapid Tooling approach in process of thermoforming mold production. Paper 32 *Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki [PDF]* (ISBN: 978–615–5460–95–1), 2016,
 28. L B Aksenov and I Y Kononov 3D Printed Plastic Tool for Al Thin-Sheet Forming. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 337 (2019) 012053. doi:10.1088/1755–1315/337/1/012053.
 29. Nader Asnafi, Jukka Rajalampi, David Aspenberg Design and Validation of 3D-Printed Tools for Stamping of DP600. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 651 (2019) 012010, doi:10.1088/1757–899X/651/1/012010.
 30. Günther Schuh, Georg Bergweiler, Philipp Bickendorf, Falko Fiedler, Can Colag. Sheet Metal Forming Using Additively Manufactured Polymer Tools. *Procedia CIRP* 93 (2020) 20–25.
 31. Langstädtler, L., Intemann, A., Herrmann, M., Schenck, C., Pegel, H., & Kuhfuss, B. (2021). Rapid Tooling for Impulse Forming. Paper presented at ESAFORM 2021. 24th International Conference on Material Forming, Liège, Belgique. doi: 10.25518/esaform21.2483.
 32. П. А. Петров, Б. Ю. Сапрыкин, М. А. Петров, Д. А. Гневашев. Аддитивные технологии в системе среднего профессионального и высшего образования. // *РИТМ Машиностроения*. 2021. № 4. С. 84–88.

При поддержке:

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



9-12 НОЯБРЯ 2021

МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор:
**МЕТАЛЛ
ЭКСПО**

Место проведения:

ЭКСПОЦЕНТР
Международные выставки и конгрессы
МОСКВА

Генеральный
информационный партнер:

М25 Металлоснабжение и сбыт



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2021



Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2021



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГМК
МеталлТрансЛогистик'2021

27-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

МЕТАЛЛ ЭКСПО 2021

Оргкомитет выставки:
тел./факс +7 (495) 734-99-66

www.metal-expo.ru

18–21.10.2021

12+

В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



www.technoforum-expo.ru

Организатор



При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



**«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»**

**Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»**