

# «Цифровые фабрики», автоматизация и компоновки принтеров

Дмитрий Трубашевский



**Дмитрий Трубашевский,**  
директор по продажам ООО «Современное Оборудование»

Уважаемые читатели, сегодня мы хотим поделиться с вами одной из глав книги Дмитрия Трубашевского «Аддитивные зарисовки или решения для тех, кто не хочет продолжать терять деньги»

Термин «фабрика будущего» или «цифровая фабрика» уже массово используется теми, кто обсуждает полностью цифровое позаказное производство, часть которого и составляют АТ. Однако в отчете консалтинговой и аудиторской международной сети компаний PricewaterhouseCoopers (PwC) говорится, что 91% от промышленных компаний инвестируют в «цифровые фабрики», но только 6% из них смогли полностью понять и интегрировать эту концепцию у себя. Сделать это без квалифицированных специалистов, без значительных изменений рабочих процессов и без интеграции новых программных решений попросту невозможно.

Автоматизация позволяет сократить организационные затраты, а эффективность производства увеличить до 20%. Внедряя автоматизацию и искусственный интеллект на основе программных решений компании могут ускорить процессы проектирования, сократить производственные ошибки с помощью инструментов восстановления файлов, и увеличить скорость выхода продукта на рынок. Очевидно, что большое подспорье для таких фабрик оказывают и окажут AMES-системы.

Искушенные пользователи аддитивных технологий сегодня учатся работать с оборудованием и программным обеспечением, стремясь соблюдать рекомендованный производителем и интегратором техпроцесс, а также обеспечивать лучшее качество для устойчивого развития своего бизнеса и увеличения числа повторных обращений, влияния так называемого «сарафанного радио».



Рис.1. Двух контейнерная мобильная фабрика FlexCare для размещения технологий LB-PBF и/или DED-P (изображение предоставлено AddUp SAS, Франция)

Одно дело, когда место установки четко определено и с малой долей вероятности может быть изменено в угоду новой локации. Но что, если расположение лаборатории, как передвижной базар, требует мобильности, готовности в любой момент изменить место «стоянки»? Вероятно, многие аддитивщики даже и не рассматривают такую возможность, потому что четко в их головах прописан

алгоритм организации рабочего места, где их любимая лаборатория, как дворец шейха, должна быть стационарной, броской, приковывающей к себе взгляды участников рынка из среды ЦАТ (центров аддитивных технологий), кластера, «фабрики будущего»... А ведь возможность перемещения ЦАТ может дать гораздо больше для бизнеса и исследований, поскольку увеличивается гибкость, реакция на запросы, произ-

водство становится ближе к потребителю, упрощается логистика. Для оружейстроения так это вообще находка: можно развернуть производство прямо в месте ведения боевых действий, осуществляя строительство быстровозводимых конструкций, как это сделали впервые в мире еще в 2018 году для морской пехоты США, менее чем за два дня напечатав казармы из бетона на месте армейской базы. Другой пример – печать бетонного пешеходного моста во время учений Steel Knight в Калифорнии. Очередное применение – техническое обслуживание и ремонт. Так, например, ВМС США в далеком 2014 году установили простой принтер для печати из ABS-пластика на борту универсального десантного корабля USS Essex и стали производить крышки для горловин маслобаков, медицинские инструменты, запасные части дронов.

Сегодня строительная печать – наименее зависящая от стационарного места постоянной работы технология. И все это доступно сразу после приобретения без функциональных дополнений. Другие же АТ до последнего времени в этом смысле были связаны

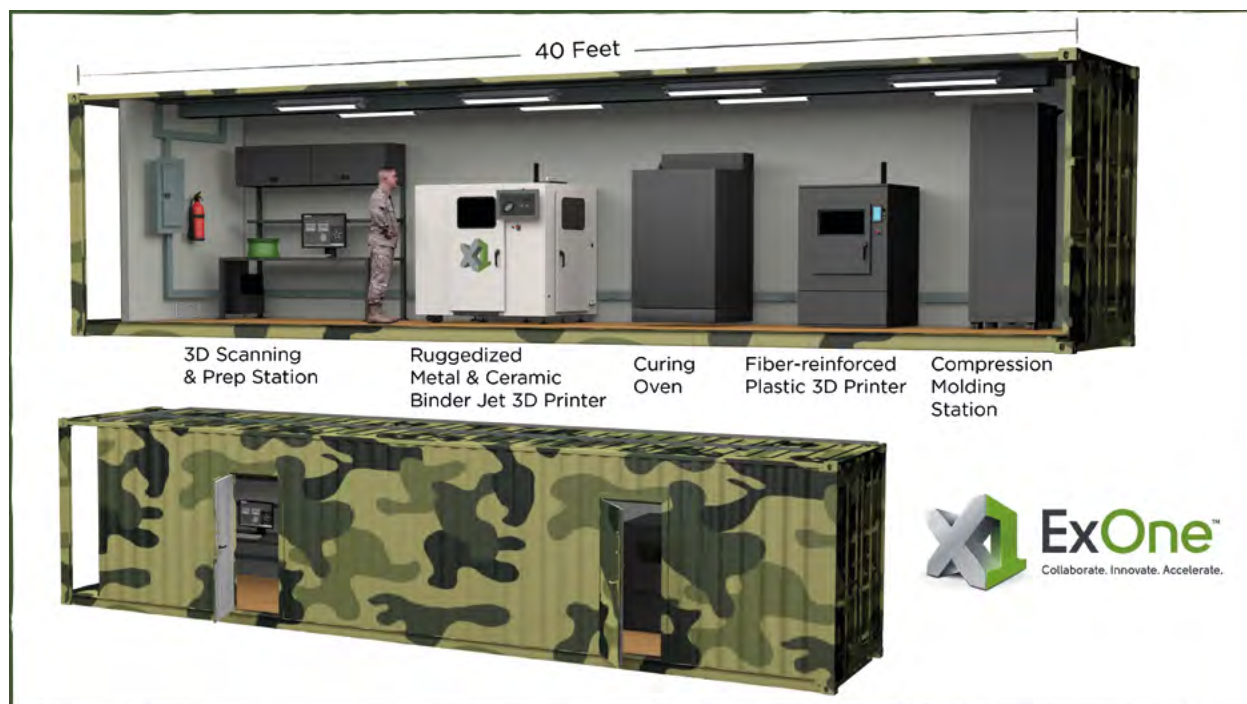


Рис. 2. Мобильный завод в транспортном контейнере для производства металлических, керамических или композитных деталей (изображение предоставлено ExOne Co., США)

## ■ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

«по рукам и ногам». Но, как известно, спрос рождает предложение – теперь уже активно говорят о мобильности в производстве изделий из пластика и металлов.

Мобильные фабрики или фабрики «на колесах» с сердцем из LB-PBF/DED-P/DED-W/FDM/FGF-технологий могут иметь внутрицеховое исполнение, а наиболее продвинутые – уличное атмосферостойкое (здесь могут использоваться стандартные 20, 40, 45 футовые сухогрузные ISO-контейнеры). Безопасность обеспечивается системой промышленной фильтрации, пониженным атмосферным давлением внутри ячеек, многочисленными датчиками, организацией работы персонала в спецодежде (особенно при работе с мелкодисперсными металлическими порошками). Внутри ячеек, которые, кстати, могут объединяться друг с другом, помимо принтеров, может находиться зона подготовки производства, постобработки, контроля, склад, гардероб и утилизационный отсек для использованных костюмов, перчаток и масок. Особенность такого мобильного предложения состоит в том, что сами принтеры могут как специально проектироваться для возможности инсталляции в такой мобильный цех (высота и габариты устройства должны



Рис. 3. Высокоскоростной металлический Cold Spray принтер WarpSPEE3D – быстрое полевое развертывание и неприхотливость (изображение предоставлено SPEE3D, Австралия)

позволять это делать), так и при относительно небольших размерах свободно встраиваться в универсальные цеха. Такие мобильные фабрики уже успешно поставляются и демонстрируют многообещающие результаты.

Универсальные сухогрузные ISO-контейнеры для перевозки принтеров и вспомогательного оборудования автомобильным, железнодорожным, морским, или воздушным транспор-

том все чаще используются при дислокации воинских частей и быстрого развертывания полноценного гибкого производства. Как известно, для армии, медицины, службы спасения в чрезвычайных ситуациях разработчики стараются создавать оборудование и технологии максимально простые в инсталляции и использовании. Такое стремление объясняется спецификой работы этих индустрий: зачастую по-

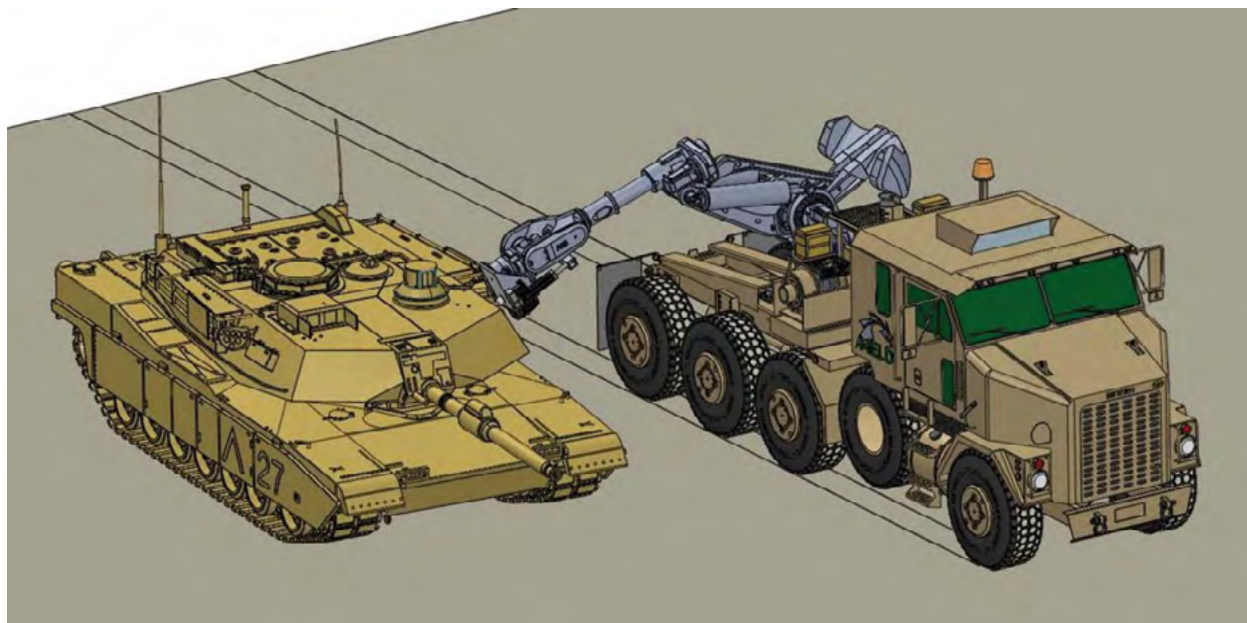


Рис. 4. Концепт использования походного варианта технологии MELD для ремонта бронетехники прямо на поле боя (изображение предоставлено MELD Manufacturing Corporation, США)



Рис. 5. Производственная линия MetalFAB1, работающая по технологии LB-PBF (изображение предоставлено Additive Industries B.V., Нидерланды)

просту нет времени на длительную настройку параметров, ведь нужно быстро изготовить жизненно важный имплантат или вышедшую из строя запчасть ответственной техники. Большое многообразие материалов, высокая прочность контейнеров, надежность оборудования, компактность, простота работы, транспортная мобильность – важные составляющие экстренно локализованного производства по требованию.

Приведу также любопытный концепт применения технологии ротационной сварки для ремонта бронетехни-

ки на поле ведения боевых действий. Недостатки, присущие, например, высокотехнологичному лазерному оборудованию, способному работать только в специальных условиях и в среде инертных газов находят мало общего при необходимости быстрого и неприхотливого производства прямо на улице. Новые проекты, базирующиеся на большом научном и практическом опыте индустриальных проектов, способны решать ранее неосуществимые задачи.

Другое логичное решение, которое начало появляться среди производите-

лей – производственная линия в корпусе «всё в одном». Потребитель получает линию или псевдолинию, на вход которой загружается сырье и управляющая программа, а на выходе – готовое изделие. Как бы фантастично это не звучало, но в будущем мы будем видеть такие линии повсеместно. На данный момент предлагается компромисс, не лишенный недостатков.

И наконец, появляются первые робкие попытки создать «фабрику будущего» с безлюдным производством, где принтеры, роботы, конвейеры, системы валидации, автоматизирован-



Рис. 6. Модульная Metal FDM система Fusion Factory, разработанная при участии сотрудников института Фраунгофера (изображение предоставлено Xerion Berlin Laboratories GmbH, Германия)



Рис. 7. Первые попытки автоматизации в кампусе аддитивного производства BMW Group. Слева показано использование коллаборативного манипулятора Universal Robots, автоматической тележки, принтера HP Multi Jet Fusion (изображение предоставлено BMW Group, Германия)

ные склады, периферийное оборудование, программное обеспечение для управления заводом и автоматические управляемые транспортные средства AGV (англ. Automatic Guided Vehicle), так называемые, мобильные колесные роботы объединены в единую заводскую сеть. Как любит повторять президент ВЭФ Клаус Шваб: человек в четвертой промышленной революции отменяется. Автоматизация без всякого сомнения добавит стабильности и позволит перейти от небольших партий к непрерывному процессу среднесерийного производства. Понимая это многие компании уже сегодня закладывают потенциал автоматизации в свои разработки. Более того, популярная эргономика, присущая принтерам и оборудованию, вынужденно обслуживаемым человеком, в будущем потеряет какой-либо смысл благодаря взаимодействию «машина-машина». Бесспорно, будущее именно за такими производствами, а сегодня, пока необходимость в высокой производительности и серийном производстве не стоит так остро, многономенклатурные низкосерийные ЦАТ успешно справляются с достаточно простыми задачами и не высокой организацией производства.

А как вам такая компоновка автоматического производства пластиковых деталей с 6-осевым промышленным «роботом-капитаном»? Обратите внимание насколько аддитивное производство может быть компактным и независимым от человека. Подобными роботизированными ячейками можно

оснащать производственные цеха и офисные пространства, легко соблюдающие минимально необходимые требования к безопасности.

Если вы только заступили на передовую аддитивного производства и

даже, если вы несколько лет строите на его основе свой успешный бизнес, то, скорее всего, вашему производству далеко до по-настоящему серийного с присущими ему вызовами. Спросите любого бизнесмена и получите ответ



Рис. 8. Проект «фабрики будущего» NextGenAM (изображение предоставлено EOS GmbH, Германия)

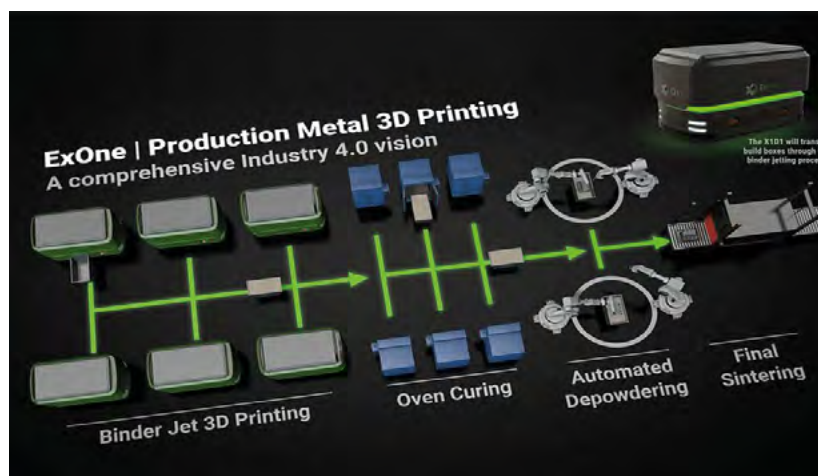


Рис. 9. Проект автоматизированного производства с «сердцем» из технологии MBJ (изображение предоставлено ExOne Co., США)



Рис. 10. Модульная линия для печати, постобработки, и хранения деталей LIFTcell2 (изображение предоставлено Coobx AG, Лихтенштейн)

такого безлюдного производства, готовность функционирования в режиме 24/7 без праздников и выходных, отсутствие зависимости производительности и аккуратности персонала из-за его усталости и настроения привлекает прагматичный бизнес. Аддитивные процессы, как вы уже успели заметить, быстро и просто объединяются с роботами как для загрузки-разгрузки изделий, так и подачи материала в зону обработки или же управления столом. Но если же мы хотим организовать полноценное автоматизированное производство, то нам может потребоваться реализация следующих процессов:

1. Установка и снятие деталей со стола камеры принтера или устройства для дополнительной обработки (удаление поддерживающих структур, очистка от материала, тонирование, пескоструйная или дробеструйная обработка, гляцевание и т.п.);
2. Идентификация, сортировка и отбраковка напечатанных деталей с использованием конвейера, сортировочного оборудования, машинного зрения, машинного обучения и соответствующих камер;
3. Контроль качества;
4. Сборка и утилизация мусора;
5. Интеграция с автономными роботами, которые перевозят контейнеры

в отношении самого ответственного и важного — автоматизация всего производственного процесса. Несмотря на относительную молодость АТ и нерешительные движения к автоматизации основных технологических процессов, уже сейчас в мире начинает появляться спрос на автоматизированные решения контроля качества, сортировки и упаковывания готовой

продукции сразу после принтера или операций дополнительной обработки.

Не секрет, что роботизация позитивно сказывается на сокращении издержек. Но порой она достаточно болезненна в краткосрочной перспективе для социальной сферы. Например, в Китае в ходе автоматизации с предприятий обычно увольняют от 60 до 90% персонала. Высокая безопасность



Рис. 11. Автоматизация аддитивного производства (изображение предоставлено AM-Flow, Амстердам)

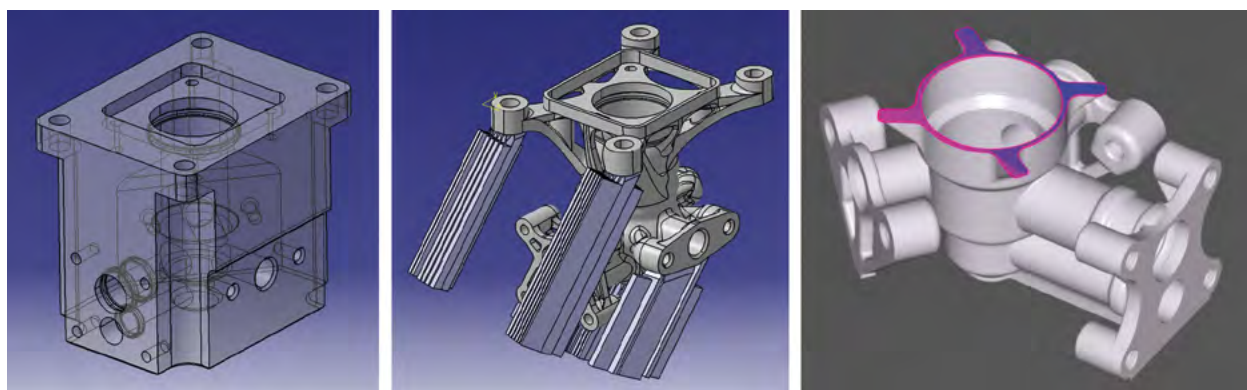


Рис. 12. Топологическая и технологическая оптимизация позволяют значительно сократить количество материала, время на компьютерные расчеты, минимизировать или устранить поддержки, что является большим шагом к автоматизированному серийному производству. Слева – деталь до оптимизации, в центре – стандартный расчет поддержек топологически оптимизированной детали, справа – расчёт детали без поддержек благодаря ноу-хау разработчика (изображение предоставлено AddUp SAS, Франция)

с деталями или модули принтеров в соответствующие цеха или места фабрики;

6. Упаковывание изделий;

7. Предлагаемые системы для автоматизации могут заменить до 10 человек, производить идентификацию с почти 100%-й точностью, сортировать до 10 000 деталей в день со скоростью менее 1 секунды на деталь, сокращая при этом затраты на 90%.

Наконец, чтобы ощутить все прелести от использования полной автоматизации, данные процессы должны быть интегрированы с вашей ERP-системой.

Вот мы и подобрались с вами к основным укрупненным компоновкам принтеров, гибридов и самодостаточных систем. Чтобы пойти еще дальше в наших познаниях, давайте проанализируем известные кинематические схемы аддитивного оборудования, ведь они обычно лежат в основе компоновок.

Кинематика оборудования на сегодняшний день в основном представлена декартовой или прямоугольной системой координат, дельта-роботом

с пространственной ориентацией исполнительного устройства, рычажным плоскостным SCARA-механизмом (англ. Selective Compliance Articulated Robot Arm) и роботом-манипулятором с несколькими кинематическими звеньями или степенями свободы.

Со многими компоновками принтеров мы уже успели подружиться, остается только сказать несколько слов о киберфизических системах, поскольку именно они будут составлять основу цифровых «фабрик будущего».

Киберфизическая система (англ. Cyber-physical System) – это синергия информационной компоненты и физической системы, плотно интегрированных друг в друга. Другими словами – это автоматический комплекс оборудования для безлюдного производства и контроля с распределенными вычислительными компонентами (датчиками) во всех необходимых частях системы под управлением продвинутого искусственного интеллекта. Вообще ИИ активно пробивает себе дорогу в генеративное проектирование, планирование технологических

процессов, моделирование и мониторинг. В киберфизической системе оборудование (принтер, гибрид, ЧПУ-станок, системы дополнительной обработки, контроля, склад), информационная система АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) и датчики/сенсоры с реализацией обратных связей в АСУ ТП (температуры, термосопротивления, положения, перемещения, влажности и прочие), взаимодействуют друг с другом посредством стандартных интернет-протоколов для прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям. Обладание киберфизическими системами требует в полной мере нового инженерного мышления от конструктора и технолога. Образ изделия формируется не только исходя из ТЗ, но и возможностей такого производства, учитывающих внедрение топологии, сотовых заполняющих структур, и минимизации или полного устранения поддержек, то есть технологической оптимизации. Все, что мы станем наблюдать в ближайшее время, будет приближаться к этой концепции. ■



Рис. 13. Основные укрупненные компоновочные решения аддитивного оборудования (изображение предоставлено ООО «Современное оборудование», Россия)