

ИНДУСТРИЯ 4.0: ОТ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ К АДДИТИВНЫМ И НАНОТЕХНОЛОГИЯМ

С. А. Чижик, П.А. Витязь, М. Л. Хейфец

Окончание. Начало в №3, 2017, с.2-11.

Графический материал, на который ссылаются авторы в №3, 2017, с.2-11.

Повышению эффективности производственной деятельности служит создание комплексов технологических, транспортных, энергетических и информационных машин на основе новых технологий и повышения производительности уже используемых. Технологические комплексы в своем развитии прошли ряд этапов (рис.1).

Началом первого этапа можно обозначить автоматизацию 1970-х годов на основе числового программного управления. По сравнению с универсальным станочным оборудованием современное компьютерно-управляемое производство использует компоненты искусственного интеллекта и позволяет повысить эффективность оборудования в десятки раз при обеспечении все более возрастающих требований к качеству продукции.

С середины 1980-х годов наметился переход от обрабатывающих центров к гибким производственным системам с элементами интеллектуального производства. Развитие средств микроэлектроники явилось базой для создания мехатронных систем, которые включают как электромеханическую часть, так и электронно-управляющую (построенную на основе использования компьютеров или микропроцессоров). Мехатронные системы обеспечивают синергетическое объединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых установок, модулей, систем и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями.

Новые этапы развития гибкой автоматизации производственных систем связаны прежде всего с предельной концентрацией средств производства

и управления, а также с сокращением сроков конструирования, проектирования, технологической подготовки и изготовления изделий. В результате мехатронные технологические комплексы объединяются в компактное интеллектуальное производство (СІМ – Compact Intelligent Manufacture), базирующееся на сочетании интенсивных, в том числе и аддитивных технологий, прогрессивного технологического оборудования и интегрированной системы управления.

Современный уровень развития информационных технологий в промышленности обеспечивает переход к использованию технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства во времени на всех этапах жизненного цикла продукции: от ее проектирования до эксплуатации и утилизации, то есть к СALS-технологиям (Continuous Acquisition and Life-cycle Support).

Единое информационное пространство позволяет интегрироваться разрозненным комплексам компактного производства в виртуальное предприятие, создаваемое из различных пространственно удаленных подразделений, которые обладают единой информационной ERP-системой (Enterprise Resource Planning) для использования компьютерной поддержки этапов жизненного цикла продукции.

Проведенный анализ возрастающей эффективности технологических комплексов показал, что после этапов пространственно-временной интеграции производственных процессов и жизненного цикла изделий последуют этапы, обеспечивающие компактность производства на основе технологий аддитивного производства (АМ

– Additive Manufacturing). Аддитивные технологии синтеза композиционного материала и формообразования изделия обеспечивают высокую эффективность за счет сокращения длительности и количества производственно-технологических этапов жизненного цикла изделий.

Для производства и адресной поставки кастомизированного изделия, с учетом внешней и внутренней логистики предприятия (в том числе и виртуального), можно дополнить проходящие этапы прогнозом на будущее, которое часто связывается с новой парадигмой интеллектуального производства, называемой «Индустрия 4.0». Данный термин предложен немецкими компаниями на Ганноверской выставке технологий в 2011 г. для обозначения начала «эпохи четвертой индустриальной революции», связанной с промышленным интернетом вещей (IIoT – Industrial Internet of Things).

В настоящее время зарождается новая эпоха производства – массовая кастомизация, характеризующаяся тем, что потребитель выступает в качестве дизайнера и инженера. Теперь по запросам потребителя можно непосредственно контролировать и управлять, а также изменять производственный процесс. В результате при системном анализе роста эффективности технологических комплексов необходимо рассчитывать не только удельную технологическую трудоемкость (себестоимость), приходящуюся на одно изделие, но и затраты по всему жизненному циклу изделия, особенно связанные с его кастомизированным маркетингом, проектированием, эксплуатацией, утилизацией и сокращением всевозможных логистических поставок.

В основе зарождающихся этапов новой эпохи лежит массовая компьютеризация и глобализация Интернета, предсказанная еще в 1980-х годах Р. Курцвейлом. Дальнейшее развитие производства аналитики связывают с машинным обучением (ML – Machine Learning) и искусственным интеллектом (AI – Artificial Intelligence). Сочетание робототехники и 3D-печати на основе машинного обучения с интернетом вещей в глобальной сети и искусственным интеллектом уже сегодня позволяют создавать полностью автоматизированные фабрики.

Совместное действие различных «цифровых технологий» за счет синергетических эффектов позволяет резко повысить эффективность производства, дает возможность полностью реструктурировать предприятия и создавать на них продукцию, которой до этого не было.

Современные аддитивные технологии реализуют провозглашенную в 1959 г. Р. Фейнманом новую парадигму производства «снизу-вверх» взамен или в дополнение развивающейся веками парадигме «сверху-вниз» (рис.2).

Сущность аддитивного производства заключается в послойном синтезе или «выращивании» изделий по «цифровым моделям» без использования формообразующей оснастки. Создание формы изделия происходит путем добавления материала, в отличие от традиционных технологий, основанных на удалении «лишнего» материала.

Передовые технологии, помимо используемых новых аппаратных и программных средств, оборудования и оснащения, основываются на послойном выращивании поверхностей изделий и самоорганизации структур композиционного материала. Так, определяя фундамент наукоемких нанотехнологий, Ж.И. Алферов выделяет кроме зондовой микроскопии эпитаксиальный рост пленок на поверхности и процессы самосборки гетероструктур материала (рис.3).

Процессы сборки изделий и самосборки структур материала реализуются на разных структурных уровнях: от атомарной сборки макромолекул и наноструктур, до послойного синтеза крупных сооружений (рис.4).

Аддитивные технологии обеспечивают новые возможности дизайнеру. Создавая легкие ажурные каркасы и несущие конструкции, можно усиливать только опорные и контактные поверхности. На поверхностях в свою очередь послойно формировать функциональные покрытия (рис.5).

Различают две основные группы аддитивных методов. Методы «предварительного формирования слоя» материала по технологиям BD (Bed Deposition), подразумевающим наличие определенной платформы, на которой послойно «выращивается» материал и изделие (рис.6).

Методы «непосредственного осаждения слоя» материала на сложнопрофильную поверхность изделия по технологиям DD (Direct Deposition) (рис.7). Эти методы имеют традиционно глубокие корни в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин. Использование традиционных методов упрочнения и восстановления деталей в аддитивных технологиях, требует для автоматизации производства помимо компьютерного управления потоками энергии и подачей материала, сложной кинематики оборудования с большим числом степеней подвижности и системы приводов движений.

В настоящее время методы аддитивного про-

изводства классифицируются (рис.8) следующим образом по стандарту ISO/ASTM 52900-15 (ASTM F2792-12a):

1. Vat Photopolymerization – фотополимеризация в емкости;
2. Material Jetting – разбрызгивание материала или струйные технологии;
3. Material Extrusion – выдавливание материала;
4. Powder Bed Fusion – плавление материала в заранее сформированном слое;
5. Binder Jetting – разбрызгивание связующего вещества;
6. Sheet Lamination – соединение листовых материалов;
7. Directed Energy Deposition – прямой подвод энергии непосредственно в место построения.

Классификации по принципам получения изделий без формообразующей оснастки соответствуют, согласно представленной последовательности, созданные уже более 30 лет назад «традиционные» методы (рис.9):

1. Stereolithography Application (SLA) – стереолитография;
2. Solid Ground Curing (SGC) – послойное уплотнение материала;
3. Fused Deposition Modeling (FDM) – послойное экструдирование расплава;
4. Selective Laser Sintering (SLS) – селективное лазерное спекание;
5. Direct Shell Part Creation (DSPC) – прямое создание литейных форм;
6. Laminated Object Manufacturing (LOM) – послойное ламинирование из листового материала; а также другие методы, сегодня не столь распространенные в производстве.

Широко используемые в мировом производстве и новые проектируемые технологии послойного синтеза позволили предложить классификацию (рис.10) из которой следует, что наиболее перспективно применение аддитивных технологий создания слоев и формообразования изделий, использующих различные сочетания материалов и источников энергии. Это в свою очередь ставит задачи распределения компонентов материалов и потоков энергии не только по заданному контуру или поверхности, но и по глубине от поверхности изделия, а также по характеру импульсов подачи энергии и материала.

Таким образом, при проектировании технологии аддитивного синтеза применяются как методы формообразования деталей из композиционных материалов, использующие потоки энергии и компонентов материала, так и методы автома-

тизации и управления процессами оперативного макетирования и производства как отдельных слоев, так и изделия в целом (рис.11).

В результате можно существенно расширить технологические возможности существующих аддитивных методов (рис.12) путем разделки кромок листового материала или изменением толщины слоев насыпных материалов, с изменением их свойств (состава, плотности, пористости и др.). Предложенное уже сегодня реализуется на разработанном в НАН Беларуси оборудовании.

Принципиальная схема мехатронной системы имеет два контура управления, посредством прямой связи с внешней средой и обратной связи по результатам диагностики состояния объекта управления (рис.13).

Выбор потока энергии для послойного синтеза изделия осуществляется в зависимости от свойств материалов или их композиций, геометрических характеристик поверхностей, их точности (рис.14). При этом особое внимание уделяется фокусировке или распределению потока в пространстве и во времени.

Мехатронный технологический комплекс реализует прямую связь при управлении потоком энергии или материала послойно синтезируемого изделия, а обратную связь по состоянию формируемого слоя или обрабатываемой поверхности сформированного изделия (рис.15).

Выбор источников для раскройного оборудования определяется как толщиной и материалом листовых заготовок, так и точностью обработки (рис.16).

Рассматривается граф кортежей различных видов обработки проектируемого технологического оборудования (рис.17) и анализируются налагаемые связи: механические и электрические (привода и источники), электронные и программные (средства контроля и управления) в мехатронной системе.

В результате привод источника реализован в качестве многокоординатного манипулятора, а сам комплекс и его средства оснащения представляют собой мехатронную технологическую систему (2-я стр. обложки).

Экструдерная система для полимерной печати управляет температурой процесса в зависимости от применяемого материала и его армирующих наполнителей и оформлена в закрытом корпусе с охлаждением и вытяжной (3-я стр. обложки).

Для производства и контроля изделий электроники в технологическом комплексе используется атомно-силовой микроскоп (рис.18), позволяю-

ший путем индентирования и «наносверления» контролировать микросхемы и устранять их дефекты (рис.19).

Таким образом, анализ современного состояния и перспектив развития аддитивных технологий компьютеризированного производства позволяет говорить о новой парадигме в его эволюции – «Индустрии 4.0». В результате формируется и детализируется концепция «цифровой фабрики»,

в которой аддитивные и нанотехнологии являются определяющим звеном системы, включающим развитые подсистемы: 3D-проектирования и управления производством и потреблением, начиная от моделирования изделия, его материалов и компонентов в соответствии с новыми технологическими возможностями и заканчивая получением и эксплуатацией функционально ориентированного кастомизированного изделия.

УДК 658.25

ПРИЁМИСТОСТЬ УСТРОЙСТВ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Северянин В.С.

Брестский государственный технический университет

Введение

Приёмистость – термин, применительно к техническим системам обозначающий способность быстро выполнять определенные функции после их включения с нулевого уровня. Термин используется для характеристики транспортных машин – набирать заданную скорость и характеризуется временем, в течение которого увеличивается скорость и путем, который они проходят для получения заданной скорости [1]. Чем меньше время, короче путь, – тем выше приёмистость этого средства передвижения. Этот термин употребляется не только в технических документах, но в рекламе, СМИ, торговых описаниях автомобилей разных марок.

Однако понятие «приёмистость» целесообразно применять и для энергетических систем и аппаратов, которые предназначены удовлетворять потребности энергопотребителей в теплоте или электричестве заданных параметров и количестве. Если включение идет по разработанному по разным условиям графику, этот параметр энергосистемы или аппарата не столь актуален, но когда недопустимо длительное неожиданное отключение, когда нужно срочно вводить в действие резервные мощности, когда ограничено время ремонта, когда отсутствуют энергосвязи с другими крупными энергогенераторами, когда

режим работы резко изменяющийся, – становится очень важным иметь энергоисточник, быстро подхватывающий нагрузку, быстро включаемый в работу, подающий требуемый энергопоток. Эти качества как раз определяются приёмистостью, – способностью «принимать» быстро расчетную нагрузку. Например, котлоагрегат требует при подготовленном работоспособном оборудовании для своей растопки несколько часов (в зависимости от его величины, т.е. мощности) для установления нужного температурного режима своих, конструкций, тепловой подготовки рабочего тела (воды и пара), и вынужденные или нерасчетные «недовыработки» теплоты приводят к техническим и экономическим затруднениям.

Существующие оценки приёмистости теплогенерирующих устройств

Тепловой агрегат готов нести нагрузку тогда, когда его составные части приобретают **расчетную температуру**. С целью повышения маневренности требуется уменьшать толщины всех массивных элементов конструкций, упрощать их геометрические формы, применять гибкие соединения частей, уменьшать концентрацию температурных напряжений и деформаций, экранировать ответственные элементы, использовать внешнее паровое и водяное охлаждение или нагрев.

Длительность разогрева зависит от массы и