

В результате применение нашей волновой пружины в муфте Минского тракторного завода позволяет существенно повысить ресурс фрикционных муфт, снизить тепловые потери и увеличить КПД узлов за счёт исключения ненужного трения при холостом ходе и сглаживания переходных нагрузок при переключении передач.

Литература

1. Детали машин и основы конструирования: учебник/ А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; под общ. ред. А.Т. Скойбеды. – 2-е изд. Перераб.- Мн.:Выш.шк., 2006.-560 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.3.-6-е изд., перераб. И доп. – М: Машиностроение, 2001.- 864 с.
3. Каталог компании SMALLEY - Волновые пружины различного применения.

УДК 621

Аддитивные технологии. Выращивание деталей в машиностроении, авиационной и комической промышленности

Студент гр. 10309123 Рыбчак С.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Калина А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Ключевые слова: аддитивные технологии, послойный синтез, 3D-печать, лазерное выращивание, машиностроение

Статья рассматривает аддитивные технологии как инновационный метод производства, основанный на послойном синтезе объектов из цифровых моделей, в отличие от традиционных методов. Описано их историческое развитие от идей XIX века до стереолитографии, изобретенной Чарльзом Халлом в 1986 году. Приведена классификация технологий, особенности 3D-принтеров и преимущества прямого лазерного выращивания металлов, включая установку ИЛИСТ-L. На примере компонентов машиностроения, электромобиля и авиадвигателя показаны возможности этой технологии: создание сложных конструкций, снижение веса и затрат, ускорение разработки и повышение надежности. В заключении подчеркивается, что

такой метод делает производство более гибким, эффективным и экологичным.

В мире технологии не стоят на месте, постоянно развиваясь и обновляя привычные системы. Одним из таких прорывов стало использование принципа послойного синтеза, который дал возможность создавать самые сложные и многообразные объекты с высокой точностью. В настоящее время аддитивные технологии активно применяются во многих отраслях — от аэрокосмической промышленности до медицины, а крупнейшие компании применяют их для создания высокотехнологичных решений. Их возможности простираются от прецизионных деталей для космических аппаратов до забавных дизайнерских решений. На рисунке 1 представлены различные примеры 3D-печати — от пластиковых изделий до сложных металлических компонентов.

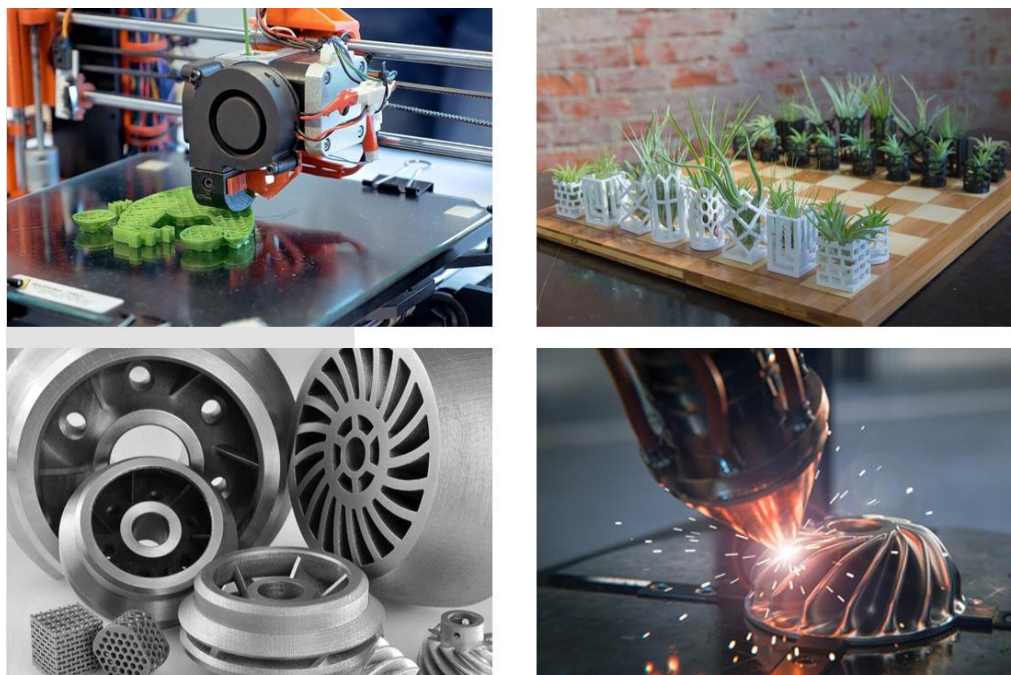


Рис. 1. Примеры 3D-печати

Технология демонстрирует свою универсальность и потенциал. В этой статье рассмотрим, как формировались аддитивные технологии, что стало их основой и какие принципы привели к революции в индустрии, расширив новые возможности для машиностроения.

Аддитивные технологии (от лат. *Additivus* — «прибавляемый») — процедура послойного создания физических объектов на основе цифровых 3D-моделей. В отличие от традиционных методов (вырезание, сверление,

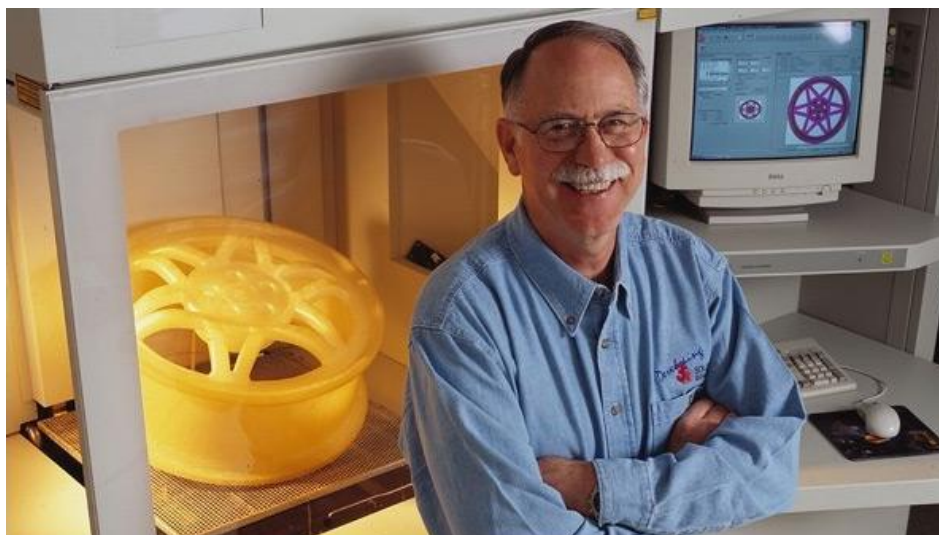


Рис. 3. Изобретатель стереолитографии (SLA-технологии) Чарльз Халл

Принцип послойного добавления материала не только отличает эти технологии от традиционных методов, но и стал основой нового производственного процесса — аддитивного производства.

Аддитивное производство — это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства.

Машины, предназначенные для выращивания изделий из металла, как и технологии, можно разделить на две основные группы — *Bed Deposition* и *Direct Deposition*.

К категории *BedDeposition* относятся следующие широко применяемые технологии:

1. Стереолитография (SLA) — технология использует жидкую фотополимерную смолу, которая затвердевает с помощью лазера или источника ультрафиолетового света. Объект создается слой за слоем, поскольку смола выборочно отверждается (рис. 4, а);

2. Селективное лазерное спекание (SLS) — SLS использует мощный лазер для селективного сплавления порошковых материалов, таких как пластик, металлы или керамика, слой за слоем. Несплавленный порошок действует как опорная структура во время процесса печати (рис. 4, б);

3. Струйное нанесение связующего (BinderJetting) — эта техника включает выборочное нанесение жидкого связующего агента на слои порошкообразного материала, такого как металл, песок или керамика.

Связующий агент затвердевает слои, создавая твердый объект, и могут потребоваться дополнительные этапы постобработки (рис. 4, в).

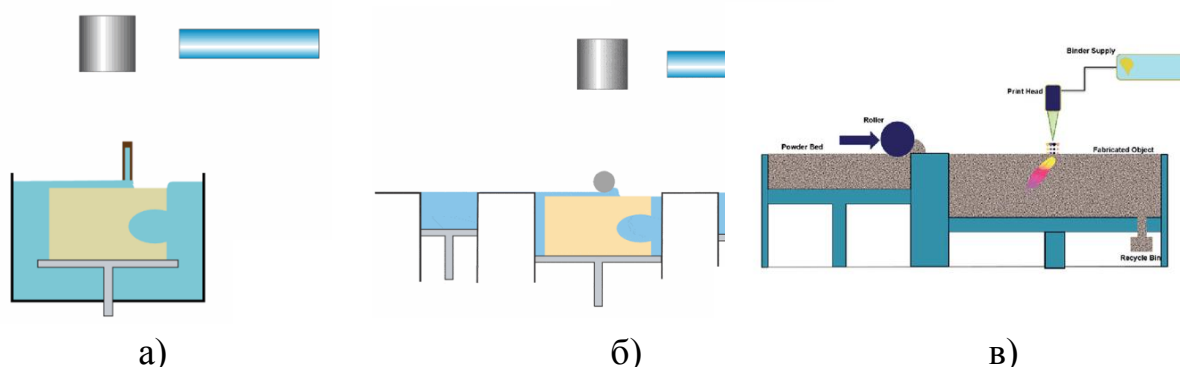


Рис. 4 а) SLA-технологии; б) SLS-технологии; в) BinderJetting

К категории *Directdeposition* относятся технологии:

1. Моделирование методом послойного наплавления (FDM). FDM подразумевает выдавливание термопластичного материала через сопло, которое движется контролируемым образом, нанося материал слой за слоем. Материал быстро затвердевает, создавая желаемый объект (рис. 5, а);

2. Многоструйное моделирование (Multi-JetModeling) — процесс 3D-печати, при котором жидкий фотополимер наносится микрокаплями через многосопловую печатающую головку и мгновенно отверждается УФ-светом, создавая детали с высокой точностью и возможностью цветовых и материальных градиентов. Поскольку наносимые капли очень малы, можно воспроизводить очень мелкие детали. Кроме того, материал плавится перед процессом отверждения, и поверхность становится очень гладкой. Во время печати нависающие компоненты должны быть снабжены опорными конструкциями (рис. 5, б);

3. Электронно-лучевая плавка (EBM) — используется для аддитивного производства металлов. Он использует электронный луч для выборочного плавления металлического порошка в среде высокого вакуума. Расплавленный материал затвердевает, образуя нужный объект (рис. 5, в);

4. Прямое осаждение металла (DMD) - используется лазер для плавления металлического порошка, послойно формируя деталь. Лазер создает расплавленную зону на основе или подложке. Порошок подается в зону лазера, плавится и затвердевает. Слои повторяются, формируя 3D – объект (рис. 5, г).

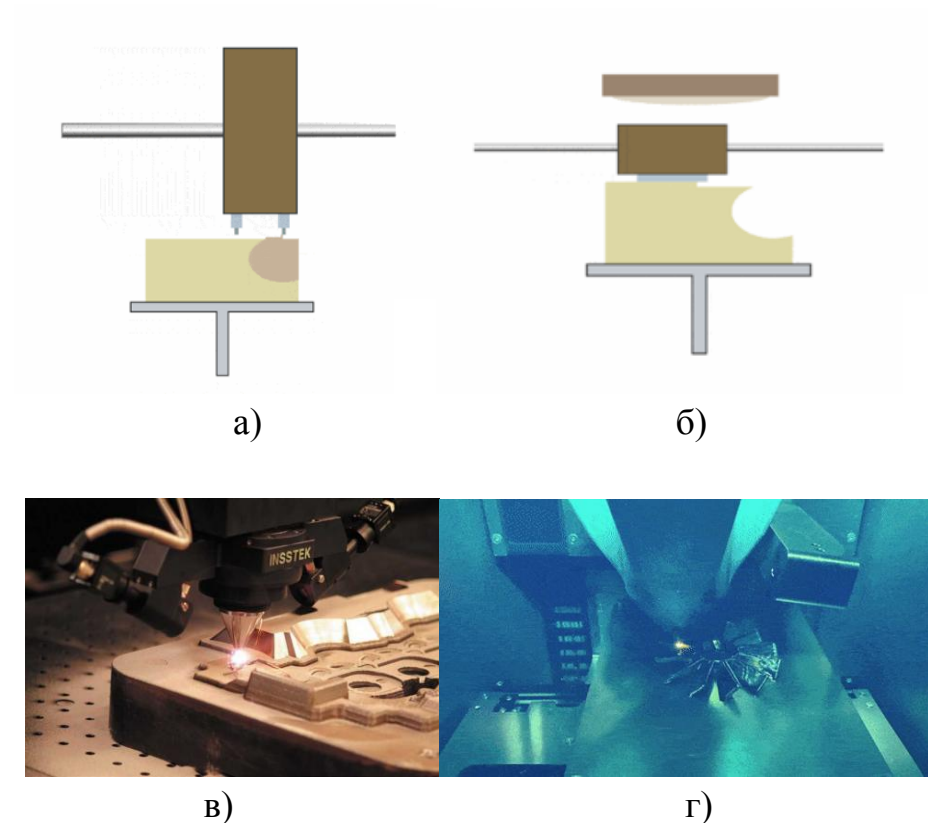


Рис. 5. *Directdeposition* технологии: а) FDM-технологии; б) Многоструйное моделирование; в) EBM-технологии; г) DMD-технологии

Основные узлы 3D-принтера

Экструдер — механизм, подающий и расплавляющий материал (например, пластиковую нить). Это место, где пластик втягивается, расплавляется и выталкивается. Именно в нем находится большая часть технологии принтера. Экструдер состоит из двух частей: горячего конца и холодного конца. Холодный конец имеет двигатель, который втягивает нить и проталкивает ее. Горячий конец — это место, где нить плавится и выталкивается.

Печатная платформа — это поверхность, на которой формируются объекты. Обычно она состоит из листа стекла, нагревательного элемента для сцепления материала и какой-либо поверхности сверху, которая помогает пластику держаться во время печати и облегчает его снятие после завершения.

Рама и направляющие — конструкция, обеспечивающая движение печатающей головки и платформы.

Двигатели — шаговые моторы, управляющие перемещением сопла и платформы по осям X, Y, Z.

Электроника и блок управления – контроллер, регулирующий работу принтера, получающий команды от ПО.

Система охлаждения – вентиляторы и радиаторы для поддержания стабильной температуры.

Нить накала — это пластик, который потребляет принтер. Он поставляется на катушке. Принтеры используют два разных размера нити: 1,75 мм и 3 мм. Существует множество различных материалов (PLA, ABS, PETG, нейлон, PEEK, HIPS, TPU и др.) (рис. 6).



Рис. 6. Модель 3D-принтера

Принцип работы 3D-принтера

Подготовка модели – загружается цифровая 3D-модель в программу для нарезки, где она преобразуется в набор команд.

Экструзия материала – экструдер нагревает пластик и наносит его слоями на платформу.

Построение объекта – принтер перемещает сопло по заданным координатам, создавая структуру слой за слоем.

Охлаждение и завершение – после печати материал остывает, затем объект можно доработать (шлифовка, окрашивание) (рис. 7).

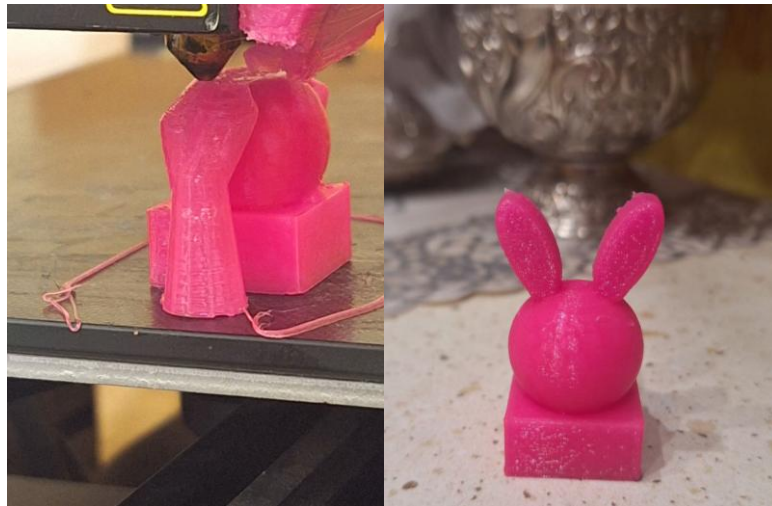


Рис. 7. Пример изготовления объекта

Технология прямого лазерного выращивания (laser metal deposition — LMD) относится к аддитивным технологиям с прямым подводом энергии и материала в зону построения, а оборудование для реализации — к 3D-принтерам. В результате быстрого нагрева и охлаждения материала формируется мелкозернистая структура, обеспечивающая высокую прочность выращенных изделий (рис. 8).

Изделия, созданные по технологии прямого лазерного выращивания, по физическим свойствам сопоставимы или даже превосходят изделия, полученные традиционными металлургическими методами.

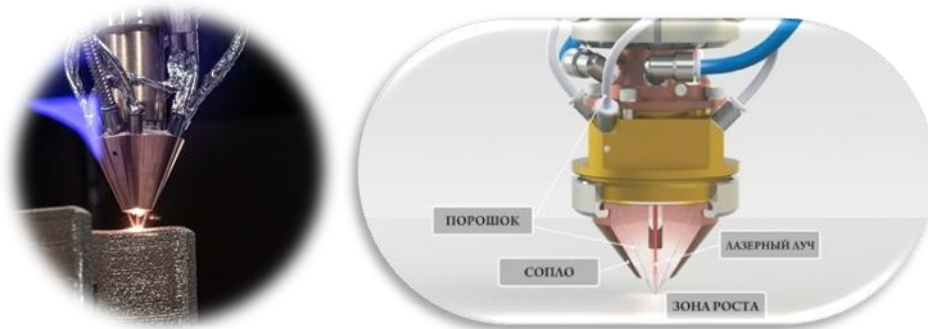


Рис. 8. LMD-технология

Для печати металлических объектов методом прямого лазерного выращивания применяют мелкодисперсные металлические порошки с весьма широким фракционным составом, то есть — с размером частицы от 40 до 150-200 мкм. Технология позволяет использовать нержавеющие стали (316L,

410 и т.д.), никелевые сплавы (Inconel 625, ЭИ698П и т.д.), титановые сплавы (BT6, BT20, ТЛЗ, ТЛ5 и т.д.), бронзы и металлокерамики, кобальтовые сплавы.

Фундаментальным отличием технологии прямого лазерного выращивания от традиционных методов металлургии является возможность создания изделий с градиентными свойствами. Это стало возможным благодаря устройству системы подачи порошка, состоящей из порошкового питателя, пневматической системы транспортировки газопорошковой смеси и сопла, обеспечивающего подачу порошка непосредственно под лазерный луч.

Установка прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-L, которую разработал российский научный центр ИЛИСТ, объединяет в себе достоинства профессионального 3D-принтера и традиционных процессов сталелитейного производства (рис. 9).

Использование ИЛИСТ-L возможно в сравнительно небольшом коммерческом помещении, то есть, для работы аппарата не нужны масштабы металлургического цеха.

Выращивание изделий производится непосредственно по CAD-файлу, то есть, работать с ИЛИСТ-L могут многие инженеры и специалисты технического профиля, не знакомые с программами для слейсинга.

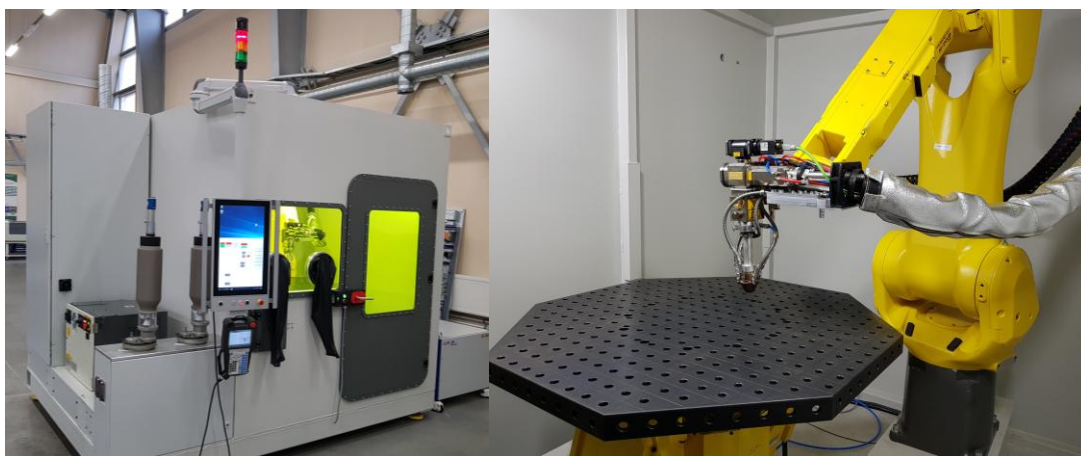


Рис. 9. Среднегабаритная установка ПЛВ

Создание тонкостенной закрытой металлической сферы — технологически сложный процесс для традиционных методов металлургии. Очевидный способ — литье двух полусфер и последующая сварка деталей. LMD-технология позволяет создать готовую деталь в рамках одного

техпроцесса. Причем вся работа выполняется исключительно робототехникой, что минимизирует вероятность ошибок и производственных травм (рис. 10).

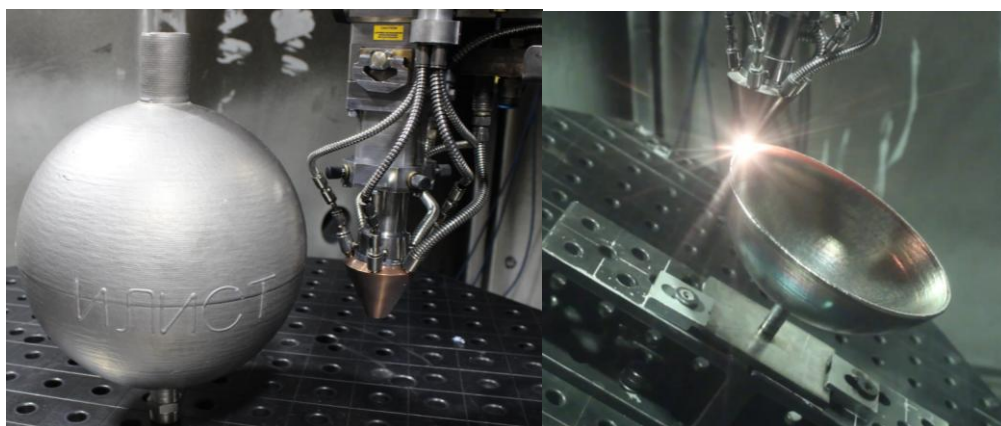


Рис. 10. Металлическая сфера, разработанная ИЛИСТ-L

Применение в машиностроении

Итальянцы из XEV и китайская компания Polymaker выпустили электромобиль, который печатается на 3D-принтере и называется LSEV (рис. 11).



Рис. 11 – Электрокар, напечатанный с помощью 3D-принтера

LSEV (Low-speed electric vehicle) — двухместный городской мини электрокар. Машина состоит из 57 деталей и печатается три дня, а в собранном состоянии весит всего 450 кг. Электроника, шасси, стекла, мотор, сидения и трансмиссия устанавливаются отдельно. Максимальная скорость LSEV — 70 км/ч. Батареи хватает на 150 километров.

Эти четыре компонента демонстрируют применение аддитивных технологий (АТ) в авиационно-космической технике, позволяя создавать сложные и высокоточные детали:

Крыльчатка (Impeller) – Металлический ротор, который увеличивает давление и скорость потока жидкости или газа. Его сложная геометрия и оптимизированный дизайн делают его идеальным для производства методом АТ, поскольку традиционные методы изготовления таких форм зачастую менее эффективны.

Топливная форсунка (FuelInjector) – Прецизионный элемент, который регулирует подачу топлива в камеру сгорания двигателя. Аддитивные технологии позволяют создать внутренние каналы сложной конфигурации, повышая эффективность горения и снижая расход топлива (рис. 12).



Рис. 12. Крыльчатка и топливная форсунка

Охлаждающий элемент (CoolingElement) – Деталь с многочисленными отверстиями, предназначенная для отвода тепла в высокотемпературных условиях. Использование АТ здесь позволяет интегрировать эффективные охлаждающие каналы в единой конструкции, что невозможно при традиционных методах производства.

Лопаточный ротор (BladeRotor) – Кольцо с лопастями, служащее для преобразования энергии жидкости или газа в механическую работу. Аддитивное производство позволяет улучшить аэродинамические свойства и повысить прочностные характеристики за счет использования сложных геометрий, недоступных при традиционном литье или фрезеровке (рис. 13).



Рис. 13. Охлаждающий элемент и лопаточный ротор

Двигатель LEAP компании CFM International — это технологический прорыв, разработанный для повышения топливной эффективности, снижения выбросов и улучшения эксплуатационных характеристик узкофюзеляжных самолетов, таких как Airbus A320neo, Boeing 737 MAX и COMAC C919. Ключевой инновацией двигателя стало активное применение аддитивных технологий (3D-печати) при производстве компонентов (рис. 14).



Рис. 14. Двигатель LEAP

Один из наглядных примеров — изготовление топливных форсунок. Вместо традиционной сборки из примерно 20 отдельных деталей с последующей сваркой, аддитивные технологии позволили создавать форсунки как единое целое. Это привело к снижению веса компонента на 25%, значительному сокращению числа производственных операций, повышению надежности и долговечности, а также ускорению производства, что критически важно для массового выпуска.

Следовательно, двигатель LEAP показывает, как аддитивные технологии трансформируют принципы проектирования и массового производства

авиационных узлов, открывая новые возможности для повышения экономичности и экологичности авиационного транспорта.

Аддитивные технологии открывают перед машиностроением новые горизонты: они позволяют создавать сложные, легкие и прочные конструкции, которые трудно или невозможно изготовить традиционными методами. Инновационный подход к быстрому прототипированию ускоряет разработку новых решений, экономит материалы и снижает производственные издержки, что делает машиностроение более гибким, эффективным и экологичным.

Литература

1. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.М. Аддитивные технологии в машиностроении – С.-Пб.: Издательство С.-Пб. политехнического университета, 2013.

2. CFM International [Электронный ресурс]. – Режим Доступа: <https://www.cfmaeroengines.com/leap/>

УДК 621

Аддитивные технологии в производстве деталей машин – перспективы 3D-печати в машиностроении.

Студенты гр. 10305223 Блошко К.В., Бабкевич Е.А.

Научный руководитель – доцент Швец И.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы использования 3D-печати в машиностроении, важность данных технологий на сегодняшний день, для изделий деталей машин. Также приведем примеры, сравним работы нескольких установок.

Аддитивные технологии становятся альтернативной традиционным методам изготовления деталей. В стандартном производстве детали изготавливаются путём удаления лишних слоёв. В 3D-принтерах детали спекаются или же выплавляются. Здесь отсутствуют отходы материалов и достигается максимальная точность изготовления. Именно это позволяет предприятиям и заводам обращать всё большее внимание на экономически выгодную технологию производства (пример будет приведен далее).