

Аддитивные технологии при производстве ГТД

К.И. Ефремов

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

В статье рассматриваются современные аддитивные технологии также известные как технологии 3D-печати. Приведена их расширенная классификация. Представлены преимущества и недостатки аддитивных технологий для производства узлов и деталей ГТД. Содержится оценка применимости 3D-печати в условиях промышленных предприятий и возникающий при подготовке производства технический риск.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, 3D-печать, производство ГТД, моделирование, технический риск, подготовка производства

Аддитивные технологии (АТ) – технология производства заготовок путём послойного добавления материала. Фактически, процесс простейшей электродной сварки относится сюда же. Но традиционно, АТ называют современное компьютеризированное развитие высокоточных систем наплавки, склейки или литографии, позволяющее производить высокоточные изделия с высокой степенью повторяемости и автоматизации производства. Короткий синоним – 3D-печать.

Классический метод производства в контексте АТ называется «субтрактивный», где задача – снять «лишний» металл с заготовки резцом, фрезой, абразивом, лазером или плазмой. АТ позволяет просто вырастить из материалов тело нужной конфигурации.

Почти ни одно современное производство не обходится без 3D-принтеров, но в промышленном производстве деталей и узлов ГТД и ДЛА они пока применяются редко ввиду высокой себестоимости печати в сравнении с традиционными методами формовки, литья и обработки. Но технологии продолжают развиваться, и, даже если себестоимость производства с использованием SLS остаётся крайне высокой, удобство и уникальность позволяют ей конкурировать с традиционными методами производства.

3D-принтеры, печатающие сложные механизмы, корпуса и прочие элементы становятся рядовым прибором – продуктом массового потребления. Уже ни одно производство электротехники не обходится без АТ. Но по целому ряду причин АТ не так активно внедряется в уже выстроенные процессы поддержки ГТД в сравнении с внедрением композитных материалов.

Традиционно выделяют [1] значительное разнообразие АТ (табл. 1). Отдельно надо упомянуть о некоторых расширенных [2] технологиях:

- Технологии гибридного формообразования – выращивание дополнительных элементов на существующих деталях, включая ремонтно-восстановительные технологии;

- Аддитивно-субтрактивные – использование технологий выращивания и обработки резанием в единой системе, иногда даже в одном инструменте (станке).

Таблица 1

Разновидности АТ

Состояние материала	Материалы	Процесс
Жидкое	Полимеры	Стереолитография (SL)
		Изготовление послойной наплавкой (FDM)
		Струйная печать (IJP)
Порошкообразное	Полимеры, металлы, керамика	3D-печать (3DP)
		Селективное лазерное спекание (SLS)
		Прямое лазерное спекание (DMLS)
Твердое	Металлы	Селективная лазерная плавка (SLM)
		Электронно-лучевая плавка (EBM)
		Прямое нанесение металлов (DMD)
	Полимеры, металлы, керамика и композиционные материалы	Точное лазерное формование (LENS)
		Листовой материал (LOM)
	Произвольное экструзионное формование (EFF)	

Активное развитие 3D-печати металлом, точнее самых популярных систем SLS (выборочного лазерного спекания) и SLM (выборочное лазерное плавление) фактически, началось только в 1991 г. с появлением первого оборудования и SLS производства и стремительно развивается и совершенствуется. Так, уже в 2000 г. было объявлено о прямом осаждении металла (DMD) и успешных испытаниях при ремонте силовых узлов титановыми сплавами.

Проектирование и разработка ГТД предполагает ряд макетных, стендовых и натурных испытаний, а также предъявляет критические требования к срокам изготовления прототипов. Эти условия подходят для АТ и именно они являются наиболее привлекательными с экономической точки зрения. Зачастую именно длительный и долгий процесс разработки вынуждает производителей внедрять АТ в работу.

В настоящее время АТ применяются при производстве для современных моделей ГТД. Некоторые лидирующие компании формируют переход к серийному применению АТ, заявляя об успешных длительных испытаниях напечатанных компонентов ДЛА. По всей видимости, именно эти результаты испытаний лопаток (рис. 1), становятся окончательным свидетельством преимуществ АТ над традиционными методами изготовления в т.ч. нагруженных узлов.



Рисунок 1- Лопатки Siemens, как доказательство успешности АТ

Российские машиностроительные предприятия проявляют активный интерес к оборудованию для послойного выращивания металлоизделий. Некоторые отечественные заводы при модернизации основных фондов охотнее покупают 3D-принтеры, чем традиционные станки с ЧПУ. Стоимость техники для АТ производства сегодня практически сравнялась с ценой обычных металлообрабатывающих установок.

В ближайшем будущем ожидается появление на рынке российских принтеров. Московские, новосибирские и уральские институты разрабатывают улучшенные методы послойного формирования металлических заготовок, ведут поиск новых материалов, и разрабатывают варианты снижения себестоимости объемной печати металлоизделий. И только с 2017 года началось регулирование стандартов АТ в России, были введены ГОСТ Р 57558–2017, 57589–2017 и др.

Появляются сообщения о потребностях и проводимых разработках для внедрения АТ в серийное производство новейших ГТД. Фактически, это технологические ожидания завершения испытаний и запуска серийного производства материалов. Существующий опыт говорит о том, что подготовка материала для получения паспортных характеристик, занимает от 2 до 5 лет. Соответственно, к 2025 году мы можем ожидать внедрения на предприятиях готовых к серийному производству технологий. С точки зрения ожидаемого эффекта, можно отметить упрощение процесса изготовления, повышение качества [3], уменьшение количество оснастки, снижение объем механической обработки и, в частности, исключение некоторых процессов и технологий [4, 5]. В качестве «побоч-

ного эффекта» таких островных внедрений для промышленных предприятий будет проявляться деятельность в условиях риска [6, 7].

Особенности АТ подразумевают следующие плюсы при применении:

- оптимизация конструкции: уникальные геометрические формы;
- безотходность: КИМ в АТ близок к 1,0;
- нет конфликта технолога и конструктора, это один человек;
- возможность работы без простоя и участия человека;
- быстрая модификация изделий без перенастроек;
- нет зависимости геометрической сложности и времени/сложности производства;
- производство по месту требования без логистических требований.

Минусы АТ сегодня известны те же, что и отмечались десятилетия назад, но некоторые из них уменьшаются по своей значимости:

- высокая стоимость оборудования и материалов;
- зависимость от поставщиков;
- отсутствие опыта: норм, правил, режимов производства.

Уже сегодня, благодаря АТ, применяется завихритель, напечатанный на SLS-оборудовании (рис. 2), и это оказывается многократно быстрее и дешевле технологий съема материала, при том, что в некоторых случаях [8] для определённых материалов невозможно или не эффективно назначать традиционно производительные процессы.



Рисунок 2 – Завихритель, полученный селективным лазерным спеканием (SLS)

Также можно привести и другие примеры выгодного и эффективного применения АТ в ДЛА:

- температурный датчик (рис. 3);

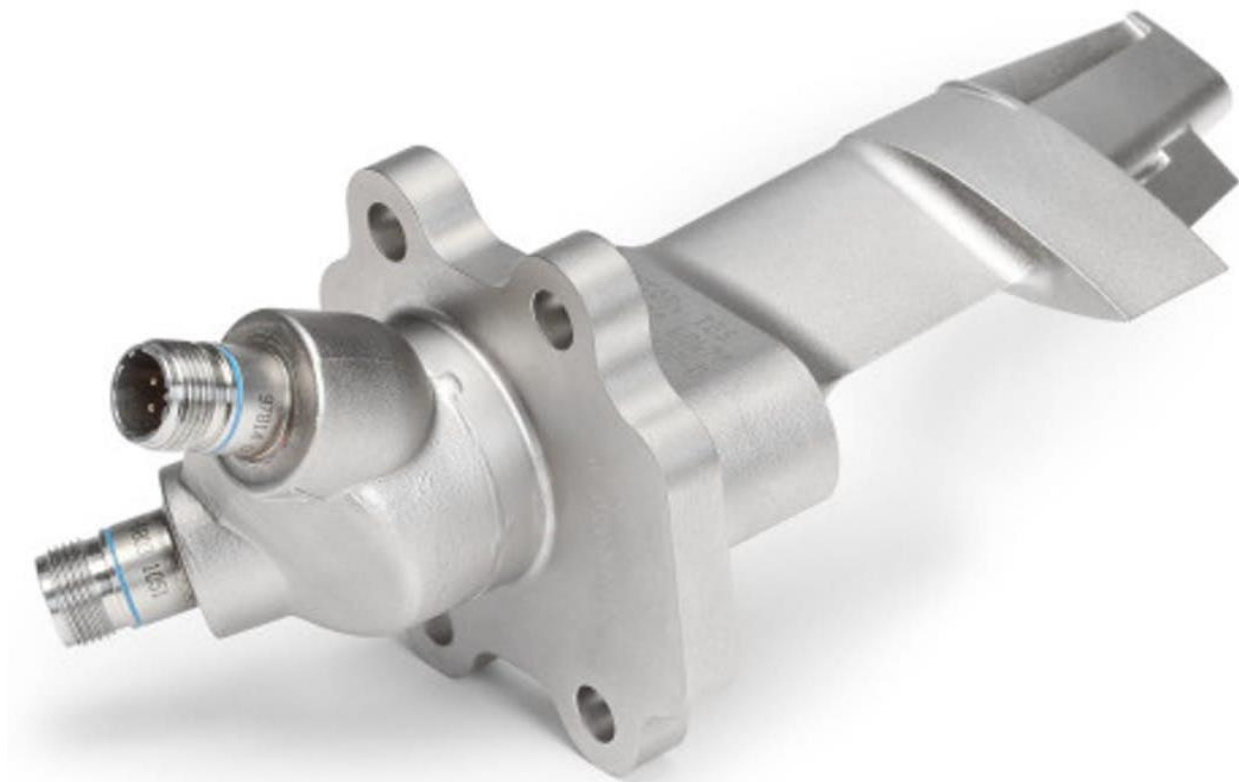


Рисунок 3 – Температурный датчик

- сопловой аппарат (рис. 4).



Рисунок 4 – Сопловой аппарат ВИАМ

Примечательно, что производители оборудования и расходных материалов для 3D-печати активно продвигают использование технологии гибридного формообразования также и для ремонтно-восстановительных технологий.

Таким образом, внедрение технологий 3D-печати на двигателестроительных предприятиях является лишь вопросом времени и активности перспективных разработок. Но для предприятий, занимающиеся обслуживанием уже летающих ГТД, это повлечёт рассредоточение ресурсов и удвоение затрат на операционную деятельность: техническое оснащение, персонал и материалы.

Можно ли применять АТ для производства элементов и узлов уже существующей техники? Требуется анализ технологической сложности перехода на 3D-печать, готовность промышленных предприятий вести конкурентную работу в условиях принятия технических рисков [9, 10]. Необходимо индивидуально по ситуации оценивать преимущества, недостатки и ограничения такого перехода и возможных последствий изменений [11] в каждом конкретном случае.

Библиографический список

1. Дресвянников В.А., Страхов Е.П. Классификация аддитивных технологий и анализ направлений их экономического использования // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 2 (26). С. 16-28.

2. Ковалев Д. С., Коваленко П. А. Перспективы внедрения аддитивных технологий в промышленность // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. т. 1, С. 398-400.

3. Высоцкая В. И., Маликов С. Б. Повышение качества продукции авиапрома // Восьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. 2015. С. 199-200.

4. Высоцкая В.И., Маликов С.Б., Токмакова Т.В. Влияние электрофизических методов обработки на свойства КМ на основе высокотемпературных карбидов с металлическими наполнителями // Авиационная промышленность. 2018. № 2. С. 41-43.

5. Бойцов А.Г., Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Влияние режимов электроэрозионного фрезерования на производительность прошивки отверстий малого диаметра в деталях ГТД // Авиационная промышленность. 2018. № 3-4. С. 35–37.

6. Маликов С.Б., Юрин В.Н. Риски параллельного выполнения работ конструкторско-технологической подготовки опытного производства авиационных двигателей. / Пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. М.: ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2007. С. 117–118.

7. Юрин В.Н., Маликов С.Б. Менеджмент рисков параллельного выполнения работ при конструкторско-технологической подготовке опытного производства деталей авиадвигателей // Технология машиностроения. 2012. № 3. С. 54-59.

8. Бойцов А.Г., Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Воздействие электроэрозионного фрезерования на обработку деталей ГТД из титановых сплавов // Авиационная промышленность. 2019. № 1. С. 45-47.

9. Юрин В.Н., Маликов С.Б. Исследование документооборота при проектировании приспособлений на двигателестроительном предприятии / Авиадвигатели XXI. II Международная научно-техническая конференция, 2005, С. 330-331.

10. Маликов С.Б. Метод анализа технического риска при организации подготовки опытного производства деталей: дисс. ... канд. техн. наук. - М.: МАТИ, 2012. - 195 с.

11. Маликов С.Б., Юрин В.Н. Оценка последствий внесения изменений документов конструкторско-технологической подготовки производства в условиях параллельного выполнения работ. / Шестая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. – М.: ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 75–76.