

УДК 62-529

*Васянькин А.В.,
ведущий инженер-экспериментатор сектора
систем управления и регистрации параметров испытаний
испытательного отдела 754 научно-испытательного комплекса 751
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»
Россия, г. Химки*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ИЗГОТОВЛЕНИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

***Аннотация:** в статье раскрывается сущность процесса аддитивного производства, его краткая классификация, а также описываются причины, согласно которым данный вид технологий приемлемо использовать в аэрокосмической промышленности. Возможность изготовления форм любой геометрической сложности значительно упрощает создание прототипов, сокращает цикл разработки продукта и снижает затраты на производство.*

***Ключевые слова:** аддитивное производство, AM, DED, LMD, LENS, PBF, SLM, EBM, аэрокосмическая промышленность.*

***Annotation:** the article opens up the process of additive manufacturing, its brief classification, and describes the reasons why this technology is acceptable for use in the aerospace industry. The ability to produce molds of any geometric complexity greatly simplifies the creation of prototypes, shortens the product development cycle and reduces production costs.*

***Key words:** additive manufacturing, AM, DED, LMD, LENS, PBF, SLM, EBM, aerospace industry.*

Прогресс в изготовлении деталей для аэрокосмической промышленности связан с разработкой в конце 1980-х годов первого устройства – 3D-системы для быстрого прототипирования. Так возникло аддитивное производство (АМ), представляющее совершенно новый производственный процесс по сравнению с традиционным процессом субтрактивного производства, и оказавшее глубокое влияние на дизайн, производство и сборку изделий для летательных аппаратов. Основная роль технологии заключается не только в скором прототипировании для снижения экономических затрат и времени на разработку продукта, но и в быстрой оснастке, непосредственном изготовлении деталей и их ремонте, ввиду чего, благодаря недавним разработкам АМ стала стратегической технологией, приносящей доход по всей цепочке поставок аэрокосмической продукции.

Ряд различных технологий, разработанных для процессов обработки металлов давлением, классифицируются по источнику энергии (лазерный луч, электронный луч и дуга), состоянию исходного сырья (металлический порошок, проволока и лист) или способу подачи материала (выдувной порошок и слой порошка).

Двумя основными категориями АМ для обработки металлов являются прямая лазерная наплавка (DED), включающая лазерное напыление металла (LMD), и лазерное спекание распыляемого порошкового материала (LENS) [1, с. 90]; и расплавление металла в заранее сформированном слое (PBF), включающее выборочное (селективное) лазерное плавление (SLM) и электронно-лучевую плавку (EBM) [2, с. 2]. Процессы АМ заключаются в изготовлении, быстрой оснастке и ремонте металлических деталей. Примерами служат производство компонентов аэрокосмических двигателей, функциональных сортовых материалов, пресс-форм и штамповых стержней для литья, ремонт лопаток турбин, и подобных изделий.

Что касается неметаллических деталей, таких как пластмассы, керамика, песок и композитные материалы, типичными доступными технологиями АМ

являются лазерная стереолитография (SLA), многоструйное моделирование (MJM), струйная печать (MJ), моделирование послойным наплавлением (FDM) и трёхмерная печать (3DP) [3, с. 2]. Области применения неметаллических деталей включают быстрое прототипирование, прочные опорные соединения, оснастки, и подобные.



Рисунок 1. Схема процесса AM [4]

Аэрокосмическая промышленность является ключевой областью применения технологий AM ввиду того, что соответствующие изделия в основном обладают нижеизложенными характеристиками.

1. Сложная геометрия деталей, а также высокое значение отношения объёма поверхности изделия к объёму его внутреннего пространства

Изделия часто имеют сложную геометрию, поскольку для аэрокосмических задач обычно требуются компоненты с интегрированными функциями. К примеру, конструктивные компоненты могут также выступать в качестве трубопроводов аэродинамического профиля со встроенным охлаждающим каналом или лопаток турбины двигателя с внутренней структурой для охлаждающей жидкости.

Конструктивные особенности AM позволяют получать трудновыполнимые механически усовершенствования для охлаждения деталей, прочные опорные соединения, что обеспечивает больший срок службы относительно аналогов, изготовленных традиционными методами [2,

с. 5]. Технические характеристики деталей могут быть определены с помощью сложных математических формул, основанных, например, на расходе жидкости.

Другим нюансом является высокое значение отношения объёма поверхности изделия к объёму его внутреннего пространства, что отражено в тонкостенных конструкциях, таких как камеры сгорания или лопатки турбин. Данные особенности делают алгоритм планирования траектории движения инструмента трудновыполнимым, а сам процесс классической механической обработки с компьютерным числовым управлением (ЧПУ) – экономически затратным и длительным по времени. Возможность АМ-технологии изготавливать детали в произвольной форме значительно упрощает процесс.

2. Детали, трудно поддающиеся механической обработке, а также высокое соотношение цены и качества

Изделия обычно изготавливаются из современных материалов, таких как титановые сплавы, суперсплавы на основе никеля, специальные стали или высокотемпературная сверхпроводящая керамика со сложным дорогостоящим производством и длительными сроками изготовления [3, с. 2.]. При классическом изготовлении соотношение цены и качества влечёт за собой неоправданные траты соответствующих материалов.

Технологии АМ позволяют значительно уменьшить стоимость производства, сократить сроки изготовления, повысить надёжность за счёт уменьшения количества деталей в агрегатах и улучшить работу отдельных компонентов, позволив применение в конструкции новых элементов, изготовление которых обычными средствами невозможно [5, с. 47].

3. Небольшие производственные циклы

Как правило, процессы АМ обходятся дороже при больших производственных циклах, чем обычные процессы механической обработки. Однако, по сравнению с классическими способами обработки, АМ не нуждается в проектировании и изготовлении приспособлений, пресс-форм или

штампов. Следовательно, АМ наиболее конкурентоспособна в производстве деталей по индивидуальному заказу или небольшими тиражами, которые широко распространены в аэрокосмической промышленности.

Так, к примеру, NASA использовало АМ-производство для марсохода: около 70 деталей, из которых он состоит, были изготовлены цифровым способом по компьютерным чертежам в серийной камере с подогревом.

4. Детали, требующие быстрого ремонта

Обслуживание и замена изношенных деталей сопряжена с большими экономическими затратами. АМ позволяет провести срочный качественный ремонт соответствующих изделий, ввиду чего сроки замены деталей могут сократиться до двух недель. К примеру, с помощью LENS возможно ремонтировать детали ракетных двигателей, так как материал на изношенные детали для восстановления их геометрии наносится с высокой точностью. Успешным примером является восстановление пострадавших от эрозии во время эксплуатации блисков, изготовленных из стали [1, с. 90].

5. Высокопроизводительные детали

Требования к материалам для аэрокосмической промышленности заключаются в их небольшом весе с высоким соотношением прочности к массе для повышения топливной экономичности и сокращения выбросов. Помимо вышеизложенного, некоторые компоненты ракет работают в экстремальных условиях, таких как сверхвысокие / сверхнизкие температуры, экстремальные химические среды. Детали двигателя подвергаются колоссальному термическому нагреву, ввиду чего используются инновационные решения в области охлаждения, а внутренние компоненты обязательно изготавливаются из огнезащитных материалов.

АМ открывает новые возможности для изготовления деталей под требования рабочей среды. Прогресс в АМ-технологиях позволяет создавать элементы, способные обеспечивать более эффективное охлаждение при низких скоростях потока [6, с. 5]. К примеру, при производстве сопел

жидкостных ракетных двигателей с каналами охлаждения в настоящее время используются методы SLM и DED, включая электродуговую наплавку и лазерную наплавку с подачей проволочного материала (LWDC) [4, с. 47].

Резюмируя вышеизложенное, основные области применения АМ включают быстрое прототипирование, оснастку, непосредственное изготовление и ремонт деталей из металла, пластика, керамики и композитных материалов. Как металлические, так и неметаллические детали, изготовленные по технологии АМ, имеют потенциальное применение в аэрокосмической промышленности. Возможность изготовления форм любой геометрической сложности, предоставляемая АМ, значительно упрощает создание прототипов, сокращает цикл разработки изделия и снижает затраты на производство.

Использованные источники:

1. Бруев В.Н. Применение гибридных технологий в аэрокосмической промышленности // LXII МНПК «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». – Пенза, 15 декабря 2022. – С. 90.
2. Ванин Ю.В. PBF – метод 3D-печати деталей для аэрокосмической промышленности // Аллея науки. – 2023. – № 2 (77). – С. 2-5.
3. Козловский Л.Н., Барышев С. А. Моделирование послойным наплавлением: изготовление неметаллических деталей // Аллея науки. – 2023. – № 2 (77). – С. 2.
4. Аддитивные технологии и аддитивное производство // Omix. – 12 февраля 2019. – [электронный ресурс] – URL: <https://omix.kz/articles/420575> (дата обращения: 11.02.23).
5. Палачёв П.М., Ефимов М.В. Конструкционные решения в производстве сопел для жидкостных ракетных двигателей // LXVIII МНПК «World science: problems and innovations». – Пенза, 30 сентября 2022 г. – С. 47.

6. Барышев С.А. Оптимизация работы жидкостных ракетных двигателей большой тяги // Аллея науки. – 2023. – № 1 (76). – С. 5.