

УДК 62-529

*Козловский Л.Н.,
мастер 2 группы токарного участка (115-1) механического цеха (115)*

*Барышев С.А.,
энергетик сборочно-сварочного цеха (222)
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»*

Россия, г. Химки

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛОЙНЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ: ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

***Аннотация:** в статье рассмотрен один из видов аддитивного производства в аэрокосмической промышленности – метод моделирования послойным наплавлением (FDM), позволяющий сократить сроки изготовления изделий, значительно снизить стоимость производства, 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. Также приведены примеры успешного применения технологии FDM в ракетостроении.*

***Ключевые слова:** моделирование послойным наплавлением, FDM, аддитивное производство, неметаллические изделия, аэрокосмическая промышленность.*

***Annotation:** the article deals with one of the types of additive manufacturing in aerospace industry, namely fused deposition modeling (FDM), which reduces the manufacturing time and production cost, while increasing quality due to lower number of parts in the units. FDM improves the performance of components, allowing new elements in the design, which cannot be implemented conventionally.*

Examples of successful use of FDM technology in rocket production are also presented.

Key words: fused deposition modeling, FDM, additive manufacturing, non-metallic products, aerospace industry.

В аэрокосмической промышленности при создании посредством технологии аддитивного производства (АМ) изделий, которые должны выдерживать высокие температуры, например, ракетных двигателей, задействуется широкий спектр материалов из металла, обычно нержавеющей и инструментальных сталей, титана и его сплавов, сплавов на основе алюминия и никеля (хастеллоя, инконеля) и прочих суперсплавов [1, с. 2-3].

Примечательно, что в дополнение к изготовлению металлических компонентов, аэрокосмическая промышленность также имеет большой спрос на производство изделий посредством АМ из неметаллических материалов, таких как пластмасса, воск, песок, керамика и композиты. Области их применения включают быстрое прототипирование, оснастку, формование и непосредственное изготовление деталей. Доступные коммерческие системы АМ для изготовления неметаллических деталей включают лазерную стереолитографию (SLA), струйную печать (MJ), моделирование послойным наплавлением (FDM) и трёхмерную печать (3DP) и многие другие.

Рассмотрим технологию FDM-печати, также известную как производство методом наплавления нитей (FFF), которая является самым широко распространённым видом 3D-печати, в том числе и для неметаллических изделий.

Принцип работы заключается в следующем (рисунок 1): деталь или «модель» производится выдавливанием (экструзией) и нанесением микроскопических капель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоёв, застывающих сразу после экструдирования. В качестве материалов для FDM-печати преимущественно выступают

термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков. Пластиковая нить разматывается с катушки и подаётся в нагревающую печатную головку с фильерами, или экструдер – устройство, оснащённое механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для её плавления и соплом, через которое осуществляется экструзия. Как правило, экструдер приводится в движение шаговыми моторами или сервоприводами, и перемещается в горизонтальной и вертикальной плоскостях под контролем соответствующих алгоритмов. Сопло перемещается по траектории, заданной системой автоматизированного проектирования. Модель строится слой за слоем, снизу-вверх. Процесс продолжается до распечатывания всех слоёв. Иногда для построения вспомогательных конструкций аналогичным образом требуется материал поддержки. После завершения процесса построения изделия вспомогательные конструкции удаляются вручную или растворяются в специальном растворе.

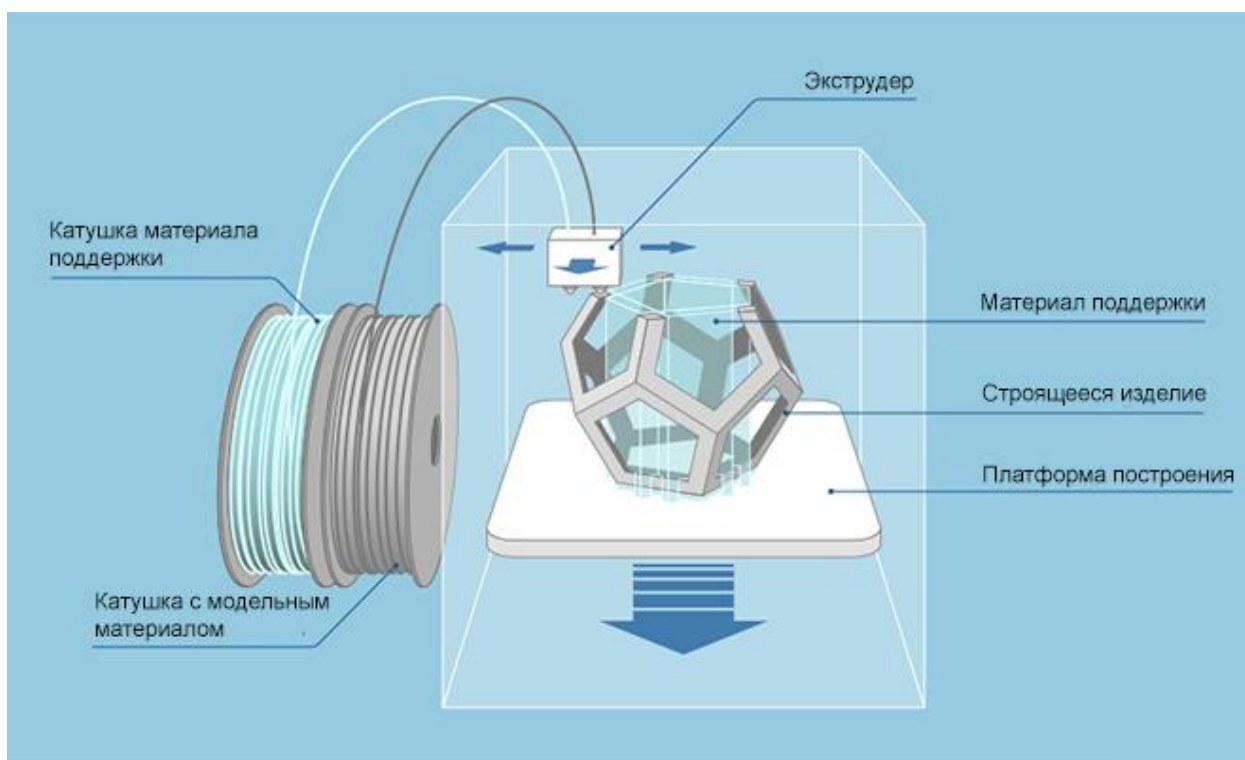


Рисунок 1. Принцип работы FDM-принтера [2]

Возможность изготовления форм любой геометрической сложности, предоставляемая АМ, значительно упрощает создание прототипов, сокращает цикл разработки изделия и снижает затраты на производство [3, с. 6].

Например, при помощи FDM-печати на оборудовании, принадлежащем компании Stratasys (Израиль), в Индийском Научно-исследовательском институте газовых турбин (Gas Turbine Research Establishment) был создан прототип реактивного двигателя, в сборку вошло около 2 500 компонентов двигателя. Если в прошлом институту потребовался бы минимум 1 год и около 60 000 долларов США на создание физического прототипа с помощью механической обработки с ЧПУ, то с процессом создания прототипа с FDM потраченное на работу время сократилось до 6 недель, а затраты снизились до 20 000 долларов. Следовательно, универсальные инструменты АМ обладают повышенным качеством и эффективностью производства.

Австралийские исследователи из университета Монаша (Monash University) совместно с коллегами из университета Дикина (Deakin University) и организации CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), за год работы создали первый в мире турбореактивный двигатель, для изготовления которого были использованы исключительно технологии трёхмерной печати. За основу двигателя взяли конструкцию газотурбинного двигателя Safran компании Microturbo (Франция) (рисунок 2).

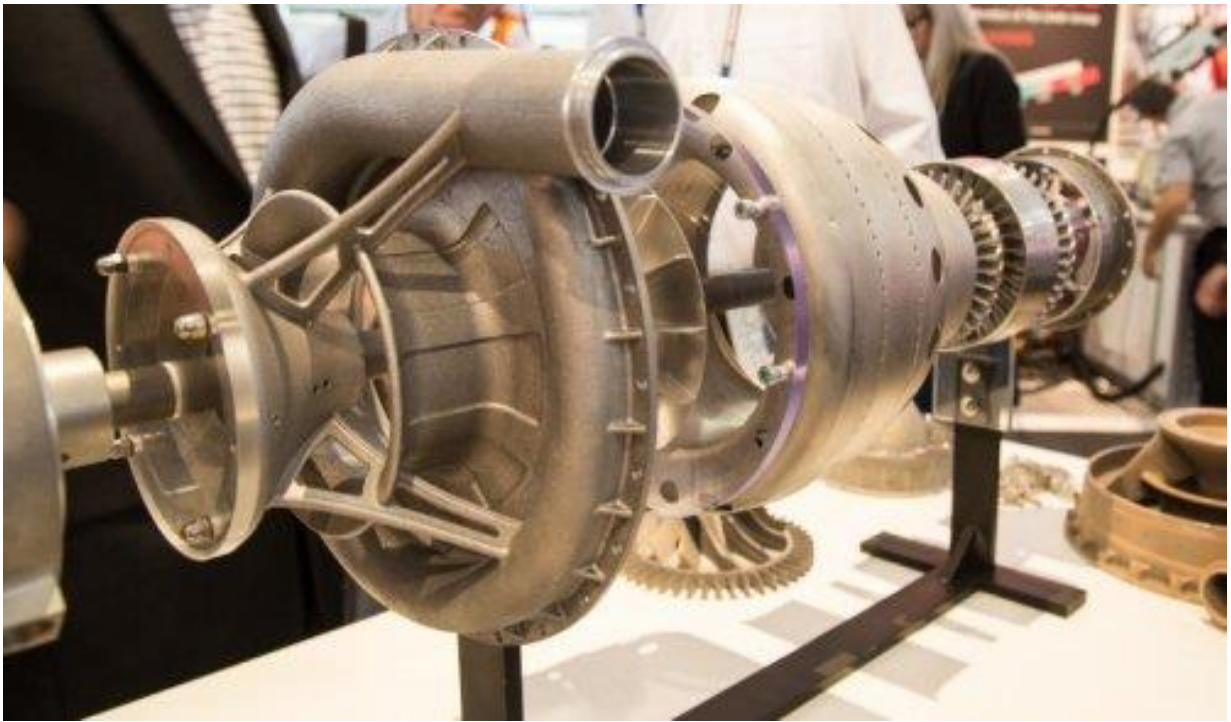


Рисунок 2. 3D-модель газотурбинного двигателя Safran [4]

Компания Piper Aircraft (США) использует процесс FDM-печати для изготовления оснастки для гидроформования алюминиевых конструктивных компонентов, включая конструктивные элементы самолётов, такие как внутренняя рама, ластовицы, кронштейны, обшивка, и даже алюминиевые оконные стёкла. Ранее инструменты изготавливались методом механической обработки с ЧПУ в гидроформовочных станках. Время, необходимое для программирования и механической обработки, квалифицированная рабочая сила и значительные материальные затраты, вызвали удорожание обработки инструментов сложной формы. FDM-оснастка, напротив, сокращает время обработки примерно на 68 %: с 14 до 4,5 дней. Для гидроформования может быть использован высокоэффективный термопластик.

Другим интересным примером является полностью неметаллический газотурбинный двигатель, изготовленный компанией AM (США). Программа, озаглавленная «Полностью неметаллический газотурбинный двигатель, произведённый аддитивными технологиями» («A Fully Non-Metallic Gas Turbine Engine Enabled by Additive Manufacturing»), спонсировалась Научно-

исследовательским институтом авиации NASA. Её целью стало использование лёгких, термостойких композитных материалов для повышения эффективности двигателя, проведение первой комплексной оценки новых материалов и технологий производства, позволяющих использовать полностью неметаллические газотурбинные двигатели для снижения выбросов летательных аппаратов, сжигания топлива и шума [5].

FDM-печать используется для нанесения композитов с полимерной матрицей, а первый полиэфиримид – композитный материал, был использован для изготовления направляющих лопаток компрессора на входе и акустической облицовке. Струйный процесс нанесения связующего материала был адаптирован для изготовления композитов с керамической матрицей. Так были изготовлены первые сопловые сегменты турбины высокого давления.

Аэрокосмическая промышленность предъявляет высокие требования к керамическим компонентам, особенно к тем, которые изготовлены из сверхвысокотемпературной керамики (ZrB_2 , ZrC , TiC и пр.), обладающих превосходной способностью выдерживать экстремально высокие температуры и жёсткие химические условия. Такие детали применяются в системах гиперзвукового полёта и ракетных двигательных установках. Поскольку они чрезвычайно хрупкие, их трудно изготовить с использованием обычного процесса субтрактивного производства, а АМ предоставляет большой потенциал для создания сложных керамических геометрических компонентов для космических целей. Так, описано использование ZrB_2 для изготовления методом АМ стойки топливной форсунки с пересекающимися каналами внутри, которая потенциально может быть использована для обеспечения устойчивости к экстремально высоким температурам в гиперзвуковом авиационном двигателе [5]. Также для керамических компонентов разработано экструзионное производство свободной формы.

Таким образом, прогресс в технологиях АМ позволит создавать сложные геометрические элементы не только из металла, но и из других подходящих

материалов (пластмассы, воска, песка, керамики, композитов), сократить цикл разработки изделий, а также и снизить затраты на их производство.

Использованные источники:

1. Ванин Ю.В. PBF – метод 3D-печати деталей для аэрокосмической промышленности // Аллея науки. – 2023. – № 2 (77). – С. 2-3.
2. Технология 3D-печати FDM [электронный ресурс] – URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/3d-printing-techologies/fdm> (дата обращения: 10.02.23).
3. Васянькин А.В. Эффективность аддитивного производства в изготовлении аэрокосмических компонентов // Аллея науки. – 2023. – № 2 (77). – С. 6.
4. Coxworth B. Researchers create world's first 3D-printed jet engines // New Atlas. – 2015. – February, 25.
5. Grady J.E., Halbig M.C., Singh M. A fully non-metallic gas turbine engine enabled by additive manufacturing // International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2015). – 2015. – №. ISABE-2015-20168.