СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 330

Радик Раильевич Зарипов
Николай Евгеньевич Смольянинов
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Современные темпы развития промышленности требуют внедрения передовых способов производства металлических изделий. Одним из них являются аддитивные технологии, которые объединяют использование цифрового проектирования для создания компьютерной модели будущей детали и изготовление самого изделия путем послойного добавления материала на специальном оборудовании. В статье проведен анализ развития аддитивных технологий в ведущих странах и схемы рабочего процесса аддитивного и традиционного производства. Выявлены преимущества и недостатки основных методов аддитивных технологий, а также сферы их применения.
Ключевые слова: аддитивные технологии, послойный синтез деталей, 3D-печать

Radik Railevich Zaripov
Nikolay Evgenievich Smolianinov

COMPARATIVE ANALYSIS OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE SPHERE OF LAYERED SYNTHESIS OF PRODUCTS

Abstract. The current pace of industrial development requires the introduction of advanced methods for the production of metal products. One of them is additive technologies that combine the use of digital design to create a computer model of the future part and the manufacture of the product itself by adding material on a special equipment layer by layer. The article analyzes the development of additive technologies in leading countries and the schemes of the working process of additive and traditional production. The advantages and disadvantages of the basic methods of additive technologies, as well as the scope of their application, are revealed.
Keywords: additive technologies, layered synthesis of parts, 3D printing

Введение. В настоящий момент аддитивные технологии достигли такого уровня развития, который позволяет изготавливать не только прототипы деталей, но и функциональные изделия со сложной конфигурацией для

авиакосмической отрасли, автомобилестроения, медицины и других отраслей [1].

Этот метод заключается в формировании слоёв порошкового материала, их поочередного расплавления с помощью лазерного излучения и соединения с предыдущим слоем в соответствии с сечением компьютерной модели заготовки. Кроме того, возможность использования различных материалов в слоях позволяет улучшить эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей, работающих в тяжелых условиях и повысить несущую способность конструкции в целом.

Значительный вклад в разработку теоретических основ и рекомендаций по практическому применению технологий получения слоистых материалов различными способами внесли такие ученые как: Шоршоров М.Х., Вайнерман А.Е., Абрамович В.Р. – работы посвящены технологии, основанной на плавлении основного и присадочного материала. Король В. К., Гильденгорн М. С., Кузьмин С.В., Каракозов Э. С., Казаков Н. Ф. – занимались изучением технологий получения слоистых материалов сваркой давлением. Однако, в основном, работы посвящены проблемам создания поверхностных рабочих слоев с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Следует отметить следующие преимущества аддитивных технологий [4]:

1) Уникальные характеристики получаемой продукции. Послойное выращивание позволяет получить изделие с улучшенными свойствами.
2) Потери расходных материалов при традиционном производстве могут достигать 80% и более. Этого недостатка аддитивные технологии лишены.
3) Аддитивные технологии позволяют выпускать изделия со сложной геометрией. Традиционные методы, например, литье или штамповка, не позволяют изготавливать очень сложные с точки зрения геометрии изделия.
4) Мобильное производство и быстрый обмен данных, сокращение продолжительности технологического цикла [5].

Но внедрение аддитивных технологий при изготовлении сложных изделий сдерживается следующими проблемами:

– внутренняя дефектность слоистых материалов;
– неоднородность структуры и свойств по сечению;
– тепловые деформации;
– отсутствие надежных, доступных технологических рекомендаций по созданию слоистых заготовок сложной формы и значительных размеров с требуемыми характеристиками.

Так же стоить отметить организационно-экономические проблемы:

– при аддитивном производстве часто используются дорогие материалы, такие как титан, которые влияют на рост себестоимости изделия;
– использование в позаказном производстве наиболее рационально, а встраивание в организационные планировки серийного и массового производства связано с рядом организационных проблем;
– технологический цикл изготовления требует индивидуального подхода.

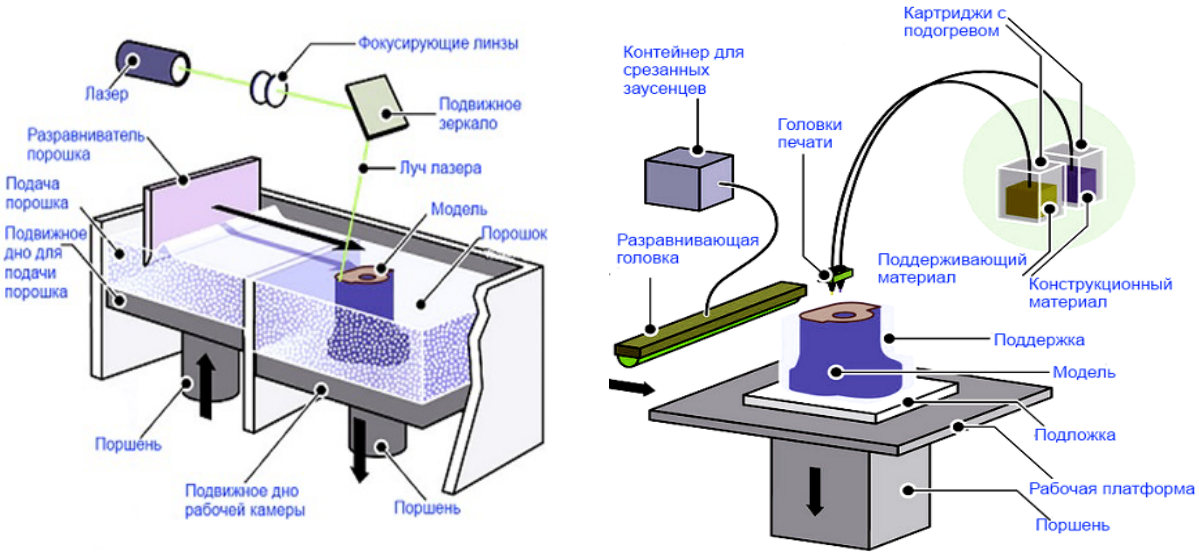
Для решения проблем, сдерживающих развитие аддитивных технологий,

разберем подробнее методы и виды 3D-печати.

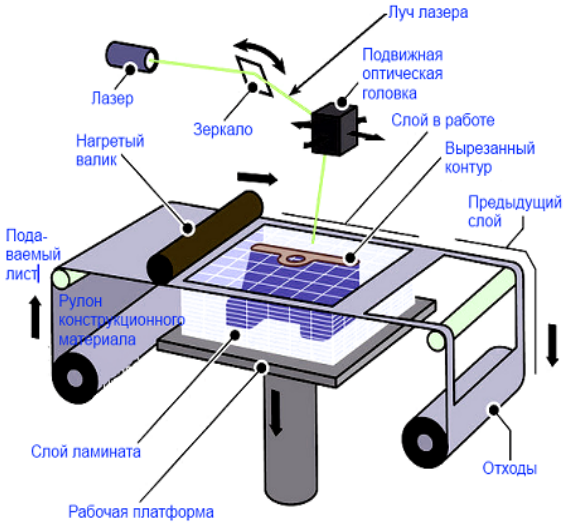
Технологии аддитивного производства. Аддитивные технологии – это послойное наращивание объекта с помощью компьютерных 3D-технологий. Данное изобретение принадлежит Халлу, сконструировавший первый трехмерный принтер в 1986 г. На сегодняшний день используются несколько аддитивных процессов, в результате которых моделируется 3D-объект [2]:

– стереолитографию;
– метод послойной наплавки;
– технологию лазерного спекания;
– процесс послойного изготовления объектов из листового материала.

1) Стереолитографию применяют для быстрого прототипирования, когда нужно изготовить пробный образец, для изготовления пресс-форм и форм для литья (рис.1а).
2) Метод послойной наплавки (*FDM*) используют для быстрого прототипирования. Из сопла-дозатора, движениями которого управляет компьютер, расплавленный материал наносится последовательными слоями и быстро затвердевает, поскольку исходно он был нагрет всего лишь на градус выше, чем его температура плавления (рис.1б).



а *б*



в

Рис. 1. Схема процессов в результате которых моделируется 3D-объект:

а – схема стереолитографического метода;
б – схема работы принтера методом послойной наплавки;
в – схема работы принтера методом послойного изготовления объекта из листового материала

Таблица 1

Преимущества и недостатки методов аддитивного и традиционного производства

Преимущества	Недостатки
Стереолитография	
– высокая точность печати; – точность изготовления; – высокая скорость печати, если имеется высокое разрешение; – создание деталей высокой сложности.	– остатки неизрасходованного материала; – низкая долговечность; – высокая стоимость установки и расходного материала;
Метод послойной наплавки	
– наименее дешевый метод печати; – большая номенклатура используемых материалов имеющие высокую термостойкость.	– невысокая точность детали; – ограничения в размерах изготавливаемой детали; – низкое качество поверхности; – невысокая прочность изделий.
Лазерное спекание	
– создание деталей неограниченной сложности из различных материалов;	– неоднородная микроструктура материала; – плохие механические свойства; – высокое время изготовления; – потребность в дополнительных операциях плавления.
Послойное изготовление из листового материала	
– относительно сниженная стоимость установки; – общедоступность расходуемых	– потребность в дополнительных операциях; – ограниченная точность изделий;

Преимущества	Недостатки
материалов.	– неоднородность свойств материала; – низкая долговечность.
Традиционное производство	
– относительно высокие показатели качества, долговечности, прочности изделий; – стоимость установки дешевле по сравнению с аддитивными технологиями.	– влияние человеческого фактора; – долгий выход на рынок; – долгий производственный цикл.

3) Технологию лазерного спекания (*SLS, DMLS*) используют для создания трехмерной компьютерной модели с последующим нарезанием. Специальный валик наносит на подложку слой (100 мкм) порошка (полимер, керамика, металл). Лазерный луч (мощность 25-100 Вт, длительность импульса 0,5-25 мс) очерчивает контур и спекает эту часть слоя.

4) Процесс послойного изготовления объектов из листового материала (*LOM*). Изделие собирают из отдельных листов, вырезанных лазером, которые должны быть скреплены между собой (рис. 1в).

В табл. 1 представлены основные преимущества и недостатки методов аддитивного и традиционного производства.

Анализ предметной области. На схеме представлены основные различия между традиционным и аддитивным производством (таблица 2).

Таблица 2

Схема рабочего процесса аддитивного и традиционного производства

Характеристика / Схема рабочего процесса	Разработка продукта	Виды производства	Готовая продукция
Традиционное производство	Традиционная разработка	Традиционное производство	Долго, дорого, неточно.
Быстрое прототипирование	Цифровое проектирование	Традиционное производство	Ограничен традиционными технологиями
Цифровое производство (аддитивные технологии)	Цифровое проектирование	Аддитивные технологии	Исключение ошибок, быстрый выход на рынок, дешево.

Сам принцип сложения, а не вычитания подразумевает, что мы экономим исходные материалы. Суть аддитивных технологий – использовать ровно столько материала, сколько требуется для создания объекта. Экономия материала в каждом конкретном случае будет различной. В таблице 2 приведены данные о развитии и применении аддитивных технологий в ведущих станах [6].

В отличие от традиционных технологий изготовления деталей резанием, когда удаляется заранее рассчитанный припуск – лишний металл, при использовании аддитивных технологий материал добавляется слой за слоем до получения готового изделия.

Таблица 3

Доля аддитивных технологий в ведущих странах мира

Место	Страна	Доля АМ-оборудования, %	Страна	Доля АМ-оборудования, %
1	США	38,0	Канада	1,9
2	Япония	9,7	Тайвань	1,5
3	Германия	9,4	Россия	1,4
4	Китай	8,7	Турция	1,4
5	Великобритания	4,2	Испания	1,3
6	Италия	3,8	Швеция	1,2
7	Франция	3,2	Другие страны	12
8	Корея	2,3		

Если при обработке по традиционным технологиям резания отходы материалы в стружку могут составлять свыше 70%. Только в США в нее уходит 15 млн. т металла на сумму свыше $15 млрд. в год. По другим оценкам в стружку уходит 20% перерабатываемого металла, что составляет 10% промышленных расходов [4].

Аддитивные технологии в плане ресурсосбережения представляют собой идеальное революционное решение, так как потери материала практически равны нулю.

За последние 5 лет динамика роста аддитивных технологий составляет 27%. Мировой рынок аддитивных технологий в 2015 году составил порядка $3,8 млрд. [6].

Первое место в этой области принадлежит США, затем идут Япония, Германия и Китай, хотя и с 4-х кратным отставанием. Россия делит 11-ое место с Турцией (табл.1), и находится на начальном этапе развития этого направления. Из таблицы видно, что более 50% рынка принадлежит США и странам ЕС.

По представленным данным можно сделать вывод, что ведущие страны занимаются развитием аддитивных технологий в промышленности и других отраслях. Это связано с экономическими преимуществами, которых можно добиться, используя 3D-печать при изготовлении различного рода деталей.

Применение аддитивных технологий в настоящее время. Технологический прогресс способствует производству множества полезных вещей для быта, здоровья и безопасности человека, например, аддитивные технологии в авиастроении помогают создавать более высокоэкономичный и легкий по весу авиатранспорт, при этом его аэродинамические свойства сохраняются в полном

объеме. Другие сферы применения аддитивных технологий представлены на (рис.5) [7]:

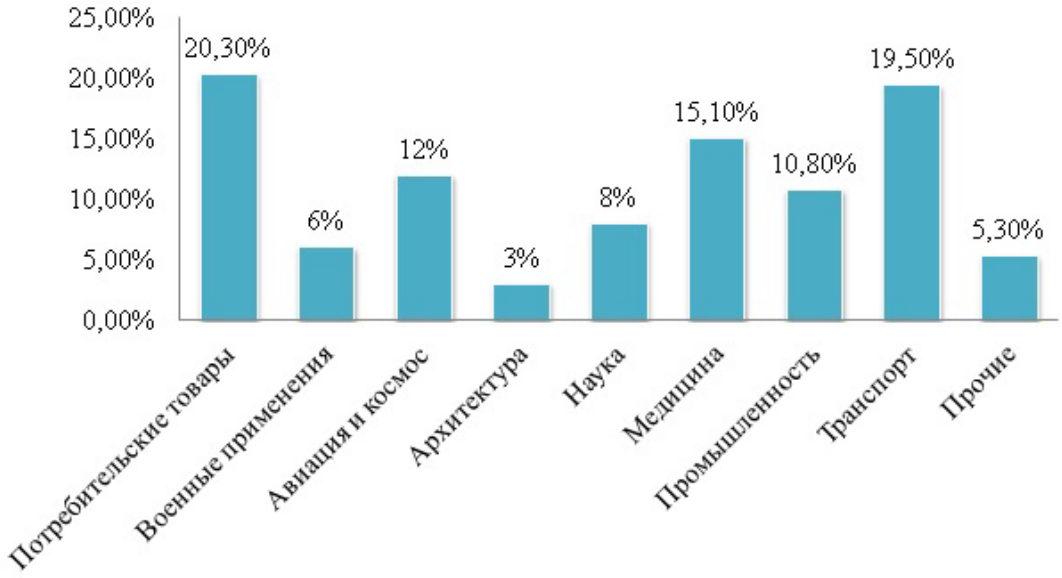


Рис.5. Сферы применения аддитивных технологий

Применение 3D-печати в авиационной промышленности. Такие авиапроизводители, как, например, *Airbus*, применяют технологию для изготовления различных компонентов самолетов. Количество деталей, которые компания печатает на 3D-принтерах, исчисляется тысячами. В начале этого года был изготовлен первый сертифицированный Федеральным управлением гражданской авиации США конструктивный элемент воздушного судна из титана [2]. Это событие ознаменовало признание 3D-печати в качестве одной из ключевых производственных технологий в авиастроении.

Большая часть затрат на подготовку производства в машиностроении – это разработка и изготовление оснастки. Чтобы снизить эти затраты, компании – немецкий *Volkswagen* и японская *Ricoh* – используют оснастку, изготовленную методом послойного синтеза. Такая оснастка изготавливается значительно быстрее металлической, она легче и позволяет лучше реализовать принцип нулевой ошибки (*Poka-yoke*). Например, у компании *Volkswagen* экономия составила порядка 150 000 евро.

Заключение. Подводя итог, следует признать, что количество факторов, сдерживающих распространение аддитивного производства, велико. Неустойчивость характеристик оборудования и продукции чрезвычайно затрудняет аттестацию и сертификацию, без которых никакое серийное производство сегодня немыслимо. Если говорить в общем, стандартизация новых технологий – глобальная проблема, которую сегодня решают уполномоченные государственные учреждения в содружестве с промышленными компаниями. Все это требует времени, усилий и ресурсов.

Однако для производственного внедрения и применения этих аддитивных

технологий, на следующих этапах исследования, необходимо разработать:

– унифицированные бизнес-процессы оптимизации производства;

– проанализировать особенности применения в серийном и массовом производстве;

– предложить методы снижения себестоимости изделия.

Список литературы

1. Информационное агентство «ОРУЖИЕ РОССИИ». Севмаш внедряет бережливое производство [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.armsexpo.ru/news/novye_razrabotki/ob_additivnykh_tekhnologiyakh_v_sozdanii_bespilotnikov.

2. Развитие индустрии 3D-печати. Проекты и инвестиции [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://22century.ru/allsorts/3496.

3. Смирнов, В. В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности. Опыт ФГБОУ УГАТУ / В.В. Смирнов, В. В. Барзали, П. В. Ладнов // Новости материаловедения. Наука и техника. – №2 (14). – 2015.

4. Смирнов, В. В. Перспективы развития аддитивного производства в российской промышленности. Опыт ФГБОУ УГАТУ / В. В. Смирнов, В. В. Барзали, П. В. Ладнов // Новости материаловедения. Наука и техника – №2 (14). – 2015. – С. 23-27.

5. Смольянинов Н. Е., Матягина Т. В. Процесс управления временем в концепции бережливого производства // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XVIII Международной научной конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2018. – С. 212-218.

6. Смуров, И. Ю. О внедрении аддитивных технологийи производства в отечественную промышленность [Электронный ресурс] / И. Ю. Смуров, С. Г. Конов, Д. В. Котобан // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. – №2 (14).

7. Wohlers T., Wohlers report 2015: Additivemanufacturingand 3D-printingstateoftheindustry: Annualworld-wideprogressreport, Wohlers Associates, 2015. – 276 p.