

UDC 681.32

Author: SERGEYEVA Olesya Yurievna, Senior Lecturer of the Department «Economic Theory», Ufa State Petroleum Technical University; Cosmonavtov str., bld.1, Ufa, Bashkortostan, 450062, e-mail: olesya_yr@mail.ru

ADDITIVE TECHNOLOGIES AND 3D MODELING

EXTENDED ABSTRACT:

For the last two decades additive technologies (production, further AT and AP respectively) have formed a technological innovation segment of machine building [1, p. 30]: world markets for technologies and equipment emerged, extensive research and development works are being performed, standards for products certification are being elaborated.

The classification and definition of additive technologies is based on the proposal of the American Society for Testing and Materials, an organization developing technical standards for materials, products, systems and services (ASTM standard F2792.1549323-1). According to the standard, the main attributes that determine additive technologies are [1, p.30]:

- additivity, when the configuration of the part is determined by directional addition of the dosed material mass to the initial configuration;
- virtuality, when the digital model is the basis for creation of a product.

Additive technologies are layer-by-layer addition of material according to a computer 3D-model with minimization of labor costs for production preparation and further processing. The use of the digital model makes it possible to evaluate the functionality of the product, identify weak structural sites, and make adjustments [2, p. 39]. The additive system after the start of printing works autonomously, without requiring operator actions.

Initially, the task of additive technologies was «rapid prototyping», i.e. the development of high-precision models in a short period of time, using functional prototypes [2, p. 39]. In 1986, the American engineer Charles Hall developed 3D printing technology based on a stereolithographic 3D printer (SLA-printing). Technological approbation was held in the defense industry, but did not receive wide dissemination. Almost at the same time, Scott Crump creates a layer-by-layer melting unit (FDM-printing). Two of these events were the beginning of the creation of additive technologies.



The article considers advantages and lacks of traditional and additive manufactures as well as the types of additive technologies. The algorithm of AP is presented. The analysis of Russian enterprises which employ additive technologies are applied has been performed.

Key words: additive technologies, 3D printing, powder compositions, traditional production, additive production, layered product formation.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158)

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Additive technologies and 3d modeling</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 4, pp. 142– 158. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Sergeyeva O.Yu. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="olesya_yr@mail.ru" rel="cc:morePermissions">olesya_yr@mail.ru</a>.
```

References:

1. *Morgunov YU.A., Saushkin B.P.* Additivnye tekhnologii dlya aviakosmicheskoy tekhniki [Additive technologies for aerospace engineering]. Additivnye tekhnologii = Additive technologies, 2016. № 1. P. 30–38. (In Russian).
2. Additivnye tekhnologii: vozmozhnosti i perspektivy 3D-pechati [Additive Technologies: opportunities and Prospects of 3D Printing]. Upravlenie proizvodstvom = Production Management, 2017. № 2. P. 38–44. (In Russian).
3. *Sergeeva O.Yu.* Kiberfizicheskie sistemy kak tekhnologii subsidiarnogo upravleniya [Cyberphysical systems as technologies of subsidiarity management]. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnology in construction, 2018. Vol. 10. № 3. P. 94–106. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-94-106](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-94-106). (In Russian).
4. *Sergeeva O.Yu.* «Industriya 4.0» kak mekhanizm formirovaniya «Umnogo proizvodstva» [«Industry 4.0» as a mechanism for the formation of «Smart Production»]. Nanotekh-



- nologii v stroitel'stve = Nanotechnology in construction, 2018. Vol. 10. № 2. P. 100–113. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113). (In Russian).
5. *Kablov E.* Novye materialy i tekhnologii – osnova tekhnologicheskogo liderstva [New materials and technologies - the basis of technological leadership]. Available at: <https://viam.ru/news/5032>. (In Russian).
 6. Additivnoe proizvodstvo: tekhnologii i materialy [Additive production: technologies and materials]. Available at: <https://poisk-ru.ru/s58t8.html>. (In Russian).
 7. *Raevskij E.V., Cygancova A.L.* Lazernye additivnye tekhnologii: perspektivy primeneniya [Laser additive technologies: prospects of application]. Additivnye tekhnologii = Additive technologies, 2016. № 1. P. 10–12. (In Russian).
 8. *Arutyun A.* Novye vozmozhnosti dlya sebya i biznesa [New opportunities for yourself and your business]. Additivnye tekhnologii = Additive technologies, 2016. № 1. P. 20–22. (In Russian).
 9. Additivnye tekhnologii: nastoyashchee i budushchee: materialy IV mezhdunarodnoj konferencii (Moskva, 30 marta 2018). [Additive technologies: the present and the future. Proc. of the IV International Conference (Moscow, March 30, 2018)]. Moscow, VIAM, 2018. 449 p. (In Russian).
 10. *Gibson Ya., Rozen D., Staker B.* Tekhnologii additivnogo proizvodstva [Additive Production Technologies]. Transl. by I. V. Shishkovskiy. Moscow, Tekhnosfera, 2016. 656 p. (In Russian).
 11. *Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylina I.M.* Additivnye tekhnologii v mashinostroenii [Additive technologies in mechanical engineering]. Saint-Petersburg, Publishing house of St. Petersburg Polytechnic Institute, 2013. 222 p. (In Russian).
 12. *Mihajlov Yu.M.* Perspektivy ispol'zovaniya additivnykh tekhnologij v OPK 2015 [Prospects for the use of additive technologies in the defense industry 2015]. Available at: book.ru/OPK-11/111/Mihaylov.pdf. (In Russian).
 13. Naukoemkie tekhnologii mashinostroitel'nogo proizvodstva. Fiziko-himicheskie metody i tekhnologii [High technology of machine-building production. Physico-chemical methods and technologies]. Ed. by B. P. Saushkina. Moscow, Forum, 2013. 920 p. (In Russian).
 14. *Nizovcev V.E., Klimov D.A., Stupen'kov M.I., Bredihina E.N.* Preimushchestva additivnykh tekhnologij v kachestve al'ternativy tradicionnym tekhnologiyam [Advantages of additive technologies as an alternative to traditional technologies]. Additivnye tekhnologii: nastoyashchee i budushchee: materialy IV mezhdunarodnoj konferencii (Moskva, 30 marta 2018). [Additive technologies: the present and the future. Proc. of the IV International Conference (Moscow, March 30, 2018)]. Moscow, VIAM, 2018. P. 203–208. (In Russian).
 15. *Sirotkin O.S.* Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya additivnykh tekhnologij [Current state and prospects of development of additive technologies]. Aviacionnaya promyshlennost' = Aviation industry, 2015. № 2. P. 22–25. (In Russian).



16. *Chumakov D.M.* Perspektivy ispol'zovaniya additivnyh tekhnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy tekhniki [Prospects for the use of additive technologies in the creation of aviation and space technology]. Trudy MAI [Proceedings of MAI], 2014. № 78. 31 p. (In Russian).
17. *Shishkovskij I.V.* Osnovy additivnyh tekhnologij vysokogo razresheniya [Basics of additive high-resolution technologies]. Saint-Petersburg, Piter, 2015. 348 p. (In Russian).
18. *Atzeni E. and Salmi A.* Economics of Additive Manufacturing For End-Usable Metal Parts, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 62[9]. 2012. P. 1147–1155.
19. Comparison LMD and SLM in Additive Manufacturing, Dipl.-Ing. Moritz Alkhatat, Fraunhofer ILT, Aachen.
20. Digital Photonic Production in Aachen, Prof.Dr.Reinhart Poprawe, Fraunhofer Institut fuer Lasertechnik ILT, Aachen. RWTH Aachen University Lehrstuhl fuer Lasertechnik LLT.
21. *Frazier W.E.* Metal Additive Manufacturing: Review A., Mater J. Eng. Performance, 23[6]. 2014. P. 1917–1928.
22. Lightweight in Automotive and Aerospace, Dr. E. h. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen.
23. SLM and LMD Manufacturing Processes, Dr. Wilhelm Meiners, Fraunhofer ILT, Aachen.

DEAR COLLEAGUES!**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

Sergeyeva O.Yu. Additive technologies and 3d modeling. Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 4, pp. 142–158. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158). (In Russian).



УДК 681.32

Автор: СЕРГЕЕВА Олеся Юрьевна, ст. преподаватель каф. «Экономической теории»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Башкортостан, 450062, e-mail: olesya_yr@mail.ru

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

Аддитивные технологии (производства, далее АТ и, соответственно, АП) за последние два десятилетия сформировали технологический инновационный сегмент машиностроения [1, с. 30]: образованы мировые рынки технологий, оборудования, проводятся масштабные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разрабатываются стандарты по сертификации изделий.

Классификация и определение аддитивных технологий произведена по предложению American Society for Testing and Materials, организацией, разрабатывающей технические стандарты для материалов, изделий, систем и услуг (стандарт ASTM F2792.1549323–1). Согласно стандарту основными признаками, определяющими аддитивные технологии, являются [1, с. 30]:

- аддитивность, когда конфигурация детали определяется посредством направленного дополнения дозированной массы материала к исходной конфигурации;
- виртуальность, когда за основу создания изделия строится его цифровая модель.

Аддитивные технологии представляют собой послойное добавление материала по компьютерной 3D-модели с минимизацией трудозатрат на производственную подготовку и дальнейшую обработку. Применение цифровой модели дает возможность оценить функциональность изделия, определить слабые конструктивные места, произвести корректировки [2, с. 39]. Аддитивная система после запуска печати работает автономно, не требуя действий оператора.

Первоначально задача аддитивных технологий заключалась в «быстром прототипировании», т.е. в разработке сверхточных макетов за короткий срок, используя функциональные прототипы [2, с. 39]. В 1986 году американским инженером Чарльзом Халлом была создана технология 3D-печати на основе



стереолитографического 3D-принтера (SLA-печать). Технологическая апробация проходила в оборонной промышленности, но широкого распространения не получила. Практически в то же время Скотт Крамп создает аппарат послойного наплавления (FDM-печать). Два этих события стали началом создания аддитивных технологий.

В статье рассмотрены преимущества и недостатки традиционных и аддитивных производств, виды аддитивных технологий, представлен алгоритм АП. Проведен анализ российских предприятий, на которых применяют аддитивные технологии.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, порошковые композиции, традиционное производство, аддитивное производство, послойное формирование изделий.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158

Машиночитаемая информация о СС-лицензии в метаданных статьи (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Additive technologies and 3d modeling</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 4, pp. 142- 158. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Sergeyeva O.Yu. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="olesya_yr@mail.ru" rel="cc:morePermissions">olesya_yr@mail.ru</a>.
```

21 век является веком нового технологического уклада, где материалам нового поколения с особыми свойствами отводится ведущая роль. Разработка материалов нового поколения и методы их получения являются приоритетными направлениями научно-технологического развития России, поскольку в России «...запущена масштабная системная программа развития экономики нового технологического поколения на базе промышленной концепции «Индустрия 4.0» [3, с. 98].



По мнению генерального директора ВИАМ (Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов) академика РАН Каблова Е.Н., экономика новой формации будет строиться на аддитивных технологиях, сократив срок «от идеи до изделия», обеспечивая технологическое лидерство и появление на рынке инновационной продукции. «Без аддитивных и цифровых технологий, без широкого применения моделирования, компьютерного проектирования, использования новых материалов мы не сможем обеспечить конкурентоспособность нашей промышленности». Аддитивные технологии и неотъемлемые с ними цифровые технологии являются моделью промышленного развития 21 века [4, с. 104], кардинально преобразуя производственные технологии. Происходит перестройка промышленной идеологии, где традиционные технологии становятся «вычитающими», аддитивные – «добавляющими» [5]. Изделие изготавливают из металлического или неметаллического порошка посредством послойного наращивания в соответствии с 3D-моделированием.

При применении аддитивных технологий материал используется в том количестве, который необходим для изготовления, его экономия может составить до 85% [5]. Отличительная особенность аддитивных технологий заключается в том, что изготавливаются даже те изделия, которые невозможно получить традиционным способом, а именно сваркой, литьем, деформацией, давлением и т.д. с минимальными производственными издержками и сокращением отрицательного воздействия на окружающую среду. Аддитивные технологии являются важнейшим элементом технологического прогресса [5]. В табл. 1 представлены преимущества и недостатки существующих производств.

Алгоритм аддитивного производства представлен на рис. 1 [6].

ВИАМ определил основные уровни внедрения аддитивных технологий в производственные процессы [5]:

- 1-й уровень – производство оснастки и моделей;
- 2-ой уровень – прототипирование;
- 3-й уровень – определение серийных изделий.

Российская промышленность по производству изделий 3-го уровня находится в начальной стадии внедрения, в то время как показатель серийного уровня США составляет 30%, а на первые два приходится 70%. Показатели 3-го уровня Китая и Европы составляют соответствен-



Таблица 1

Преимущества и недостатки производств

Вид производства	Методы разработки продукции	Виды технологии	Преимущества/недостатки
Традиционное производство	Традиционная разработка продукции	Традиционные технологии	<ul style="list-style-type: none"> – увеличен производственный цикл; – повышенные издержки производства; – наличие человеческого фактора; – значительная доля брака; – повышенный риск погрешностей
Быстрое прототипирование	Цифровое проектирование	Традиционные технологии	<ul style="list-style-type: none"> – снижение производственного цикла; – сокращение издержек производства; – значительная доля погрешностей; – наличие человеческого фактора
Аддитивное производство	Цифровое проектирование	Аддитивные технологии	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие погрешностей; – быстрое освоение рынка; – высокая точность изготовления; – снижение транзакционных издержек

но 15% к 85%, КНР занимает лидирующее место по исследованию в области аддитивных технологий.

На сегодняшний день выделяют следующие виды аддитивных технологий [4, с. 110]:

1. FDM (Fused deposition modeling) – послойное формирование изделий посредством расплавления пластиковой нити. Полученные изделия характеризуются повышенной прочностью, гибкостью, используются для прототипирования и производства готовой продукции.

2. CJP (ColorJet printing) – 3D-печать, в которой применяется принцип склеивания гипсового порошка.



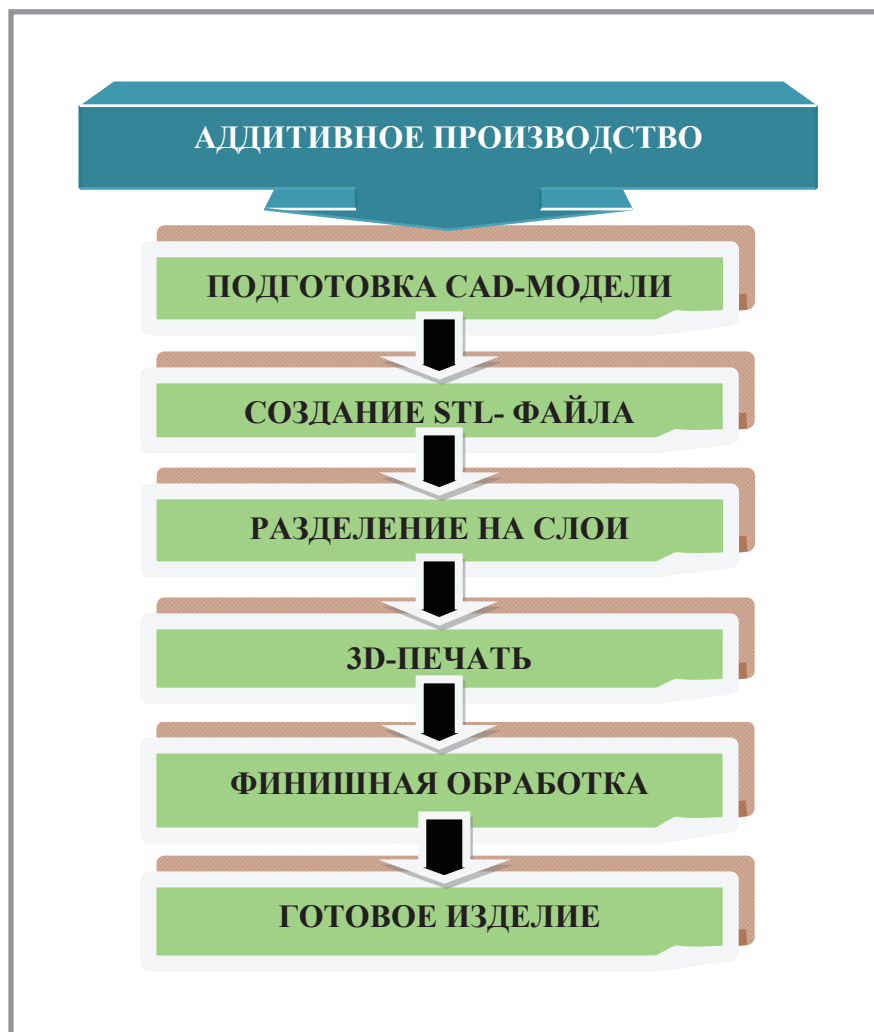


Рис. 1. Алгоритм аддитивного производства

3. Лазерные аддитивные технологии подразделяются на два метода изготовления изделий:

А) SLM (Selective Laser Melting) – технологический процесс селективного лазерного запекания металлических порошков, способствующий образованию особопрочных объектов различных размеров. Этот метод является самым распространенным методом 3D-печати металлом. Детали, изготовленные этим способом, имеют сложную геометрическую форму и по своему качеству превосходят традиционное производство. Ведущие производители SLM-процесса – немецкие фирмы Solutions и Realizer. На рис. 2 представлен технологический процесс изготовления детали методом SLM.



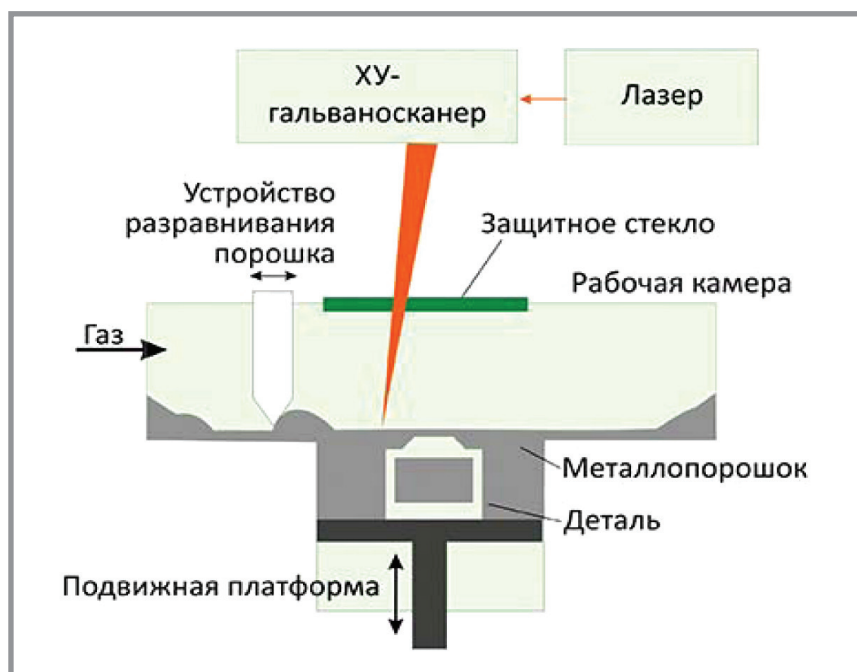


Рис. 2. Процесс изготовления детали методом SLM [7, с. 10]

Технологический процесс SLM основан на создании определенной поверхности, на которой формируют слой, далее в слое производят выборочное отвердевание (фиксацию) материала [7, с. 11]. Детали, полученные SLM-технологией, имеют высокую точность и любую сложность конфигураций. Но данный метод имеет ограничения в скорости построения и размерах «выращиваемых» деталей.

Б) LMD — Laser Metal Deposition – процесс основан на прямом лазерном осаждении или выращивании, используя прямую подачу порошка или проволоки взамен построения. На рис. 3 показан процесс изготовления изделия по LMD-технологии.

Изделия, полученные LMD-технологией, имеют точность значительно ниже, чем при SLM-технологиях, и ограниченную сложность «выращиваемых» деталей.

Конкурентоспособность лазерного АП основана на низкой себестоимости изготовления для серийного производства деталей, имеющих усложненную геометрию. На рынке аддитивного оборудования имеется повышенный спрос на установки послойного лазерного синтеза металлических изделий [7, с. 12] для авиапромышленности, космической отрасли, медицины и т.д.



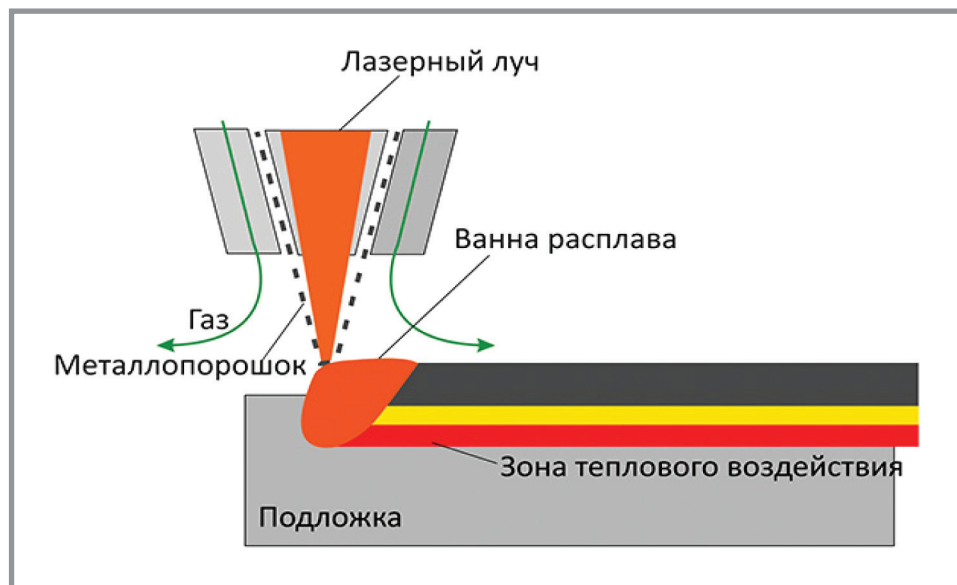


Рис. 3. Изготовление детали по LMD-технологии [7, с. 11]

Лазерное АП позволило в авиастроении и автомобильной отрасли использовать при сборке облегченные конструкции, что способствовало снижению веса готовых изделий и экономии до 100 литров топлива в год с одного кг в авиастроении, а в автомобилестроении снижение веса изделия на 10% экономит топливо до 4% в год [7, с. 12].

4. MJM (MultiJet Modeling) – многоструйное 3D-моделирование, основанное на применении фотополимеров и воска.

5. SLA (Laser Stereolithography) – процесс послойного отвердевания жидкого полимера на основе применения лазера. Технологический процесс ориентирован на получение высокоточной продукции разных свойств. Ведущим производителем SLA-принтеров является американская компания 3D Systems.

Современные аддитивные технологии, такие, как SLS, SLM, на базе цифровых моделей делают возможным изготавливать крупногабаритные детали, используя различные материалы: титановые, алюминиевые, никелевые и жаропрочные сплавы, конструкционную и нержавеющую стали, сплав кобальт-хром, фотополимерные и высокотемпературные пластики, жаропрочную керамику [2, с. 39].

В России за последние 15 лет было выдано более 130 патентов по разным направлениям аддитивных технологий, что составляет 0,14% [8, с. 20] в мировом сегменте аналогичных патентов. Лидером рынка



АТ являются США, их доля на мировом рынке патентов по аддитивным технологиям – около 40%.

Аддитивные технологии обладают рядом преимуществ относительно традиционных технологий, среди которых:

- значительное снижение массы изделия и повышение его конструктивной сложности. В соответствии с исследованием в рамках проекта ATIKINS снижение массы самолета на 100 кг за весь период эксплуатации ведет к экономии на топливе до \$2,5 млн, сокращение выбросов углекислого газа составит 1,3 млн т [1, с. 30];
- применение аддитивных технологий позволит увеличить коэффициент использования материалов от 0,7 до 0,9, это в 6,4 раза выше, чем при традиционном производстве, снижая тем самым затраты на дорогостоящие материалы;
- сокращение технологического цикла и снижение издержек на подготовку производства. Применение аддитивных технологий позволяет опытно-конструкторским организациям в узкие сроки моделировать составные части опытного изделия, ускорив тем самым изготовление деталей со сложной конфигурацией и ввод изменений в конструкции изделий в процессе испытаний и доводки;
- повышение надежности изделия за счет замены сборочной единицы деталью одного наименования;
- снижение трудоемкости и себестоимости технологии изготовления, связанной с обработкой деталей, работающих в экстремальных условиях (отдельные части двигателей летательных аппаратов и т.д.) и обладающих низкой обрабатываемостью резанием;
- высокая гибкость технологий аддитивного формообразования в сравнении с традиционными технологиями, т.к. с запуском новых деталей не нужны технологическая оснастка и новые заготовки.

Эффективность аддитивных технологий достигается при изготовлении изделий малыми партиями, компенсируя высокую стоимость материалов снижением издержек с применением традиционных технологий.

На базе ВИАМ совместно с ВПК России Министерством промышленности и торговли разрабатывается «Комплексный план мероприятий по развитию и внедрению аддитивных технологий в Российской Федерации на период 2018–2025 гг.». В разработке плана принимают участие Росатом, Ростех, Роскосмос, «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАК), Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» (КТРВ), «Вер-



толеты России», КРЭТ, ОДК, «Технодинамика», академические институты ФАНО, исследовательские университеты, Росстандарт.

Основные направления комплексного плана по развитию и внедрению АТ в России предусматривают [5]:

1. Создание единой информационной среды на базе цифровых технологий, которая направлена на снижение зависимости от импортного программного обеспечения при проектировании изделий (особенно для изделий ВПК), т.к. в последнее время были применены антироссийские санкции к иностранным разработчикам САПР. Создание цифровых площадок для исследований, разработок и производства является первостепенной задачей формирования механизма АТ в России.

2. Разработка российских порошковых композиций нового поколения в соответствии с режимами их синтеза и с учетом технологических особенностей.

3. Создание российского оборудования для АТ, в том числе инструментов теплового излучения, разработка оборудования систем точного позиционирования и порошковых композиций и т.д.

4. Создание нормативной документации по внедрению АТ, включая отраслевые стандарты, сертификацию технологий цифрового АП, методическую документацию поэлементного анализа технологических процессов и деталей.

5. Подготовка квалифицированных инженерных кадров по базовым специальностям с формированием полного образовательного цикла по разработанным государственным образовательным стандартам в области аддитивных технологий.

Российские предприятия за последнее десятилетие более активно стали использовать системы 3D-печати в производственных процессах и научных целях. Аддитивные технологии, встроенные в производственные цепочки, позволяют сокращать издержки на технологические нужды, снижать трудоемкость и себестоимость изделия.

Масштабными разработками в области аддитивных технологий занимается Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ). Первой разработкой аддитивных технологий в ВИАМ была деталь нового авиационного двигателя ПД-14 «Завихритель фронтального устройства камеры сгорания». Разработки проводились совместно с пермским заводом «ОДК-Авиадвигатель». Традиционным методом на изготовление детали требовалось 60 дней при выходе годных



40% , а при внедрении АТ – 5 дней, годность составляет 100% . Одновременно проводились работы по разработке порошковых композиций для аддитивных технологий. Испытания завершились успешно. На сегодняшний день расширяется номенклатура изготавливаемых деталей по АТ: форсунки, лопатки, кронштейны для крепления двигателей.

На данный период в ВИАМе реализована задача по созданию производства российских металлопорошковых композиций, разработан и изготовлен промышленный атомизатор с бестигельной плавкой электрода, решивший проблему изготовления труднообрабатываемых деталей из титановых сплавов. Объем выпуска металлопорошковых композиций в настоящее время превысил 190 тонн в год.

Впервые в отрасли на Тихвинском вагоностроительном заводе (НПК ОВК) в производство был запущен проект аддитивных технологий, который продолжает функционировать по сей день. На заводе в технологической цепочке используют 3D-принтер, предназначенный для изготовления модельной литейной оснастки, которую применяют для формовки отпечатка при заливке металла. Элементы оснастки имеют сложную конфигурацию и крупногабаритность. Применение аддитивных технологий позволило сократить технологическое время изготовления.

Пермский моторный завод «Авиадвигатель» еще в 2010 году впервые запустил в производство АТ методом селективного лазерного спекания (SLS) [2, с.42]. На данный период на заводе запущен проект по «выращиванию» деталей, которые традиционным методом технически невозможно изготовить (завихритель, кронштейн и т.д.).

В КБ «Луч» был разработан беспилотный летательный аппарат с использованием АТ и специальной компьютерной программы по выбору оптимальной конструкции изделия. Весь производственный цикл от проектирования до изготовления составил 2 месяца.

Пензенское научно-производственное предприятие «Рубин» активно применяет цифровые технологии, разрабатывая конструкторскую документацию на основе систем автоматизированного проектирования (САПР или САД) и изготавливая прототипы при помощи 3D-принтеров.

На заводе ЗАО «Промтрактор-Вагон» аддитивные технологии впервые были применены для изготовления деталей тележки «33». Дальнейшая конструкторская разработка на заводе проводилась с помощью 3D-принтера по изготовлению узлов и деталей вилочного погрузчика.



«Росатом» активно проводит работу по внедрению аддитивных технологий, планируя использовать все составляющие «цифрового производства», включая разработку материалов, технологическое оборудование, выпуск готовой продукции. Отрасль реализует программу по аддитивным технологиям, которая включает разделы: технология, сырье, оборудование и нормативная документация. Созданием металлопорошков для отрасли занимаются «Гиредмет», ВНИИХТ, ВНИИНМ. Параллельно проводятся работы по разработке опытного образца 3D-принтера для печати металлических и композиционных изделий.

Научно-образовательный центр «Современные производственные технологии» Томского политехнического университета был лидером в области лазерных принтеров. В центре имеются принтеры различного назначения: электронно-лучевого сплавления, лазерные принтеры, печатающие армированными композитами. Контроль готовых изделий «у станка» проводят на ультразвуковом томографе. Уникальность предлагаемых центром аддитивных технологий заключается в том, что они могут использоваться на всем производственном цикле – от разработки до изготовления готового изделия для любой отрасли и промышленности.

К основным направлениям развития мирового рынка аддитивных технологий можно отнести:

- рост доли «готовых» изделий (direct manufacturing) методом аддитивных технологий;
- активное развитие технологий 3D-печати за счет сокращения сроков и стоимости производства;
- масштабный рост внедрения технологий 3D-печати в авиационной и аэрокосмических отраслях, автомобилестроении, медицине, в сфере производства товаров народного потребления;
- активное использование АТ для разработки быстропереналаживаемых производств, способствующих сокращению производственного цикла от создания конструкторско-технологической документации до изготовления опытных образцов;
- рост инвестиций в аддитивное производство;
- сокращение себестоимости аддитивного производства за счет снижения цены на оборудование и повышения доступности АТ.

Таким образом, создание и применение аддитивных технологий – это процесс, который требует системно-комплексного подхода. Формирование АП на базе цифровых технологий повысит производительность до



30 раз, сократится потеря используемого материала, КИМ (коэффициент использования материала) может достигать величины 0,98, снижение массы изделия может составить до 50% [5]. По мнению академика РАН Каблова Е.Н., хороших результатов при использовании аддитивных технологий можно достичь только в единой технологической цепочке: «материал – конструкция – математические модели – программное обеспечение – технологии – оборудование». Аддитивные технологии являются инновационным инструментом технического прогресса 21 века.

Библиографический список:

1. *Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.* Аддитивные технологии для авиакосмической техники // Аддитивные технологии. – 2016. – № 1. – С. 30–38.
2. Аддитивные технологии: возможности и перспективы 3D-печати // Управление производством. – 2017. – №2. – С. 38–44.
3. *Сергеева О.Ю.* Киберфизические системы как технологии субсидиарного управления // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 3. – С. 94–106. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-94-106](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-3-94-106).
4. *Сергеева О.Ю.* «Индустрия 4.0» как механизм формирования «Умного производства» // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 2. – С. 100–113. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113).
5. *Каблов Е.* Новые материалы и технологии – основа технологического лидерства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam.ru/news/5032>.
6. Аддитивное производство: технологии и материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s58t8.html>.
7. *Раевский Е.В., Цыганцова А.Л.* Лазерные аддитивные технологии: перспективы применения // Аддитивные технологии. – 2016. – № 1. – С. 10–12.
8. *Арутян А.* Новые возможности для себя и бизнеса // Аддитивные технологии. – 2016. – №1. – С. 20–22.
9. Аддитивные технологии: настоящее и будущее: материалы IV международной конференции (г. Москва, 30 марта 2018) [Электронный ресурс] // ФГУП «ВИАМ». – М.: ВИАМ, 2018. – 449 с.
10. *Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б.* Технологии аддитивного производства / Пер. с англ. под ред. И. В. Шишковского. – М.: Техносфера, 2016. – 656 с.
11. *Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.М.* Аддитивные технологии в машиностроении. – С.-Пб.: Издательство С.-Пб. политехнического университета, 2013. – 222 с.
12. *Михайлов Ю.М.* Перспективы использования аддитивных технологий в ОПК 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: federal-book.ru/ОПК-11/111/Mihaylov.pdf.



13. Наукоемкие технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Под ред. Б. П. Саушкина. – М.: Форум, 2013. – 920 с.
14. Низовцев В.Е., Климов Д.А., Ступеньков М.И., Бредихина Е.Н. Преимущества аддитивных технологий в качестве альтернативы традиционным технологиям // Аддитивные технологии: настоящее и будущее. Материалы IV международной конференции (г. Москва, 30 марта 2018) [Электронный ресурс] // ФГУП «ВИАМ». – М.: ВИАМ, 2018. – С. 203–208.
15. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. – 2015. – № 2. – С. 22–25.
16. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. – 2014. – № 78. – С. 31.
17. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. – СПб.: Изд-во Питер, 2015. – 348 с.
18. Atzeni E. and Salmi A. Economics of Additive Manufacturing For End-Usable Metal Parts, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 62[9]. – 2012. – P. 1147–1155.
19. Comparison LMD and SLM in Additive Manufacturing, Dipl.-Ing. Moritz Alkhayat, Fraunhofer ILT, Aachen.
20. Digital Photonic Production in Aachen, Prof. Dr. Reinhart Poprawe, Fraunhofer Institut fuer Lasertechnik ILT, Aachen. RWTH Aachen University Lehrstuhl fuer Lasertechnik LLT.
21. Frazier W.E. Metal Additive Manufacturing: Review A., Mater J. Eng. Performance, 23[6]. – 2014. – P. 1917–1928.
22. Lightweight in Automotive and Aerospace, Dr. E. h. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen.
23. SLM and LMD Manufacturing Processes, Dr. Wilhelm Meiners, Fraunhofer ILT, Aachen.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ

ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:

Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 4. – С. 142–158. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158.

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Sergeyeva O.Yu. Additive technologies and 3d modeling. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 4, pp. 142–158. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-4-142-158. (In Russian).

