

УДК 621.7: 621.373

А.И. СЕРДЮК, В.В. КУХАРЬ, А.Г. ПРИСЯЖНЫЙ

АНАЛИЗ БАЗОВЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧЕТОМ ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Технология трехмерной печати по праву считается самым значительным прорывом XXI века. Технологическая эволюция трехмерного принтера создала новую область знаний – аддитивные технологии. Дискуссия о том, какая технология лучше, не имеет значения, так как у каждой из них есть целевые назначения. В статье выполнен анализ базовых аддитивных технологий с учетом их основных технологических возможностей и области применения. Даны рекомендации о предварительном выборе аддитивных технологий при изготовлении прототипов и готовых изделий.

Ключевые слова: аддитивные технологии; SLA; FDM; SLS.

Технологія тривимірного друку по праву вважається найбільш значним проривом XXI століття. Технологічна еволюція тривимірного принтера створила нову галузь знань – адитивні технології. Дискусія про те, яка технологія краще, не має значення, так як у кожній з них є цільові призначення. У статті виконано аналіз базових адитивних технологій з урахуванням їх основних технологічних можливостей і області застосування. Дано рекомендації про попередньому виборі адитивних технологій при виготовленні прототипів і готових виробів.

Ключові слова: адитивні технології, SLA; FDM; SLS.

The Three-Dimensional printing technology is considered the most significant breakthrough of the XXI century. The technological evolution of three-dimensional printer has created a new area of knowledge – additive manufacturing. Additive manufacturing are no longer used only for prototyping, but is increasingly used for the manufacture of the final product. To select a suitable technology developer needs to know the capabilities of these technologies. The aim of the article is analysis of the basic additive technologies based on their main technological features and fields of application in the manufacture of prototypes and finished products. Pre-selection of additive technologies in the production model or the finished product can be made on the basis of the following recommendations: – for creating accurate models or finished products with the mechanical properties of the metal, it is advisable to apply the technology of SLS; – in the manufacture of similar grades of products with mechanical properties of plastics industrial level it is recommended to apply the technology of SLA, and on a limited budget – FDM.

Keywords: additive manufacturing; SLA; FDM; SLS.

Введение. Технология трехмерной печати по праву считается самым значительным прорывом XXI века. Технологическая эволюция трехмерного принтера создала новую область знаний – аддитивные технологии (АТ). В отличие от традиционных технологий обработки металла аддитивное производство построено не на вычитании, а на добавлении материала. Уникальные возможности технологии позволяют устранить многие традиционные производственные ограничения. При этом на выходе получают детали сложной геометрической формы, созданные в короткие сроки. Когда скорость изготовления продукции и издержки производства сокращаются в десятки раз, это меняет всю экономику машиностроения и смежных отраслей промышленности. То, что в конце прошлого века являлось научной экзотикой, неожиданно стало приносить прибыль.

Например, в авиастроении используется производственный показатель «buy-to-fly» (сколько из купленных материалов полетело). Так, при производстве авиационных двигателей компания Lockheed Martin's, используя аддитивные технологии, смогла уменьшить это соотношение с 33:1 до 1:1 [1].

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время на рынке АТ представлено более 800 типов промышленных машин (3D принтеров) и более 1300 типов материалов, применяемых в данных технологиях [2]. Наиболее распространенными технологиями, которые используют в 3D принтерах, являются Stereolithography (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM) и Selective laser sintering (SLS) [3].

Дискуссия о том, какая машина или технология лучше не имеет значения, так как у каждой из них есть

целевые назначения. АТ больше не используются только для создания прототипов, а все больше применяются для изготовления конечной продукции. Для выбора подходящей технологии разработчик должен основываться на их технологических возможностях.

Цель работы. Анализ базовых АТ с учетом их основных технологических возможностей и области применения при изготовлении прототипов и готовых изделий.

Изложение основного материала. Рассмотрим технологические возможности и области применения перечисленных АТ в порядке их создания по следующим технологическим параметрам:

- максимальные габаритные размеры изготавливаемого изделия за один цикл, мм;
- минимальная толщина стенки изделия, мм;
- толщина слоя, мм;
- точность изготовления изделия, %.

Технология SLA является родоначальницей всех последующих технологий АТ, но остается наиболее используемой и имеет следующие технологические достижимые показатели (табл.1) [2].

Таблица 1 – Технологические показатели технологии SLA

№	Технологический показатель	Значение параметра
1	Максимальные линейные размеры изделия (X×Y×Z), мм	1498 x 762 x 558
2	Минимальная толщина стенки изделия, мм	0,8
3	Толщина слоя, мм	0,1
4	Точность изготовления изделия, %	± 0,2

Основным материалом, применяемым для данной технологии, являются жидкие фотополимеры. Физико-химические свойства полимеров могут различаться в зависимости от того, какие требования предъявляются к готовому изделию. Некоторые по прочностным характеристикам не уступают ABS пластику (например, материал ABS-Like Class фирмы 3D SYSTEM [4]), некоторые при полном застывании остаются эластичными, как резина (например, материал серии Tango и Agilus фирмы Stratasys [5]).

Данная технология имеет следующие области применения:

- создание конструкторских и дизайнерских прототипов;
- создание формообразующей оснастки для различных видов точного литья (вакуумное литье, литье в оболочковые формы);
- создание биосовместимых имплантов;
- восстановление объектов по данным компьютерных томографов (для целей медицины, криминалистики и археологии);
- малообъемное производство сложных геометрий.

Технология FDM на сегодняшний день является наиболее доступной АТ. В табл. 2 представлены основные технологические характеристики FDM технологии [2].

Таблица 2 – Технологические показатели технологии FDM

№	Технологический показатель	Значение параметра
1	Максимальные линейные размеры изделия (X×Y×Z), мм	6096 x 2362 x 1828
2	Минимальная толщина стенки изделия, мм	1,0
3	Толщина слоя, мм	0,18
4	Точность изготовления изделия, %	± 0,15

Стоимость материалов для печати является самой низкой из всех доступных технологий. FDM позволяет использование термопластичных пластмасс промышленного уровня, которые могут выдерживать высокую температуру, воздействие вредных химических веществ, стерилизацию и интенсивные механические нагрузки [6]. Основные области применения FDM технологии аналогичны технологии SLA.

Технология SLS сочетает в себе гибкость АТ с механическими свойствами металла. В табл.3 представлены основные технологические показатели SLS технологии [2].

Таблица 3 – Технологические показатели технологии SLS

№	Технологический показатель	Значение параметра
1	Максимальные линейные размеры изделия (X×Y×Z), мм	1390 x 700 x 500
2	Минимальная толщина стенки изделия, мм	0,5
3	Толщина слоя, мм	0,03
4	Точность изготовления изделия, %	± 0,2

В отличие от методов SLA и FDM она не требует построения опорных структур. Это позволяет достичь практически неограниченной геометрической сложности изготавливаемых изделий. В сравнении с другими методами АТ, SLS отличается высокой универсальностью в выборе расходных материалов. К ним относят различные полимеры (например, нейлон или полистирол), металлы и сплавы (сталь, титан, драгоценные металлы, кобальт-хромовые сплавы и др.), а также композиты и песчаные смеси.

Технология SLS имеет следующие области применения:

- создание функциональных деталей и готовых изделий;
- печать запасных частей к оборудованию и машинам;
- изготовление производственных инструментов;
- изготовление пресс-форм.

Выводы.

1. Аддитивные технологии является одними из самых перспективных технологий производства прототипов и готовых изделий. Их применение позволяет существенно повысить эффективность работы и сократить сроки производства готовых изделий.

2. Предварительный выбор АТ при производстве модели или готового изделия может быть выполнен на основании следующих рекомендаций:

3. - при создании высокоточных моделей или готовых изделий с механическими свойствами металла целесообразно применять технологию SLS;

4. - при изготовлении аналогичного сортамента изделий с механическими свойствами пластмасс промышленного уровня рекомендуется применять технологию SLA, а при ограниченном бюджете – FDM.

Список литературы

1. Dehoff, R. Case Study: Additive Manufacturing of Aerospace Brackets / R. Dehoff, C. Tallman, C. E. Duty, P. E. William, Y. Yukinori, C. Wei, C. F. Blue // *Advanced Materials and Processes*. – 2013. – Vol. 171 Issue 3. – P. 19-22.
2. Senvol Database : Industrial Additive Manufacturing Machines and Materials [Электронный ресурс] / Senvol LLC. – Режим доступа : <http://senvol.com/database/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
3. Kianian B. Wohlers Report 2017 : 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report : Chapters titles : The Middle East, and other countries / B. Kianian. – Fort Collins : Wohlers Associates, 2017. – 344 p.
4. 3D Systems : 3D Stereolithography Printers [Электронный ресурс] / 3D Systems, Inc. – Режим доступа : https://www.3dsystems.com/sites/default/files/2017-05/3D-Systems_SLA_Specsheet_A4_US_2017.05.16_WEB.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
5. Stratasys: 3D print flexible, soft-touch models [Электронный ресурс] / Stratasys Ltd. – Режим доступа : <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/rubber-like>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
6. Stratasys : 3D print durable parts in production-grade materials [Электронный ресурс] / Stratasys Ltd. – Режим доступа : <http://www.stratasys.com/materials/fdm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

Bibliography (transliterated)

1. Dehoff, R., Duty, Ch., Peter, W., Yamamoto, Yu., Chen, W., Blue, C. «et al.». (2013). Additive manufacturing of aerospace brackets. *Advanced Materials & Processes*, March 2013, 19–22.
2. Senvol Database: Industrial Additive Manufacturing Machines and Materials. (n.d.). senvol.com. Retrieved from <http://senvol.com/database/>.
3. Kianian, B. (2017). Wohlers Report 2017: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report: Chapters titles: The Middle East, and other countries. (22 ed.). FORT COLLINS, COLORADO, USA: Wohlers Associates
4. 3D Systems: 3D Stereolithography Printers. (n.d.). www.3dsystems.com. Retrieved from https://www.3dsystems.com/sites/default/files/2017-05/3D-Systems_SLA_Specsheet_A4_US_2017.05.16_WEB.pdf.
5. Stratasys: 3D print flexible, soft-touch models. (n.d.). www.stratasys.com. Retrieved from <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/rubber-like>.
6. Stratasys: 3D print durable parts in production-grade materials. (n.d.). www.stratasys.com. Retrieved from <http://www.stratasys.com/materials/fdm>

Поступила (received) 15.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз базових адитивних технологій з урахуванням їх технологічних можливостей / О. І. Сердюк, В. В. Кухар, А. Г. Присяжний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №35(1257). – С. 60–62 – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2519-2671

Анализ базовых аддитивных технологий с учетом их основных технологических возможностей / А. И. Сердюк, В. В. Кухарь, А. Г. Присяжний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №35(1257). – С. 60–62 – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2519-2671

Analysis of basic additive manufacturing based on their primary technological capabilities / Serdiuk, A., Kukhar, V., Prisyazhnyi, A. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 35(1257). – P. 60–62. – Bibl.:6. – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сердюк Олексій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, ДВУЗ «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри обробки металів тиском; м. Маріуполь, Україна; e-mail: tc.mariupol@gmail.com.

Сердюк Алексей Иванович – кандидат технических наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», доцент кафедры обработки металлов давлением; г. Мариуполь, Украина; e-mail: tc.mariupol@gmail.com.

Serdiuk Oleksii Ivanovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, SHEI «Priazovskyi State Technical University», Associate Professor at the Department of Metal Forming, Mariupol, Ukraine; e-mail: tc.mariupol@gmail.com.

Кухар Володимир Валентинович – доктор технічних наук, професор, ДВУЗ «Приазовський державний технічний університет», професор кафедри обробки металів тиском; м. Маріуполь, Україна; e-mail: kvv.mariupol@gmail.com

Кухарь Владимир Валентинович – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский Государственный Технический Университет», профессор кафедры обработки металлов давлением; г. Мариуполь, Украина; e-mail: kvv.mariupol@gmail.com

Kukhar Volodymyr Valentynovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, SHEI «Priazovskyi State Technical University», Professor at the Department of Metal Forming, Mariupol, Ukraine; e-mail: kvv.mariupol@gmail.com

Присяжний Андрій Григорович – кандидат технічних наук, доцент, ДВУЗ «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри обробки металів тиском; м. Маріуполь, Україна; e-mail: agp87514@gmail.com

Присяжний Андрей Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», доцент кафедры обработки металлов давлением, г. Мариуполь, Украина; e-mail: agp87514@gmail.com

Prisyazhnyi Andrii Hryhorovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), SHEI «Priazovskyi State Technical University», Associate Professor at the Department of Metal Forming, Mariupol, Ukraine; e-mail: agp87514@gmail.com