

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ФИЛАМЕНТОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Рощупкин С.И., Колесов А.Г., Тараховский А.Ю.

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Ключевые слова: аддитивные технологии, экструзия металлических материалов, связующая система, металлический порошок, удаление связующей системы, 3D-печать.

Аннотация. Приводятся основные идеи 3D-печати. Рассмотрены преимущества и недостатки технологии Selective Laser Melting (SLM). Рассмотрена возможность печати изделий из металлополимерных филаментов на 3D-принтерах, работающих по технологии Fused deposition modeling (FDM). Представлены новые технологические переходы, необходимые для удаления связующей системы и спекания готового изделия.

ANALYSIS OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF METAL-POLYMER FILAMENTS FOR 3D PRINTING USING FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) TECHNOLOGY

Roshchupkin S.I., Kolesov A.G., Tarakhovskiy A.Yu.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: additive manufacturing, metal extrusion, binder system, metal powder, debinding, 3D-printing.

Abstract. The main ideas of 3D printing are presented. The advantages and disadvantages of Selective Laser Melting (SLM) technology are considered. The possibility of printing products made of metal-polymer filaments on 3D printers using the Fused deposition modeling (FDM) technology is considered. New technological transitions necessary for removing the binder system and sintering the finished product are presented.

Аддитивным технологиям уделяется большое внимание в современных исследованиях. 3D-печать постепенно занимает свою нишу в производстве.

Идея аддитивного производства состоит в «выращивании» готовой детали. В мире разработано несколько концептуальных идей технологии 3D печати: фотополимеризация (Vat Photopolymerization), селективное спекание (SLS), экструзия (Material Extrusion) [1]. Первоначально 3D печать разрабатывалась под использование пластика [2], но позже начались разработки в направлении печати металлом.

В настоящее время единственной аддитивной технологией изготовления металлических изделий, которая достаточно хорошо отработана для применения в промышленности, является Selective Laser Melting (SLM). Суть данной технологии заключается в послойном сплавлении металлического порошка лазерным лучом высокой мощности. Основным недостатком данной технологии является высокая стоимость установки, которая в среднем составляет 1 млн. \$. Данная проблема существенно сдерживает развитие металлической 3D-печати. Перспективным и малоизученным направлением является печать изделий из металлополимерных филаментов (нить диаметром 1,75 мм) на 3D-принтерах,

работающих по технологии Fused deposition modeling (FDM). Для печати используется филамент, представляющий собой смесь металлического порошка с полимером, выполняющим функцию связки [3]. После печати изделия из него термическим или химическим способом удаляется связующий элемент, и оно спекается в печи. При этом изделие уменьшается в объеме на 15-20 % [4]. Реализация данного способа возможна на недорогих FDM-принтерах, стоимость которых на три порядка дешевле принтеров SLM. Первые эксперименты по апробации данной технологии начались лишь в 2018 году и в настоящее время практически все они ведутся на филаментах фирмы BASF, линейка которых состоит всего из одного материала – Ultrafuse 316LX (аналог отечественной стали 03X16H15M3). Вместе с тем, в перспективе по данной технологии можно изготавливать детали не только из стали, но и из цветных сплавов, твердых сплавов, керамики и пр. [5].

Основной целью модификации полимерных материалов металлическими порошками является придание им особых физико-механических свойств, таких как высокая твердость и износостойкость, электропроводность, фотокаталитические свойства, высокие пределы прочности на растяжение, сжатие и изгиб. Все вышеизложенное существенно расширяет сферы использования данных материалов в качестве конструкционных, среди которых можно выделить военную и космическую промышленность, системы безопасности, машино- и приборостроение, биомедицину [6], энергетику и электронику, авиационную и автомобильную промышленность [7-10]. Как правило, во всех перечисленных отраслях большое значение уделяется весу изделий, который все стремятся снизить. Использование модифицированных полимеров, обладающих низким удельным весом, и не уступающих по своим эксплуатационным показателям металлическим аналогам, существенно расширяет возможности конструирования.

Список литературы

1. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – New York: Springer, 2015. – 498 p.
2. Рощупкин С.И., Колесов А.Г., Тараховский А.Ю., Тищенко И.В. Metal fused filament fabrication: краткий обзор основных идей технологии печати металлом // Фундаментальные основы физики, химии и механики наукоёмких технологических систем формообразования и сборки изделий: сборник трудов научного симпозиума технологов-машиностроителей / под ред. В.А. Лебедева; Донской гос. техн. ун-т. – Текст: электронный. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. – 791 с. – URL: <https://ntb.donstu.ru/content/2020229>.
3. Gonzalez-Gutierrez J. Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives / J. Gonzalez-Gutierrez, S. Cano, S. Schuschnigg et al. // Materials – 2018. – Vol. 11, №5. – <https://doi.org/10.3390/ma11050840>
4. Thompson Y. Fused filament fabrication, debinding and sintering as a low cost additive manufacturing method of 316L stainless steel / Y. Thompson, J. Gonzalez-Gutierrez, C. Kukla et al. // Additive Manufacturing. – 2019. – Vol. 30. – <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100861>
5. Roshchupkin S.I. Extruder for the production of metal-polymer filament for additive technologies / Roshchupkin, S.I., Golovin, V.I., Kolesov, A.G., Tarakhovskiy, A.Yu. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. №971(2). 022009.

6. Haleem A. 3D printed medical parts with different materials using additive manufacturing / A. Haleem, J. Mohd // Clinical Epidemiology and Global Health. – 2020. – Vol. 8, №1. – P. 215-223. – <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.08.002>
7. Masood S.H. Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using Fused deposition modelling / S.H. Masood, W.Q. Song // Materials & Design. – 2004. – Vol. 25, № 7. – P. 587-594. – <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.02.009>
8. Desktop Metal Inc. Materials engineered to perform. URL: <https://www.desktopmetal.com/materials>
9. Markforged Inc. Copper. URL: <https://markforged.com/materials/copper/>
10. Hertle S. Production of polymer-metal hybrids using extrusion-based additive manufacturing and electrochemically treated aluminum / S. Hertle, T. Kleffel, A. Wörz et al. // Additive Manufacturing – 2020. – Vol. 33. – <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101135>

Сведения об авторах:

Рощупкин Станислав Иванович – к.т.н., доцент, СевГУ, г. Севастополь;
Колесов Александр Геннадьевич – к.т.н., доцент, СевГУ, г. Севастополь;
Тараховский Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент, СевГУ, г. Севастополь.